



PENGARUH VARIASI SUDUT *BLADE AIRFOIL CLARK-Y FLAT BOTTOM* PADA UNJUK KERJA KINCIR ANGIN
Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)
DENGAN KAPASITAS 500 WATT

Novi Caroko^{1,a}, Wahyudi^{1,b}, Aditya Ivanda^{1,c}

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Teknik Mesin, Yogyakarta 55183, Indonesia
aditya.ivanda@gmail.com

Intisari

Kincir angin merupakan energi yang terbarukan, karena kincir angin mampu menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi angin. Akan tetapi pemanfaatan energi angin di Indonesia tergolong rendah, karena belum banyak yang mengembangkan kincir angin dengan kecepatan angin rendah. Salah satu metode untuk mengembangkan kincir angin kecepatan rendah adalah melakukan variasi sudut *blade* airfoil jenis *Clark-y Flat Bottom*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi sudut *blade* terhadap daya keluaran pada kincir angin.

Proses penelitian variasi sudut *blade* dimulai dengan melakukan persiapan *blade* airfoil jenis *Clark-y Flat Bottom*, generator, kabel, sistem elektrikal, dan *datalogger*. Variabel yang digunakan adalah variasi sudut *blade* 10°, 15°, dan 20°. Penelitian kincir angin dilakukan di Pantai Baru Poncosari Srandakan Bantul. Pengujian yang dilakukan meliputi pengamatan kecepatan angin dan daya keluaran yang dihasilkan kincir angin.

Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa variasi sudut *blade* airfoil jenis *Clark-y Flat Bottom* berpengaruh terhadap daya listrik yang dihasilkan kincir angin. Sudut *blade* yang menghasilkan daya optimal adalah sudut *blade* 10°. Hal ini dikarenakan variasi sudut *blade* 10° nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 25% - 40% pada kecepatan angin 1,5m/s-3m/s.

Kata kunci: sudut *blade* , kecepatan angin, daya

1. PENDAHULUAN

Menipisnya cadangan minyak bumi (bila tanpa menemukan sumur minyak baru) dan polusi gas rumah kaca akibat pembakaran bahan bakar fosil membuat beberapa ancaman serius bagi kehidupan makhluk hidup di muka bumi. Hal tersebut mendesak pemerintah Indonesia untuk mengupayakan sumber energi terbarukan.

Indonesia memiliki potensi sumber energi terbarukan dalam jumlah besar, beberapa diantaranya adalah tenaga angin (Indarto, 2005). Energi angin terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara antara udara panas dan udara dingin.

Turbin angin merupakan salah satu contoh penggerak mula dari sumber energi angin untuk membangkitkan listrik. Turbin terbagi menjadi 2 yaitu kincir angin sumbu *horizontal* atau *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)* dan kincir angin sumbu *vertikal* atau *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*. Kincir angin sumbu *horizontal* adalah kincir angin dengan poros utama *horizontal* yang sejajar dengan permukaan tanah, posisi poros sejajar dengan arah datangnya angin dan generator pembangkit listrik terdapat pada puncak menara (Abdurrahman, 2015).

Parameter yang harus diperhatikan pada kincir angin sumbu *horizontal* adalah penentuan sudut bilah turbin. Parameter tersebut akan mempengaruhi

performansi dari kincir angin, kecepatan angin optimal, dan koefisien daya. Pengaturan sudut *blade* yang menghasilkan koefisien daya yang relatif tinggi adalah sudut 10°, 15°, dan 20° pada kecepatan angin 3 m/s. pada penelitian yang dilakukan (Wright, 2004).

Pengujian Susanto (2015) menyebutkan bahwa kincir angin sumbu *horizontal* dengan variabel material *blade* tipe Naca 4415 akan berpengaruh terhadap daya *output* sebuah kincir angin. Penelitian yang dilakukan juga menunjukkan bahwa sudut serang akan berpengaruh terhadap performa kincir angin menggunakan *airfoil* tipe Naca 4415 diameter 3 meter dengan variasi sudut serang 0°, 3° dan 5°. Daya output terbesar penelitiannya terdapat pada sudut serang 3° yaitu dengan daya 18,83 Watt pada kecepatan angin 9,20 m/s.

