



TUGAS AKHIR – TF 145565

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* KINERJA
TURBIN ANGIN TIPE *DARRIEUS* SUMBU VERTIKAL
BERDASARKAN PUTARAN ROTOR PADA
GENERATOR**

**Cindy Reviko Ekatiara
NRP 1051 15 00000 030**

**Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, S.T., M.Sc.
NIP. 19620822 198803 1 001**

**Dosen Pembimbing II
Murry Raditya, S.T., M.T.
NIP. 1988 20171 1 055**

**PROGRAM STUDI DIII TEKNOLOGI INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



TUGAS AKHIR – TF 145565

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING*
KINERJA TURBIN ANGIN TIPE *DARRIEUS*
SUMBU VERTIKAL BERDASARKAN PUTARAN
ROTOR PADA GENERATOR**

**Cindy Reviko Ekatiara
NRP 1051 15 00000 030**

**Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, S.T., M.Sc.
NIP. 19620822 198803 1 001**

**Dosen Pembimbing II
Murry Raditya, S.T., M.T.
NIP. 1988 20171 1 055**

**PROGRAM STUDI DIII TEKNOLOGI
INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL PROJECT – TF 145565

***MONITORING SYSTEMS DESIGN OF VERTICAL
AXIS WIND TURBINE PERFORMANCE
DARRIEUS TYPE BASED ON ROTOR ROTATION
IN GENERATOR***

**Cindy Reviko Ekatiara
NRP 1051 15 00000 030**

Advisor Lecturer I

**Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, S.T., M.Sc.
NIP. 19620822 198803 1 001**

Advisor Lecturer II

**Murry Raditya, S.T., M.T.
NIP. 1988 20171 1 055**

***DIPLOMA III DEGREE TECHNOLOGY
INSTRUMENTATION
DEPARTEMEN OF INSTRUMENTATION
ENGINEERING
FACULTY OF VOCATION
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018***

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* KINERJA
TURBIN ANGIN TIPE *DARRIEUS* SUMBU
VERTIKAL BERDASARKAN PUTARAN ROTOR
PADA GENERATOR**

TUGAS AKHIR

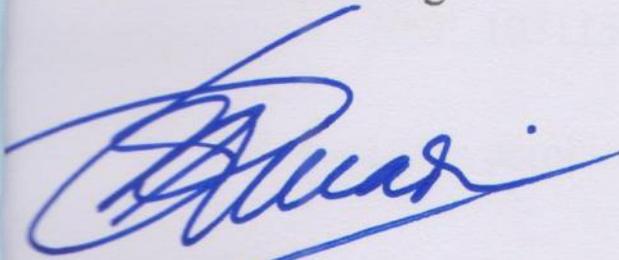
Oleh :

**Cindy Reviko Ekatiara
NRP. 10511500 000 030**

Surabaya, 27/7/2018

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



**Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.
NIP.19620822 198803 1 001**



**Murry Raditya, S.T., M.T.
NIP.1988 20171 1 055**

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Instrumentasi



Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, MSc

NIP.19620822 198803 1 001

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* KINERJA
TURBIN ANGIN TIPE *DARRIEUS* SUMBU VERTIKAL
BERDASARKAN PUTARAN ROTOR PADA GENERATOR**

TUGAS AKHIR

Diberikan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi DIII Teknologi Instrumentasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

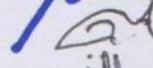
Cindy Reviko Ekatiara
NRP. 10511500 000 030

Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito S.T.,M.Sc

 (Pembimbing 1)

Murry Raditya, S.T.,M.T.

 (Pembimbing 2)

Dwi Oktavianto Wahyu Nugroho, S.T., M.T.

 (Penguji)

**SURABAYA
JULI, 2018**

PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* KINERJA TURBIN ANGIN TIPE *DARRIEUS* SUMBU VERTIKAL BERDASARKAN PUTARAN ROTOR PADA GENERATOR

Nama Mahasiswa : CINDY REVIKO EKATIARA
NRP : 1051 15 00000 030
Jurusan : D III Teknik Instrumentasi,
Departemen Teknik Instrumentasi FV-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Ir. Purwadi Agus Darwito, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Fungsi turbin angin sebagai penghasil listrik tentu diharapkan dapat beroperasi secara terus-menerus agar pasokan listrik selalu tersedia. Sehingga turbin angin perlu dipantau atau diamati kinerjanya, oleh karena itu dilakukan perancangan sistem *monitoring* kinerja turbin angin tipe *darrieus* sumbu vertikal berdasarkan putaran rotor pada generator. Pada perancangan sistem *monitoring* ini, sensor yang digunakan untuk mengukur adalah sensor anemometer, sensor arus ACS712, sensor *voltage*, sensor *rotary encoder*. Dari hasil penelitian ini didapatkan arus, tegangan, rpm, serta daya yang dihasilkan ketika turbin angin berputar. *Range* kecepatan angin yang digunakan pada tugas akhir ini adalah antara 5 m/s hingga 7 m/s. Bentuk dan material bilah atau *blade* yang digunakan mempengaruhi keluaran arus, tegangan, daya dan juga rpm.

Kata kunci : Turbin angin, monitoring, sensor anemometer, sensor arus ACS712, sensor *voltage*, sensor *rotary encoder*, arus, tegangan, daya, rpm generator, kecepatan angin.

**MONITORING SYSTEMS DESIGN OF VERTICAL
AXIS WIND TURBINE PERFORMANCE DARRIEUS
TYPE BASED ON ROTOR ROTATION IN
GENERATOR**

Name of Student : CINDY REVIKO EKATIARA
NRP : 1051 15 00000 030
Departement : *Diploma Technology Instrumentation -
Departement of Instrumentation
Engineering*
Supervisor : Dr. Ir Purwadi Agus Darwito, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

The function of wind turbines as electricity producers is certainly expected to operate continuously so that the supply of electricity is always available. So that the wind turbine needs to be monitored or observed its performance, olerh because it is designed system of performance monitoring of wind turbine type darrieus vertical axis based on rotor rotation on the generator. In designing this monitoring system, the sensor used to measure is anemometer sensor, ACS712 current sensor, voltage sensor, rotary encoder sensor. From the test data monitoring system obtained results that at wind speed. From the results of this study obtained the current, voltage, rpm, and the power generated when the wind turbine spins. The wind speed range used in this final project is between 5 m/s to 7 m/s. The blade shape and material used affects the output current, voltage, power and also rpm.

Keywords : *Wind turbine, monitoring, anemometer sensor, ACS712 current sensor, voltage sensor, rotary encoder sensor, current, voltage, power, generator rpm, wind speed*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“PERANCANGAN SISTEM *MONITORING KINERJA* TURBIN ANGIN TIPE *DARRIEUS* SUMBU VERTIKAL BERDASARKAN PUTARAN ROTOR PADA GENERATOR”** dengan tepat waktu. terselesaikannya laporan ini juga tak luput dari dukungan dan peran serta dari orangtua dan keluarga besar serta berbagai pihak. Untuk itulah dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus D, M.Sc. selaku Ketua Departemen Teknologi Instrumentasi FV-ITS.
2. Bapak Murry Raditya ST., M.T selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah membina dengan baik dan sabar.
3. Bu Lizda Johar selaku Dosen Wali penulis.
4. Kedua orang tua dan adik saya yang tidak henti-hentinya memberi semangat dan doa untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini..
5. Dimas Yusuf Permana yang telah memberikan semangat, doa, dan motivasi.
6. Turbin Angin *team* yang telah membantu pengerjaan Tugas Akhir ini hingga selesai.
7. Teman-teman D3 Teknologi Instrumentasi angkatan 2015 FV-ITS.
8. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam Tugas Akhir ini sampai selesai.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih kurang sempurna. Oleh karena itu penulis menerima segala masukan baik berupa saran, kritik, dan segala bentuk tegur sapa demi kesempurnaan laporan ini.

Demikian laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan dengan harapan dapat bermanfaat dalam akademik baik bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca.

Surabaya, 27 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xviii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Laporan	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angim	5
2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	6
2.3 Sistem <i>Monitoring</i>	8
2.4 Generator	9
2.5 Perhitungan Torsi Motor Induksi	11
2.6 Mikrokontroler ATmega128	13
2.7 Anemometer	14
2.8 Sensor <i>Rotary Encoder</i>	15
2.9 Sensor Arus ACS712.....	16
2.10 Sensor Tegangan	18
2.11 <i>Datalogger</i>	19
2.12 <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD).....	20
2.13 Media Penyimpanan	20

2.14 Komunikasi Data Serial USART (<i>Universal Synchrononus Asynchronous Reciever Transmitter</i>).....	21
2.15 <i>Analog to Digital Converter (ADC)</i>	24
2.16 HMI (<i>Human Machine Interface</i>)	24
2.17 Bahasa Pemrograman	25
2.18 <i>Basic Compiler AVR (BASCOS-AVR)</i>	26
2.19 <i>Khazama AVR Programmer</i>	27
2.20 Karakteristik Statik	28
2.21 Teori Ketidapastian	30

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem <i>Monitoring</i>	35
3.2 Blok Diagram Perancangan Sistem <i>Monitoring</i>	37
3.3 Perancangan <i>Hardware</i> dan <i>Software</i>	39
3.4 Integrasi Sistem <i>Monitoring</i>	42
3.5 Pembuatan Desain HMI dan <i>Visual Studio</i>	42
3.6 Pembuatan <i>Datalogger</i>	43
3.7 Integrasi <i>Software</i> dan <i>Hardware</i>	45

BAB IV HASIL DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Alat	47
4.2 Analisa Data	58

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	95
5.2 Saran.....	96

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (<i>Data Sheet System ATmega128</i>)
LAMPIRAN B (<i>Data Sheet Sensor Arus ACS712</i>)
LAMPIRAN C (<i>Data Sheet Voltage Sensor</i>)
LAMPIRAN D (<i>Data Sheet Anemometer Sensor</i>)
LAMPIRAN E (<i>Data Sheet Rotary Encoder</i>)
LAMPIRAN F (<i>Listing Program</i>)

LAMPIRAN G (*Data Uji Sistem Monitoring*)

LAMPIRAN H (*Pengambilan Data Turbin Angin di Pantai Kenjeran*)

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Jenis – Jenis Turbin Angin Sumbu Vertikal	8
Gambar 2.2 Generator Ex Motor Servo AC	10
Gambar 2.3 Arsitektur Mikrokontroler ATmega128	14
Gambar 2.4 Anemometer.....	15
Gambar 2.5 Sensor <i>Rotary Encoder</i>	16
Gambar 2.6 Sensor Arus ACS712	17
Gambar 2.7 Grafik Tegangan Keluaran Sensor ACS712 terhadap arus listrik yang terukur	18
Gambar 2.8 Sensor Tegangan	18
Gambar 2.9 Modul OpenLogger	19
Gambar 2.10 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>) 20x4	20
Gambar 2.11 Bentuk Fisik dan Dimensi SDCard, Mini SD, dan Micro SD.....	21
Gambar 2.12 Register USART	23
Gambar 2.13 Proses Konversi Sinyal Analog Menjadi Sinyal Digital	24
Gambar 2.14 Tampilan Jendela Program BASCOM-AVR....	26
Gambar 2.15 Khazama AVR Programmer.....	27
Gambar 2.16 Tabel T- <i>student</i>	33
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	35
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem <i>Monitoring</i> Pada Turbin Angin.....	38
Gambar 3.3 <i>Mini Plant</i> Turbin Angin	39
Gambar 3.4 Penempatan Sensor Pada <i>Mini Plant</i> Turbin Angin	40
Gambar 3.5 Diagram I/O Sistem <i>Monitoring</i> Turbin Angin ..	41
Gambar 3.6 Desain HMI Turbin Angin.....	42
Gambar 3.7 Skematik <i>Openlogger</i>	43
Gambar 3.8 Tampilan File <i>Datalogger</i> Pada <i>SDCard</i>	44
Gambar 3.9 Tampilan Penyimpanan Data <i>SDCard</i> Dalam Bentuk <i>.txt</i> dan <i>.csv</i>	45
Gambar 4.1 Data Monitoring Berhasil Ditampilkan Pada Terminal Emulator BASCOM-AVR.....	48

Gambar 4.2	Grafik Pengujian Sensor Tegangan Saat Pembacaan Naik dan Turun	51
Gambar 4.3	Grafik Pengujian Sensor Arus Saat Pembacaan Naik dan Turun	53
Gambar 4.4	Grafik Pengujian Sensor <i>Rotary Encoder</i> Saat Pembacaan Naik dan Turun	55
Gambar 4.5	Data yang Tersimpan Pada <i>SDCard</i>	56
Gambar 4.6	Tampilan Pada LCD 20x4 dan Pada HMI (<i>Human Machine Interface</i>)	57
Gambar 4.7	Grafik Keluaran Arus Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 0021 di Kecepatan Angin 5 m/s	59
Gambar 4.8	Grafik Keluaran Arus Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 0021 di Kecepatan Angin 6 m/s	59
Gambar 4.9	Grafik Keluaran Arus Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 0021 di Kecepatan Angin 7 m/s	60
Gambar 4.10	Grafik Keluaran Tegangan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 0021 di Kecepatan Angin 5 m/s	61
Gambar 4.11	Grafik Keluaran Tegangan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 0021 di Kecepatan Angin 6 m/s	62
Gambar 4.12	Grafik Keluaran Tegangan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 0021 di Kecepatan Angin 7 m/s	62
Gambar 4.13	Grafik Daya yang Dihasilkan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 0021 di Kecepatan Angin 5 m/s	64
Gambar 4.14	Grafik Daya yang Dihasilkan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 0021 di Kecepatan Angin 6 m/s	64

Gambar 4.15	Grafik Daya yang Dihasilkan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 0021 di Kecepatan Angin 7 m/s	65
Gambar 4.16	Grafik RPM Saat Generator Berputar Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 0021 di Kecepatan Angin 5 m/s	66
Gambar 4.17	Grafik RPM Saat Generator Berputar Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 0021 di Kecepatan Angin 6 m/s	66
Gambar 4.18	Grafik RPM Saat Generator Berputar Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 0021 di Kecepatan Angin 7 m/s	67
Gambar 4.19	Grafik Keluaran Arus Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 0021 di Kecepatan Angin 5 m/s	68
Gambar 4.20	Grafik Keluaran Arus Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 0021 di Kecepatan Angin 6 m/s	68
Gambar 4.21	Grafik Keluaran Arus Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 0021 di Kecepatan Angin 7 m/s	69
Gambar 4.22	Grafik Keluaran Tegangan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 0021 di Kecepatan Angin 5 m/s	70
Gambar 4.23	Grafik Keluaran Tegangan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 0021 di Kecepatan Angin 6 m/s	71
Gambar 4.24	Grafik Keluaran Tegangan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 0021 di Kecepatan Angin 7 m/s	71
Gambar 4.25	Grafik Daya yang Dihasilkan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 0021 di Kecepatan Angin 5 m/s	73

Gambar 4.26	Grafik Daya yang Dihasilkan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 0021 di Kecepatan Angin 6 m/s	73
Gambar 4.27	Grafik Daya yang Dihasilkan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 0021 di Kecepatan Angin 7 m/s	74
Gambar 4.28	Grafik RPM Saat Generator Berputar Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 0021 di Kecepatan Angin 5 m/s	75
Gambar 4.29	Grafik RPM Saat Generator Berputar Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 0021 di Kecepatan Angin 6 m/s	75
Gambar 4.30	Grafik RPM Saat Generator Berputar Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 0021 di Kecepatan Angin 7 m/s	76
Gambar 4.31	Grafik Keluaran Arus Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 6412 di Kecepatan Angin 5 m/s	77
Gambar 4.32	Grafik Keluaran Arus Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 6412 di Kecepatan Angin 6 m/s	77
Gambar 4.33	Grafik Keluaran Arus Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 6412 di Kecepatan Angin 7 m/s	78
Gambar 4.34	Grafik Keluaran Tegangan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 6412 di Kecepatan Angin 5 m/s	79
Gambar 4.35	Grafik Keluaran Tegangan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 6412 di Kecepatan Angin 6 m/s	80
Gambar 4.36	Grafik Keluaran Tegangan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 6412 di Kecepatan Angin 7 m/s	80

Gambar 4.37	Grafik Daya yang Dihasilkan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 6412 di Kecepatan Angin 5 m/s	82
Gambar 4.38	Grafik Daya yang Dihasilkan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 6412 di Kecepatan Angin 6 m/s	82
Gambar 4.39	Grafik Daya yang Dihasilkan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 6412 di Kecepatan Angin 7 m/s	83
Gambar 4.40	Grafik RPM Saat Generator Berputar Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 6412 di Kecepatan Angin 5 m/s	84
Gambar 4.41	Grafik RPM Saat Generator Berputar Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 6412 di Kecepatan Angin 6 m/s	84
Gambar 4.42	Grafik RPM Saat Generator Berputar Dengan Menggunakan Model Bilah Fiber NACA 6412 di Kecepatan Angin 7 m/s	85
Gambar 4.43	Grafik Keluaran Arus Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 6412 di Kecepatan Angin 5 m/s	86
Gambar 4.44	Grafik Keluaran Arus Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 6412 di Kecepatan Angin 6 m/s	86
Gambar 4.45	Grafik Keluaran Arus Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 6412 di Kecepatan Angin 7 m/s	87
Gambar 4.46	Grafik Keluaran Tegangan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 6412 di Kecepatan Angin 5 m/s	88
Gambar 4.47	Grafik Keluaran Tegangan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 6412 di Kecepatan Angin 6 m/s	89

Gambar 4.48	Grafik Keluaran Tegangan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 6412 di Kecepatan Angin 7 m/s	89
Gambar 4.49	Grafik Daya yang Dihasilkan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 6421 di Kecepatan Angin 5 m/s	91
Gambar 4.50	Grafik Daya yang Dihasilkan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 6421 di Kecepatan Angin 6 m/s	91
Gambar 4.51	Grafik Daya yang Dihasilkan Generator Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 6421 di Kecepatan Angin 7 m/s	92
Gambar 4.52	Grafik RPM Saat Generator Berputar Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 6421 di Kecepatan Angin 5 m/s	93
Gambar 4.53	Grafik RPM Saat Generator Berputar Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 6421 di Kecepatan Angin 6 m/s	93
Gambar 4.54	Grafik RPM Saat Generator Berputar Dengan Menggunakan Model Bilah Kayu NACA 6421 di Kecepatan Angin 7 m/s	94

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 4.1 Pengujian Anemometer	49
Tabel 4.2 Pengujian Sensor Tegangan	50
Tabel 4.3 Pengujian Sensor Arus	52
Tabel 4.4 Pengujian Sensor <i>Rotary Encoder</i>	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan sumber daya energi yang paling banyak digunakan adalah jenis sumber daya energi yang tidak dapat diperbarui.[1] Jenis sumber daya energi yang tidak dapat diperbarui apabila dipakai terus menerus dan tidak adanya pembaharuan lambat laun pasti akan habis. Sadar hal ini akan terjadi, tuntutan untuk semakin mengubah kebiasaan tersebut semakin besar. Manusia dituntut untuk beralih menuju sumber daya energi alternatif lain yang dapat digunakan terus-menerus dalam jangka panjang. Salah satu sumber daya energi alternatif yang dapat digunakan dalam jangka panjang adalah angin.[2]

Angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang potensial untuk menghasilkan energi listrik. Melimpahnya angin di Indonesia banyak dimanfaatkan untuk berbagai kegiatan salah satunya untuk pembangkit listrik tenaga angin. Pemanfaatan energi angin untuk pembangkit listrik tenaga angin ini melalui proses konversi yaitu dari energi kinetik angin dikonversikan ke energi mekanik poros turbin dan selanjutnya diubah oleh generator menjadi listrik. Energi kinetik yang terdapat pada angin dapat diubah menjadi energi mekanik untuk memutar peralatan (pompa piston, penggilingan, dan lain-lain). Sementara itu, pengolahan selanjutnya dari energi mekanik yaitu untuk memutar generator yang dapat menghasilkan listrik. Kedua proses perubahan ini disebut konversi energi angin, sedangkan sistem atau alat yang melakukannya disebut Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) berupa *wind turbine* atau lebih dikenal sebagai turbin angin dan untuk penggerak mekaniknya menggunakan kincir angin dalam bentuk *blade* (bilah).[3]

Fungsi turbin angin sebagai penghasil listrik tentu diharapkan dapat beroperasi secara terus-menerus agar pasokan listrik selalu tersedia. Sehingga turbin angin perlu dipantau atau diamati performanya.[4] Pemantauan dilakukan pada parameter pembangkit yang dihasilkan, yaitu tegangan, arus, serta besar daya yang dihasilkan saat turbin angin berputar berdasarkan putaran rotor pada generator. Pemantauan kinerja turbin ini menggunakan *datalogger* sebagai media perekam kinerja turbin angin dari waktu ke waktu secara otomatis[5], media penyimpanan datanya menggunakan memori eksternal yaitu berupa *SDCard* [6], serta mengintegrasikan semua sensor menggunakan LCD sebagai *display* dan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai tampilan secara *realtime*.

Untuk dapat mengetahui kinerja turbin angin saat turbin angin berputar sehingga mampu mengakuisisi data parameter dari turbin angin tanpa terbatas tempat dan waktu, serta dapat berjalan secara *realtime*. Oleh karena itu, dibuat tugas akhir ini dengan judul “PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* KINERJA TURBIN ANGIN TIPE *DARRIEUS* SUMBU VERTIKAL BERDASARKAN PUTARAN ROTOR PADA GENERATOR”

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka permasalahan dalam tugas akhir ini adalah bagaimana melakukan rancang bangun dan mengetahui kinerja turbin angin?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Alat yang dirancang dan diimplementasikan berfungsi untuk mengetahui kecepatan angin, tegangan, arus, rpm, serta daya yang dihasilkan turbin angin.

- b. Sensor yang digunakan adalah *rotary encoder* sebagai sensor rpm, ACS712 sebagai sensor arus, *voltage sensor* sebagai sensor tegangan, dan anemometer sebagai sensor kecepatan angin.
- c. Data *monitoring* dimasukkan pada *datalogger* serta ditampilkan pada LCD dan HMI.

1.4 Tujuan

Tujuan dari perancangan sistem *monitoring* ini adalah memberikan solusi pada rumusan masalah yaitu mampu merancang sistem *monitoring* pada turbin angin serta mengetahui kinerja turbin angin berupa tegangan, arus, rpm, serta daya yang dihasilkan saat turbin angin berputar.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai sistem *monitoring* kinerja turbin angin dengan menggunakan sensor arus, sensor tegangan, sensor kecepatan angin, sensor *rotary encoder* serta menggunakan ATmega128 sebagai mikrokontroler, data hasil *monitoring* kemudian akan ditampilkan pada LCD dan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai tampilan secara *realtime*. Tugas akhir ini diharapkan dapat dijadikan sebagai media pembelajaran serta dapat menambah pengetahuan bagi pembaca.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat dan sistematika penulisan dalam tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas mengenai teori-teori penunjang serta perangkat-perangkat yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini.

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada bab ini diuraikan tentang penjelasan mengenai perancangan dan pembuatan alat.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini memuat tentang hasil pengujian dari perangkat yang dibuat beserta pembahasannya.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini memuat tentang kesimpulan dan saran dari pembuatan tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Energi merupakan suatu kekuatan yang dimiliki oleh suatu zat sehingga zat tersebut mempunyai pengaruh pada keadaan sekitarnya. Menurut mediumnya dikenal banyak jenis energi. Diantaranya, energi gelombang, energi arus laut, energi kosmos, energi yang terkandung pada senyawa atom, dan energi-energi lain yang bila dimanfaatkan akan berguna bagi kebutuhan manusia. Salah satu dari energi tersebut adalah energi angin yang jumlahnya tak terbatas dan banyak digunakan untuk meringankan kerja manusia.[7]

Angin memberikan energi gerak sehingga mampu menggerakkan perahu layar, kincir angin, dan bisa dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik yaitu berupa turbin angin. Keberadaan energi angin ini terdapat di lapisan atmosfer bumi yang banyak mengandung partikel udara dan gas. Lapisan troposfer merupakan lapisan atmosfer terendah bumi dan dilapisan ini semua peristiwa cuaca termasuk angin terjadi.[8]

Energi angin adalah energi yang terkandung pada massa udara yang bergerak. Energi angin berasal dari energi matahari. Pemanasan bumi oleh sinar matahari menyebabkan perbedaan massa jenis (ρ) udara. Perbedaan massa jenis ini menyebabkan perbedaan tekanan pada udara sehingga akan terjadi aliran fluida dan menghasilkan angin. Kondisi aliran angin dipengaruhi oleh medan atau permukaan bumi yang dilalui oleh aliran angin dan perbedaan temperatur permukaan bumi.

Bentuk energi yang terdapat pada angin yang dapat diekstraksi oleh turbin angin adalah energi kinetiknya. Angin adalah massa udara yang bergerak. Besarnya energi yang

terkandung pada angin tergantung pada kecepatan angin dan massa jenis angin atau udara yang bergerak tersebut. Jika diformulasikan, besar energi kinetik yang terkandung pada angin atau udara bergerak yang bermassa m dan berkecepatan v adalah :

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- E_k = Energi kinetik (joule)
- m = massa udara (kg)
- v = kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik yang terdapat pada angin berbanding lurus dengan massa jenis udara (ρ) dan berbanding lurus dengan kuadrat dari kecepatannya.

2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin merupakan salah satu alat yang mekanisme kerjanya memanfaatkan energi angin dimana energi angin merupakan salah satu jenis sumber energi terbarukan yang potensial untuk menghasilkan energi listrik melalui proses konversi yaitu dari energi kinetik angin dikonversikan ke energi mekanik poros turbin dan selanjutnya diubah oleh generator menjadi listrik. Energi kinetik yang terdapat pada angin dapat diubah menjadi energi mekanik untuk memutar peralatan (pompa piston, penggilingan, dan lain-lain). Sementara itu, pengolahan selanjutnya dari energi mekanik yaitu untuk memutar generator yang dapat menghasilkan listrik dan untuk penggerak mekaniknya menggunakan kincir angin dalam bentuk *blade* (bilah).[9]

Turbin angin sumbu vertikal atau yang lebih dikenal dengan *vertical axis wind turbine* (VAWT) memiliki ciri utama yaitu keberadaan poros tegak lurus terhadap arah aliran angin atau

tegak lurus terhadap permukaan tanah. Turbin Angin Sumbu Vertikal atau TASV terdiri dari beberapa tipe yang paling umum dijumpai yaitu Savonius Rotor, Darrieus Rotor, dan H-Rotor. [10]

a. *Savonius Rotor*

Turbin angin dengan konstruksi sederhana yang ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius (1922). Turbin yang termasuk dalam kategori TASV (Turbin Angin Sumbu Vertikal) ini memiliki rotor dengan bentuk dasar setengah silinder. Konsep turbin angin *savonius* cukup sederhana, prinsip kerjanya berdasarkan *differential drag windmill*. Pada perkembangan selanjutnya, *savonius* rotor tidak lagi berbentuk setengah silinder tetapi telah mengalami modifikasi guna peningkatan performansi dan efisiensi.

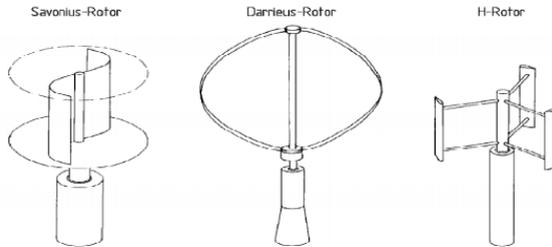
b. *Darrieus Rotor*

Merupakan salah satu TASV (Turbin Angin Sumbu Vertikal) dengan efisiensi terbaik serta mampu menghasilkan torsi cukup besar pada putaran dan kecepatan angin yang tinggi. Turbin angin *darrieus* mengaplikasikan *blade* dengan bentuk dasar *aerofoil* NACA. Prinsip kerja turbin angin *darrieus* yaitu memanfaatkan gaya *lift*. Kelemahan utama dari turbin angin *darrieus* yaitu yakni memiliki torsi awal berputar yang sangat kecil hingga tidak dapat melakukan *self start*. Pada aplikasinya, *darrieus wind turbine* selalu membutuhkan perangkat bantuan untuk melakukan putaran awal. Perangkat bantu yang digunakan berupa motor listrik atau umumnya lebih sering menggunakan gabungan turbin angin *savonius* pada poros utama. Untuk menghindari fluktuasi torsi yang besar, aplikasi turbin angin *darrieus* umumnya menggunakan tiga *blade*.

c. H-Rotor

Turbin tipe H adalah variasi dari tipe *darrieus*.

Keduanya sama-sama menggunakan prinsip gaya angkat untuk menggerakkan sudu. Tipe H jauh lebih simpel dari tipe *darrieus*. Bila tipe *darrieus* menggunakan bilah yang ditekuk, maka tipe H menggunakan bilah lurus. Bilah ini dihubungkan ke poros menggunakan batang atau lengan, kemudian poros langsung dihubungkan dengan generator.



Gambar 2.1 Jenis-jenis turbin angin sumbu vertikal

2.3 Sistem *Monitoring*

Monitoring didefinisikan sebagai siklus kegiatan yang mencakup pengumpulan, peninjauan ulang, pelaporan, dan tindakan atas informasi suatu proses yang sedang diimplementasikan. Umumnya, *monitoring* digunakan dalam *checking* antara kinerja dan target yang telah ditentukan. *Monitoring* ditinjau dari hubungan terhadap manajemen kinerja adalah proses terintegrasi untuk memastikan bahwa proses berjalan sesuai rencana (*on the track*). *Monitoring* dapat memberikan informasi keberlangsungan proses untuk menetapkan langkah menuju ke arah perbaikan yang berkesinambungan. Pada pelaksanaannya, *monitoring* dilakukan ketika suatu proses sedang berlangsung. *Level* kajian sistem *monitoring* mengacu pada

kegiatan per kegiatan dalam suatu bagian, misalnya kegiatan pemesanan barang pada *supplier* oleh bagian *purchasing*, dimana indikator yang menjadi acuan *monitoring* adalah *output* per proses / per kegiatan. Umumnya, pelaku *monitoring* merupakan pihak-pihak yang berkepentingan dalam proses, baik pelaku proses (*self monitoring*) maupun atasan / *supervisor* pekerja. Berbagai macam alat bantu yang digunakan dalam pelaksanaan sistem *monitoring*, baik *observasi* / *interview* secara langsung, dokumentasi maupun aplikasi *visual*.