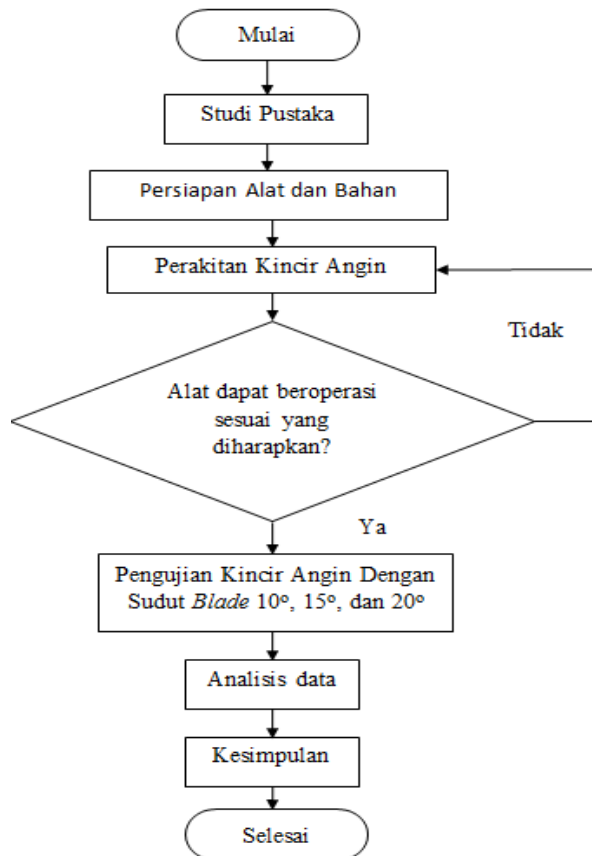
Prasetya (2015) menyebutkan bahwa pada penelitiannya dengan rata-rata kecepatan angin di Indonesia yang tergolong rendah, namun terkadang bisa tiba-tiba sangat kencang pada waktu-waktu tertentu sudut *blade* yang paling baik adalah sudut 15° dengan nilai efisiensi sebesar 4,44%. Pada pengujiannya, Prasetya menggunakan *blade* tipe Naca 4412 dengan variasi sudut *blade* 0°, 10°, dan 15°.

Penelitian mengenai pengaruh sudut *blade* merupakan salah satu kunci dalam mengoptimalkan performa sebuah kincir angin sumbu *horizontal*. Pada

penelitian ini akan dibahas pengaruh sudut sebuah kincir angin menggunakan *blade airfoil* jenis *Clark-y Flat Bottom* bahan *blade* kayu pinus, kapasitas generator 500 Watt dengan variasi sudut 10° , 15° , dan 20° .

2. METODE PENELITIAN

Tahapan proses penelitian ini berdasarkan diagram alir penelitian yang terdapat didalam Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Diagram alir penelitian

Pengujian kincir angin

Tanggal : 12-14 Mei 2016

Tempat : Pantai Baru, Poncosari, Srandakan, Kec. Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Perakitan kincir angin yang dilakukan meliputi pemasangan *gearbox*, pemasangan *blade*, ekor, dan pemasangan tiang penyangga. Pengaturan sudut blade dilakukan setelah kincir angin terpasang pada tiang penyangganya. Langkah pertama yang dilakukan adalah memberikan pelumas pada *gearbox* dan pada bantalan poros. Pemberian pelumas ini ditujukan untuk

menghambat terjadi korosi pada logam, dikarenakan pengujian dilakukan di lingkungan pantai. Selain memberikan pelumas, dilakukan juga penyemprotan menggunakan solar pada baut atau pada sambungan yang rawan terjadi korosi.

Pada perakitan *gearbox* terlebih dahulu memasang generator pada kerangka, kemudian dilanjutkan memasang poros dan bantalannya. Setelah *gearbox* terpasang, langkah selanjutnya adalah memasang ekor dari kincir angin dan dilanjutkan dengan memasang bilah atau *blade*. Rangkaian yang telah selesai dirakit akan dipasang pada ujung menara yang masih dalam posisi dibawah. Apabila sudah siap ditegakkan, maka dilakukan pemasangan tali kawat dan spaner untuk mendirikan menara kincir angin tersebut.

Proses perakitan elektrikal yang dilakukan adalah melakukan penyambungkan kabel dari generator menuju *datalogger*, volt meter dan ampere meter. Data yang terekam dalam *datalogger* adalah berupa output daya (Watt), arus (Ampere), dan tegangan (Volt) setiap 5 menit. Volt meter dan ampere meter yang dipasang adalah yang dengan tipe jarum, tujuannya adalah sebagai monitoring secara manual agar mudah dalam memberikan beban. Apabila pembebanan terlalu besar, maka voltase dan arusnya akan menurun dan kincir angin akan berhenti berputar. Meskipun begitu, pembebanan juga dilakukan dengan melakukan pengisian baterai berupa *accumulator*.

Pengaturan sudut yang dilakukan adalah pengaturan sudut *blade* dengan variasi sudut 10° , 15° , dan 20° . Proses pengaturan sudut dilakukan diatas menara secara manual. Meskipun dilakukan secara manual, namun pada blade yang terpasang telah diberi tanda agar sudut yang diberikan sesuai. Pada saat pengaturan sudut, dilakukan juga penyemprotan menggunakan solar agar mengurangi terjadinya korosi yang menyebabkan korosi pada *gearbox*, sambungan, dan pada baut.

Kecepatan angin diukur menggunakan anemometer. Anemometer yang digunakan adalah milik PLTH pantai baru dengan jenis *cup counter* anemometer. Kecepatan angin yang berada di wilayah Pantai Baru Pandansimo telah terekam datanya setiap 10 menit. Pada saat terjadi badai sekalipun, kecepatan angin akan tetap terekam.

Pada proses pengamatan daya, hal yang dilakukan adalah menyalakan *datalogger* pada saat kincir angin mulai berputar, dan melakukan pembebanan. Pengamatan daya ini tidak hanya memanfaatkan *datalogger* dalam proses pengamatan, akan tetapi juga melakukan pengamatan dan pencatatan terhadap daya terbesar yang muncul pada saat pengujian dilakukan. Pengamatan daya berhubungan sekali dengan pembebanan yang dilakukan, apabila daya output besar,

dan hanya dipergunakan untuk pembebanan pengisian baterai maka daya yang terekam pada *datalogger* tidak akan sebesar jika melakukan pembebanan menggunakan bolam lampu. Dalam hal ini juga mencatat tentang waktu mulai bekerjanya kincir angin, yang akan digunakan untuk mensinkronkan antara daya yang dihasilkan kincir angin dengan kecepatan angin yang datanya telah terekam di PLTH Pantai Baru Yogyakarta.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi kincir angin

Jenis kincir angin : Kincir angin sumbu *horizontal*
 Kapasitas generator : 500 Watt
 Jumlah blade : 3 Buah
 Jenis *blade* : *Airfoil Clark Y Flat Bottom*
 Diameter kincir angin : 3 Meter
 Tinggi tiang kincir angin : 8 Meter
 Variasi sudut *blade* : 10°, 15°, dan 20°
 Beban : Bolam lampu
 Spesifikasi generator : 500 Watt / 48 Volt

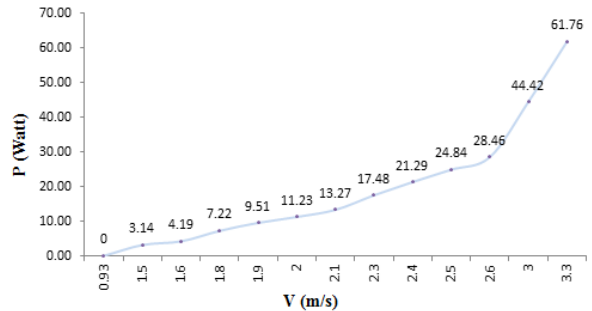
Hasil pengujian

Pengujian yang dilakukan pada saat pengujian kincir angin adalah dengan merekam daya *output* menggunakan *datalogger* dengan disertai ampere meter dan volt meter. Selain mengamati daya keluaran kincir angin, dilakukan juga pengamatan kecepatan angin yang ada di Pantai Baru, Poncosari, Srandakan, Kec. Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Apabila data kecepatan angin dan daya *output* sudah didapatkan, maka penelitian dilanjutkan dengan membuat sebuah grafik dari hasil pengamatan yang sudah dilakukan.