Pada dasarnya, *monitoring* memiliki dua fungsi dasar yang berhubungan, yaitu *compliance monitoring* dan *performance monitoring*. *Compliance monitoring* berfungsi untuk memastikan proses sesuai dengan harapan / rencana. Sedangkan, *performance monitoring* berfungsi untuk mengetahui perkembangan organisasi dalam pencapaian target yang diharapkan. Umumnya, *output monitoring* berupa *progress report* proses. *Output* tersebut diukur secara deskriptif maupun non-deskriptif. *Output monitoring* bertujuan untuk mengetahui kesesuaian proses yang sedang berjalan. *Output monitoring* berguna pada perbaikan mekanisme proses / kegiatan di mana *monitoring* dilakukan.

2.4 Generator

Untuk menghasilkan energi listrik dari putaran turbin, perangkat turbin angin harus menggunakan generator. Generator adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja generator adalah menjadikan medan magnet yang ada disekitar konduktor mengalami fluktuasi atau perubahan, sehingga timbul tegangan listrik. Magnet yang berputar disebut rotor dan konduktor yang diam disebut stator.[11]

Dari segi sifat kemagnetan, generator dibagi menjadi 2 jenis, yaitu generator magnet tetap dan generator magnet sementara. Pada generator dengan magnet tetap, sifat

kemagnetannya tidak berubah dan tidak mudah hilang. Untuk membangkitkan listrik dengan generator ini, dilakukan dengan memutar poros generator supaya menyebabkan fluktuasi magnet dan dihasilkan tegangan listrik. Untuk generator magnet sementara sifat kemagnetannya mudah hilang. Sifat medan magnet yang terjadi pada generator ini dihasilkan dengan induksi. [12]

Untuk membangkitkan daya listrik, generator harus diberi arus listrik ketika kumparan magnetnya berputar. Dari segi arus listrik yang dihasilkan, generator dibagi 2, yaitu generator arus bolak balik (AC) dan generator arus searah (DC). Generator arus bolak balik (AC) menghasilkan tegangan yang arahnya bolak balik dan bila dihubungkan dengan beban akan menimbulkan arus bolak balik pula. Generator AC dapat menghasilkan daya pada putaran yang bervariasi bergantung pada spesifikasi rotor itu sendiri. Pada generator arus searah (DC) terdapat *rectifier* yang berfungsi untuk mengubah arus AC menjadi DC. Generator ini menghasilkan tegangan yang arahnya tetap dan bila dihubungkan dengan beban, akan menimbulkan arus searah pula. Pada umumnya generator arus searah dapat menghasilkan listrik pada putaran yang tinggi. Untuk digunakan pada turbin angin, jenis generator ini memerlukan transmisi untuk menaikkan putaran.[13]



Gambar 2.2 Generator ex motor servo AC

Pada perancangan turbin angin ini, generator yang digunakan adalah generator ex motor servo AC induksi 3 fasa yang dapat dilihat pada **Gambar 2.2**. Generator ex motor servo AC dapat menghasilkan tegangan listrik pada putaran yang rendah.

2.5 Perhitungan Torsi Motor Induksi

Tegangan motor induksi per fasa :

$$V_1 = V_{ph} \dots\dots\dots(2.2)$$

Untuk menghitung arus fluks adalah :

$$I\phi = \frac{V_{AB}}{jX_m} \dots\dots\dots(2.3)$$

Untuk mengitung VAB adalah :

$$V_{AB} = V_1 - I_1 (z_1) \dots\dots\dots(2.4)$$

Untuk menghitung arus masukan adalah :

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_T} \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk menghitung arus rotor adalah :

$$I_2 = I_1 - I\phi \dots\dots\dots(2.6)$$

Untuk menghitung impedansi total adalah :

$$Z_T = (R_1 + jX_1) + \frac{j^X_m(\frac{R_2'}{s} + jX_2')}{\frac{R_2'}{s} + j(X_m + X_2')} \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk menghitung faktor daya adalah :

$$Pf = \cos \phi \dots\dots\dots(2.8)$$

Untuk motor induksi tiga fasa daya masukan dinyatakan melalui persamaan :

$$P_{in} = P_{rl} + P_g \dots\dots\dots(2.9)$$

Sedangkan rugi-rugi daya pada stator adalah :

$$P_{rl} = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 \dots\dots\dots(2.10)$$

Daya yang di transfer dari stator menuju rotor adalah :

$$P_g = 3I_2^2 \frac{R_2'}{s} \dots\dots\dots(2.11)$$

Untuk rugi-rugi pada rotor adalah :

$$P_{rot} = I_o^2 \cdot R_o \dots\dots\dots(2.12)$$

Daya mekanik adalah :

$$P_m = 3I_2^2 R_2 \left(\frac{1-s}{s}\right) \dots \dots \dots (2.13)$$

Daya keluaran adalah :

$$P_{out} = P_m - P_{rot} \dots \dots \dots (2.14)$$

Maka efisiensi motor induksi dinyatakan melalui persamaan sebagai berikut.

$$\mu = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100 \dots \dots \dots (2.15)$$

Oleh karena itu Torsi (T) secara umum dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_r} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dengan : r = kecepatan sudut (mekanik) dari rotor (rad/dtk) dalam radian per detik adalah :

$$\omega_s = \frac{2\pi NS}{60} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$\omega_r = \omega(1 - s) \dots \dots \dots (2.18)$$

Bila dilihat torsi mekanik yang di transfer pada rotornya akan di peroleh sebagai berikut :

$$T_g = \frac{1sE_2^2 R_2^1}{\omega_s [R_2'^2 + (sX_2')^2]} = \frac{S\alpha}{s^2 + \alpha^2} k \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana :

$$k = \frac{E_2^2}{\omega_2 X_2'} \alpha = \frac{r_2'}{X_2'}$$

Selanjutnya torsi start yang di butuhkan pada motor induksi adalah dengan memasukkan nilai s = 1. Torsi mekanik yang bermanfaat untuk memuar rotor menjadi :

$$T_m = \frac{1}{\omega_s} P_m = P_g(1 - s) = \frac{s\alpha(1-s)}{s^2 + \alpha^2} k \dots \dots (2.20)$$

Torsi maksimum di capai pada $\frac{dt}{ds} = 0$ maka dapat diperoleh:

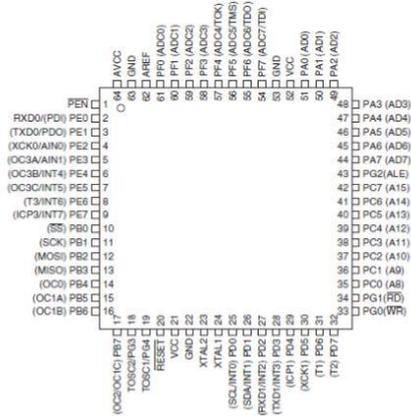
$$\begin{aligned}\frac{dt}{ds} &= \alpha(s^2 + \alpha^2) - s\alpha(2s) = 0 \\ s^2 + \alpha^2 - 2s^2 &= 0 \\ s^2 &= \alpha^2 \\ s &= \pm\alpha\end{aligned}$$

Dari keadaan ini berarti torsi maksimum (T_{mx}) adalah

$$T_{mx} = \frac{k\alpha^2}{2\alpha^2} = \frac{1}{2}k \dots\dots\dots(2.21)$$

2.6 Mikrokontroller ATmega128

Mikrokontroller adalah pusat kerja dari suatu sistem elektronika seperti halnya mikroprosesor sebagai otak komputer. Adapun nilai plus bagi mikrokontroller adalah terdapatnya memori dan port *input/output* dalam suatu kemasan IC yang kompak. Kemampuannya yang *programmable*, fitur yang lengkap seperti ADC internal, EEPROM internal, port I/O, komunikasi serial. Mikrokontroller ATmega128 merupakan salah satu mikrokontroller keluaran ATMEL dengan 128 *Kilobyte flash PEROM (Programmable and Erasable Read Only Memory)*. ATmega128 memiliki memori dengan teknologi *non volatile* memori, sehingga isi memori tersebut dapat diisi ulang ataupun dihapus berkali-kali. Mikrokontroller ATmega128 secara garis besar terdiri dari CPU yang terdiri dari 32 buah *register*, saluran I/O, ADC, *port* antarmuka (*interface*), *port serial*. Mikrokontroller ATmega128 merupakan anggota keluarga mikrokontroller AVR (*Advance Versatile RISC*). [14]



Gambar 2.3 Arsitektur mikrokontroler ATmega128

2.7 Anemometer

Anemometer adalah alat yang berfungsi untuk mengukur kecepatan angin, satuan yang digunakan adalah knot. Mekanisme kerja dari alat ini yaitu angin yang bertiup akan membuat anemometer berputar dan kecepatan angin akan ditunjukkan oleh spidometer yang tertera pada alat. Anemometer berupa baling-baling yang as nya dihubungkan dengan dinamo penghasil arus listrik. Apa bila angin bertiup baling-baling akan berputar dan memutar dinamo dan akan diperoleh arus listrik. Arus listrik ini kemudian *diconvert* ke satuan kecepatan, knot atau m/detik. Alat penunjuk arah angin berupa bendera yang kaku (lempengan) yang as nya dihubungkan dengan tahanan listrik geser (tahanan geser). Besarnya tahanan akan berubah-ubah seiring dengan perubahan bendera arah penunjuk angin. Arus listrik yang tetap dialirkan melalui tahanan geser tersebut, setelah melalui tahanan tersebut otomatis besarnya arus listrik akan berubah dan *diconvert* ke derajat arah angin/mata angin.[15]

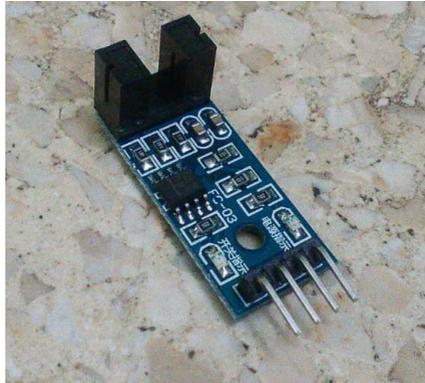


Gambar 2.4 Anemometer

2.8 *Sensor Rotary Encoder*

Sensor putaran atau kecepatan dapat dibuat dengan sebuah *optocoupler* tipe “U” dan sebuah roda cacah. Sensor putaran atau kecepatan ini dapat digunakan untuk membaca putaran suatu obyek yang berputar seperti roda kendaraan, putaran motor listrik dan lain nya. Sensor putaran atau kecepatan ini dibuat dengan *optocoupler* tipe “U” yang ditengahnya diletakan sebuah roda cacah. *Optocoupler* merupakan komponen optoisolator yang memiliki karakteristik penerima (*photo transistor*) akan mengalami perubahan logika bila terjadi perubahan intensitas cahaya yang dipancarkan oleh pemancar (LED infra merah) untuk penerima. Kecerahan led berbanding lurus dengan arus diodanya. Karena arus kolektor sebanding dengan tingkat kecerahan dari led maka dapat dikatakan bahwa arus dioda mengendalikan arus kolektor seperti transistor pada umumnya. Biasanya arus yang diperbolehkan mengalir pada infra merah adalah berkisar pada hingga 25 miliamper. Foto transistor merupakan jenis transistor yang peka terhadap cahaya infra merah.[16]

Rotary encoder, atau disebut juga *shaft encoder*, merupakan perangkat elektromekanikal yang digunakan untuk mengkonversi posisi *angular* (sudut) dari *shaft* (lubang) atau roda ke dalam kode digital, menjadikannya semacam transduser.



Gambar 2.5 Sensor *rotary encoder*

2.9 Sensor Arus ACS712

ACS712 adalah sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor ini telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukurannya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil. Sensor ini digunakan pada aplikasi-aplikasi di bidang industri, komersial, maupun komunikasi. Contoh aplikasinya antara lain untuk sensor kontrol motor, deteksi dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk catu daya tersaklar, sensor proteksi terhadap arus lebih, dan lain sebagainya. [17]

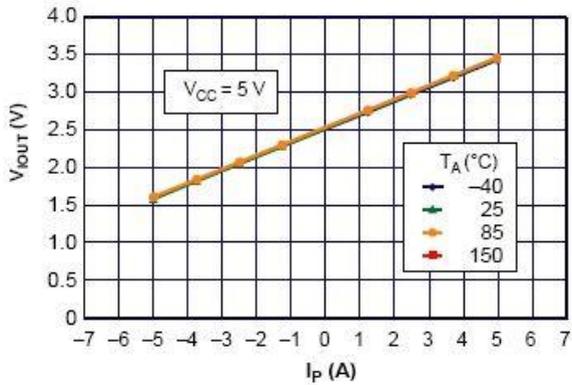
Sensor ini memiliki pembacaan dengan ketepatan yang tinggi, karena di dalamnya terdapat rangkaian *offset* rendah linier

medan dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga. Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya yang menghasilkan medan magnet yang di tangkap oleh IC medan terintegrasi dan diubah menjadi tegangan proporsional. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen yang ada di dalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan transduser medan secara berdekatan. [18]



Gambar 2.6 Sensor arus ACS712

Sensor ACS712 ini pada saat tidak ada arus yang terdeteksi, maka keluaran sensor adalah 2,5 V. Dan saat arus mengalir dari IP+ ke IP-, maka keluaran akan $>2,5$ V. Sedangkan ketika arus listrik mengalir terbalik dari IP- ke IP+, maka keluaran akan $<2,5$ V.[19]



Gambar 2.7 Grafik tegangan keluaran sensor ACS712 terhadap arus listrik yang terukur

2.10 Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan merupakan sebuah modul sensor tegangan yang menggunakan prinsip pembagi tegangan. Modul ini dapat mengurangi tegangan input hingga 5 kali dari tegangan asli. Tegangan analog input maksimum mikrokontroler yaitu 5 volt, sehingga modul tegangan dapat diberi masukan tidak melebihi 5 X 5 Volt atau sebesar 25 Volt.[20]



Gambar 2.8 Sensor tegangan

Pada dasarnya pembacaan sensor hanya dirubah dalam bentuk bilangan dari 0 sampai 1023. Karena chip Atmega128 memiliki 10 bit AD, maka resolusi pembacaan tegangan modul surya adalah sebesar $0,00489 \text{ V}$ dari ($5 \text{ V}/1023$).

2.11 Datalogger

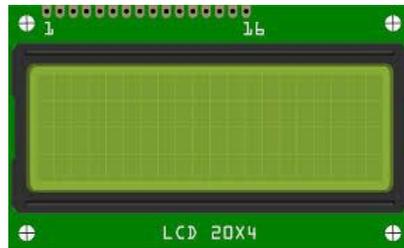
Datalogger (perekam data) adalah sebuah alat elektronik yang mencatat data dari waktu ke waktu baik yang terintegrasi dengan sensor dan instrumen didalamnya maupun eksternal sensor dan instrumen. Atau secara singkat *datalogger* adalah alat untuk melakukan *data logging*. *Logging data* (*data logging*) adalah proses otomatis pengumpulan dan perekaman data dari sensor untuk tujuan pengarsipan atau tujuan analisis. Sensor digunakan untuk mengkonversi besaran fisik menjadi sinyal listrik yang dapat diukur secara otomatis dan akhirnya dikirimkan ke komputer atau mikroprosesor untuk pengolahan. Berbagai macam sensor sekarang tersedia. Selain itu, banyak peralatan laboratorium dengan *output* listrik dapat digunakan bersama dengan konektor yang sesuai dengan *datalogger*.



Gambar 2.9 Modul OpenLogger

2.12 *Liquid Crystal Display (LCD)*

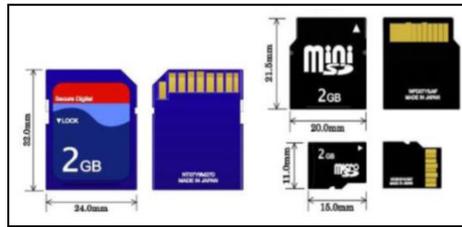
Liquid Crystal Display (LCD) adalah modul penampil yang banyak digunakan karena tampilannya menarik. LCD merupakan kristal cair pada layar yang digunakan sebagai tampilan dengan memanfaatkan listrik untuk mengubah-ubah bentuk kristal-kristal cairnya sehingga membentuk tampilan angka dan atau huruf pada layar. Ada dua tipe utama dari tampilan LCD, yaitu numerik (biasa digunakan pada jam dan kalkulator) dan teks *alphanumeric* (biasa digunakan pada *photocoupler* dan *mobile telephone*).[21]



Gambar 2.10 LCD (*Liquid Crystal Display*) 20x4

2.13 **Media Penyimpanan**

Micro SD seringkali digunakan sebagai sarana penyimpan data pada *Personal Digital Assistant (PDA)*, kamera digital, dan telepon seluler (ponsel). SD card memiliki dimensi 32 mm x 24 mm x 2,1 mm (panjang x lebar x tebal). Pengembangan lebih lanjut dari media penyimpanan ini menghasilkan dimensi yang lebih kecil dan kompak seiring dengan perkembangan zaman yang berupa Mini SD dan Micro SD seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Bentuk fisik dan dimensi SD Card, Mini SD, dan MicroSD

2.14 Komunikasi Data Serial USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*)

Serial USART menggunakan metode *full duplex* (dua arah) antara *receiver* dan *transmitter*. USART biasanya digunakan untuk komunikasi *asynchronous*. Artinya, tidak ada jam umum atau *clock* antara pemancar dan penerima untuk membuat mereka tetap sinkron satu sama lain. Untuk mempertahankan sinkronisasi antara pemancar dan penerima, *framing start* dan *stop bits* digunakan di awal dan akhir setiap *byte* data dalam urutan transmisi.

The USART Atmel juga memiliki fitur sinkron. Ketika menghubungkan komponen melalui *serial interface*, penting untuk memastikan parameter komunikasi antara pemancar dan penerima dicocokkan. Baik pemancar maupun penerima harus diatur untuk *baudrate* yang sama, jumlah *start-bit* dan *stop-bit* yang sama, paritas, polaritas, level tegangan, dan lain-lain.

a. USART Transmitter

Pemancar USART terdiri dari *Transmit Shift Register*. Data yang akan dikirim dimuat ke dalam *Transmit Shift Register* melalui I/O USART Data Register (UDR). *Bit framing* mulai dan berhenti secara otomatis ditambahkan ke data dalam *Transmit Shift Register*. Paritas secara otomatis dihitung dan ditambahkan ke *Transmit Shift Register*. Data

kemudian digeser keluar dari *Transmit Shift Register* melalui pin TxD sedikit demi sedikit pada *baudrate* yang ditetapkan. Pemancar USART dilengkapi dengan dua bendera status: UDRE dan bendera TXC. Tanda *USART Data Register Empty* (UDRE) set ketika *buffer* transmisi kosong mengindikasikan siap menerima data baru. *Bit* ini harus ditulis ke nol ketika menulis *USART Control and Status Register A* (UCSRA). Bit UDRE dibersihkan dengan menulis ke I/O *USART Data Register* (UDR). *The Transmit Complete* (TXC) *Flag bit* diatur ke logika satu ketika seluruh *frame* di *Transmit Shift Register* telah digeser keluar, dan tidak ada data baru yang ada di *buffer transmisi*. *Bit* TXC dapat disetel ulang dengan menulis logika untuknya.

b. *USART Receiver*

USART receiver secara virtual identik dengan *USART transmitter* kecuali arah aliran data dibalik. Data diterima sedikit demi sedikit melalui pin RxD di *baudrate* yang ditetapkan. *Receiver USART* dilengkapi dengan *Receive Complete* (RXC) *Flag*. Bendera RXC adalah logika satu ketika data yang belum dibaca ada di *buffer* penerima.

c. *USART Register*

USART Control and Status Register A (UCSRA). *Register UCSRA* berisi bit RXC, TXC, dan UDRE. Fungsi *bit-bit* ini sudah dibahas.

USART Control and Status Register B (UCSRB). *Register UCSRB* berisi *bit Receiver Enable* (RXEN) dan *bit Transmitter Enable* (TXEN). *Bit-bit* ini adalah saklar "on / off" untuk penerima dan pemancar masing-masing. *Register UCSRB* juga berisi *bit UCSZ2*. *Bit UCSZ2* dalam *register UCSRB* dan *bit UCSZ [1: 0]* yang terdapat dalam daftar UCSRC bersama-sama mengatur ukuran karakter data. *USART Control and Status Register C* (UCSRC). Daftar UCSRC memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan

fitur data ke aplikasi yang ada di tangan. Harus ditekankan bahwa baik pemancar maupun penerima dikonfigurasi dengan fitur data yang sama untuk transmisi data yang tepat. UCSRC berisi *bit-bit* berikut :

1. USART *Mode Select* (UMSEL) – 0 : operasi *asynchronous*, 1: operasi sinkron
2. USART *Parity Mode* (UPM[1:0]) – 00 : tidak ada paritas, 10 : bahkan paritas, 11 : paritas ganjil
3. USART *Stop Bit Select* (USBS) – 0 : 1 *stop bit*, 1 : 2 *stop bits*
4. USART *Character Size* (data width) (UCSZ[2:0]) – 000 : 5-bit, 001 : 6-bit, 010 : 7-bit, 011 : 8-bit, 111 : 9-bit

USART Control and Status Register A (UCSRA)

RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM
7							0

USART Control and Status Register B (UCSRB)

RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8
7							0

USART Control and Status Register C (UCSRC)

URSEL-1	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL
7							0

USART Data Register - UDR

UDR(Read)

RXB7	RXB6	RXB5	RXB4	RXB3	RXB2	RXB1	RXB0
------	------	------	------	------	------	------	------

UDR(Write)

TXB7	TXB6	TXB5	TXB4	TXB3	TXB2	TXB1	TXB0
7							0

USART Baud Rate Registers - UBRRH and UBRRL

UBRRH

URSEL-0	---	---	---	UBRR11	UBRR10	UBRR9	UBRR8
---------	-----	-----	-----	--------	--------	-------	-------

UBRRL

UBRR7	UBRR6	UBRR5	UBRR4	UBRR3	UBRR2	UBRR1	UBRR0
7							0

Gambar 2.12 Register USART

2.15 Analog to Digital Conversion (ADC)

Mendapatkan informasi dari sebuah sinyal menggunakan perangkat analog adalah rumit dan kurang akurat. Karena itu kita gunakan metode pengolahan yang lebih sederhana, fleksibel dan akurat, yaitu pengolahan sinyal digital (DSP).

Untuk pengolah sinyal analog dengan perangkat digital, yang pertama dilakukan adalah mengubah sinyal *analog* menjadi sederetan angka yang mempunyai keakuratan tertentu. Langkah ini disebut konversi *analog* ke *digital*, menggunakan alat yang disebut ADC (*Analog to Digital Converter*). Supaya sinyal *digital* ini cukup akurat untuk dikembalikan lagi menjadi sinyal *analog* maka perlu diperhatikan masalah jumlah *sampling* yang dipilih oleh ADC dan besarnya angka yang dipakai untuk mewakili tiap *sampling*. Teori *sampling* membantu kita untuk menentukan jumlah *sampling* yang diperlukan untuk menghasilkan kembali sinyal *analog* berdasarkan frekuensi maksimum pada sinyal *analog* yang diolah. Blok diagram dasar dari sebuah ADC ditunjukkan oleh **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Proses konversi sinyal analog menjadi sinyal digital

2.16 HMI (*Human Machine Interface*)

HMI (*Human Machine Interface*) adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin. HMI dapat berupa pengendali dan visualisasi status baik dengan manual maupun melalui visualisasi komputer yang bersifat *real time*. Sistem HMI biasanya bekerja secara *online* dan *real time* dengan membaca data yang dikirimkan melalui I/O *port* yang digunakan oleh sistem *controller*-nya. *Port* yang biasanya digunakan untuk *controller* dan akan dibaca oleh HMI antara lain adalah *port com*,

port USB, *port* RS232 dan ada pula yang menggunakan *port serial*. Tugas dari HMI (*Human Machine Interface*) yaitu membuat visualisasi dari teknologi atau sistem secara nyata. Sehingga dengan desain HMI dapat disesuaikan sehingga memudahkan pekerjaan fisik. [22]

Tujuan dari HMI adalah untuk meningkatkan interaksi antara mesin dan operator melalui tampilan layar komputer dan memenuhi kebutuhan pengguna terhadap informasi sistem. HMI dalam industri *manufacture* berupa suatu tampilan GUI (*Graphic User Interface*) pada suatu tampilan layar komputer yang akan dihadapi oleh operator mesin maupun pengguna yang membutuhkan data kerja mesin. HMI terdapat berbagai macam visualisasi untuk *monitoring* dan data mesin yang terhubung secara *online* dan *real time*. HMI akan memberikan suatu gambaran kondisi mesin yang berupa peta mesin produksi dapat dilihat bagian mesin mana yang sedang bekerja. Pada HMI juga terdapat visualisasi pengendali mesin berupa tombol, *slider*, dan sebagainya yang dapat difungsikan untuk mengendalikan mesin sebagaimana mestinya. HMI juga menampilkan data-data rangkuman kerja mesin.[23]

2.17 Bahasa Pemrograman

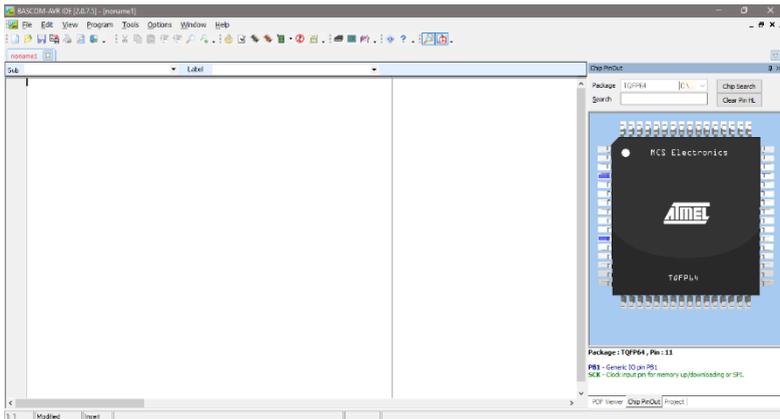
Secara umum bahasa pemrograman mikrokontroler adalah bahasa tingkat rendah yaitu bahasa *assembler*, di mana setiap mikrokontroler memiliki bahasa pemrograman yang berbeda-beda. Karena banyaknya hambatan dalam penggunaan bahasa *assembler*, maka mulai dikembangkan *compiler* atau penerjemah untuk bahasa tingkat tinggi.[24] Pada keluarga ATmega atau mikrokontroler AVR, bahasa tingkat tinggi yang banyak dikembangkan antara lain *Basic*, *Pascal*, dan bahasa C. Dalam melakukan pemrograman, banyak *software* yang digunakan antara lain AVR Studio-4 dan BASCOM-AVR. Dalam

pembuatan sistem *monitoring* kinerja turbin angin penulis menggunakan bahasa pemrogramana *Basic* dengan *software* BASCOM-AVR.

2.18 *Basic Compiler AVR (BASCOM-AVR)*

BASCOM-AVR adalah program *Basic Compiler* berbasis Windows untuk mikrokontroler keluarga AVR. BASCOM-AVR merupakan pemrograman dengan bahasa tingkat tinggi “*BASIC*” yang dikembangkan dan diluncurkan oleh *MCS Electronics* sehingga mudah dimengerti atau diterjemahkan. Dalam program BASCOM-AVR terdapat beberapa kemudahan dalam membuat program *software* ATmega 128, seperti program simulasi yang sangat berguna untuk melihat simulasi hasil dari program yang telah dibuat sebelum program di-*download* ke IC atau mikrokontroler.

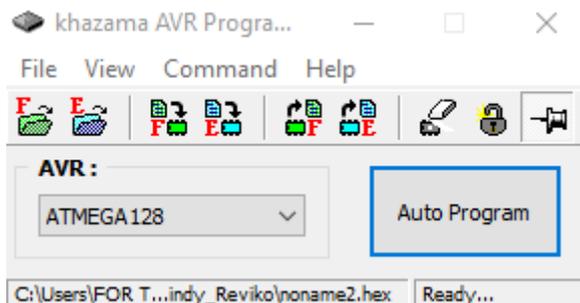
Berikut ini tampilan pada jendela program BASCOM–AVR sebelum program BASCOM-AVR dijalankan.



Gambar 2.14 Tampilan jendela program BASCOM-AVR

2.19 Khazama AVR Programmer

Software ini digunakan untuk meng-*upload listing* program yang dibuat pada BASCOM-AVR ke mikrokontroler Atmega128. Selain itu, Khazama AVR Programmer juga dapat melakukan pengaturan *fuse bit* dan proses eksekusi program pada mikrokontroler. Berikut ini adalah tampilan Khazama AVR Programmer yang digunakan pada tugas akhir kali ini dapat dilihat pada **Gambar 2.15**.



Gambar 2.15 Khazama AVR Programmer

2.20 Karakteristik Statik

Karakteristik statik pengukuran merupakan karakteristik yang ditentukan melalui perhitungan matematik atau secara grafik. Karakteristik statik merupakan karakter yang menggambarkan parameter dari sebuah instrument pada saat keadaan *steady*. [25] Karakteristik statik terdiri dari:

a. *Range*

Range merupakan selisih antara nilai minimum dan maksimum yang terukur oleh suatu instrument atau alat ukur.

b. Akurasi

Akurasi merupakan tingkat ketelitian suatu alat dalam memberikan hasil pengukuran.

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\% \dots\dots\dots 2.22$$

c. Toleransi

Toleransi menunjukkan kesalahan maksimum yang diperbolehkan pada hasil pembacaan alat ukur.

d. Sensitivitas

Sensitivitas menunjukkan perubahan output instrument yang terjadi saat diberi kualitas pengukuran yang berbeda. Sensitivitas diperoleh dari

$$K \text{ (Sensitivitas)} = \frac{\Delta O}{\Delta I} \dots\dots\dots 2.23$$

Dimana :

O = output

I = input

e. Repeatability

Repeatability merupakan kemampuan *instrument* dalam menampilkan ulang output pengukuran yang sama pada pengukuran yang berulang.

f. Linearitas

Linearitas merupakan grafik yang menampilkan pengukuran nilai sebenarnya (input) yang dapat menghasilkan output nilai yang ditunjukkan oleh instrument (output). Pengukuran yang baik adalah ketika *input* pengukuran dan *output* pengukuran berbanding lurus (linear). Linearitas dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$O - O_{\min} = \frac{O_{\max} - O_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} (I - I_{\min}) \dots\dots\dots 2.24$$

Persamaan Linearitas :

$$O_{\text{ideal}} = KI + a \dots\dots\dots 2.25$$

Dimana:

$$K = \frac{O_{\text{max}} - O_{\text{min}}}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}} \dots\dots\dots 2.26$$

dan

$$a = O_{\text{min}} - KI_{\text{min}} \dots\dots\dots 2.27$$

Dimana :

$$O = 1.6 \times 10^{-3} I + 4.0 \dots\dots\dots 2.28$$

Persamaan Non – Linieritas :

$$\hat{N} = \frac{[O - KI + a]_{\text{max}}}{O_{\text{max}} - O_{\text{min}}} 100\% \dots\dots\dots 2.29$$

g. Error

Error dalam pengukuran dapat diartikan sebagai beda antara nilai ukuran yang terbaca dengan nilai “sebenarnya” dari obyek yang diukur. Error dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$e = 1 - A \dots\dots\dots 2.30$$

h. Histerisis

Perbedaan nilai pembacaan suatu instrumen untuk untuk suatu nilai masukan tertentu bila nilai masukan tersebut didekati dari nilai yang lebih rendah dan yang lebih tinggi. Histerisis biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase. Histerisis dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$\begin{aligned} H(I) &= O(I)_{\uparrow} - O(I)_{\downarrow}, \hat{H} = H(I)_{\max} \\ \text{sehingga,} \\ &\% \text{ maksimum histerisis} \\ &= \frac{\hat{H}}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.31 \end{aligned}$$

2.21 Teori Ketidakpastian

Ketidakpastian pengukuran merupakan tingkat seberapa besar ketidakpastian yang dihasilkan oleh suatu alat ukur. Dalam menghitung ketidakpastian pengukuran ada beberapa langkah yang harus dihitung, antara lain:

a. Koreksi

Koreksi dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$\text{Koreksi} = \text{Pembacaan standard} - \text{Pembacaan alat}$$

b. Standard deviasi

$$\sigma = \frac{\sqrt{\Sigma(Di - D')^2}}{n-1} \dots\dots\dots 2.32$$

Dimana :

D_i = koreksi alat ukur

D_i' = rata-rata koreksi

n = Banyak *range* pengukuran

c. Analisa Type A, (Ua)

Pada analisa tipe A ini hasilnya diperoleh dari data pengukuran. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut :

$$Ua1 = \frac{\sigma_{maks}}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots 2.33$$

$$Ua2 = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \dots\dots\dots 2.34$$

Dimana nilai SSR didapat dari persamaan

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i) \dots\dots\dots 2.35$$

Nilai a dan b didapat dari

$$a = \bar{y}_l - (b \times \bar{t}_l)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}$$

Keterangan :

Y_i (nilai koreksi) = Pembacaan Standar (t_i) – Pembacaan alat (x_i)

t_i = pembacaan standar

n = jumlah data

d. Analisa Type B, (Ub)

Analisa tipe B ini diperoleh berdasarkan sertifikat kalibrasi atau spesifikasi dari alat ukur. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Ub1 = \frac{\text{Resolusi}/2}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots 2.36$$

$$Ub2 = \frac{a}{k} \dots\dots\dots 2.37$$

e. Ketidakpastian Kombinasi (UC)

Uc merupakan ketidakpastian kombinasi dari ketidakpastian tipe A dan ketidakpastian tipe B. Adapun persamaan dari ketidakpastian kombinasi adalah :

$$UC = \sqrt{Ua1^2 + Ua2^2 + Ub1^2 + Ub2^2} \dots\dots\dots 2.38$$

f. Ketidakpastian Diperluas

Hasil akhir kalibrasi adalah ketidakpastian diperluas sehingga alat ukur tersebut dapat diketahui ketidakpastiannya melalui *Uexpand*. Persamaan *Uexpand* adalah :

$$U_{expand} = k \cdot U_c \dots\dots\dots 2.39$$

Adapun persamaan dari derajat kebebasan efektif (*Veff*) adalah :

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / v_i} \dots\dots\dots 2.40$$

Untuk mencari nilai k, maka melihat tabel *T-student* sesuai dengan *confidence level* 95%. Tabel *T-student* dapat dilihat pada **Gambar 2.16**.

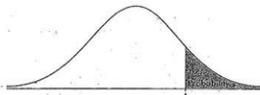


TABLE B: t-DISTRIBUTION CRITICAL VALUES

df	Tail probability p											
	.25	.20	.15	.10	.05	.025	.01	.005	.0025	.001	.0005	
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	15.89	21.82	63.66	127.3	312.3	636.6
2	.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	4.849	6.965	9.925	14.09	22.33	31.60
3	.765	.978	1.250	1.638	2.333	3.182	3.482	4.541	5.861	7.453	10.21	12.92
4	.741	.941	1.190	1.533	2.132	2.776	2.999	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	2.757	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	2.612	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	.711	.896	1.119	1.415	1.893	2.365	2.517	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	.706	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.449	2.896	3.353	3.883	4.501	5.041
9	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.398	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.359	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.203	2.328	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.303	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	.694	.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.282	2.660	3.012	3.372	3.852	4.221
14	.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.264	2.634	2.977	3.326	3.787	4.140
15	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.249	2.622	2.947	3.286	3.733	4.073
16	.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.235	2.613	2.921	3.252	3.686	4.015
17	.689	.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.224	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.214	2.552	2.878	3.197	3.611	3.922
19	.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.205	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	.687	.860	1.064	1.325	1.723	2.086	2.197	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	.686	.859	1.063	1.323	1.717	2.080	2.189	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	.686	.858	1.061	1.321	1.712	2.074	2.183	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.177	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.172	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	.684	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.167	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.162	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.158	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.154	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.150	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.147	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.123	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
50	.679	.849	1.047	1.299	1.676	2.009	2.109	2.403	2.678	2.957	3.261	3.486
60	.679	.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.099	2.390	2.660	2.945	3.232	3.460
80	.678	.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.088	2.374	2.639	2.887	3.195	3.416
100	.677	.845	1.042	1.289	1.660	1.984	2.081	2.364	2.626	2.871	3.174	3.390
1000	.675	.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.056	2.330	2.581	2.813	3.098	3.300
∞	.674	.841	1.036	1.282	1.645	1.960	2.054	2.326	2.576	2.807	3.091	3.291
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	96%	98%	99%	99.5%	99.8%	99.9%
Confidence level C												

Gambar 2.16 Tabel T- student

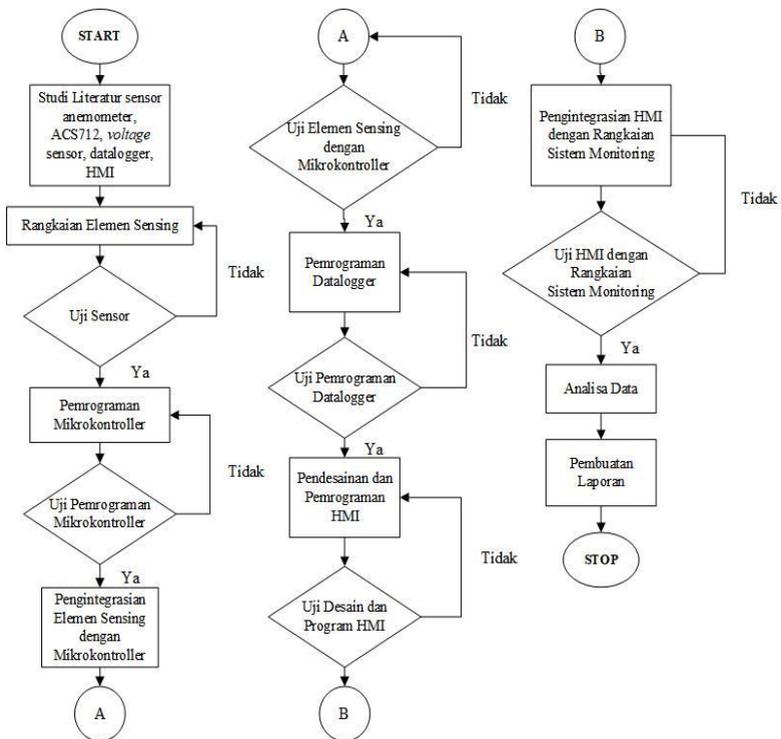
Halaman ini sengaja untuk dikosongkan

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem *Monitoring*

Pada perancangan sistem *monitoring* ini, dilakukan beberapa tahapan dalam proses perancangan tujuannya agar sistem dapat berjalan dengan baik. Adapun *block flow diagram* metodologi tugas akhir yang dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir

Gambar 3.1 merupakan *flowchart* atau diagram alir metode penelitian untuk tugas akhir mulai dari *start* hingga *stop*. Berikut

ini penjelasan mengenai diagram alir metodologi penelitian tugas akhir.

a. Studi Literatur

Pada tahap awal perancangan ini dilakukan pengumpulan informasi dari literatur penelitian-penelitian sebelumnya mengenai pembuatan “Perancangan Sistem *Monitoring* Kinerja Turbin Angin Tipe *Darrieus* Sumbu Vertikal Berdasarkan Putaran Rotor Pada Generator” serta melakukan pengumpulan informasi yang dibutuhkan untuk melakukan *monitoring* secara *realtime* dengan menggunakan *datalogger*, yang nantinya data hasil *monitoring* dapat disimpan di *SDCard* dan dapat ditampilkan pada LCD dan HMI.

b. Perancangan Elemen *Sensing*

Dalam tahap ini dilakukan perancangan elemen *sensing*, dengan menyusun dan membuat rangkaian elemen *sensing*. Setelah elemen *sensing* dirancang maka dilakukan uji sensor untuk mengetahui apakah nilai keluaran dari sensor tersebut sudah sesuai. Kesesuaian nilai keluaran sensor yaitu ketika nilai keluaran sensor sama dengan atau mendekati dengan nilai keluaran alat standar.

c. Perancangan *Software*

Tahap selanjutnya adalah dilakukan perancangan *software* dan HMI (*Human Machine Interface*). Perancangan *software* yang dimaksud yaitu membuat pengkodean yang digunakan untuk memprogram mikrokontroler beserta sensor. *Software* yang digunakan pada pembuatan perancangan sistem monitoring ini adalah BASCOM-AVR

d. Perancangan HMI (*Human Machine Interface*)

Kemudian dilakukan perancangan HMI (*Human Machine Interface*). *Human machine interface* (HMI) ini digunakan sebagai media monitoring menggunakan Laptop/PC. *Software* yang dalam pembuatan HMI yaitu menggunakan *Visual Studio 2012*. Di dalam *software* ini menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic.NET* dengan data yang

ditampilkan adalah kecepatan angin, arus, tegangan, daya, serta rpm saat turbin angin berputar.

e. Integrasi Elemen *Sensing*, Perancangan *Software*, dan HMI (*Human Machine Interface*)

Tahan selanjutnya adalah penggabungan atau pengintegrasian antara rangkaian elemen *sensing*, pengkodean dan HMI serta melakukan penggabungan dengan *display*. *Display* yang digunakan pada sistem monitoring ini yaitu menggunakan LCD 20x4.

f. Uji Rancang Sistem *Monitoring*

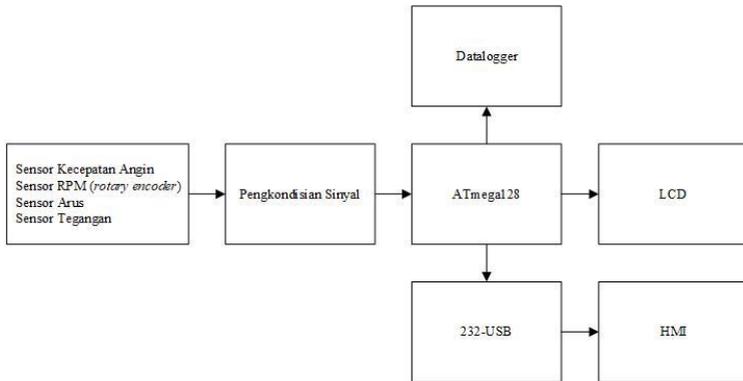
Kemudian melakukan pengujian pada rancangan sistem *monitoring* yang telah diintegrasikan sebelumnya. Pengujian yang dilakukan adalah menguji kodingan yang telah dibuat untuk memprogram mikrokontroler beserta sensor sehingga dapat diketahui program yang telah dibuat apakah telah berjalan dengan baik atau belum. Uji rancangan juga dilakukan pada HMI sehingga dapat diketahui apakah data *monitoring* yang ditampilkan pada HMI sama dengan data yang ditampilkan pada LCD atau tidak dan dilakukan pengambilan data dari hasil rancangan.

g. Analisa Data

Setelah dilakukan uji rancangan sistem *monitoring* dan dilakukan pengambilan data dari hasil rancangan. Kemudian dilakukan analisis data.

3.2 Blok Diagram Perancangan Sistem *Monitoring*

Perancangan blok diagram sistem *monitoring* merupakan tahap awal dari sistem yang akan dibuat. Tahap ini merupakan tahap identifikasi perangkat-perangkat apa saja yang nantinya berfungsi untuk mendukung kerja sistem agar sistem dapat bekerja dengan baik.



Gambar 3.2 Blok diagram sistem *monitoring* pada turbin angin

Adapun penjelasan untuk diagram blok sistem *monitoring* kinerja turbin angin yang terdapat pada **Gambar 3.2** adalah sebagai berikut :

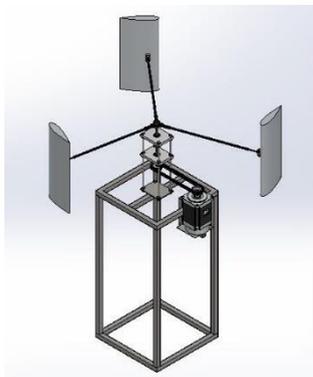
- a. Sensor yang digunakan pada “Perancangan Sistem *Monitoring* Kinerja Turbin Angin Tipe *Darrieus* Sumbu Vertikal Berdasarkan Putaran Rotor Pada Generator” ini menggunakan 4 buah sensor antara lain :
 - Anemometer sebagai sensor pendeteksi kecepatan angin.
 - Sensor arus sebagai sensor pendeteksi keluaran arus pada generator.
 - Sensor tegangan sebagai sensor pendeteksi keluaran tegangan pada generator.
 - *Rotary encoder* sebagai sensor pendeteksi rpm
- b. Menggunakan mikrokontroller ATmega128 sebagai pengolah data.
- c. Data yang dihasilkan dari seluruh sensor (anemometer, sensor *rotary encoder*, sensor arus, dan sensor tegangan) ditampilkan pada LCD.
- d. Data yang ter-*record* dikirimkan ke *datalogger* (yang nantinya akan disimpan pada *Sdcard*) dan ke komputer menggunakan kabel USB RS-232

- e. Rangkaian sistem *monitoring* diintegrasikan dengan HMI (*Human Machine Interface*) sehingga data yang dihasilkan dapat ditampilkan pada PC/Laptop.
- f. Sensor yang digunakan yaitu *rotary encoder* untuk mendeteksi rpm, anemometer untuk mendeteksi kecepatan angin, sensor arus dan sensor tegangan untuk mendeteksi arus dan tegangan yang dihasilkan generator saat turbin berputar

3.3 Perancangan *Hardware* dan *Software*

3.3.1 Perancangan *Mini Plant Turbin Angin*

Pada perancangan dan pembuatan *hardware* dan *software* terdapat beberapa tahapan. Tujuan utama dari pembuatan *mini plant* turbin angin ini adalah sebagai pembangkit listrik tenaga bayu akan dipasang di gedung Departemen Teknik Instrumentasi ITS.

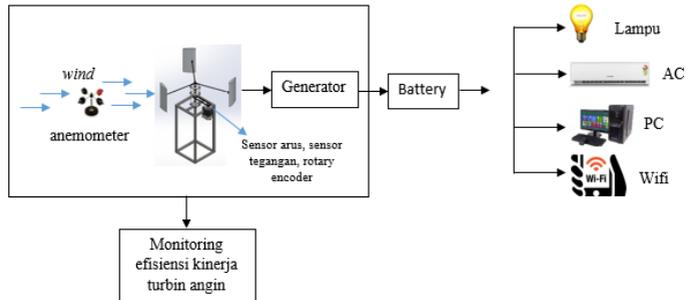


Gambar 3.3 *Mini plant* turbin angin

Dikarenakan penempatan mini plan turbin angin adalah di gedung Departemen Teknik Instrumentasi ITS, untuk itu dibuatlah turbin angin tipe *darrieus* sumbu vertikal yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2** dimana model turbin ini telah disesuaikan dengan keadaan angin di Surabaya khususnya area di gedung Departemen Teknik Instrumentasi ITS.

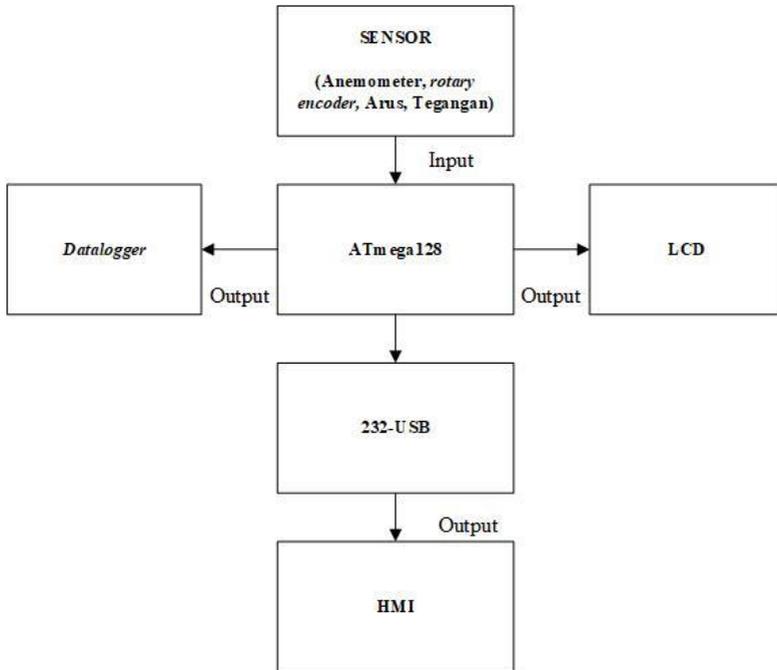
3.3.2 Perancangan Sistem *Monitoring*

Setelah melakukan perancangan dan pembuatan *mini plant* turbin angin, untuk mengetahui kinerja turbin angin saat turbin angin berputar maka dibuatlah perancangan sistem *monitoring*. Hasil dari perancangan dan pembuatan sistem *monitoring* ini adalah dapat mengetahui arus, tegangan, rpm serta daya yang dihasilkan saat turbin angin berputar.



Gambar 3.4 Penempatan sensor pada *mini plant* turbin angin

Dari **Gambar 3.3** dapat dijelaskan sensor yang digunakan pada sistem *monitoring* antara lain sensor arus dan tegangan diletakkan setelah generator, sensor kecepatan angin (anemometer) diletakkan sejajar dengan turbin angin, dan sensor *rotary encoder* diletakkan pada poros yang menghubungkan antara lengan bilah dan generator.



Gambar 3.5 Diagram I/O sistem *monitoring* turbin angin

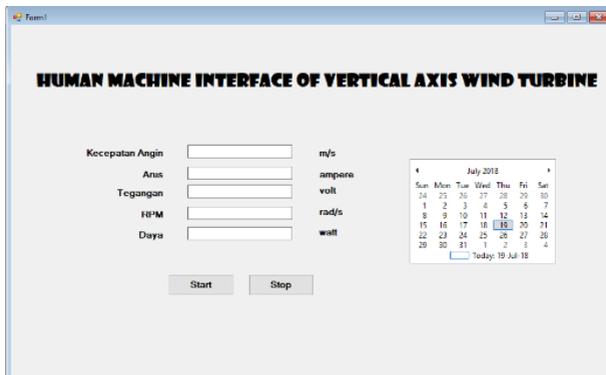
Dari **Gambar 3.3** dapat dilihat saat sensor mendeteksi variabel yang *dimonitoring* menghasilkan *output* berupa tegangan listrik yang kemudian masuk ke pengkondisian sinyal yang mengubah sinyal analog menjadi digital agar dapat dikirimkan ke mikrokontroler. Mikrokontroler berfungsi memproses data untuk ditampilkan pada layar LCD, selain itu mikrokontroler juga berfungsi mengirimkan data untuk *interface* yang akan ditampilkan pada HMI (*Human Machine Interface*) menggunakan USB RS-232, serta mikrokontroler ATmega juga mengirimkan data ke *datalogger* yang sudah terpasang *SDcard* sebagai media penyimpanan.

3.4 Integrasi Sistem *Monitoring*

Sistem *monitoring* pada alat ini akan menggunakan ATmega128 sebagai mikrokontrollernya dan menggunakan *interface* dalam menampilkan hasil *monitoring*nya yaitu LCD dan *interface* berbasis *display object* yaitu HMI (*Human Machine Interface*) serta untuk penyimpanan jangka panjang menggunakan *openlog datalogger* dan menggunakan SD Card.

3.5 Pembuatan Desain HMI pada *Software Visual Studio*

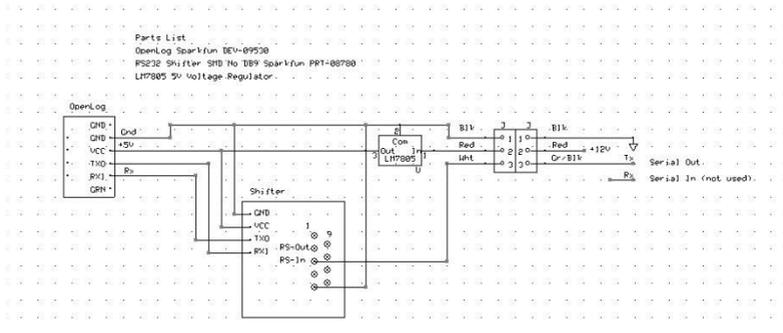
Software *Visual Studio* ini digunakan untuk membuat *Human Interface Machine* (HMI) sehingga data sistem *monitoring* dapat dilihat di PC. Data akan ditampilkan secara *real time*. Desain yang telah dibuat dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.6 Desain HMI turbin angin

3.6 Pembuatan Datalogger

Dalam pembuatan datalogger pada sistem *monitoring* ini digunakan modul *openlogger*. Modul *OpenLog* adalah logger seri sederhana dapat berjalan dengan menggunakan ATmega128 berjalan pada 16MHz. *OpenLog* dapat berbicara dengan kapasitas yang sangat besar (diuji hingga 64GB) kartu SD. Seluruh tujuan *logger* ini adalah untuk membuat *logger* yang hanya diaktifkan dan bekerja. *OpenLog* mengirim dengan *bootloader* seri standar sehingga Anda dapat memuat *firmware* baru dengan koneksi serial sederhana. Modul *OpenLog* mendukung format FAT16 dan FAT32 *SDCard*. Berikut skematik modul *openlogger* yang dapat dilihat pada **Gambar 3.5**

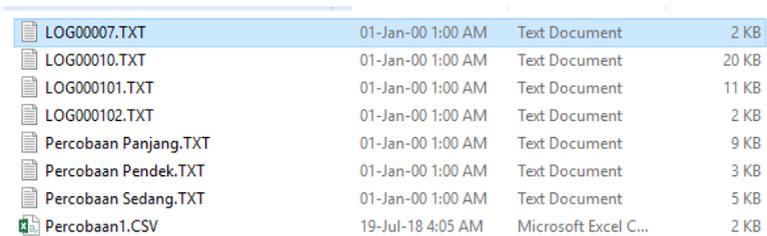


Gambar 3.7 Skematik *openlogger*

Untuk mengetahui apakah modul *openlogger* sudah tersambung dan dapat menulis pada *SDCard* kita dapat melihat nyala tidaknya LED yang terdapat dibelakang modul *openlogger*. Sebelumnya kita perlu menyambungkan modul *openlogger* dengan kabel *jumper female – female* ke mikrokontroler dimana pin VCC dan GND modul disambungkan pada pin VCC dan GND pada mikrokontroler sedangkan pin TX modul disambungkan pada RX mikrokontroler yaitu pada pin D 2 dan pin RX modul disambungkan pada TX mikrokontroler yaitu pada pin D 3. Ketika sudah terpasang LED akan menyala, LED warna merah akan

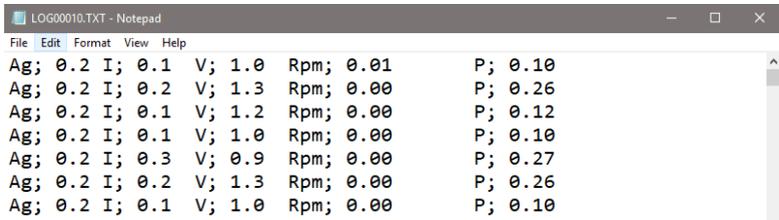
mengaktifkan / menonaktifkan setiap kali karakter baru diterima. LED ini membantu memecahkan masalah dan menunjukkan komunikasi serial berfungsi. Sedangkan LED kuning ini melekat pada garis *SPI Serial Clock* sehingga dapat dilihat lampu kilat LED ini jarang. Hanya akan menyala ketika antarmuka SPI aktif dan ini jarang terjadi karena *OpenLog* menyangga 512 byte sekaligus sebelum merekam ke kartu SD. Merekam 512 byte sangat cepat sehingga LED menyala sangat sedikit.

Data hasil *monitoring* yang telah terekam kemudian akan tersimpan pada memori *SDCard* secara terus-menerus. Format data yang digunakan adalah berekstensi *.txt* yang mana hasil data yang telah tersimpan pada *SDCard* ini dapat dilihat pada aplikasi *notepad*. Format data juga dapat diubah menjadi *.csv* yang mana hasil data yang telah tersimpan pada *SDCard* ini dapat dilihat pada *microsoft excel*. Karakter-karakter yang disimpan dalam kartu memori adalah kecepatan angin, arus, tegangan, rpm dan daya. Tampilan penyimpanan pada *SDCard* dapat dilihat pada **Gambar 3.6** dan **Gambar 3.7**.



LOG00007.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	2 KB
LOG00010.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	20 KB
LOG000101.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	11 KB
LOG000102.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	2 KB
Percobaan Panjang.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	9 KB
Percobaan Pendek.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	3 KB
Percobaan Sedang.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	5 KB
Percobaan1.CSV	19-Jul-18 4:05 AM	Microsoft Excel C...	2 KB

Gambar 3.8 Tampilan file *datalogger* pada *SDCard*



```

LOG00010.TXT - Notepad
File Edit Format View Help
Ag; 0.2 I; 0.1 V; 1.0 Rpm; 0.01 P; 0.10
Ag; 0.2 I; 0.2 V; 1.3 Rpm; 0.00 P; 0.26
Ag; 0.2 I; 0.1 V; 1.2 Rpm; 0.00 P; 0.12
Ag; 0.2 I; 0.1 V; 1.0 Rpm; 0.00 P; 0.10
Ag; 0.2 I; 0.3 V; 0.9 Rpm; 0.00 P; 0.27
Ag; 0.2 I; 0.2 V; 1.3 Rpm; 0.00 P; 0.26
Ag; 0.2 I; 0.1 V; 1.0 Rpm; 0.00 P; 0.10

```

(a)

	A	B	C	D	E
1	Ag; 0.2	I; 0.1	V; 1.0	Rpm; 0.01	P; 0.10
2	Ag; 0.2	I; 0.2	V; 1.3	Rpm; 0.00	P; 0.26
3	Ag; 0.2	I; 0.1	V; 1.2	Rpm; 0.00	P; 0.12
4	Ag; 0.2	I; 0.1	V; 1.0	Rpm; 0.00	P; 0.10
5	Ag; 0.2	I; 0.3	V; 0.9	Rpm; 0.00	P; 0.27
6	Ag; 0.2	I; 0.2	V; 1.3	Rpm; 0.00	P; 0.26
7	Ag; 0.2	I; 0.1	V; 1.0	Rpm; 0.00	P; 0.10

(b)

Gambar 3.9 (a) Tampilan penyimpanan data pada *SDCard* dalam bentuk *.txt* , (b) Tampilan penyimpanan data pada *SDCard* dalam bentuk *.csv*

3.7 Integrasi *Software* dan *Hardware*

Dalam hal ini dilakukan pengintegrasian *hardware* dan *software* pada HMI, serta dilakukan pengintegrasian sistem penyimpanan *datalogger* pada *SDCard*. Program yang telah dibuat diupload dengan *software* BASCOM-AVR dan di *compile* di *software* Khazama Program AVR. Berhasil tidaknya program yang telah ter-upload antara *software* dan *hardware* dapat dilihat pada LCD ataupun dan komunikasi serial yang telah dibuat pada *Visual*

Studio serta dilakukan pengecekan data yang tersimpan pada SD *Card*.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Alat

Pada tugas akhir “Perancangan Sistem Monitoring Kinerja Turbin Angin Tipe *Darrieus* Sumbu Vertikal Berdasarkan Putaran Rotor Pada Generator” ini akan dilakukan pengujian alat serta pengambilan data dari hasil integrasi seluruh sensor yang digunakan yang akan dijelaskan sebagai berikut.

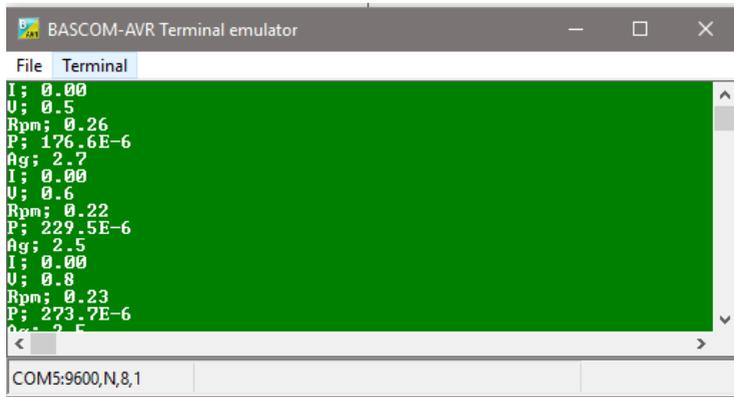
4.1.1 Pengujian *Hardware* Sistem *Monitoring*

Setelah dilakukan perancangan sistem *monitoring*, kemudian dilakukan pengujian *hardware*. Pengujian *hardware* gunanya adalah untuk memastikan bahwa mikrokontroler berupa ATmega128 dengan modul *openlogger*, serta sensor dan LCD sudah terpasang dengan benar. Apabila sudah benar, data hasil *monitoring* akan tersimpan pada *SDCard* dan akan ditampilkan pada LCD 20x4.