Data hasil pengujian

Tabel 1. Data pengujian kincir angin dengan variasi sudut 10°

Kecepatan Angin (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya (Watt)	Efisiensi (%)
0.93	0	0	0	0%
1.5	0.30	10.21	3.14	23%
1.6	0.34	12.1	4.19	25%
1.8	0.55	13.2	7.22	31%
1.9	0.57	16.83	9.51	34%
2	0.74	15.21	11.23	35%
2.1	1.04	12.75	13.27	35%
2.3	1.47	11.93	17.48	36%
2.4	1.59	13.38	21.29	38%
2.5	2.07	11.98	24.84	39%
2.6	2.82	10.1	28.46	40%
3	4.29	10.36	44.42	41%
3.3	4.02	15.36	61.76	42%

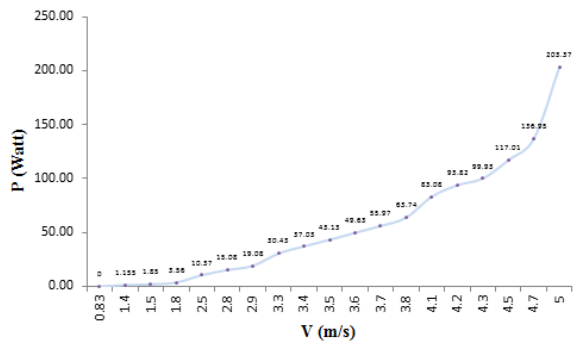


Gambar 1. Grafik hubungan antara kecepatan angin dengan daya keluaran kincir angin variasi sudut 10°

Pada gambar 1 menunjukkan bahwa pada variasi sudut 10°, kincir angin mulai berputar pada kecepatan angin 0,93 m/s dan daya *output* tertinggi sebesar 61,76 Watt terjadi pada kecepatan angin 3,3 m/s.

Tabel 2. Data pengujian kincir angin dengan variasi sudut 15°

Kecepatan Angin (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya (Watt)	Efisiensi %
0.83	0	0	0	0
1.4	1.2	0.96	1.15	10%
1.5	1.72	1.08	1.85	14%
1.8	1.75	2.03	3.56	15%
2.5	2.22	4.67	10.37	16%
2.8	2.41	6.26	15.08	17%
2.9	2.5	7.63	19.08	19%
3.3	2.43	12.52	30.43	25%
3.4	2.71	13.66	37.03	23%
3.5	2.8	15.40	43.13	25%
3.6	3.42	14.51	49.63	26%
3.7	3.55	15.77	55.97	27%
3.8	3.58	17.80	63.74	29%
4.1	3.77	22.04	83.08	30%
4.2	3.87	24.24	93.82	31%
4.3	4.35	22.97	99.93	31%
4.5	4.4	26.59	117.01	32%
4.7	4.84	28.29	136.95	33%
5	8.66	23.48	203.37	40%

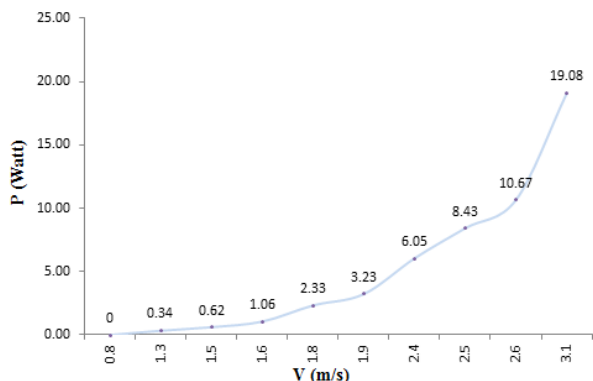


Gambar 2. Grafik hubungan antara kecepatan angin dengan daya keluaran kincir angin variasi sudut 15°

Pada gambar 2 menunjukkan bahwa pada variasi sudut 15°, kincir angin mulai berputar pada kecepatan angin 0,83 m/s dan daya output tertinggi sebesar 203,37 Watt terjadi pada kecepatan angin 5m/s.

Tabel 3. Data pengujian kincir angin dengan variasi sudut 20°

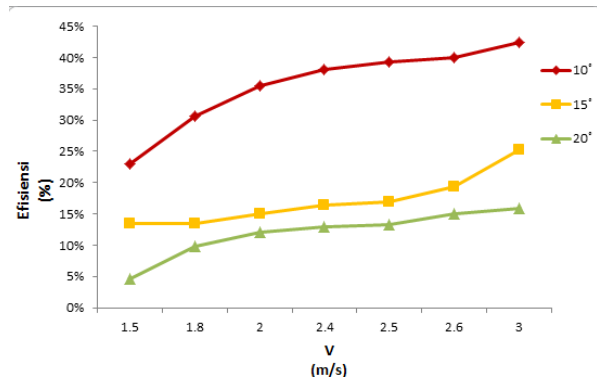
Kecepatan Angin (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya (Watt)	Efisiensi %
0.8	0	0	0	0%
1.3	0.09	3.78	0.34	4%
1.5	0.1	6.2	0.62	5%
1.6	0.11	9.64	1.06	6%
1.8	0.28	8.32	2.33	10%
1.9	0.38	8.50	3.23	12%
2.4	0.41	17.93	6.05	13%
2.5	0.48	17.56	8.43	13%
2.6	0.57	18.72	10.67	15%
3.1	1.4	13.63	19.08	17%