4.1.2 Pengujian *Software* Sistem *Monitoring*

Pengujian *software* bertujuan untuk mengetahui apakah *software* yang telah dibuat dapat bekerja sesuai yang telah direncanakan. Dalam hal ini program akan diuji dengan cara menyambungkan mikrokontroler ATmega 128, modul *openlogger*, LCD, serta sensor-sensor yang digunakan dengan menggunakan komunikasi serial (USART). Pengujian dilakukan dengan cara membuka *software* BASCOM-AVR klik *tools* klik *terminal emulator*.

Pada *Software* BASCOM-AVR ini juga dapat melihat apakah komunikasi serialnya dapat berjalan atau tidak dengan menyambungkan USB RS-232 pada mikrokontroler dan pada PC.



Gambar 4.1 Data *monitoring* berhasil ditampilkan pada *terminal emulator* BASCOM-AVR

Dapat dilihat pada **Gambar 4.1** komunikasi serial berhasil berjalan sehingga data *monitoring* ditampilkan pada *terminal emulator* BASCOM-AVR. Untuk menghubungkan USB RS-232 perlu diperhatikan pula COM yang dipakai serta perlu mengintegrasikan terlebih dahulu antara COM yang digunakan USB RS-232 dengan *terminal emulator* sehingga data dapat ditampilkan pada *terminal emulator*. Pengecekan COM dapat dilihat pada *device manager*.

Di dalam ATmega terdapat program yang berfungsi sebagai *penginput* data dari pembacaan mikrokontroler ke terminal serta penyimpanan pada *SDCard*. Data hasil dari pembacaan akan masuk ke dalam *datalogger* yang kemudian akan disimpan pada *SDCard* dan akan ditampilkan pada LCD juga pada HMI (*Human Machine Interface*).

4.1.3 Pengujian Sensor dan Validasi Data

Untuk mengetahui apakah data yang ditampilkan sesuai atau tidak dengan pembacaan sensor, maka perlu dilakukan pengujian sensor dan validasi dari variabel yang diukur. Uji validasi tersebut dapat dilakukan dengan cara membandingkan kesesuaian data yang keluar pada LCD dengan alat standar. Alat standar yang digunakan untuk pembandingan adalah multimeter digital standar untuk melihat kesesuaian keluaran tegangan dan arus, anemometer digital untuk melihat kesesuaian keluaran kecepatan angin, dan *tachometer* untuk melihat kesesuaian keluaran rpm. Berikut ini data yang diperoleh dari pengujian alat.

Tabel 4.1 Pengujian anemometer

Kecepatan Angin	Anemometer Standar (m/s)	Anemometer yang Diuji (m/s)	Koreksi
Rendah	4.93	4.83	1%
	5.10	5.09	1%
	5.12	5.09	3%
	5.15	5.10	5%
Sendang	5.20	5.19	1%
	5.30	5.30	0
	5.53	5.51	2%
	6.13	6.09	4%
Tinggi	6.20	6.15	5%
	6.30	6.20	1%
	6.75	6.51	24%
	6.99	6.82	17%

Dari **Tabel 4.1** menunjukkan bahwa pembacaan alat sudah mendekati dengan alat standar. Namun, terdapat beberapa titik yang masih terdapat perbedaan pada pembacaannya. Masih adanya *error* bisa jadi dikarenakan adanya perbedaan tegangan input yang

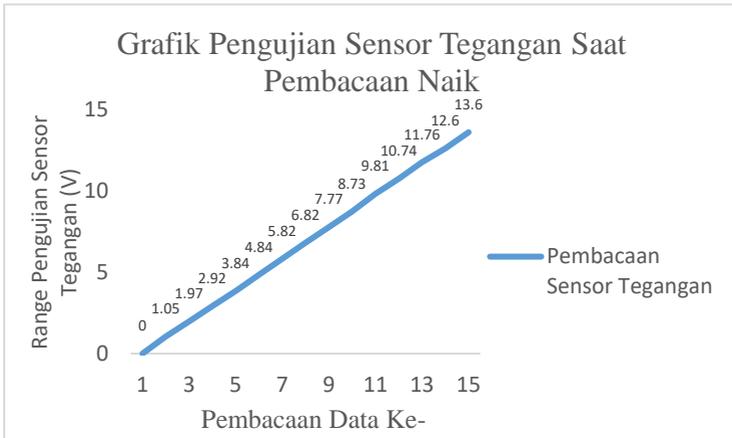
diterima oleh mikrokontroller sehingga pembacaan alat mengalami *delay*.

Tabel 4.2 Pengujian sensor tegangan

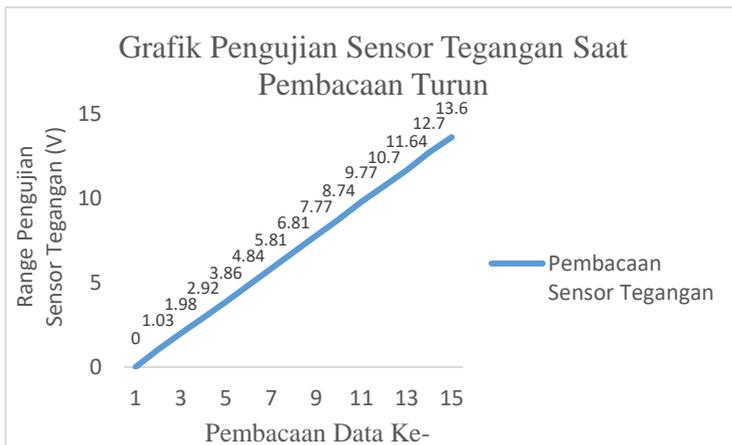
Pembacaan Standar (V)	Pembacaan Alat		Koreksi (V)
	Naik (V)	Turun (V)	
0	0	0	0%
1	1.05	1.03	2%
2	1.97	1.98	-1%
3	2.92	2.92	0%
4	3.84	3.86	-2%
5	4.84	4.84	0%
6	5.82	5.81	1%
7	6.82	6.81	%
8	7.77	7.77	0%
9	8.73	8.74	-1%
10	9.81	9.77	4%
11	10.74	10.70	4%
12	11.76	11.64	12%
13	12.60	12.70	-10%
14	13.60	13.60	0%
Jumlah	102.27	102.17	10%
Rata-Rata	6.818	6.811	1%

Dari **Tabel 4.2** menunjukkan bahwa pembacaan alat sudah mendekati dengan alat standar. Namun, terdapat beberapa titik yang masih terdapat perbedaan pada pembacaannya. Masih adanya *error* bisa jadi dikarenakan adanya perbedaan tegangan input yang diterima oleh mikrokontroller sehingga pembacaan alat mengalami *delay*.

Dari **Tabel 4.2** dapat dibuat grafik untuk menunjukkan pengujian sensor tegangan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.2**



(a)



(b)

Gambar 4.2 (a) Grafik pengujian sensor tegangan saat pembacaan naik (b) Grafik pengujian sensor tegangan saat pembacaan turun

Gambar 4.2 (a) dan (b) dapat dijelaskan pembacaan sensor tegangan sudah mendekati nilai standar. Dapat dilihat juga pada

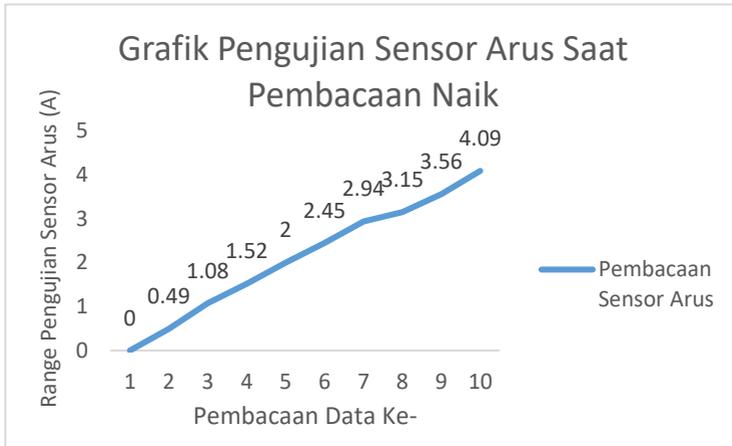
grafik, hasil pembacaan sensor sudah membentuk garis linear. Namun, terdapat beberapa titik yang masih terdapat perbedaan pada pembacaannya. Masih adanya *error* bisa jadi dikarenakan adanya perbedaan tegangan input yang diterima oleh mikrokontroler sehingga pembacaan alat mengalami *delay*.

Tabel 4.3 Pengujian sensor arus

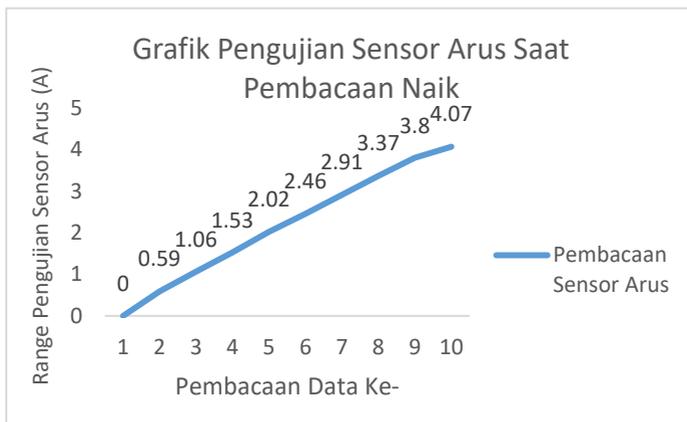
Pembacaan Standar (A)	Pembacaan Alat		Rata-Rata Pembacaan	Koreksi (A)
	Naik (A)	Turun (A)		
0	0	0	0	0
0.50	0.49	0.59	0.54	-10%
1.00	1.08	1.06	1.07	2%
1.50	1.52	1.53	1.525	-1%
2.00	2.00	2.02	2.01	-1%
2.50	2.45	2.46	2.455	-1%
3.00	2.94	2.91	2.925	3%
3.50	3.15	3.37	3.26	-22%
4.00	3.56	3.80	3.68	-24%
4.40	4.09	4.07	4.08	2%

Dari **Tabel 4.3** menunjukkan bahwa pembacaan alat sudah mendekati dengan alat standar. Namun, terdapat beberapa titik yang masih terdapat perbedaan pada pembacaannya. Masih adanya *error* bisa jadi dikarenakan adanya perbedaan tegangan input yang diterima oleh mikrokontroler sehingga pembacaan alat mengalami *delay*.

Dari **Tabel 4.3** dapat dibuat grafik untuk menunjukkan pengujian sensor arus yang dapat dilihat pada **Gambar 4.3**



(a)



(b)

Gambar 4.3 (a) Grafik pengujian sensor arus saat pembacaan naik
(b) Grafik pengujian sensor arus saat pembacaan turun

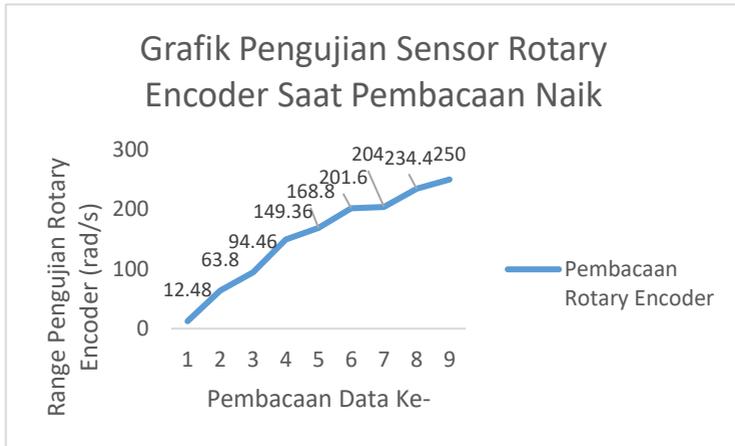
Gambar 4.3 (a) dan **(b)** dapat dijelaskan pembacaan sensor arus sudah mendekati nilai standar. Dapat dilihat juga pada grafik, hasil pembacaan sensor sudah mendekati linear. Namun, terdapat beberapa titik yang masih terdapat perbedaan pada pembacaannya. Masih adanya *error* bisa jadi dikarenakan adanya perbedaan tegangan input yang diterima oleh mikrokontroler sehingga pembacaan alat mengalami *delay*.

Tabel 4.4 Pengujian sensor *rotary encoder*

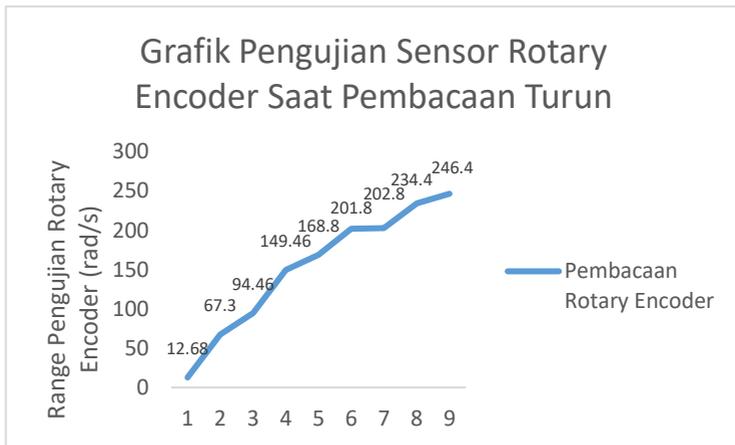
Pembacaan Standar (rpm)	Pembacaan Alat		Rata-Rata Pembacaan (rpm)	Koreksi (rpm)
	naik	turun		
12	12.48	12.68	12.58	-0.68
60	63.8	67.3	65.55	-7.3
104	94.46	94.46	94.46	9.54
148	149.36	149.46	149.41	-1.46
180	168.8	168.8	168.8	11.2
196	201.6	201.8	201.7	-5.8
208	204	202.8	203.4	5.2
240	234.4	234.4	234.4	5.6
252	250	246.4	248.2	5.6

Dari **Tabel 4.4** menunjukkan bahwa pembacaan alat sudah mendekati dengan alat standar. Namun, terdapat beberapa titik yang masih terdapat perbedaan pada pembacaannya. Masih adanya *error* bisa jadi dikarenakan adanya perbedaan tegangan input yang diterima oleh mikrokontroler sehingga pembacaan alat mengalami *delay*.

Dari **Tabel 4.4** dapat dibuat grafik untuk menunjukkan pengujian sensor rotary encoder yang dapat dilihat pada **Gambar 4.4**



(a)



(b)

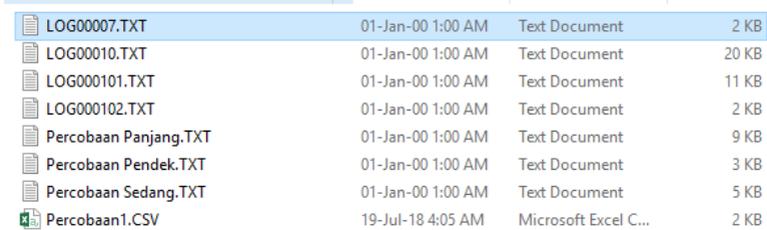
Gambar 4.4 (a) Grafik pengujian sensor *rotary encoder* saat pembacaan naik (b) Grafik pengujian sensor *rotary encoder* saat pembacaan turun

Gambar 4.4 (a) dan (b) dapat dijelaskan pembacaan sensor *rotary encoder* sudah mendekati nilai standar. Namun, terdapat

beberapa titik yang masih terdapat perbedaan pada pembacaannya. Masih adanya *error* bisa jadi dikarenakan adanya perbedaan tegangan input yang diterima oleh mikrokontroller sehingga pembacaan alat mengalami *delay*.

4.1.4 Validasi Penyimpanan Data

Untuk mengetahui apakah data hasil *monitoring* telah terekam oleh sistem penyimpanan, perlu dilakukan pengecekan pada tampilan *datalogger* yang terdapat pada LCD. Berikut data yang berhasil tersimpan pada memori *SDCard* dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



LOG00007.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	2 KB
LOG00010.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	20 KB
LOG000101.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	11 KB
LOG000102.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	2 KB
Percobaan Panjang.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	9 KB
Percobaan Pendek.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	3 KB
Percobaan Sedang.TXT	01-Jan-00 1:00 AM	Text Document	5 KB
Percobaan1.CSV	19-Jul-18 4:05 AM	Microsoft Excel C...	2 KB

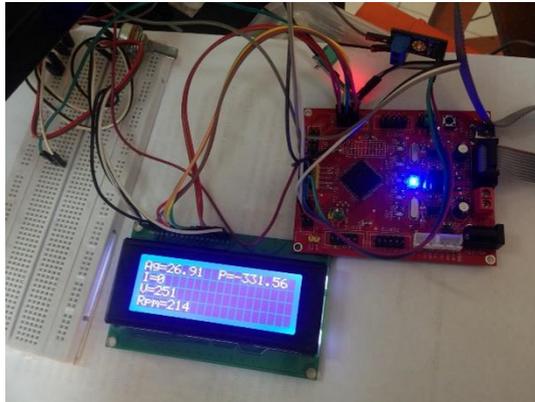
Gambar 4.5 Data yang tersimpan pada *SDCard*

Untuk penyimpanan data dari sistem *monitoring* kinerja turbin angin ini menggunakan *modul openlog datalogger* dengan memori eksternalnya menggunakan memori *SDCard* yang berkapasitas 16 GB. Pencatatan data yang dilakukan selama satu menit membutuhkan ruang penyimpanan pada *SDCard* rata-rata sebesar 3 KB=0.003 MB sehingga dalam waktu 1 hari akan membutuhkan kapasitas memori sebanyak 4.37MB, *SDCard* dengan kapasitas 16 GB memiliki nilai kapasitas maksimal yang bisa digunakan adalah 14800 MB, Sehingga jumlah pencatatan yang dapat dilakukan dengan menggunakan *SDCard* yang berkapasitas 16GB adalah 3.386,72769 selama 1 hari.

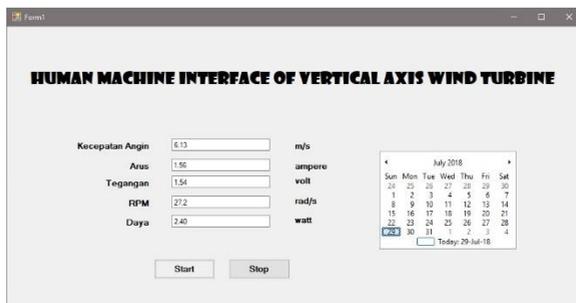
4.1.5 Pengujian Integrasi Sistem Monitoring Turbin Angin

Pengujian integrasi sistem *monitoring* ini dilihat dari berhasil tidaknya data yang telah ter-*upload* pada mikrokontroller

ditampilkan pada LCD Character 4 x 20 serta HMI (*Human Machine Interface*) dengan menggunakan *software Visual Studio* dan komunikasi data serial yang akan menghasilkan data secara *real time*. Berikut ini merupakan data yang telah berhasil ter-*upload* pada mikrokontroler dan berhasil ditampilkan pada LCD Character 4 x 20 serta HMI (*Human Machine Interface*).



(a)



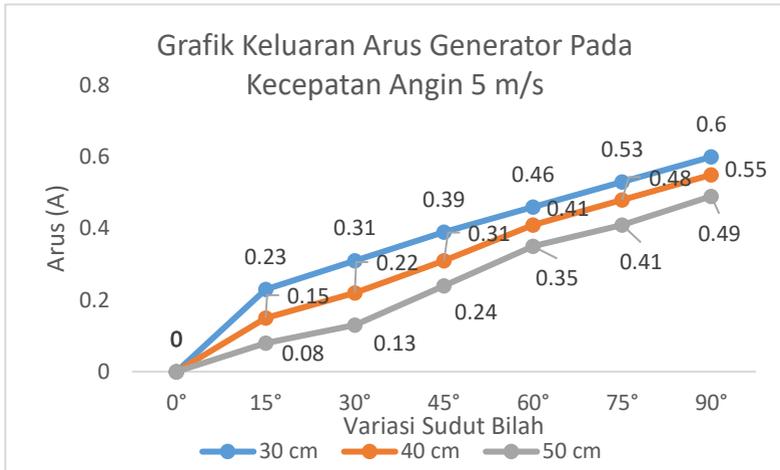
(b)

Gambar 4.6 (a) Tampilan pada LCD 20x4 , **(b)** Tampilan pada HMI (*Human Machine Interface*)

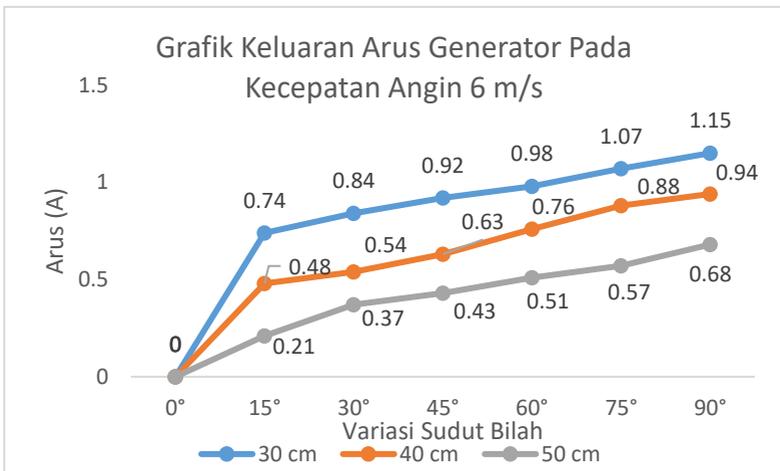
4.2 Analisis Data

Pada pengujian sistem monitoring ini dilakukan 4 percobaan dengan menggunakan 2 tipe bilah (*blade*) yang berbeda yaitu NACA 0021 dan NACA 6412 dan dengan menggunakan material bilah (*blade*) yang berbeda yaitu menggunakan material kayu dan material fiber. Setiap bilah (*blade*) dilakukan 7 variasi sudut bilah (*blade*) diantaranya 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° . Kecepatan angin yang divariasikan pada pengujian sistem *monitoring* ini adalah 5 m/s, 6 m/s, dan 7 m/s. Dan dilakukan variasi jarak bilah terhadap poros turbin yaitu pada jarak 30 cm, 40 cm, dan 50 cm. Dari 4 percobaan ini didapatkan data pengujian yang dilampirkan pada **Lampiran G**.

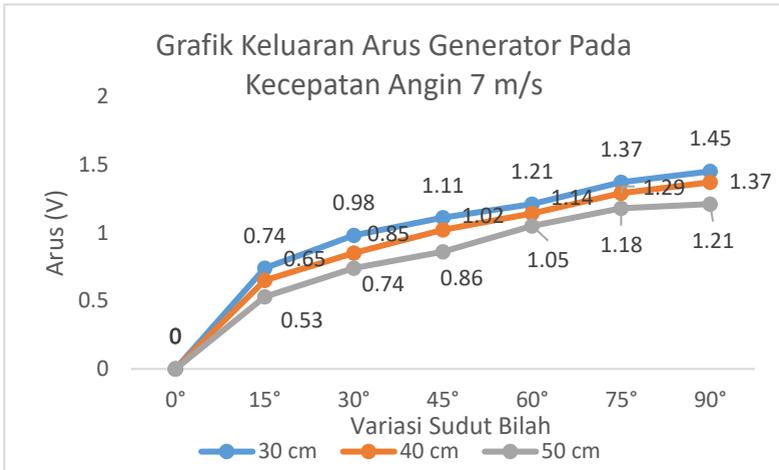
Berikut ini grafik hasil data arus, tegangan, rpm, serta daya setelah dilakukan pengujian.



Gambar 4.7 Grafik keluaran arus generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 0021 di kecepatan angin 5 m/s



Gambar 4.8 Grafik keluaran arus generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 0021 di kecepatan angin 6 m/s

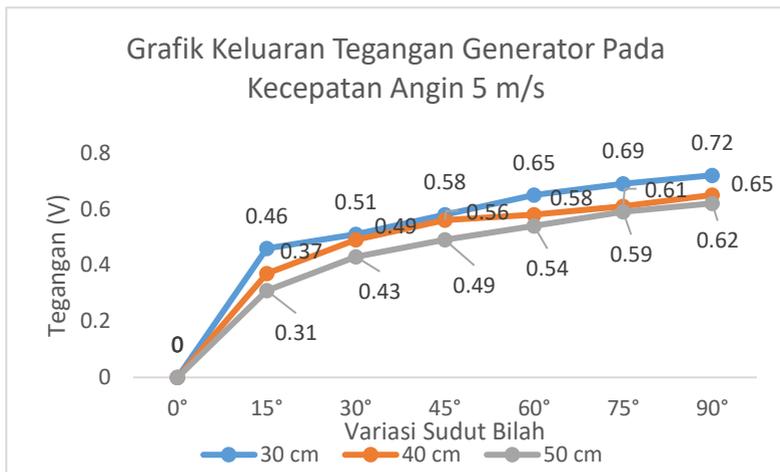


Gambar 4.9 Grafik keluaran arus generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 0021 di kecepatan angin 7 m/s

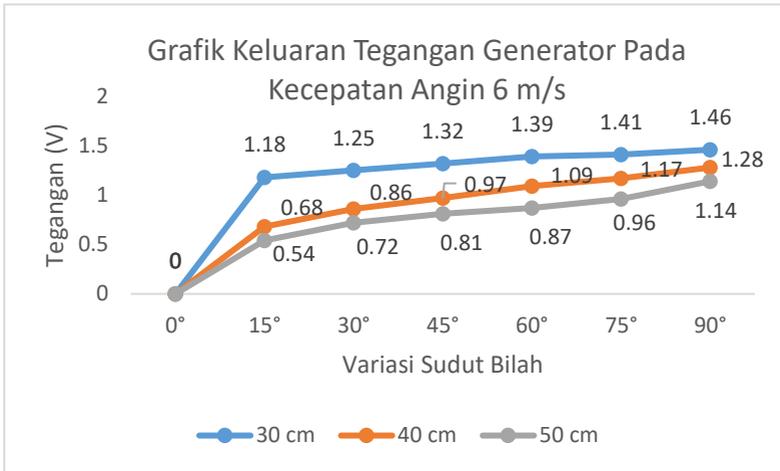
Dari **Gambar 4.7** , **Gambar 4.8**, dan **Gambar 4.9** dapat jelaskan bahwa variasi sudut, jarak bilah (*blade*) terhadap poros, juga kecepatan angin mempengaruhi keluaran generator berupa arus. Dimana semakin dekat jarak antara bilah dengan poros turbin maka arus yang dihasilkan semakin besar (dapat dilihat pada grafik dengan garis berwarna biru) sebaliknya semakin jauh jarak antara bilah (*blade*) dengan poros turbin angin maka semakin kecil pula arus yang dihasilkan. Sudut yang diberikan terhadap bilah (*blade*) juga mempengaruhi keluaran arus yang dihasilkan saat turbin berputar. Begitupula dengan kecepatan anginnya, semakin besar kecepatan angin yang diberikan maka semakin besar pula arus yang dihasilkan.

Dapat dilihat juga pada grafik, keluaran arus yang dihasilkan tidak dapat membentuk garis lurus dengan sempurna disetiap variasi kecepatannya. Adapun faktor yang mempengaruhi keluaran arus turbin angin saat pengujian antara lain saat pengujian alat tidak berada pada ruangan yang khusus sehingga angin tidak dapat mendorong (*blade*) dengan sempurna, saat pengujian penguncian

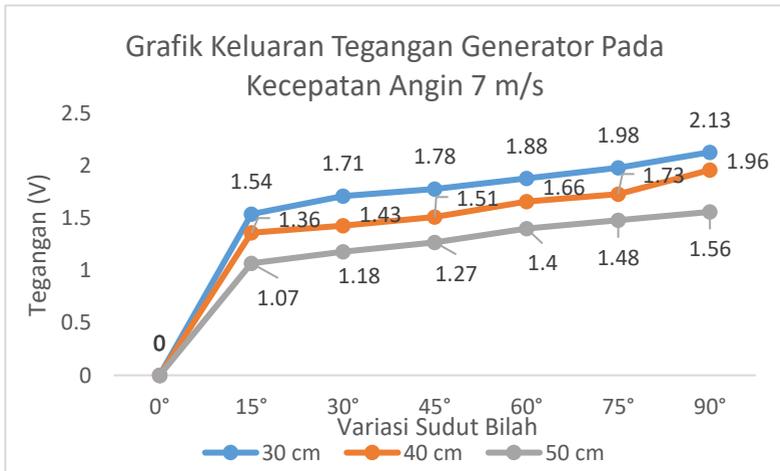
penghubung antara bilah dengan lengan turbin kurang sempurna sehingga ketika turbin diberi angin turbin tidak dapat memutar dengan sempurna, serta saat pengujian sempat terjadi perlambatan pada putaran turbin bisa jadi dikarenakan karena kurang pemberian pelumas pada ass turbin sehingga kinerja turbin saat berputar menjadi lebih berat.



Gambar 4.10 Grafik keluaran tegangan generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 0021 di kecepatan angin 5 m/s



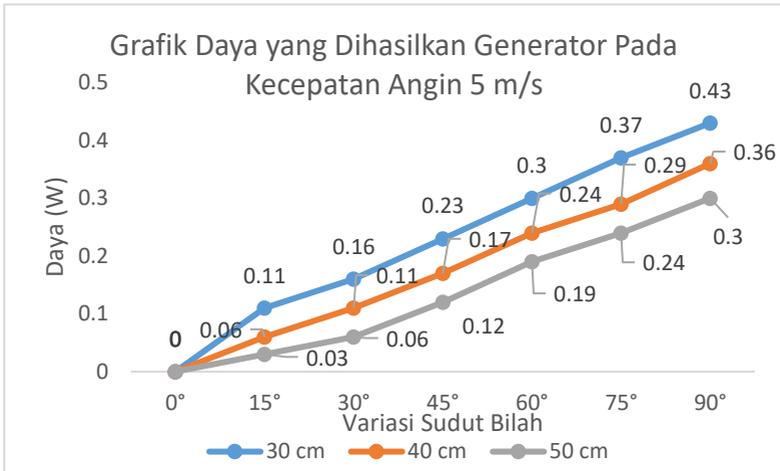
Gambar 4.11 Grafik keluaran tegangan generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 0021 di kecepatan angin 6 m/s



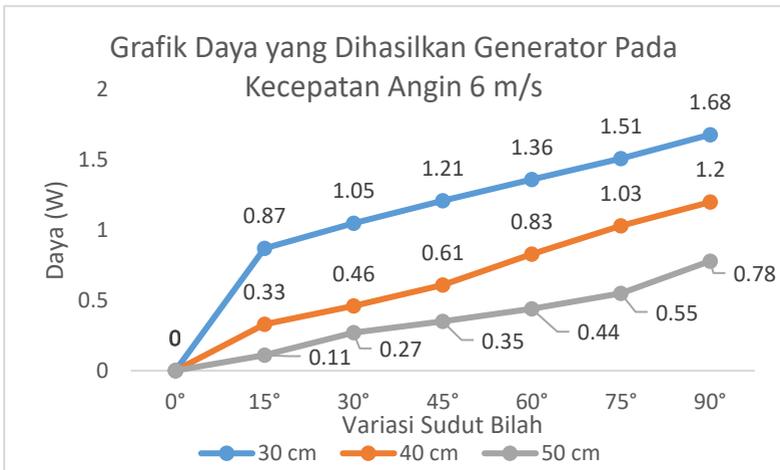
Gambar 4.12 Grafik keluaran tegangan generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 0021 di kecepatan angin 7 m/s

Dari **Gambar 4.10**, **Gambar 4.11**, dan **Gambar 4.12** dapat jelaskan bahwa variasi sudut, jarak bilah (*blade*) terhadap poros, juga kecepatan angin mempengaruhi keluaran generator berupa tegangan. Dimana semakin dekat jarak antara bilah dengan poros turbin maka tegangan yang dihasilkan semakin besar (dapat dilihat pada grafik dengan garis berwarna biru) sebaliknya semakin jauh jarak antara bilah (*blade*) dengan poros turbin angin maka semakin kecil pula tegangan yang dihasilkan. Sudut yang diberikan terhadap bilah (*blade*) juga mempengaruhi keluaran tegangan yang dihasilkan saat turbin berputar. Begitupula dengan kecepatan anginnya, semakin besar kecepatan angin yang diberikan maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan.

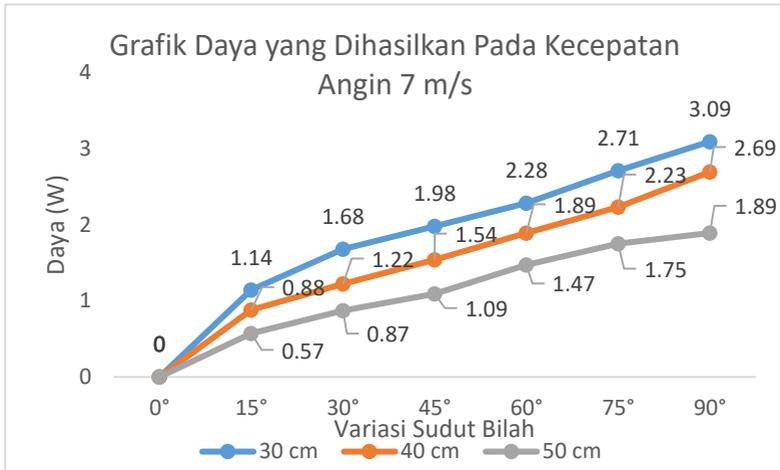
Dapat dilihat juga pada grafik, keluaran tegangan yang dihasilkan tidak dapat membentuk garis lurus dengan sempurna disetiap variasi kecepatannya. Adapun faktor yang mempengaruhi keluaran tegangan turbin angin saat pengujian antara lain saat pengujian alat tidak berada pada ruangan yang khusus sehingga angin tidak dapat mendorong (*blade*) dengan sempurna, saat pengujian penguncian penghubung antara bilah dengan lengan turbin kurang sempurna sehingga ketika turbin diberi angin turbin tidak dapat memutar dengan sempurna, serta saat pengujian sempat terjadi perlambatan pada putaran turbin bisa jadi dikarenakan karena kurang pemberian pelumas pada ass turbin ataupun rantai yang memutar generator kendur sehingga kinerja turbin saat berputar menjadi lebih berat.



Gambar 4.13 Grafik daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 0021 di kecepatan angin 5 m/s

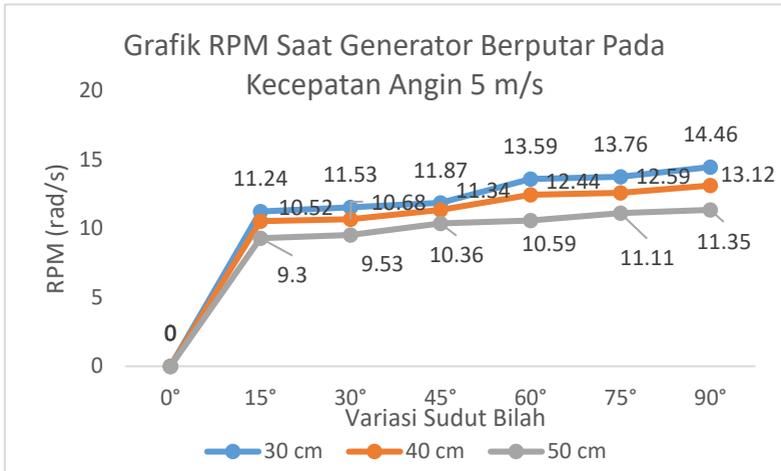


Gambar 4.14 Grafik daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 0021 di kecepatan angin 6 m/s

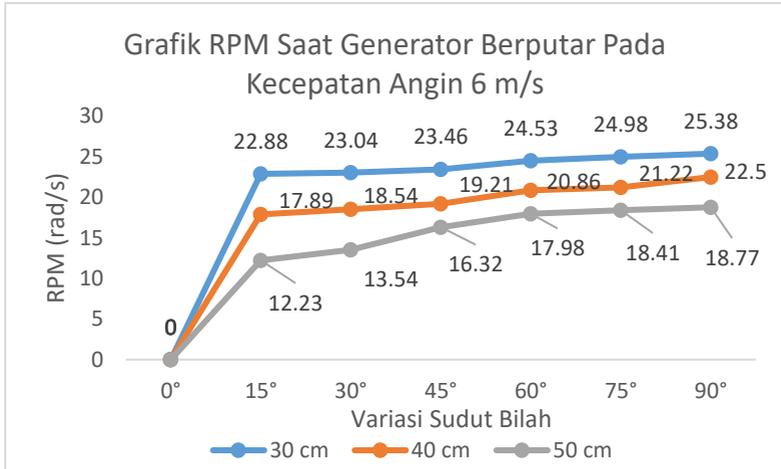


Gambar 4.15 Grafik daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 0021 di kecepatan angin 7 m/s

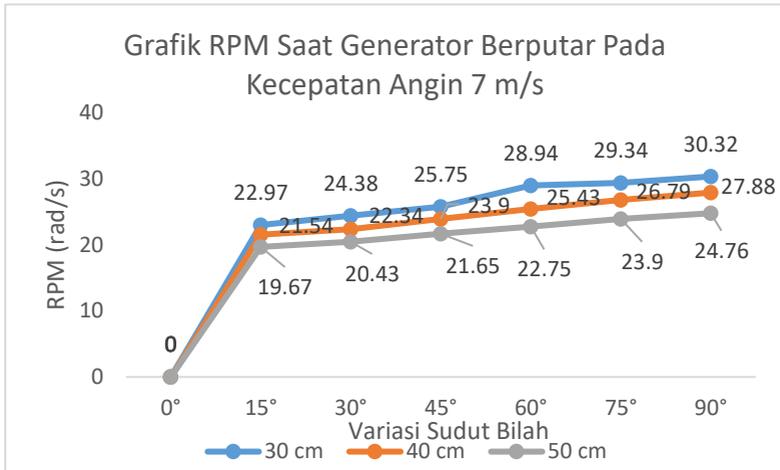
Dari **Gambar 4.13**, **Gambar 4.14**, dan **Gambar 4.15** dapat jelaskan bahwa daya yang dihasilkan generator dipengaruhi keluaran dari arus dan tegangan dari generator. Semakin besar keluaran arus dan tegangan dari generator maka daya yang dihasilkan akan semakin besar begitupula sebaliknya, semakin kecil keluaran arus dan tegangan dari generator maka semakin kecil maka daya yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Karena sudah diketahui keluaran nilai arus dan tegangan dari generator saat turbin angin berputar pada kecepatan 5 m/s, 6 m/s, dan 7 m/s (grafik dan nilai keluaran arus generator dapat dilihat pada **Gambar 4.7**, **Gambar 4.8**, dan **Gambar 4.9** sedangkan grafik dan nilai keluaran tegangan dapat dilihat pada **Gambar 4.10**, **Gambar 4.11**, **Gambar 4.12**) sehingga dapat kita hitung berapa daya yang dihasilkan generator saat turbin angin berputar pada kecepatan 5 m/s, 6 m/s, dan 7 m/s yaitu dengan cara mengalikan keluaran arus dan tegangan dari generator.



Gambar 4.16 Grafik RPM saat generator berputar dengan menggunakan model bilah fiber NACA 0021 di kecepatan angin 5 m/s

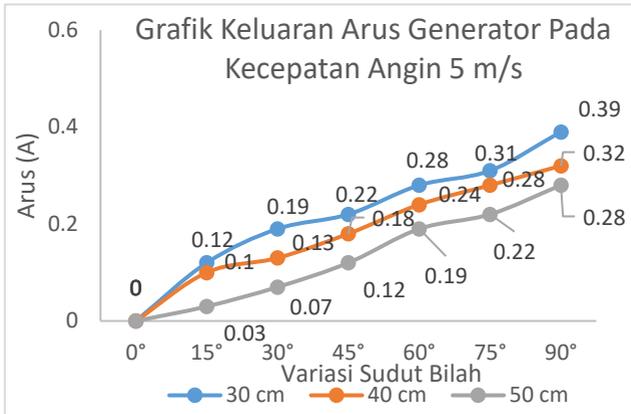


Gambar 4.17 Grafik RPM saat generator berputar dengan menggunakan model bilah fiber NACA 0021 di kecepatan angin 6 m/s

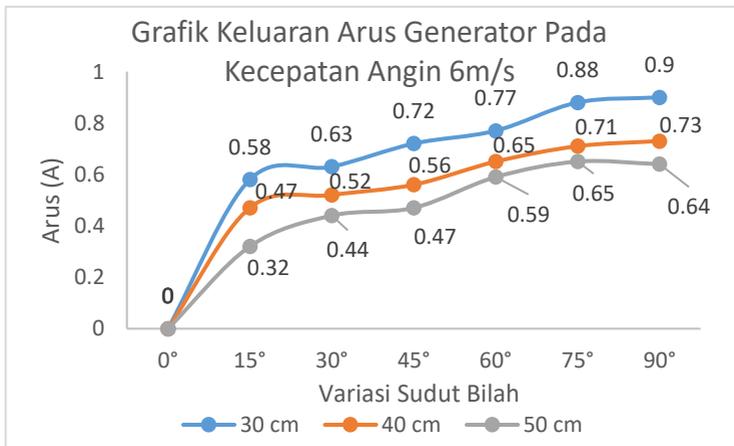


Gambar 4.18 Grafik RPM saat generator berputar dengan menggunakan model bilah fiber NACA 0021 di kecepatan angin 7 m/s

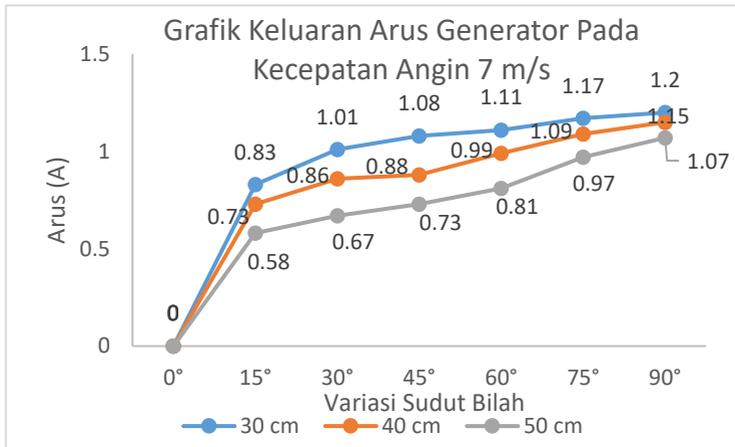
Dari **Gambar 4.16**, **Gambar 4.17**, dan **Gambar 4.18** dapat jelaskan bahwa semakin cepat turbin angin berputar semakin besar pula nilai RPM yang didapatkan. Jarak antara bilah dengan poros turbin serta sudut yang diberikan pada bilah mempengaruhi putaran turbin sehingga berpengaruh pula pada nilai RPM yang dihasilkan.



Gambar 4.19 Grafik keluaran arus generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 0021 di kecepatan angin 5 m/s



Gambar 4.20 Grafik keluaran arus generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 0021 di kecepatan angin 6 m/s

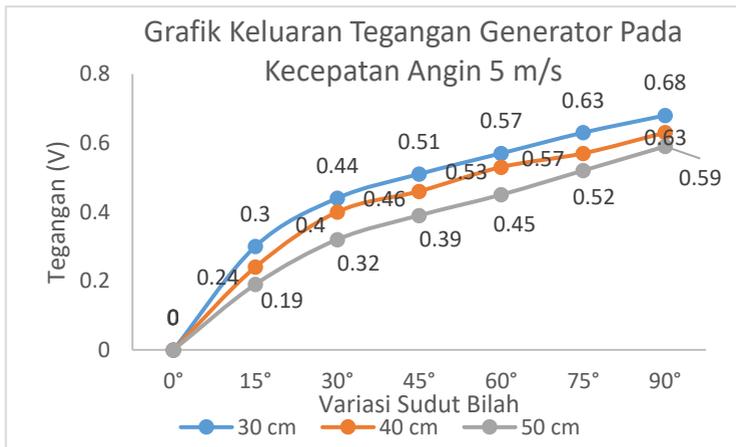


Gambar 4.21 Grafik keluaran arus generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 0021 di kecepatan angin 7 m/s

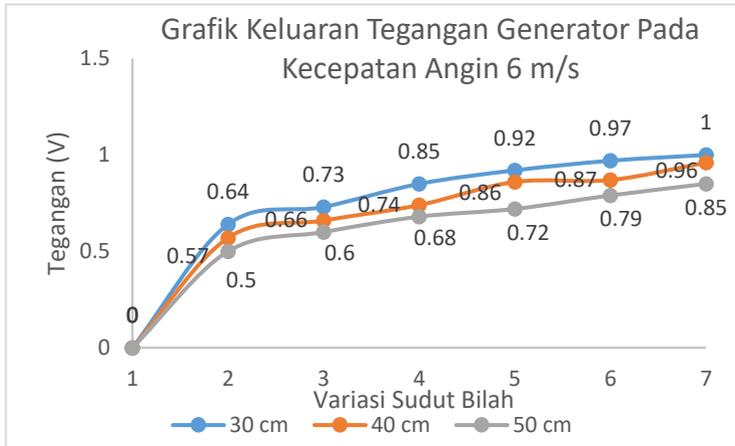
Dari **Gambar 4.19**, **Gambar 4.20**, dan **Gambar 4.21** dapat jelaskan bahwa variasi sudut, jarak bilah (*blade*) terhadap poros, juga kecepatan angin mempengaruhi keluaran generator berupa arus. Dimana semakin dekat jarak antara bilah dengan poros turbin maka arus yang dihasilkan semakin besar (dapat dilihat pada grafik dengan garis berwarna biru) sebaliknya semakin jauh jarak antara bilah (*blade*) dengan poros turbin angin maka semakin kecil pula arus yang dihasilkan. Sudut yang diberikan terhadap bilah (*blade*) juga mempengaruhi keluaran arus yang dihasilkan saat turbin berputar. Begitupula dengan kecepatan anginnya, semakin besar kecepatan angin yang diberikan maka semakin besar pula arus yang dihasilkan.

Dapat dilihat juga pada grafik, keluaran arus yang dihasilkan tidak dapat membentuk garis lurus dengan sempurna disetiap variasi kecepatannya. Adapun faktor yang mempengaruhi keluaran arus turbin angin saat pengujian antara lain saat pengujian alat tidak berada pada ruangan yang khusus sehingga angin tidak dapat mendorong (*blade*) dengan sempurna, saat pengujian penguncian

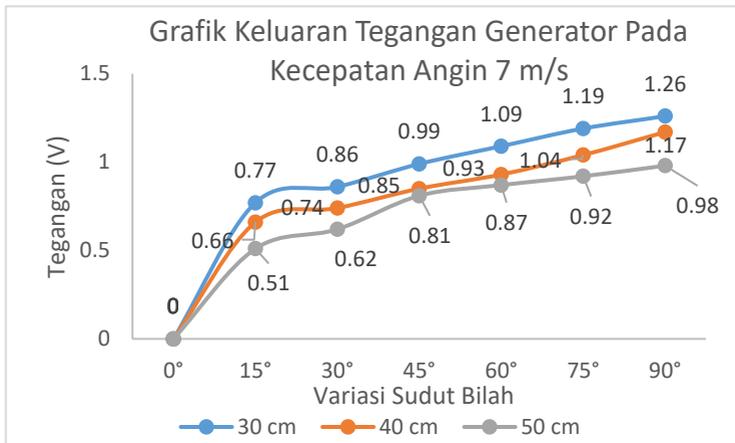
penghubung antara bilah dengan lengan turbin kurang sempurna sehingga ketika turbin diberi angin turbin tidak dapat memutar dengan sempurna, serta saat pengujian sempat terjadi perlambatan pada putaran turbin bisa jadi dikarenakan karena kurang pemberian pelumas pada ass turbin sehingga kinerja turbin saat berputar menjadi lebih berat.



Gambar 4.22 Grafik keluaran tegangan generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 0021 di kecepatan angin 5 m/s



Gambar 4.23 Grafik keluaran tegangan generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 0021 di kecepatan angin 6 m/s

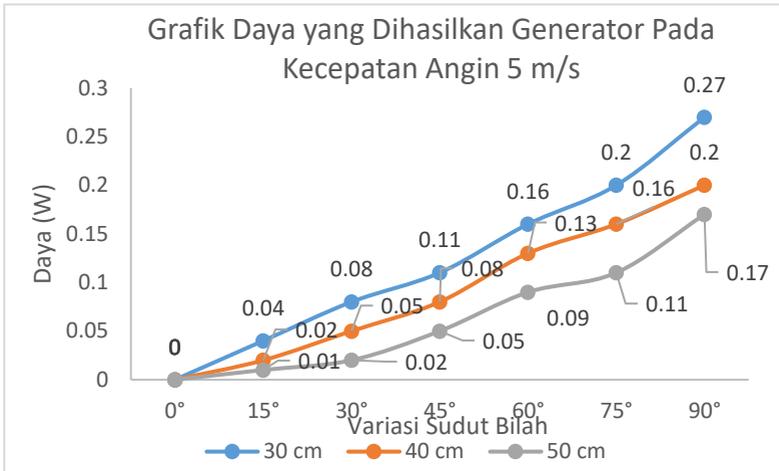


Gambar 4.24 Grafik keluaran tegangan generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 0021 di kecepatan angin 7 m/s

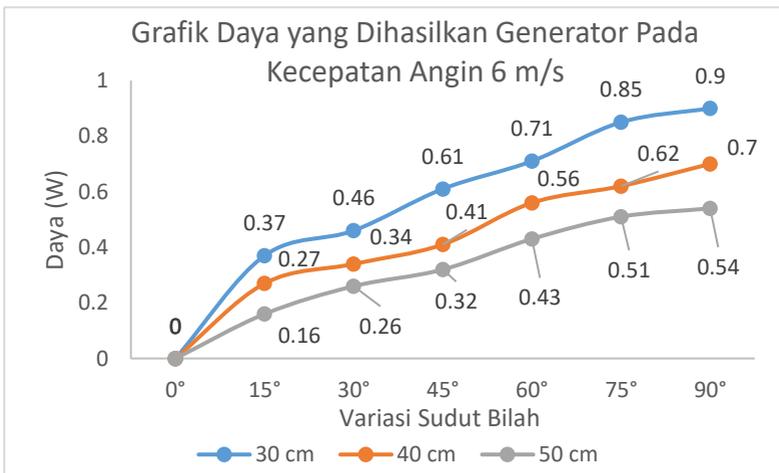
Dari **Gambar 4.22**, **Gambar 4.23**, dan **Gambar 4.24** dapat jelaskan bahwa variasi sudut, jarak bilah (*blade*) terhadap

poros, juga kecepatan angin mempengaruhi keluaran generator berupa tegangan. Dimana semakin dekat jarak antara bilah dengan poros turbin maka tegangan yang dihasilkan semakin besar (dapat dilihat pada grafik dengan garis berwarna biru) sebaliknya semakin jauh jarak antara bilah (*blade*) dengan poros turbin angin maka semakin kecil pula tegangan yang dihasilkan. Sudut yang diberikan terhadap bilah (*blade*) juga mempengaruhi keluaran tegangan yang dihasilkan saat turbin berputar. Begitupula dengan kecepatan anginnya, semakin besar kecepatan angin yang diberikan maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan.

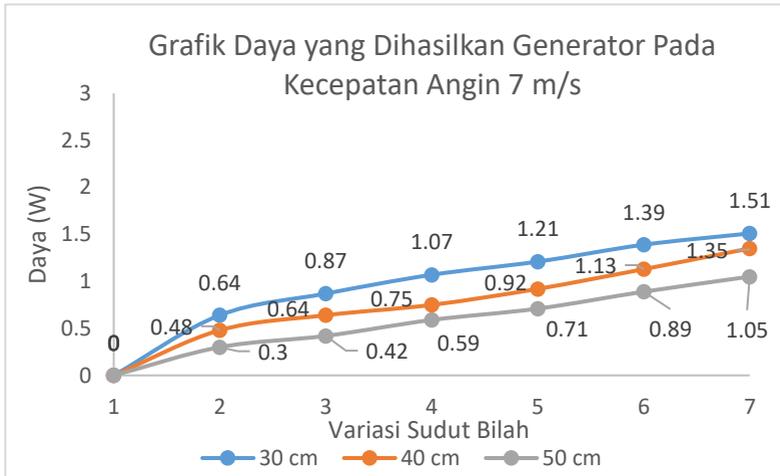
Dapat dilihat juga pada grafik, keluaran tegangan yang dihasilkan tidak dapat membentuk garis lurus dengan sempurna disetiap variasi kecepatannya. Adapun faktor yang mempengaruhi keluaran tegangan turbin angin saat pengujian antara lain saat pengujian alat tidak berada pada ruangan yang khusus sehingga angin tidak dapat mendorong (*blade*) dengan sempurna, saat pengujian penguncian penghubung antara bilah dengan lengan turbin kurang sempurna sehingga ketika turbin diberi angin turbin tidak dapat memutar dengan sempurna, serta saat pengujian sempat terjadi perlambatan pada putaran turbin bisa jadi dikarenakan karena kurang pemberian pelumas pada ass turbin ataupun rantai yang memutar yang memutar generator kendur sehingga kinerja turbin saat berputar menjadi lebih berat.



Gambar 4.25 Grafik daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 0021 di kecepatan angin 5 m/s

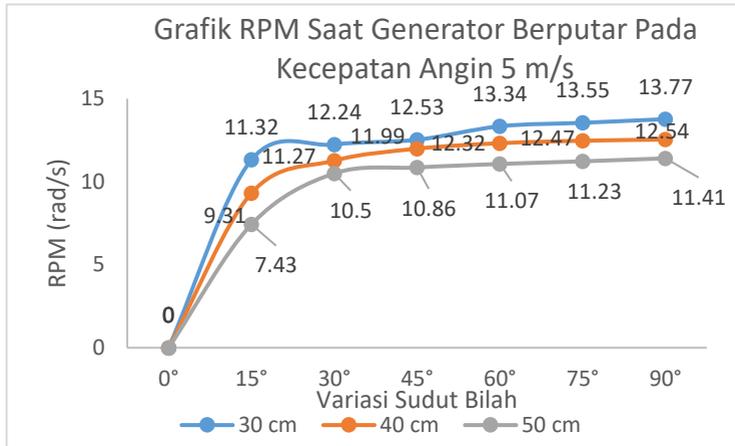


Gambar 4.26 Grafik daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 0021 di kecepatan angin 6 m/s

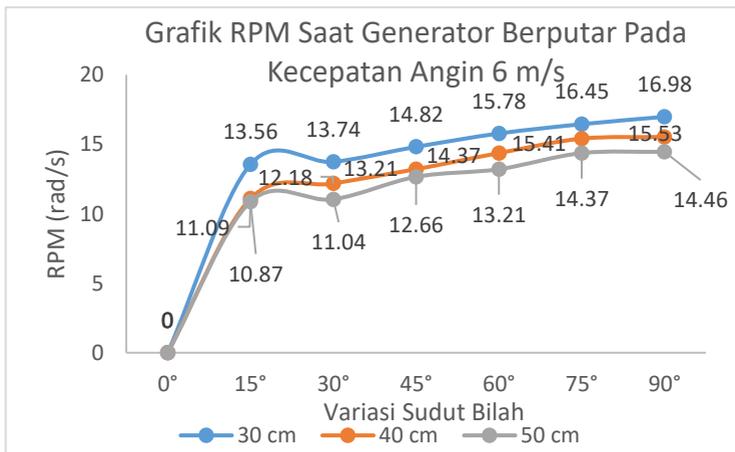


Gambar 4.27 Grafik daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 0021 di kecepatan angin 7 m/s

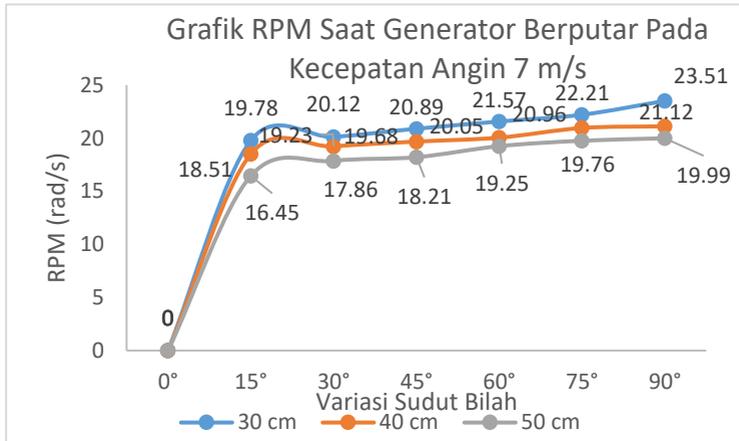
Dari **Gambar 4.25**, **Gambar 4.26**, dan **Gambar 4.27** dapat jelaskan bahwa daya yang dihasilkan generator dipengaruhi keluaran dari arus dan tegangan dari generator. Semakin besar keluaran arus dan tegangan dari generator maka daya yang dihasilkan akan semakin besar begitupula sebaliknya, semakin kecil keluaran arus dan tegangan dari generator maka semakin kecil maka daya yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Karena sudah diketahui keluaran nilai arus dan tegangan dari generator saat turbin angin berputar pada kecepatan 5 m/s, 6 m/s, dan 7 m/s (grafik dan nilai keluaran arus generator dapat dilihat pada **Gambar 4.19**, **Gambar 4.20**, dan **Gambar 4.21** sedangkan grafik dan nilai keluaran tegangan dapat dilihat pada **Gambar 4.22**, **Gambar 4.23**, **Gambar 4.24**) sehingga dapat kita hitung berapa daya yang dihasilkan generator saat turbin angin berputar pada kecepatan 5 m/s, 6 m/s, dan 7 m/s yaitu dengan cara mengalikan keluaran arus dan tegangan dari generator.



Gambar 4.28 Grafik RPM saat generator berputar dengan menggunakan model bilah kayu NACA 0021 di kecepatan angin 5 m/s

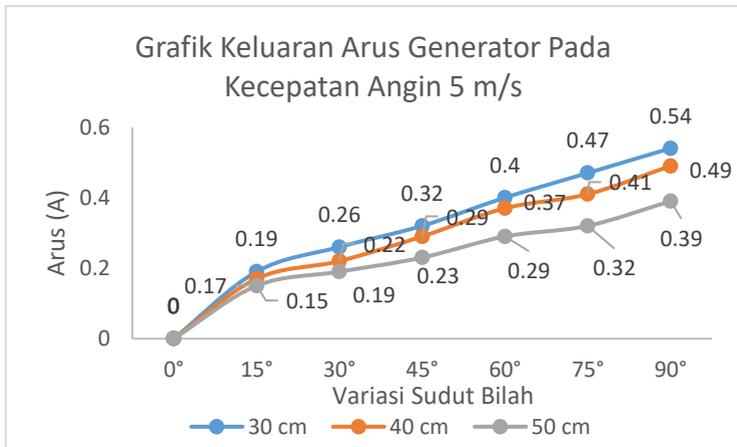


Gambar 4.29 Grafik RPM saat generator berputar dengan menggunakan model bilah kayu NACA 0021 di kecepatan angin 6 m/s

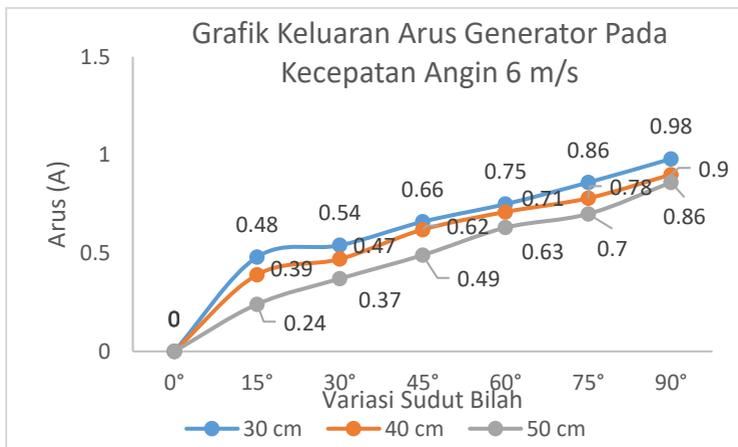


Gambar 4.30 Grafik RPM saat generator berputar dengan menggunakan model bilah kayu NACA 0021 di kecepatan angin 7 m/s

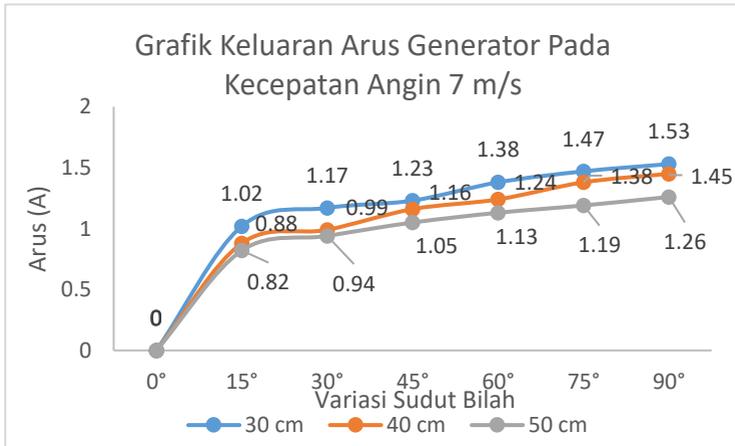
Dari **Gambar 4.28**, **Gambar 4.29**, dan **Gambar 4.30** dapat jelaskan bahwa semakin cepat turbin angin berputar semakin besar pula nilai RPM yang didapatkan. Jarak antara bilah dengan poros turbin serta sudut yang diberikan pada bilah mempengaruhi putaran turbin sehingga berpengaruh pula pada nilai RPM yang dihasilkan.