Gambar 3. Grafik hubungan antara kecepatan angin dengan daya keluaran kincir angin variasi sudut 20°

Pada gambar 3 menunjukkan bahwa pada variasi sudut 20°, kincir angin mulai berputar pada kecepatan

angin 0,8 m/s dan daya output tertinggi sebesar 19,08 Watt terjadi pada kecepatan angin 3,1m/s.



Gambar 4. Diagram perbandingan nilai efisiensi sudut blade 10°, 15°, dan 20°

Dari gambar 4, dapat dilihat perbandingan nilai efisiensi pada kecepatan angin antara 1,5-3 m/s dari hasil pengujian yang dilakukan. Nilai efisiensi paling baik terdapat pada sudut 10°, dikarenakan nilai efisiensinya paling tinggi, berada diatas angka 20% pada kecepatan angin 1,5-3 m/s. Hasil dari pengujian yang dilakukan diperoleh sudut blade terbaik untuk kincir angin *Horizontal Wind Axis Turbine* HAWT blade airfoil jenis *Clark-y Flat Bottom* dengan bahan kayu pinus pada kecepatan angin antara 1-3 m/s yaitu sudut blade 10°.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian kincir angin *Horizontal Wind Axis Turbine* (HAWT) jenis blade airfoil Clark Y Flat Bottom bahan kayu pinus dengan variasi sudut blade 10°, 15°, dan 20° yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Performa kincir angin *Horizontal Wind Axis Turbine* (HAWT) jenis blade airfoil Clark Y Flat Bottom bahan kayu pinus mempunyai nilai efisiensi 20% - 40% pada kecepatan angin 1,5 m/s – 3 m/s.
- 2) Variasi sudut blade pada kincir angin *Horizontal Wind Axis Turbine* (HAWT) jenis blade airfoil Clark Y Flat Bottom bahan kayu pinus berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan. Sudut blade yang menghasilkan daya tertinggi untuk kincir angin *Horizontal Wind Axis Turbine* (HAWT) jenis blade airfoil Clark Y Flat Bottom adalah menggunakan sudut blade 10° pada kecepatan angin 1,5 m/s - 3 m/s.

5. SARAN

- 1) Mengutamakan keselamatan dalam melakukan pengujian kincir angin, dari awal sampai akhir.