Gambar 4.31 Grafik keluaran arus generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 6412 di kecepatan angin 5 m/s



Gambar 4.32 Grafik keluaran arus generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 6412 di kecepatan angin 6 m/s

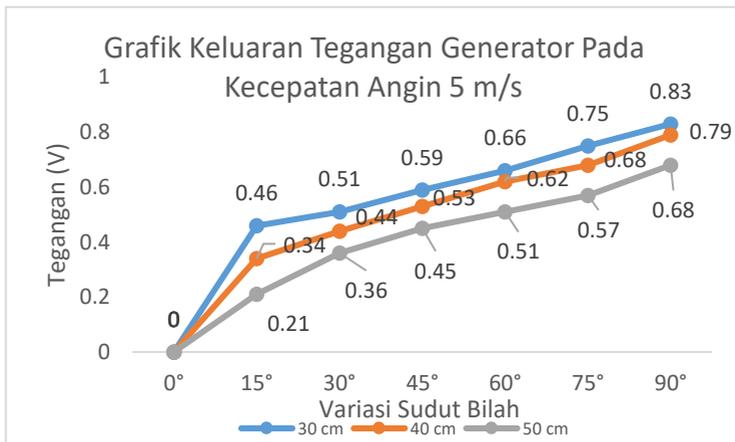


Gambar 4.33 Grafik keluaran arus generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 6412 di kecepatan angin 7 m/s

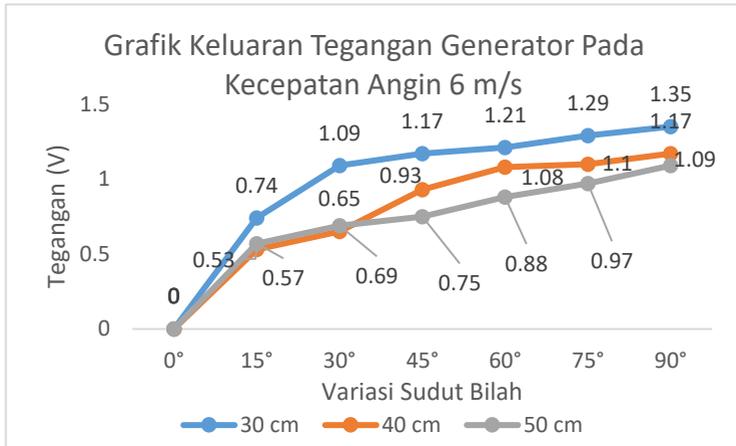
Dari **Gambar 4.31**, **Gambar 4.32**, dan **Gambar 4.33** dapat jelaskan bahwa variasi sudut, jarak bilah (*blade*) terhadap poros, juga kecepatan angin mempengaruhi keluaran generator berupa arus. Dimana semakin dekat jarak antara bilah dengan poros turbin maka arus yang dihasilkan semakin besar (dapat dilihat pada grafik dengan garis berwarna biru) sebaliknya semakin jauh jarak antara bilah (*blade*) dengan poros turbin angin maka semakin kecil pula arus yang dihasilkan. Sudut yang diberikan terhadap bilah (*blade*) juga mempengaruhi keluaran arus yang dihasilkan saat turbin berputar. Begitupula dengan kecepatannya, semakin besar kecepatan angin yang diberikan maka semakin besar pula arus yang dihasilkan.

Dapat dilihat juga pada grafik, keluaran arus yang dihasilkan tidak dapat membentuk garis lurus dengan sempurna disetiap variasi kecepatannya. Adapun faktor yang mempengaruhi keluaran arus turbin angin saat pengujian antara lain saat pengujian alat tidak berada pada ruangan yang khusus sehingga angin tidak dapat

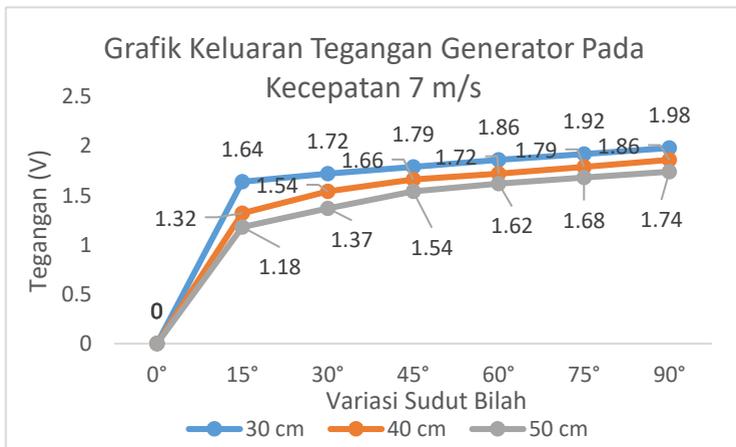
mendorong (*blade*) dengan sempurna, saat pengujian penguncian penghubung antara bilah dengan lengan turbin kurang sempurna sehingga ketika turbin diberi angin turbin tidak dapat memutar dengan sempurna, serta saat pengujian sempat terjadi perlambatan pada putaran turbin bisa jadi dikarenakan karena kurang pemberian pelumas pada ass turbin sehingga kinerja turbin saat berputar menjadi lebih berat.



Gambar 4.34 Grafik keluaran tegangan generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 6412 di kecepatan angin 5 m/s



Gambar 4.35 Grafik keluaran tegangan generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 6412 di kecepatan angin 6 m/s

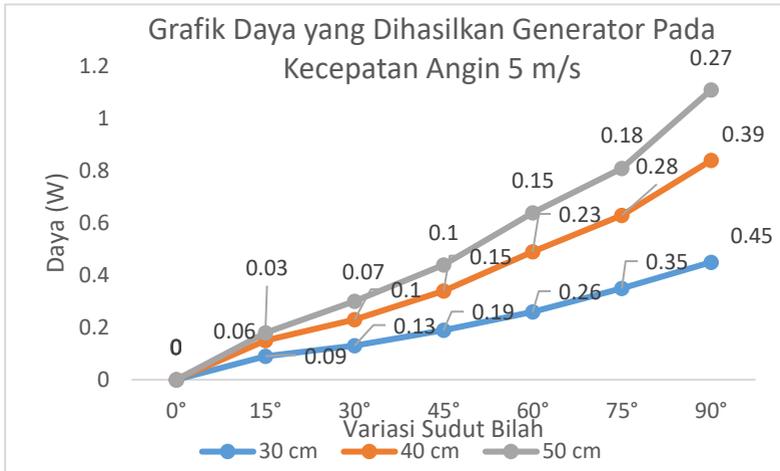


Gambar 4.36 Grafik keluaran tegangan generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 6412 di kecepatan angin 7 m/s

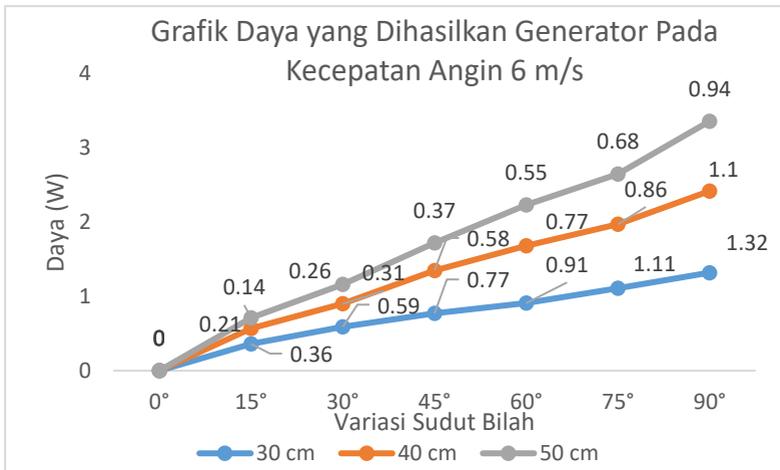
Dari **Gambar 4.34** , **Gambar 4.35**, dan **Gambar 4.36** dapat jelaskan bahwa variasi sudut, jarak bilah (*blade*) terhadap

poros, juga kecepatan angin mempengaruhi keluaran generator berupa tegangan. Dimana semakin dekat jarak antara bilah dengan poros turbin maka tegangan yang dihasilkan semakin besar (dapat dilihat pada grafik dengan garis berwarna biru) sebaliknya semakin jauh jarak antara bilah (*blade*) dengan poros turbin angin maka semakin kecil pula tegangan yang dihasilkan. Sudut yang diberikan terhadap bilah (*blade*) juga mempengaruhi keluaran tegangan yang dihasilkan saat turbin berputar. Begitupula dengan kecepatan anginnya, semakin besar kecepatan angin yang diberikan maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan.

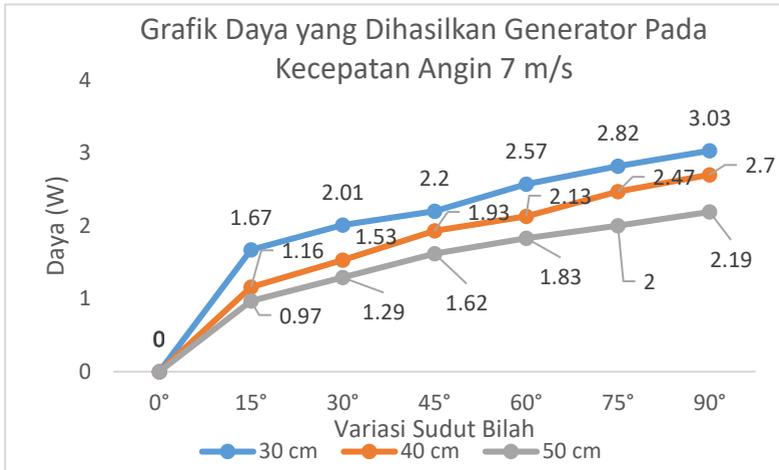
Dapat dilihat juga pada grafik, keluaran tegangan yang dihasilkan tidak dapat membentuk garis lurus dengan sempurna disetiap variasi kecepatannya. Adapun faktor yang mempengaruhi keluaran tegangan turbin angin saat pengujian antara lain saat pengujian alat tidak berada pada ruangan yang khusus sehingga angin tidak dapat mendorong (*blade*) dengan sempurna, saat pengujian penguncian penghubung antara bilah dengan lengan turbin kurang sempurna sehingga ketika turbin diberi angin turbin tidak dapat memutar dengan sempurna, serta saat pengujian sempat terjadi perlambatan pada putaran turbin bisa jadi dikarenakan karena kurang pemberian pelumas pada ass turbin ataupun rantai yang memutar yang memutar generator kendur sehingga kinerja turbin saat berputar menjadi lebih berat.



Gambar 4.37 Grafik daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 6412 di kecepatan angin 5 m/s

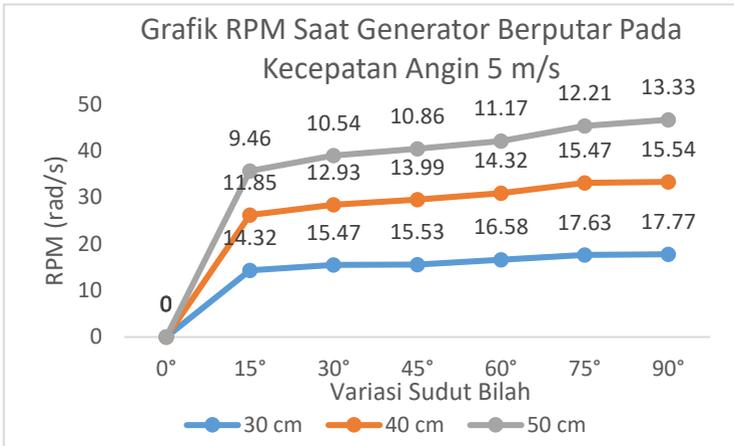


Gambar 4.38 Grafik daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 6412 di kecepatan angin 6 m/s

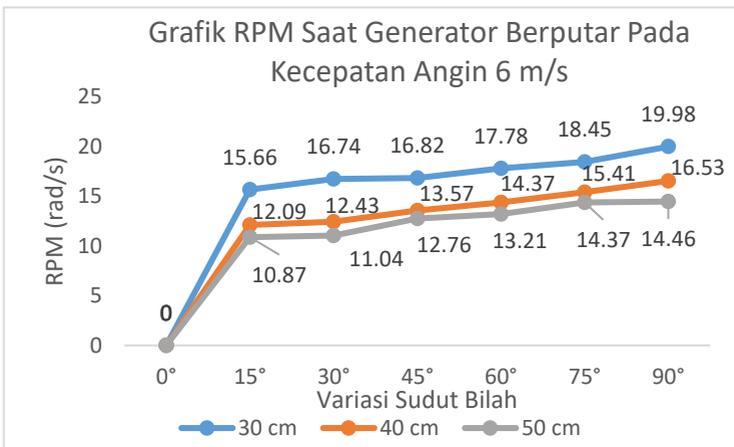


Gambar 4.39 Grafik daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan model bilah fiber NACA 6412 di kecepatan angin 7 m/s

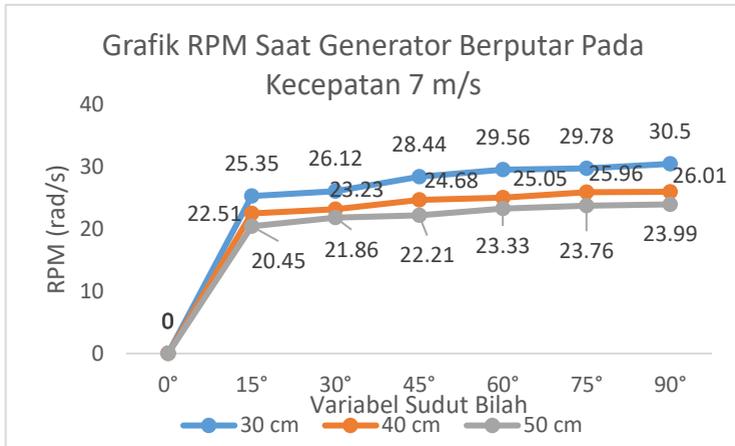
Dari **Gambar 4.37**, **Gambar 4.38**, dan **Gambar 4.39** dapat jelaskan bahwa daya yang dihasilkan generator dipengaruhi keluaran dari arus dan tegangan dari generator. Semakin besar keluaran arus dan tegangan dari generator maka daya yang dihasilkan akan semakin besar begitupula sebaliknya, semakin kecil keluaran arus dan tegangan dari generator maka semakin kecil maka daya yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Karena sudah diketahui keluaran nilai arus dan tegangan dari generator saat turbin angin berputar pada kecepatan 5 m/s, 6 m/s, dan 7 m/s (grafik dan nilai keluaran arus generator dapat dilihat pada **Gambar 4.31**, **Gambar 4.32**, dan **Gambar 4.33** sedangkan grafik dan nilai keluaran tegangan dapat dilihat pada **Gambar 4.34**, **Gambar 4.35**, **Gambar 4.36**) sehingga dapat kita hitung berapa daya yang dihasilkan generator saat turbin angin berputar pada kecepatan 5 m/s, 6 m/s, dan 7 m/s yaitu dengan cara mengalikan keluaran arus dan tegangan dari generator.



Gambar 4.40 Grafik RPM saat generator berputar dengan menggunakan model bilah fiber NACA 6412 di kecepatan angin 5 m/s

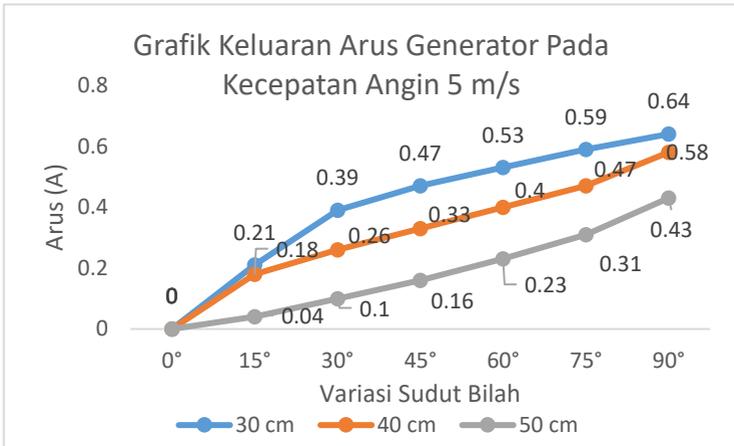


Gambar 4.41 Grafik RPM saat generator berputar dengan menggunakan model bilah fiber NACA 6412 di kecepatan angin 6 m/s

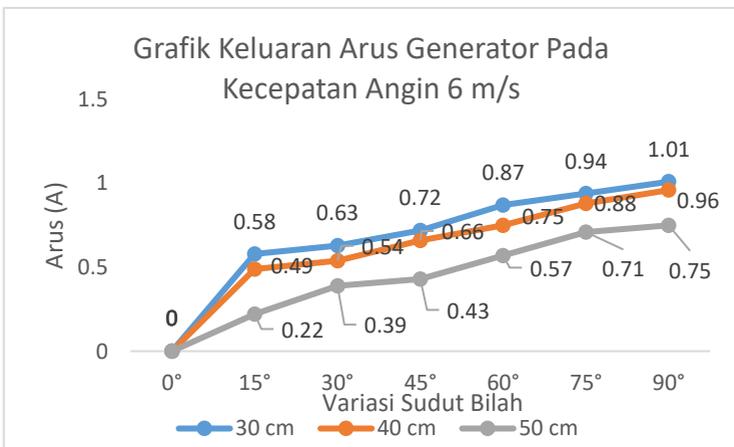


Gambar 4.42 Grafik RPM saat generator berputar dengan menggunakan model bilah fiber NACA 6412 di kecepatan 7 m/s

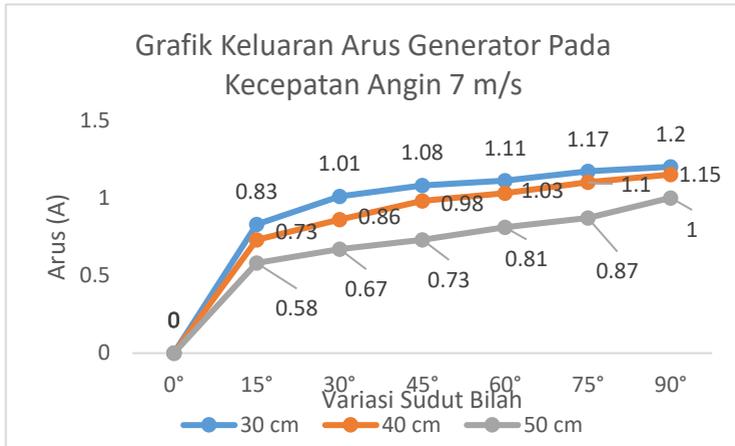
Dari **Gambar 4.40**, **Gambar 4.41**, dan **Gambar 4.42** dapat jelaskan bahwa semakin cepat turbin angin berputar semakin besar pula nilai RPM yang didapatkan. Jarak antara bilah dengan poros turbin serta sudut yang diberikan pada bilah mempengaruhi putaran turbin sehingga berpengaruh pula pada nilai RPM yang dihasilkan.



Gambar 4.43 Grafik keluaran arus generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 6412 di kecepatan angin 5 m/s



Gambar 4.44 Grafik keluaran arus generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 6412 di kecepatan angin 6 m/s

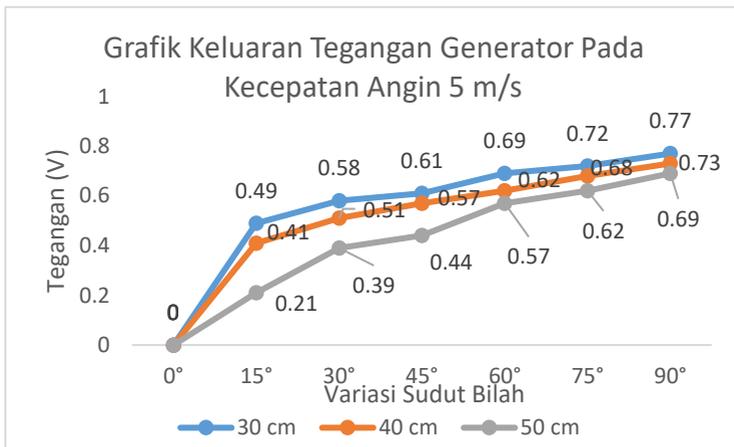


Gambar 4.45 Grafik keluaran arus generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 6412 di kecepatan 7 m/s

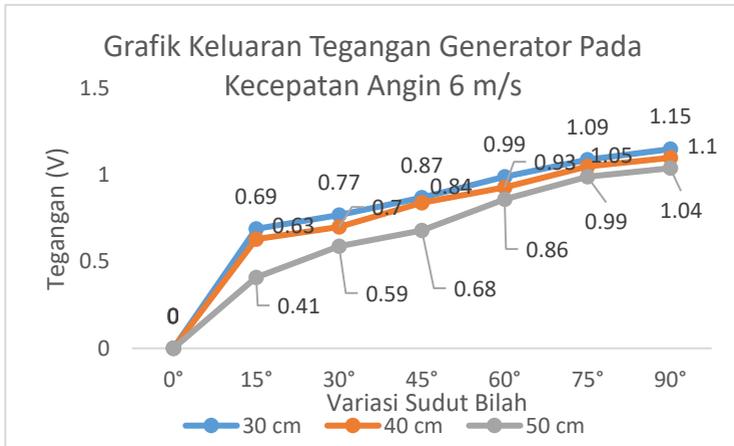
Dari **Gambar 4.43**, **Gambar 4.44**, dan **Gambar 4.45** dapat jelaskan bahwa variasi sudut, jarak bilah (*blade*) terhadap poros, juga kecepatan angin mempengaruhi keluaran generator berupa arus. Dimana semakin dekat jarak antara bilah dengan poros turbin maka arus yang dihasilkan semakin besar (dapat dilihat pada grafik dengan garis berwarna biru) sebaliknya semakin jauh jarak antara bilah (*blade*) dengan poros turbin angin maka semakin kecil pula arus yang dihasilkan. Sudut yang diberikan terhadap bilah (*blade*) juga mempengaruhi keluaran arus yang dihasilkan saat turbin berputar. Begitupula dengan kecepatan anginnya, semakin besar kecepatan angin yang diberikan maka semakin besar pula arus yang dihasilkan.

Dapat dilihat juga pada grafik, keluaran arus yang dihasilkan tidak dapat membentuk garis lurus dengan sempurna disetiap variasi kecepatannya. Adapun faktor yang mempengaruhi keluaran arus turbin angin saat pengujian antara lain saat pengujian alat tidak berada pada ruangan yang khusus sehingga angin tidak dapat mendorong (*blade*) dengan sempurna, saat pengujian penguncian

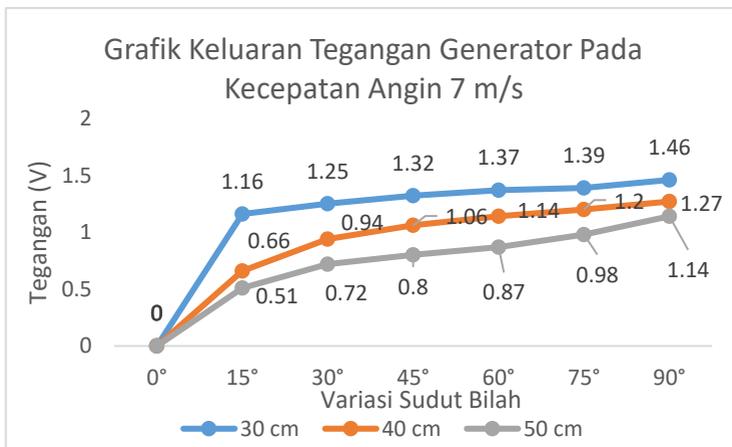
penghubung antara bilah dengan lengan turbin kurang sempurna sehingga ketika turbin diberi angin turbin tidak dapat memutar dengan sempurna, serta saat pengujian sempat terjadi perlambatan pada putaran turbin bisa jadi dikarenakan karena kurang pemberian pelumas pada ass turbin sehingga kinerja turbin saat berputar menjadi lebih berat



Gambar 4.46 Grafik keluaran tegangan generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 6412 di kecepatan angin 5 m/s



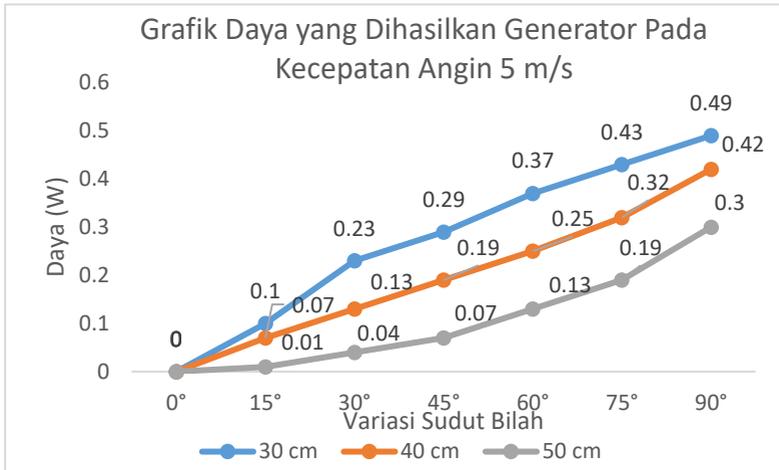
Gambar 4.47 Grafik keluaran tegangan generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 6412 di kecepatan angin 6 m/s



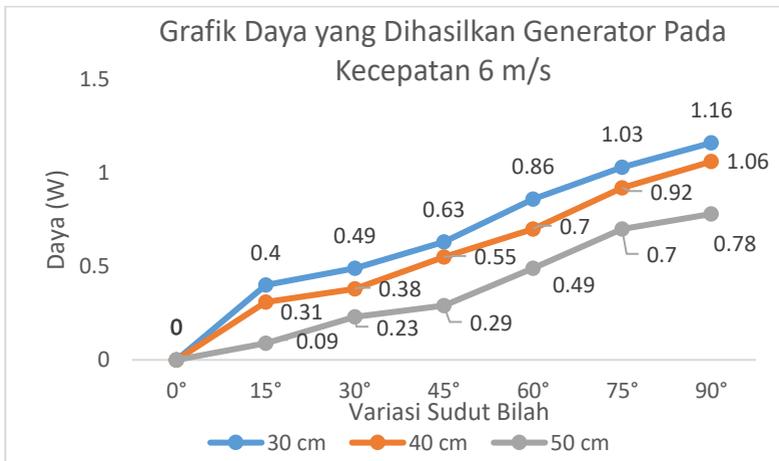
Gambar 4.48 Grafik keluaran tegangan generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 6412 di kecepatan angin 7 m/s

Dari **Gambar 4.46** , **Gambar 4.47**, dan **Gambar 4.48** dapat jelaskan bahwa variasi sudut, jarak bilah (*blade*) terhadap poros, juga kecepatan angin mempengaruhi keluaran generator berupa tegangan. Dimana semakin dekat jarak antara bilah dengan poros turbin maka tegangan yang dihasilkan semakin besar (dapat dilihat pada grafik dengan garis berwarna biru) sebaliknya semakin jauh jarak antara bilah (*blade*) dengan poros turbin angin maka semakin kecil pula tegangan yang dihasilkan. Sudut yang diberikan terhadap bilah (*blade*) juga mempengaruhi keluaran tegangan yang dihasilkan saat turbin berputar. Begitupula dengan kecepatan anginnya, semakin besar kecepatan angin yang diberikan maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan.

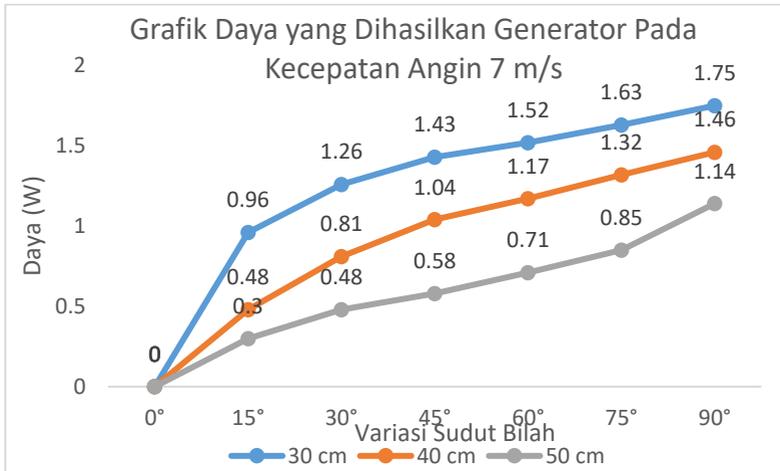
Dapat dilihat juga pada grafik, keluaran tegangan yang dihasilkan tidak dapat membentuk garis lurus dengan sempurna disetiap variasi kecepatannya. Adapun faktor yang mempengaruhi keluaran tegangan turbin angin saat pengujian antara lain saat pengujian alat tidak berada pada ruangan yang khusus sehingga angin tidak dapat mendorong (*blade*) dengan sempurna, saat pengujian penguncian penghubung antara bilah dengan lengan turbin kurang sempurna sehingga ketika turbin diberi angin turbin tidak dapat memutar dengan sempurna, serta saat pengujian sempat terjadi perlambatan pada putaran turbin bisa jadi dikarenakan karena kurang pemberian pelumas pada ass turbin ataupun rantai yang memutar yang memutar generator kendur sehingga kinerja turbin saat berputar menjadi lebih berat.



Gambar 4.49 Grafik daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 6412 di kecepatan angin 5 m/s

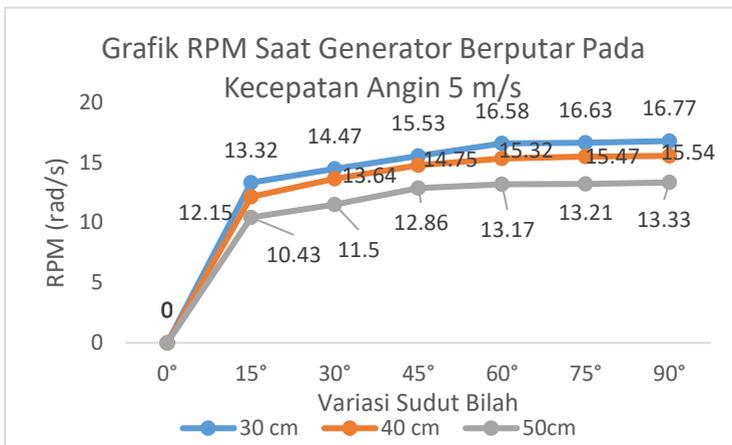


Gambar 4.50 Grafik daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 6412 di kecepatan angin 6 m/s

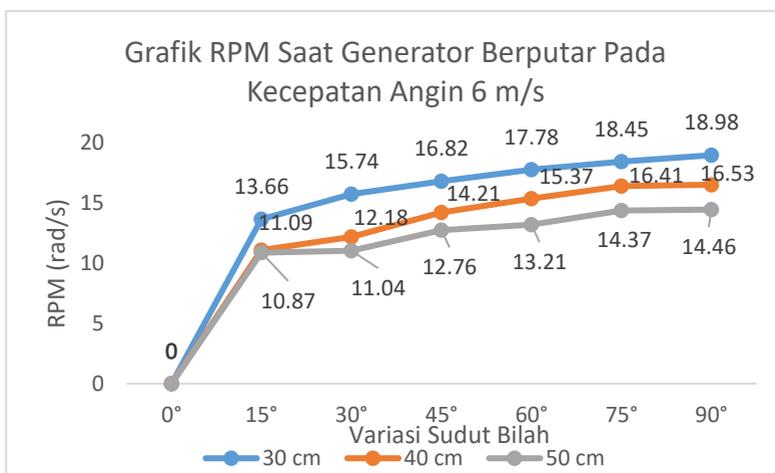


Gambar 4.51 Grafik daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan model bilah kayu NACA 6412 di kecepatan angin 7 m/s

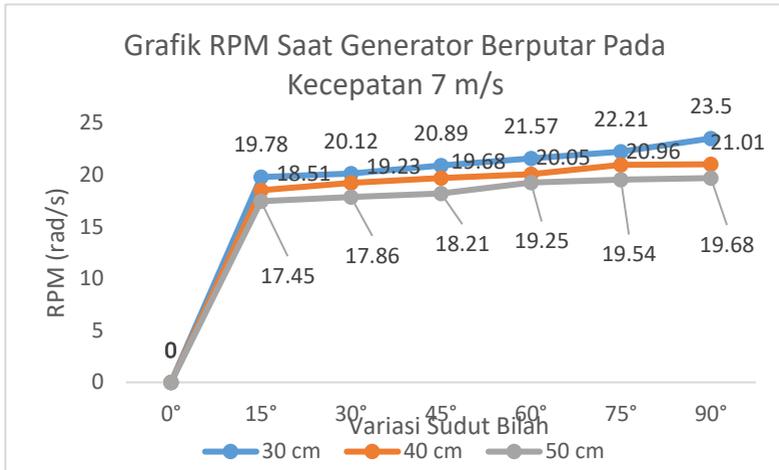
Dari **Gambar 4.49**, **Gambar 4.50**, dan **Gambar 4.51** dapat jelaskan bahwa daya yang dihasilkan generator dipengaruhi keluaran dari arus dan tegangan dari generator. Semakin besar keluaran arus dan tegangan dari generator maka daya yang dihasilkan akan semakin besar begitupula sebaliknya, semakin kecil keluaran arus dan tegangan dari generator maka semakin kecil maka daya yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Karena sudah diketahui keluaran nilai arus dan tegangan dari generator saat turbin angin berputar pada kecepatan 5 m/s, 6 m/s, dan 7 m/s (grafik dan nilai keluaran arus generator dapat dilihat pada **Gambar 4.43**, **Gambar 4.44**, dan **Gambar 4.45** sedangkan grafik dan nilai keluaran tegangan dapat dilihat pada **Gambar 4.46**, **Gambar 4.47**, **Gambar 4.48**) sehingga dapat kita hitung berapa daya yang dihasilkan generator saat turbin angin berputar pada kecepatan 5 m/s, 6 m/s, dan 7 m/s yaitu dengan cara mengalikan keluaran arus dan tegangan dari generator.



Gambar 4.52 Grafik RPM saat generator berputar dengan menggunakan model bilah kayu NACA 6412 di kecepatan angin 5 m/s



Gambar 4.53 Grafik RPM saat generator berputar dengan menggunakan model bilah kayu NACA 6412 di kecepatan angin 6 m/s



Gambar 4.54 Grafik RPM saat generator berputar dengan menggunakan model bilah kayu NACA 6412 di kecepatan angin 7 m/s

Dari **Gambar 4.52**, **Gambar 4.53**, dan **Gambar 4.54** dapat jelaskan bahwa semakin cepat turbin angin berputar semakin besar pula nilai RPM yang didapatkan. Jarak antara bilah dengan poros turbin serta sudut yang diberikan pada bilah mempengaruhi putaran turbin sehingga berpengaruh pula pada nilai RPM yang dihasilkan.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Tingkat performansi turbin angin menjadi lebih tinggi saat turbin angin menggunakan bilah tipe NACA 6412 berbahan fiber dibandingkan saat turbin angin menggunakan bilah tipe NACA 6412 berbahan kayu dan bilah tipe NACA 0021 berbahan kayu dan fiber dengan jarak antara bilah dan poros turbin 30 cm dengan variasi sudut bilah 90° .
2. Dari hasil penelitian, saat turbin angin menggunakan bilah tipe NACA 6412 berbahan fiber dengan jarak antara bilah dengan poros turbin 30 cm dan dengan variasi sudut bilah 90° arus yang dihasilkan adalah arus yang dihasilkan 0.54 A pada kecepatan angin 5 m/s ; 0.98 A pada kecepatan angin 6 m/s ; 1.53 A pada kecepatan angin 7 m/s, tegangan yang dihasilkan 0.83 V pada kecepatan angin 5 m/s ; 1.35 V pada kecepatan angin 6 m/s ; 1.98 V pada kecepatan angin 7 m/s sehingga turbin angin dapat menghasilkan daya sebesar 0.45 W pada kecepatan angin 5 m/s ; 1.31 W pada kecepatan angin 6 m/s ; 3.03 W pada kecepatan angin 7 m/s, serta RPM yang dihasilkan rotor pada generator saat turbin berputar sebesar 17.77 rad/s pada kecepatan angin 5 m/s ; 19.98 rad/s pada kecepatan angin 6 m/s dan 30.5 rad/s pada kecepatan angin 7 m/s.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Sebaiknya perlu ditambahkan rangkaian tambahan agar daya yang dihasilkan lebih tinggi dan dapat digunakan sebagai pembangkit listrik dalam skala besar.
2. Sebaiknya dalam pengintegrasian sensor dengan mikrokontroler lebih berhati – hati dan lebih teliti lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mathew, Sathyajith. Wind Energy : Fundamentals, Resource Analysis and Economics . s.1 : Springer, 2006.
- [2] Gary, L.Johnson. Wind Energy Engineering. s.1 : McGraw Hill, 2011.
- [3] Jain, Pramod. Wind Energy Engineering. s.1 : McGraw Hill, 2011.
- [4] <http://lib.ui.ac.id/naskahringkas/2015-09/S44939-Janindri%20Wiranti> diakses tanggal 20 November 2017, pukul 13.30
- [5] Dutta, Animesh. 2006. Basics of Wind Technology. Asian Institute of Technology Thailand. 6 Juli 2006
- [6] Hau, Erich. (2005). Wind Turbine 2nd Edition. New York. Springer
- [7] <http://www.satuenergi.com/2015/10/jenis-jenis-turbin-angin-serta.html> diakses tanggal 20 November 2017, pukul 14.17
- [8] Achmada Jaya Pradana, (2013). ” Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius dengan Variasi Profil Kurva Blade untuk Memperoleh Daya Maksimum”. Jurnal Teknik Pomits. Vol. 7 : Hal. 1 – 6.
- [9] <https://pursuitengineering.blogspot.co.id/2017/02/wind-turbines.html> diakses tanggal 20 November 2017, pukul 14.37

- [10] Heier, S., Grid Integration of Horizontal Axis Wind Turbine, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 1998
- [11] Viterna L.A., Corrigan R.D. (1982) Fixed pitch rotor performance of large horizontal axis wind turbines. Technical report CP-2230, NASA, USA, 1982.
- [12] Mohammadi, M.Mirsalim, S.Vaez-Zadeh, and H.Ali Talebi. “*Analytical Generator and Analysis of Axial-Flux Interior Permanent-Magnet Couplers*”.Journal of IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS. 2014
- [13] Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.2013. “*Rancangan Umum Kelistrikan Nasional (RUKN) 2012-2031*”. Kementrian ESDM Republik Indonesia , 13 Februari 2013
- [14] Adrian Augustin, dkk. “*Axial-flux vs. radial-flux permanent-magnet synchronous generators for micro-wind turbine application*”. EPE’13 ECCE Europe ISBN: 978-90-75815-17-7 and 978-1-4799-0114-2
- [15] Jurnal Teknologi Informasi-Aiti, Vol. 5. No. 2. Agustus 2008: 101- 200
- [16] Khang, Bustam. 2002. Trik pemrograman Aplikasi Berbasis SMS. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- [17] Djuandi, Feri. “Pengenalan Arduino”, www.tokobuku.com, Access Date: September, 13th, 2014.

- [18] Artanto, Dian, “Interaksi Arduino dan LabVIEW”, Gramedia, 2012
- [19] Stalin.2007. Komunikasi & Jaringan Nirkabel. Alih Bahasa oleh Dimas Aryo Pamungkas, S.T. Erlangga. Jakarta.
- [20] Qiu-ling, X.Peng1, W. Xie. “*Design of Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Generators with Soft Magnetic Compound (SMC) stator Core*”. 2009. Jurnal of IEEE ,2009 International Conference on Energy and Environment Technology
- [21] Nurcahyo, S.2012. Aplikasi dan Teknik Pemrograman Mikrokontroler AVR Atmel. CV Andi Offset. Yogyakarta.
- [22] Shayegh, H. (2012). Feasibility and Optimal Reliable Design of Renewable Hybrid Energy System for Rural Electrification in Iran. pp. Vol.2 No.4
- [23] Muttaqin, Ilham, “Perancangan Aplikasi Plc Omron Sysmac CP1L pada Sistem Otomasi Ice Compactor untuk Pematatan Ice Flag”, Semarang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2012
- [24] A. Setiawan, 20 Aplikasi Mikrokontroler Atmega128 Menggunakan Bascom-AVR, 2011, Andi Publisher, Bandung
- [25] Politeknik Negeri Elektronika Surabaya. bima.lecturer.pens.ac.id/materi%20praktikum%20dsp/ps2_codec_sampling.pdf. n.d. bima.lecturer.pens.ac.id (accessed January 29, 2018).

LAMPIRAN A

(DATA SHEET SYSTEM ATMEGA128)

Features

- High-performance, Low-power Atmel® AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 133 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers + Peripheral Control Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16MIPS Throughput at 16MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory segments
 - 128Kbytes of In-System Self-programmable Flash program memory
 - 4Kbytes EEPROM
 - 4Kbytes Internal SRAM
 - Write/Erase cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
- In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Up to 64Kbytes Optional External Memory Space
 - Programming Lock for Software Security
 - SPI Interface for In-System Programming
- QTouch® library support
 - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
 - QTouch and QMatrix acquisition
 - Up to 64 sense channels
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - Two Expanded 16-bit Timer/Counters with Separate Prescaler, Compare Mode and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Two 8-bit PWM Channels
 - 6 PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits
 - Output Compare Modulator
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Dual Programmable Serial USARTs
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
 - Software Selectable Clock Frequency
 - ATmega103 Compatibility Mode Selected by a Fuse
 - Global Pull-up Disable
- I/O and Packages
 - 53 Programmable I/O Lines
 - 64-lead TQFP and 64-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V ATmega128L
 - 4.5 - 5.5V ATmega128
- Speed Grades
 - 0 - 8MHz ATmega128L
 - 0 - 16MHz ATmega128



8-bit Atmel
Microcontroller
with 128KBytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega128
ATmega128L

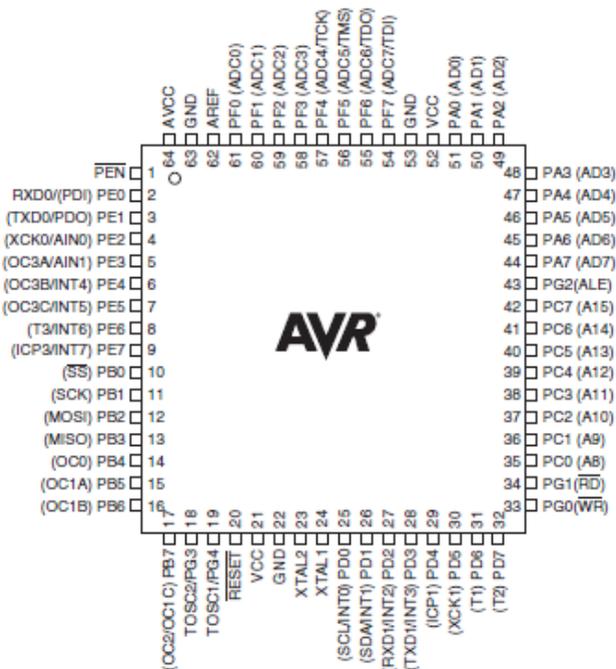
Summary

Rev. 2467X5-AVR1-06/11



Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega128



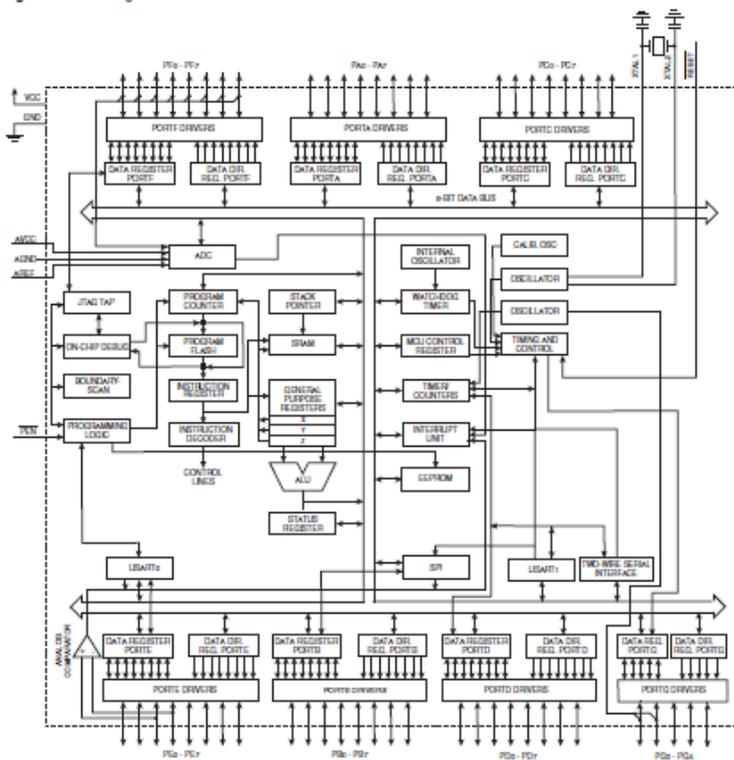
Note: The Pinout figure applies to both TQFP and MLF packages. The bottom pad under the QFN/MLF package should be soldered to ground.

Overview

The Atmel® AVR® ATmega128 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega128 achieves throughputs approaching 1MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

Block Diagram

Figure 2. Block Diagram



The Atmel® AVR® core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega128 provides the following features: 128Kbytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 4Kbytes EEPROM, 4Kbytes SRAM, 53 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, Real Time Counter (RTC), four flexible Timer/Counters with compare modes and PWM, 2 USARTs, a byte oriented Two-wire Serial Interface, an 8-channel, 10-bit ADC with optional differential input stage with programmable gain, programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, IEEE std. 1149.1 compliant JTAG test interface, also used for accessing the On-chip Debug system and programming and six software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or Hardware Reset. In Power-save mode, the asynchronous timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except Asynchronous Timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the Crystal/Resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low power consumption. In Extended Standby mode, both the main Oscillator and the Asynchronous Timer continue to run.

Atmel offers the QTouch® library for embedding capacitive touch buttons, sliders and wheels functionality into AVR microcontrollers. The patented charge-transfer signal acquisition offers robust sensing and includes fully debounced reporting of touch keys and includes Adjacent Key Suppression® (AKS™) technology for unambiguous detection of key events. The easy-to-use QTouch Suite toolchain allows you to explore, develop and debug your own touch applications.

The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface, by a conventional nonvolatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega128 is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega128 device is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, in-circuit emulators, and evaluation kits.

ATmega103 and ATmega128 Compatibility

The ATmega128 is a highly complex microcontroller where the number of I/O locations supersedes the 64 I/O locations reserved in the AVR instruction set. To ensure backward compatibility with the ATmega103, all I/O locations present in ATmega103 have the same location in ATmega128. Most additional I/O locations are added in an Extended I/O space starting from \$60 to \$FF, (i.e., in the ATmega103 internal RAM space). These locations can be reached by using LD/LDS/LDD and ST/STS/STD instructions only, not by using IN and OUT instructions. The relocation of the internal RAM space may still be a problem for ATmega103 users. Also, the increased number of interrupt vectors might be a problem if the code uses absolute addresses. To solve these problems, an ATmega103 compatibility mode can be selected by programming the fuse M103C. In this mode, none of the functions in the Extended I/O space are in use, so the internal RAM is located as in ATmega103. Also, the Extended Interrupt vectors are removed.

The ATmega128 is 100% pin compatible with ATmega103, and can replace the ATmega103 on current Printed Circuit Boards. The application note "Replacing ATmega103 by ATmega128" describes what the user should be aware of replacing the ATmega103 by an ATmega128.

**ATmega103
Compatibility Mode**

By programming the M103C fuse, the Atmel®ATmega128 will be compatible with the ATmega103 regards to RAM, I/O pins and interrupt vectors as described above. However, some new features in ATmega128 are not available in this compatibility mode, these features are listed below:

- One USART instead of two, Asynchronous mode only. Only the eight least significant bits of the Baud Rate Register is available.
- One 16 bits Timer/Counter with two compare registers instead of two 16-bit Timer/Counters with three compare registers.
- Two-wire serial interface is not supported.
- Port C is output only.
- Port G serves alternate functions only (not a general I/O port).
- Port F serves as digital input only in addition to analog input to the ADC.
- Boot Loader capabilities is not supported.
- It is not possible to adjust the frequency of the internal calibrated RC Oscillator.
- The External Memory Interface can not release any Address pins for general I/O, neither configure different wait-states to different External Memory Address sections.

In addition, there are some other minor differences to make it more compatible to ATmega103:

- Only EXTRF and PORF exists in MCUCSR.
- Timed sequence not required for Watchdog Time-out change.
- External Interrupt pins 3 - 0 serve as level interrupt only.
- USART has no FIFO buffer, so data overrun comes earlier.

Unused I/O bits in ATmega103 should be written to 0 to ensure same operation in ATmega128.

Pin Descriptions**VCC**

Digital supply voltage.

GND

Ground.

Port A (PA7..PA0)

Port A is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port A pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port A also serves the functions of various special features of the ATmega128 as listed on [page 72](#).

Port B (PB7..PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega128 as listed on [page 73](#).

Port C (PC7..PC0)

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port C also serves the functions of special features of the Atmel® AVR[®]ATmega128 as listed on page 76. In ATmega103 compatibility mode, Port C is output only, and the port C pins are not tri-stated when a reset condition becomes active.

Note: The ATmega128 is by default shipped in ATmega103 compatibility mode. Thus, if the parts are not programmed before they are put on the PCB, PORTC will be output during first power up, and until the ATmega103 compatibility mode is disabled.

Port D (PD7..PD0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega128 as listed on page 77.

Port E (PE7..PE0)

Port E is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port E output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port E pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port E pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port E also serves the functions of various special features of the ATmega128 as listed on page 80.

Port F (PF7..PF0)

Port F serves as the analog inputs to the A/D Converter.

Port F also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter is not used. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port F output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port F pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port F pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. If the JTAG interface is enabled, the pull-up resistors on pins PF7(TDI), PF5(TMS), and PF4(TCK) will be activated even if a Reset occurs.

The TDO pin is tri-stated unless TAP states that shift out data are entered.

Port F also serves the functions of the JTAG interface.

In ATmega103 compatibility mode, Port F is an input Port only.

Port G (PG4..PG0)

Port G is a 5-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port G output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port G pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port G pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port G also serves the functions of various special features.

The port G pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

In ATmega103 compatibility mode, these pins only serves as strobes signals to the external memory as well as input to the 32kHz Oscillator, and the pins are initialized to PG0 = 1, PG1 = 1, and PG2 = 0 asynchronously when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. PG3 and PG4 are oscillator pins.

RESET	Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 19 on page 50 . Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.
XTAL1	Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.
XTAL2	Output from the inverting Oscillator amplifier.
AVCC	AVCC is the supply voltage pin for Port F and the A/D Converter. It should be externally connected to V_{CC} , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter.
AREF	AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.
PEN	PEN is a programming enable pin for the SPI Serial Programming mode, and is internally pulled high. By holding this pin low during a Power-on Reset, the device will enter the SPI Serial Programming mode. PEN has no function during normal operation.

Resources

A comprehensive set of development tools, application notes, and datasheets are available for download on <http://www.atmel.com/avr>.

Data Retention

Reliability Qualification results show that the projected data retention failure rate is much less than 1 PPM over 20 years at 85°C or 100 years at 25°C

About Code Examples

This datasheet contains simple code examples that briefly show how to use various parts of the device. These code examples assume that the part specific header file is included before compilation. Be aware that not all C compiler vendors include bit definitions in the header files and interrupt handling in C is compiler dependent. Please confirm with the C compiler documentation for more details.

For I/O registers located in extended I/O map, "IN", "OUT", "SBIS", "SBIC", "CBI", and "SBI" instructions must be replaced with instructions that allow access to extended I/O. Typically "LDS" and "STS" combined with "SBRS", "SBRC", "SBRF", and "CBR".

Capacitive touch sensing

The Atmel QTouch Library provides a simple to use solution to realize touch sensitive interfaces on most Atmel AVR microcontrollers. The QTouch Library includes support for the QTouch and QMatrix acquisition methods.

Touch sensing can be added to any application by linking the appropriate Atmel QTouch Library for the AVR Microcontroller. This is done by using a simple set of APIs to define the touch channels and sensors, and then calling the touch sensing API's to retrieve the channel information and determine the touch sensor states.

The QTouch Library is FREE and downloadable from the Atmel website at the following location: www.atmel.com/qtouchlibrary. For implementation details and other information, refer to the [Atmel QTouch Library User Guide](#) - also available for download from the Atmel website.

Instruction Set Summary (Continued)

Mnemonic	Operands	Description	Operation	Flags	#Cycles
BRBL	k	Branch if Branch-Locked	$R16 = R16 \text{ OR } PC + k + 1$	None	1/2
BRBR	k	Branch if Branch-Overlaid	$R16 = R16 \text{ OR } PC + k + 1$	None	1/2
DATA TRANSFER INSTRUCTIONS					
MOV	Rd, Rr	Move Register Register	$Rd = Rr$	None	1
MOVW	Rd, Rr	Copy Register Word	$Rd = Rr \text{ OR } Rr + 1$	None	1
LDI	Rd, k	Load Immediate	$Rd = k$	None	1
LDD	Rd, Rr	Load Direct	$Rd = Rr$	None	2
LDD	Rd, Rr	Load Indirect and Post-Inc	$Rd = *Rr, Rr = Rr + 1$	None	2
LDD	Rd, Rr	Load Indirect and Pre-Dec	$Rr = Rr - 1, Rd = *Rr$	None	2
LDD	Rd, Y	Load Indirect	$Rd = *Y$	None	2
LDD	Rd, Y+	Load Indirect and Post-Inc	$Rd = *Y, Y = Y + 1$	None	2
LDD	Rd, Y-	Load Indirect and Pre-Dec	$Y = Y - 1, Rd = *Y$	None	2
LDD	Rd, Z	Load Indirect	$Rd = *Z$	None	2
LDD	Rd, Z+	Load Indirect and Post-Inc	$Rd = *Z, Z = Z + 1$	None	2
LDD	Rd, Z-	Load Indirect and Pre-Dec	$Z = Z - 1, Rd = *Z$	None	2
LDD	Rd, Z+H	Load Indirect with Displacement	$Rd = *Z + H$	None	2
LDS	Rd, A	Load Direct from SRAM	$Rd = A$	None	2
ST	X, Rr	Store Indirect	$*X = Rr$	None	2
ST	X+, Rr	Store Indirect and Post-Inc	$*X = Rr, X = X + 1$	None	2
ST	X-, Rr	Store Indirect and Pre-Dec	$X = X - 1, *X = Rr$	None	2
ST	Y, Rr	Store Indirect	$*Y = Rr$	None	2
ST	Y+, Rr	Store Indirect and Post-Inc	$*Y = Rr, Y = Y + 1$	None	2
ST	Y-, Rr	Store Indirect and Pre-Dec	$Y = Y - 1, *Y = Rr$	None	2
STD	Y+q, Rr	Store Indirect with Displacement	$*Y + q = Rr$	None	2
ST	Z, Rr	Store Indirect	$*Z = Rr$	None	2
ST	Z+, Rr	Store Indirect and Post-Inc	$*Z = Rr, Z = Z + 1$	None	2
ST	Z-, Rr	Store Indirect and Pre-Dec	$Z = Z - 1, *Z = Rr$	None	2
STD	Z+q, Rr	Store Indirect with Displacement	$*Z + q = Rr$	None	2
STS	A, Rr	Store Direct to SRAM	$A = Rr$	None	2
LPM	Rd, Z	Load Program Memory	$Rd = *Z$	None	3
LPM	Rd, Z	Load Program Memory	$Rd = *Z$	None	3
LPM	Rd, Z+	Load Program Memory and Post-Inc	$Rd = *Z, Z = Z + 1$	None	3
LPM	Rd, Z-	Load Program Memory and Pre-Dec	$Rd = *(Z - 1)$	None	3
LPM	Rd, Z	Extended Load Program Memory	$Rd = *(RAM2Z)$	None	3
LPM	Rd, Z	Extended Load Program Memory	$Rd = *(RAM2Z)$	None	3
LPM	Rd, Z+	Extended Load Program Memory and Post-Inc	$Rd = *(RAM2Z), Z = Z + 1$	None	3
SPM	Rd, Z	Store Program Memory	$*Z = Rd$	None	-
IN	Rd, P	In Port	$Rd = P$	None	1
OUT	P, Rr	Out Port	$P = Rr$	None	1
POP	Rr	Pop Register on Stack	$Rr = *STACK$	None	2
POP	Rr	Pop Register from Stack	$Rr = *STACK$	None	2
BIT AND BIT-TEST INSTRUCTIONS					
SBIC	Rd, B	Set Bit in I/O Register	$IOPB = 1$	None	2
SBIC	Rd, B	Clear Bit in I/O Register	$IOPB = 0$	None	2
LSL	Rd	Logical Shift Left	$Rd = (Rd << 1) \text{ OR } (Rd >> 8)$	Z, C, N, V	1
LSR	Rd	Logical Shift Right	$Rd = (Rd >> 1) \text{ OR } (Rd << 8)$	Z, C, N, V	1
ROL	Rd	Rotate Left Through Carry	$Rd = (Rd << 1) \text{ OR } (Rd >> 8) \text{ OR } CF$	Z, C, N, V	1
ROR	Rd	Rotate Right Through Carry	$Rd = (Rd >> 1) \text{ OR } (Rd << 8) \text{ OR } CF$	Z, C, N, V	1
ASR	Rd	Arithmetic Shift Right	$Rd = (Rd >> 1) \text{ OR } (Rd << 8)$	Z, C, N, V	1
SWAP	Rd	Swap Nibbles	$Rd = (Rd >> 4) \text{ OR } (Rd << 4)$	None	1
SEI	s	Flag Set	$SREG = s + 1$	SREG	1
CLI	s	Flag Clear	$SREG = s - 1$	SREG	1
LDI	Rr, Rr	Set Status from Register to I	$I = Rr$	I	1
LDI	Rr, Rr	Set Status from I to Register	$Rr = I$	None	1
SEC		Set Carry	$C = 1$	C	1
CLC		Clear Carry	$C = 0$	C	1
SEN		Set Negative Flag	$N = 1$	N	1
CLN		Clear Negative Flag	$N = 0$	N	1
SEZ		Set Zero Flag	$Z = 1$	Z	1
CLZ		Clear Zero Flag	$Z = 0$	Z	1
SEI		Global Interrupt Enable	$I = 1$	I	1
CLI		Global Interrupt Disable	$I = 0$	I	1
SEI		Set Signaled Trap Flag	$S = 1$	S	1
CLB		Clear Signaled Trap Flag	$S = 0$	S	1

Instruction Set Summary (Continued)