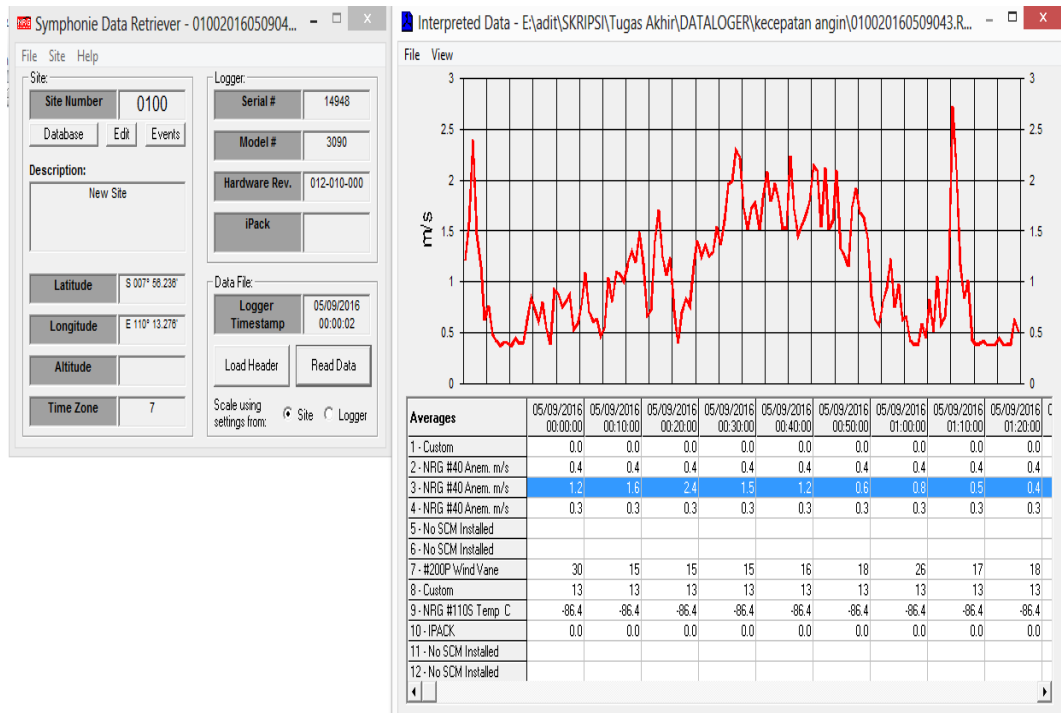
- 2) Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan penelitian ini sehingga dapat menghasilkan performa kincir angin yang lebih tertinggi.
- 3) Untuk mendapatkan kecepatan angin yang lebih akurat sebaiknya kecepatan angin yang diukur adalah kecepatan angin yang diterima oleh kincir angin.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, Luthfi Humaidi. 2015. *Studi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Di Desa Ciheras Cipatujah Tasikmalaya Ditinjau Dari Aspek Pembangkitan Energi*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Indartono, Y.S. 2005. *Krisis Energi Di Indonesia*. Majalah PPI Jepang Inovasi Vol. 4, XVII. Hal. 18-20.
- Prasetya, Maret. 2015. *Studi Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412 dengan Modifikasi Sudu Tipe Flat Pada Variasi Sudut Kemiringan 0°, 10°, 15°*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Susanto, Andi dan Nur Aklis Suroto. 2015. *Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Serang Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4415*. Kartasura: Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wright, A K dan Wood, D H. 2004. *The starting and low wind speed behaviour of a small horizontal axis wind turbine*. Renewable Energy Pp 1265-1279. USA: New Jersey

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data kecepatan angin setiap 10 menit



Lampiran 2. Datalogger setiap 10 detik

Tegangan, Arus, Daya

```
* ,1,11:34:32,12/5/2016,10701,12.65, 0.60,7.53,684.17,#
* ,1,11:34:44,12/5/2016,10702,12.64,0.51,6.47,684.20,#
* ,1,11:34:56,12/5/2016,10703,12.60,0.40,5.10,684.24,#
* ,1,11:35:08,12/5/2016,10704,12.65,0.58,7.32,684.27,#
* ,1,11:35:20,12/5/2016,10705,12.78,0.87,11.13,684.31,#
* ,1,11:35:32,12/5/2016,10706,12.76,0.89,11.33,684.34,#
* ,1,11:35:44,12/5/2016,10707,12.77,0.88,11.26,684.38,#
* ,1,11:35:56,12/5/2016,10708,12.70,0.71,9.01,684.41,#
* ,1,11:36:08,12/5/2016,10709,12.73,0.79,10.08,684.45,#
* ,1,11:36:20,12/5/2016,10710,12.79,0.92,11.77,684.49,#
* ,1,11:36:32,12/5/2016,10711,12.79,0.89,12.03,684.52,#
* ,1,11:36:44,12/5/2016,10712,12.85,0.96,12.28,684.56,#
* ,1,11:36:56,12/5/2016,10713,12.52,1.11,13.85,684.60,#
* ,1,11:37:08,12/5/2016,10714,12.62,0.83,10.42,684.64,#
* ,1,11:37:20,12/5/2016,10715,13.83,0.75,10.37,684.67,#
* ,1,11:37:32,12/5/2016,10716,6.55,1.88,12.33,684.72,#
* ,1,11:37:44,12/5/2016,10717,6.28,0.00,0.00,684.75,#
* ,1,11:37:56,12/5/2016,10718,15.15,0.00,0.00,684.75,#
```

Lampiran 3. Tabel propertis udara tekanan 1 atm

TABLE A-15

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Note: For ideal gases, the properties c_p , k , μ , and Pr are independent of pressure. The properties ρ , ν , and α at a pressure P (in atm) other than 1 atm are determined by multiplying the values of ρ at the given temperature by P and by dividing ν and α by P .

Source: Data generated from the EES software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. Original sources: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, and P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Lampiran 4. Dokumentasi



Pemasangan *blade*



Perakitan elektrikal



Perekaman *datalogger*



Pengamatan arus dan tanganan