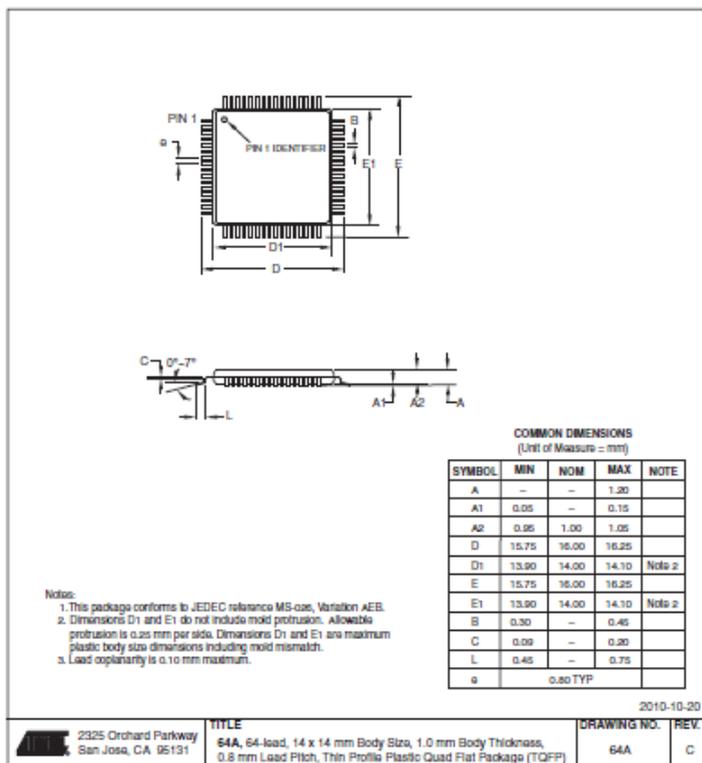
Mnemonic	Operands	Description	Operation	Flags	#Cycles
SEV		Set Zero Complement Overflow	Z ← 1	Z	1
CLV		Clear Zero Complement Overflow	Z ← 0	Z	1
SET		Set T in SREG	T ← 1	T	1
CLT		Clear T in SREG	T ← 0	T	1
SEI		Set Interrupt Enable in SREG	I ← 1	I	1
CLI		Clear Interrupt Enable in SREG	I ← 0	I	1
MCU CONTROL INSTRUCTIONS					
NOP		No Operation		None	1
SEI/P		Sleep	(see specific device for Sleep function)	None	1
WDR		Watchdog Reset	(see specific device for WDR/Timer)	None	1
BREX		Break	(see On-chip Debugger Only)	None	N/A

Ordering Information

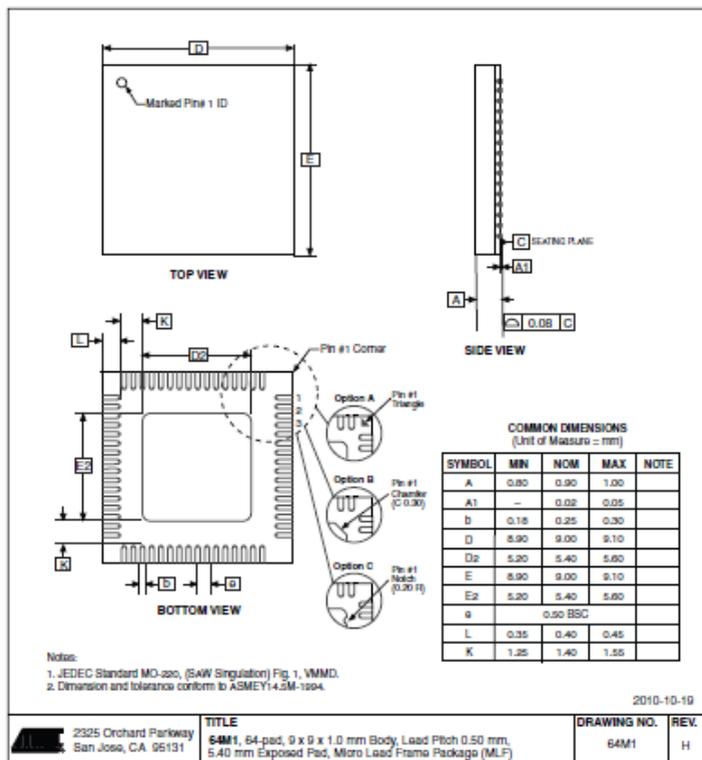
Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code ⁽¹⁾	Package ⁽²⁾	Operation Range	
8	2.7 – 5.5V	ATmega128L-BAU	64A	Industrial (-40°C to 85°C)	
		ATmega128L-BAUR ⁽³⁾	64A		
16	4.5 – 5.5V	ATmega128L-8MU	64M1		
		ATmega128L-8MUR ⁽³⁾	64M1		
8	3.0 – 5.5V	ATmega128-16AU	64A		Extended (-40°C to 105°C)
		ATmega128-16AUR ⁽³⁾	64A		
16	4.5 – 5.5V	ATmega128-16MU	64M1		
		ATmega128-16MUR ⁽³⁾	64M1		
8	3.0 – 5.5V	ATmega128L-8AN	64A	Extended (-40°C to 105°C)	
		ATmega128L-8ANR ⁽³⁾	64A		
16	4.5 – 5.5V	ATmega128L-8MN	64M1		
		ATmega128L-8MNR ⁽³⁾	64M1		
8	3.0 – 5.5V	ATmega128-16AN	64A		Extended (-40°C to 105°C)
		ATmega128-16ANR ⁽³⁾	64A		
16	4.5 – 5.5V	ATmega128-16MN	64M1		
		ATmega128-16MNR ⁽³⁾	64M1		

- Notes:
1. Pb-free packaging complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and Tully Green.
 2. The device can also be supplied in water form. Please contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
 3. Tape and Reel

Package Type	
64A	64-lead, 14 x 14 x 1.0mm, Thin Profile Plastic Quad Flat Package (TQFP)
64M1	64-pad, 9 x 9 x 1.0mm, Quad Flat No-Lead/Micro Lead Frame Package (QFNMLF)

Packaging Information
64A


64M1



LAMPIRAN B

DATA SHEET

SENSOR ARUS ACS712

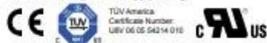


ACS712

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor
with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_a = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



Description

The Allegro[®] ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($\partial V_{\text{OUT}}/\partial I$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

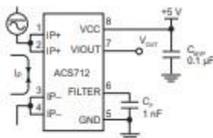
Continued on the next page...

Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_p , within the range specified. C_f is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _o (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{DC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{ROUT}		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V _{ISO}	Pins 1-4 and 5-8: 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	2100	V
		Voltage applied to leadframe (I _p + pins), based on IEC 60950	184	V _{peak}
Basic Isolation Voltage	V _{ISO(BASIC)}	Pins 1-4 and 5-8: 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	1500	V
		Voltage applied to leadframe (I _p + pins), based on IEC 60950	354	V _{peak}
Output Current Source	I _{OUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{OUT(SINK)}	1 pulse, 100 ms	10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{STG}		-65 to 170	°C

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

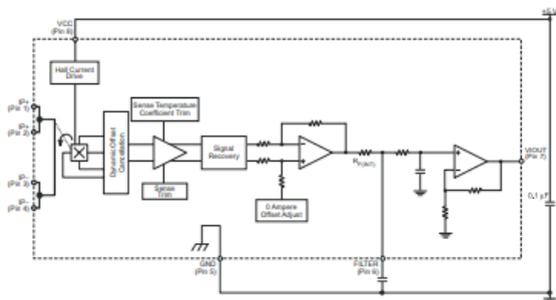


Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Street
Worcester, Massachusetts 01615-0386 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

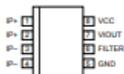
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sensed, fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sensed, fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal



Allegro MicroSystems, Inc.
1155 Northwood Court
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.0000; www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_C = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	VIOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	VIOUT to GND	4.7	–	–	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m Ω
Rise Time	t_r	$I_p = I_p(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$, I_p is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{NL}	Over full range of I_p	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_p	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(0)}$	Bidirectional, $I_p = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$		–	1.7	–	k Ω

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

² $G = 0.1$ mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEQ 712 evaluation board	–	–	5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board	–	–	23	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal via connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro Microsystems, Inc.
115 Northwold Court
Worcester, Massachusetts 01615-0030 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_B		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_B , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{NOISE(RF)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{OUT(0)}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.28	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_B = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_B , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²Percentage of I_B , with $I_B = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_B		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_B , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{NOISE(RF)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{OUT(0)}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_B = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_B , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²Percentage of I_B , with $I_B = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_B		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_B , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	64	68	68	mV/A
Noise	$V_{NOISE(RF)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 68 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{OUT(0)}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_B = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_B , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²Percentage of I_B , with $I_B = 30\text{ A}$. Output filtered.



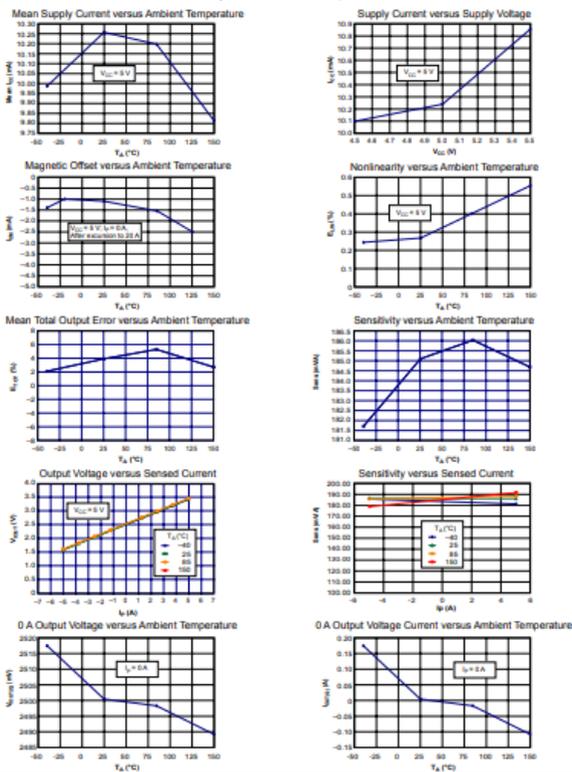
Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0034 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Characteristic Performance

$I_p = 5A$, unless otherwise specified



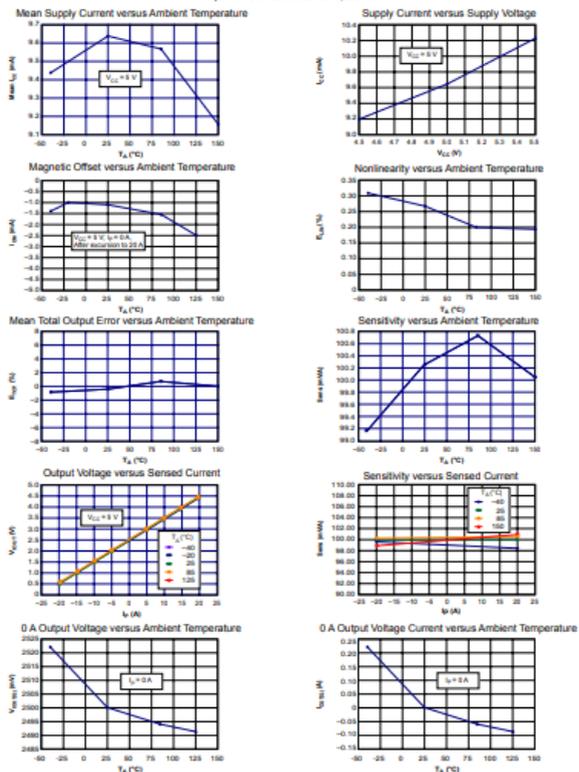
Allegro MicroSystems, Inc.
 115 Northwest Cutoff
 Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
 1.508.853.2000; www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kV RMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Characteristic Performance

$I_p = 20\text{ A}$, unless otherwise specified



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northward Court
Worcester, Massachusetts 01615-0336 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

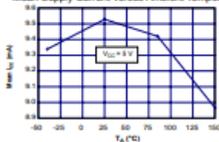
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

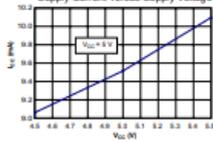
Characteristic Performance

$I_p = 30\text{ A}$, unless otherwise specified

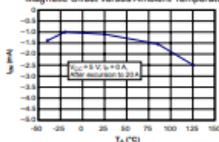
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



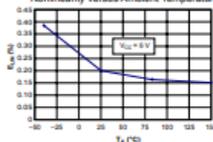
Supply Current versus Supply Voltage



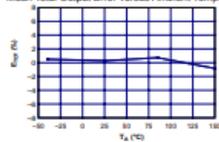
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



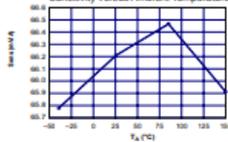
Nonlinearity versus Ambient Temperature



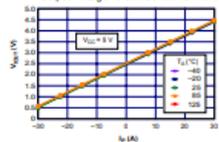
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



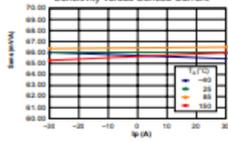
Sensitivity versus Ambient Temperature



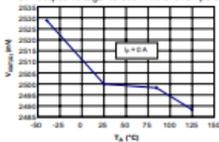
Output Voltage versus Sensed Current



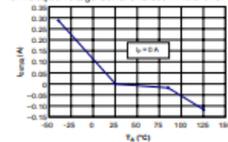
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Street
Worcester, Massachusetts 01615-0086 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens). The change in sensor output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}). The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (≈ 1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LIN}). The degree to which the voltage output from the sensor varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left[1 - \frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{ sat} (F_{IOUT_full-scale \text{ amperes}} - F_{IOUT(Q)})}{2 (F_{IOUT_half-scale \text{ amperes}} - F_{IOUT(Q)})} \right]$$

where $F_{IOUT_full-scale \text{ amperes}}$ = the output voltage (V) when the sensed current approximates full-scale $\pm I_P$.

Symmetry (E_{SYM}). The degree to which the absolute voltage output from the sensor varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left(\frac{F_{IOUT_+full-scale \text{ amperes}} - F_{IOUT(Q)}}{F_{IOUT(Q)} - F_{IOUT_full-scale \text{ amperes}}} \right)$$

Quiescent output voltage ($V_{IOUT(Q)}$). The output of the sensor when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at $V_{CC}/2$. Thus, $V_{CC} = 5$ V translates into $V_{IOUT(Q)} \approx 2.5$ V. Variation in $V_{IOUT(Q)}$ can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OFF}). The deviation of the device output from its ideal quiescent value of $V_{CC}/2$ due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

Accuracy (E_{TOT}). The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy of sensing zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over Δ temperature.** Accuracy of sensing zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy of sensing the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over Δ temperature.** Accuracy of sensing full-scale current flow including temperature effects.

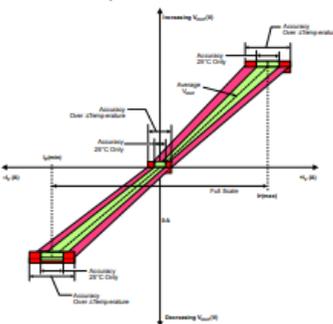
Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, $V_{IOUT(Q)}$, (nominally equal to $V_{CC}/2$) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC} . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage,

$$\Delta V_{IOUT(Q)RAT} (\%) = 100 \left(\frac{F_{IOUT(Q)VCC} / F_{IOUT(Q)V}}{V_{CC} / 5 V} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity, $\Delta \text{Sens}_{RAT} (\%)$, is defined as:

$$100 \left(\frac{\text{Sens}_{VCC} / \text{Sens}_{5V}}{V_{CC} / 5 V} \right)$$

Output Voltage versus Sensed Current
Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northwood Court
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

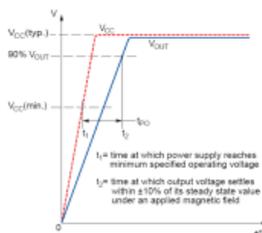
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

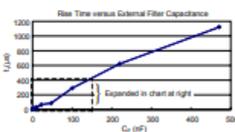
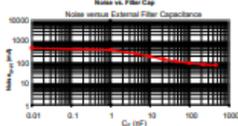
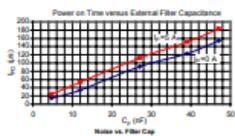
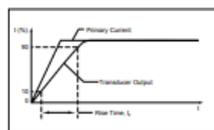
Definitions of Dynamic Response Characteristics

Power-On Time (t_{PO}). When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field.

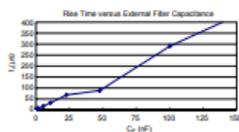
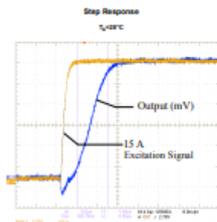
Power-On Time, t_{PO} , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within $\pm 10\%$ of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage, $V_{CC}(\min)$, as shown in the chart at right.



Rise time (t_r). The time interval between a) when the sensor reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the current sensor, in which $f(-3\text{ dB}) = 0.35/t_r$. Both t_r and $t_{RESPONSE}$ are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



C_F (nF)	t_r (μs)
0	9.9
1	17.4
4.7	32.1
10	38.2
22	68.2
47	88.2
100	201.3
220	623.0
470	1020.0



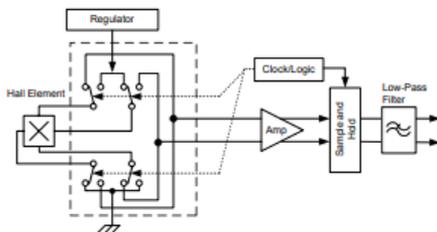
Allegro MicroSystems, Inc.
 115 Northwood Court
 Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
 1.508.853.5000; www.allegromicro.com

Chopper Stabilization Technique

Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro patented a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired dc offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated dc offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through the filter.

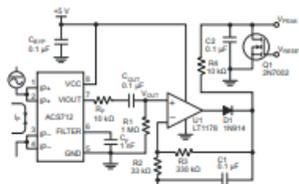
As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.

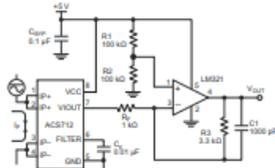
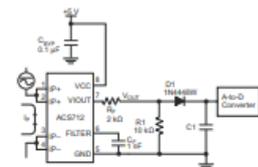


Concept of Chopper Stabilization Technique

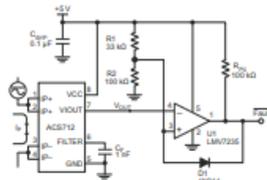
Typical Applications



Application 2. Peak Detecting Circuit

Application 3. This configuration increases gain to 610 mV/A
(tested using the ACS712ELC-05A).

Application 4. Rectified Output. 3.3 V scaling and rectification application for A-to-D converters. Replaces current transformer solutions with simpler ACS circuit. C1 is a function of the load resistance and filtering desired. R1 can be omitted if the full range is desired.



Application 5. 10 A Overcurrent Fault Latch. Fault threshold set by R1 and R2. This circuit latches an overcurrent fault and holds it until the 5 V rail is powered down.

Improving Sensing System Accuracy Using the FILTER Pin

In low-frequency sensing applications, it is often advantageous to add a simple RC filter to the output of the sensor. Such a low-pass filter improves the signal-to-noise ratio, and therefore the resolution, of the sensor output signal. However, the addition of an RC filter to the output of a sensor IC can result in undesirable sensor output attenuation — even for dc signals.

Signal attenuation, ΔV_{ATT} , is a result of the resistive divider effect between the resistance of the external filter, R_F (see Application 6), and the input impedance and resistance of the customer interface circuit, R_{INTIC} . The transfer function of this resistive divider is given by:

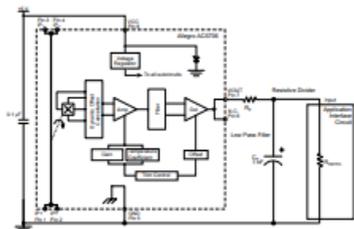
$$\Delta V_{ATT} = I_{SDOUT} \left(\frac{R_{INTIC}}{R_F + R_{INTIC}} \right)$$

Even if R_F and R_{INTIC} are designed to match, the two individual resistance values will most likely drift by different amounts over

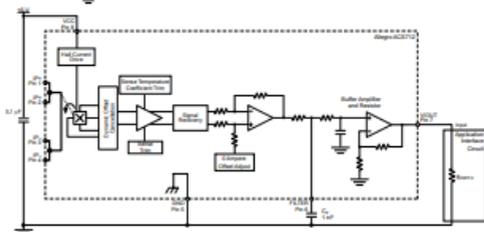
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance, R_{INTIC} , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be low as 10 k Ω .

The ACS712 contains an internal resistor, a FILTER pin connection to the printed circuit board, and an internal buffer amplifier. With this circuit architecture, users can implement a simple RC filter via the addition of a capacitor, C_F (see Application 7) from the FILTER pin to ground. The buffer amplifier inside of the ACS712 (located after the internal resistor and FILTER pin connection) eliminates the attenuation caused by the resistive divider effect described in the equation for ΔV_{ATT} . Therefore, the ACS712 device is ideal for use in high-accuracy applications that cannot afford the signal attenuation associated with the use of an external RC low-pass filter.

Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor, R_F , and the resistance of the customer interface circuit, R_{INTIC} . This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the transfer function for ΔV_{ATT} .



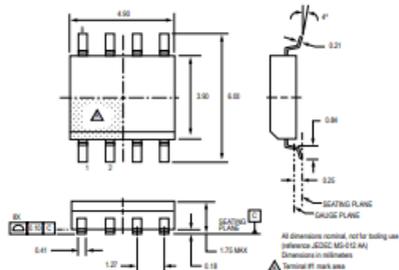
Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS712 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between R_F and R_{INTIC} , shown in Application 6.



ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kV RMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Package LC, 8-pin SOIC



Package Branding

Two alternative patterns are used



ACS712T RLCPPP YYWWA	ACS	Allegro Current Sensor
	712	Device family number
	T	Indicator of 100% matte tin leadframe plating
	R	Operating ambient temperature range code
	LC	Package type designator
PPP	Primary sensed current	
YY	Date code: Calendar year (last two digits)	
WW	Date code: Calendar week	
A	Date code: Shift code	

ACS712T RLCPPP L L YYWW	ACS	Allegro Current Sensor
	712	Device family number
	T	Indicator of 100% matte tin leadframe plating
	R	Operating ambient temperature range code
	LC	Package type designator
PPP	Primary sensed current	
L L	Lot code	
YY	Date code: Calendar year (last two digits)	
WW	Date code: Calendar week	

Copyright ©2006, 2007, Allegro MicroSystems, Inc.
The products described herein are manufactured under one or more of the following U.S. patents: 5,045,920; 5,264,783; 5,442,283; 5,389,889; 5,581,179; 5,517,112; 5,619,137; 5,621,319; 5,650,719; 5,686,894; 5,694,038; 5,729,130; 5,917,320 and other patents pending.
Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.
Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.
The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use, nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutler
Worcester, Massachusetts 01615-0030 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

14

LAMPIRAN C
DATA SHEET
VOLTAGE SENSOR



Gambar C.1 *Voltage Sensor*

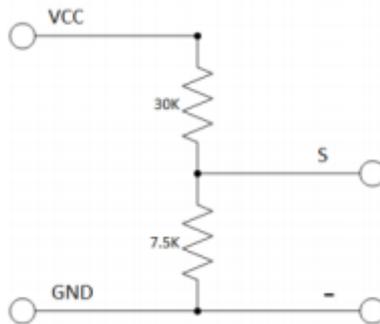
Specifications And Features :

- Dimensions : 28 x 14 x 13 mm (LxWxH)
- Weight : 4 gr
- Input Voltage range : DC 0 to 25 V
- Voltage detection range : DC 0.02445 V to 25 V
- Analog Voltage resolution : 0.00489 V
- Output Interface : “+” connected 5/3.3V, “-” connected GND, “s” connected Arduino AD pins.
- DC input interface: red terminal positive with VCC, negative with GND.

- You can also use the IICLCD1602 LCD to display voltage.
- By 3P connector, connect this module with the expansion of board Arduino, not only makes it easier for you to detect voltage battery.

SCHEMATIC

The schematic for this is pretty straight forward. As previously mentioned, its just a couple of resistors. In fact, you could build your own in a pinch.



Gambar C.2 *Schematic Voltage Sensor*

LAMPIRAN D
DATA SHEET
ANEMOMETER SENSOR



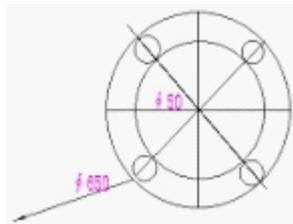
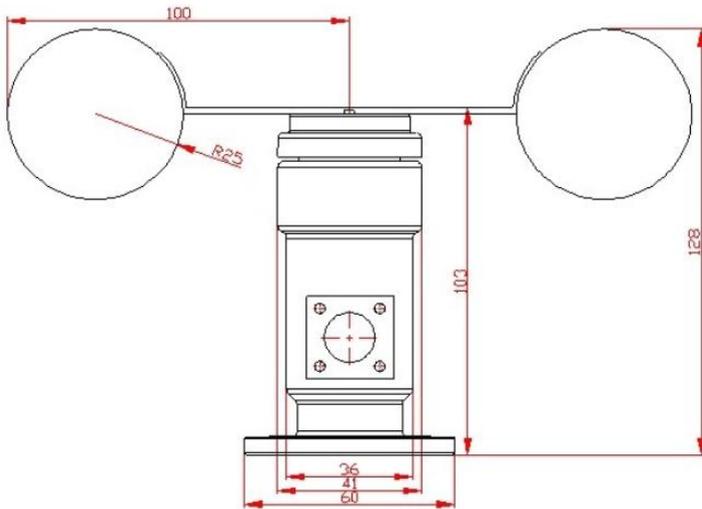
Gambar D.1 *Universal Wind Speed Sensor*

Specifications And Features :

- Model : JL-FS2
- Name : Universal Wind Speed Sensor
- Signal output : Voltage- 0-5V
- Sensor Style :Three cups of style
- Start wind speed: 0.4-0.8 m/s
- Resolution : 0.1 m/s
- Effective wind speed measurement range : 0-60 m/s
- System error : 3%
- Transmission distance : Greater than 1000 m

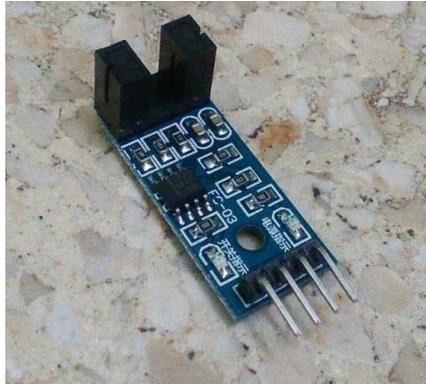
- Transmission medium : Cable transmission
- Wiring : Three – wire
 - Working temperature : -40° To 80°
 - Supply voltage : DC12-24V
 - Power : Voltage type MAX 0.3W ; Current type MAX 0.7 W
 - Weight : < 1Kg

Dimention



Gambar D.2 *Universal Wind Speed Sensor*

LAMPIRAN E **DATA SHEET** **ROTARY ENCODER**



Gambar E.1 *Rotary Encoder Sensor*

Specifications And Features :

- 4-pin VCC power supply positive definition, GND power negative, D0 digital output, A0 invalid
- The use of imported groove coupler sensor.
- The slot width 5mm.
- The output status indicator lamp output high, output low lights.
- Block, output high; no shelter, output low.
- The comparator output signal clean, good waveform, driving ability, than 15mA.
- The working voltage of 3.3V-5V
- The output format: digital switching output (0 and 1)
- 0 : When the sensor gap is blocked 0 - 0.5V

- 1 : When the obstacle sensor is blocked 3 - 5V (VCC - 0.5V)
 - Logic toggle condition (0/1) : 1500Hz
 - Rotation with 20 holes: 2500RPM
 - A fixed bolt holes for easy installation
 - Small plates PCB size : 3.2cm x 1.4cm
 - Using a wide voltage comparator LM393

LAMPIRAN F

LISTING PROGRAM

```
$regfile = "m128def.dat"
```

```
$crystal = 16000000
```

```
$baud = 9600
```

```
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc
```

```
Config Single = Scientific , Digits = 1
```

```
Config Lcd = 20 * 4
```

```
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portc.4 , Db5 = Portc.5 , Db6 = Portc.6  
, Db7 = Portc.7 , E = Portc.2 , Rs = Portc.0
```

```
Config Lcdmode = Port
```

```
Config Portc.1 = Output
```

```
Config Com1 = 9600 , Synchronone = 0 , Parity = None , Stopbits =  
1 , Databits = 8 , Clockpol = 0
```

```
Config Com2 = 9600 , Synchronone = 0 , Parity = None , Stopbits =  
1 , Databits = 8 , Clockpol = 0
```

```
Config Timer1 = Counter , Edge = Falling , Prescale = 1
```

```
Stop Timer1
```

```
Dim Angin As Integer , Arus As Integer , Tegangan As Integer
```

```
Dim Angin1 As Single , Arus1 As Single , Tegangan1 As Single
```

```
Dim Rotari As Single , Daya As Single
```

```
Dim Raw_i As Word , Sing_raw_i As Single , Fir_i As Single
```

```
Dim Calc_i As Single , Tot_i As Single , Asc_i As String * 10
```

```
Dim I As Integer , J As Integer
```

```
Dim Nilai_i(11) As Word , Idx As Word , Get_i As Word , Buff_i  
As Integer
```

Dim N_lubang As Integer , Buff_rotari As String * 10

```
Declare Sub Baca_arus()  
Declare Sub Baca_angin()  
Declare Sub Baca_rpm()  
Declare Sub Baca_tegangan()  
Declare Sub Data_logger()  
Declare Sub Kirim_data()
```

```
N_lubang = 20  
Portc.1 = 0
```

```
Open "com1:" For Binary As #1  
Open "com2:" For Binary As #2
```

```
Do
```

```
    Angin = Getadc(0)  
    Raw_i = Getadc(1)  
    Tegangan = Getadc(2)
```

```
    Call Baca_angin()  
    Call Baca_arus()  
    Call Baca_tegangan()  
    Call Baca_rpm()
```

```
    Daya = Tegangan1 * Tot_i
```

```
    Locate 1 , 1  
    Lcd "Ag: " ; Angin1
```

```
    Locate 2 , 1  
    Lcd "I: " ; Asc_i
```

```
Locate 3 , 1  
Lcd "V: " ; Tegangan1
```

```
Locate 4 , 1  
Lcd "Rpm: " ; Buff_rotari
```

```
Locate 1 , 10  
Lcd "P: " ; Daya
```

```
Call Data_logger()  
Call Kirim_data()
```

```
Loop
```

```
Close #1  
Close #2
```

```
Sub Kirim_data()  
Print #1 , "Ag; " ; Angin1  
Print #1 , "I; " ; Asc_i  
Print #1 , "V; " ; Tegangan1  
Print #1 , "Rpm; " ; Buff_rotari  
Print #1 , "P; " ; Daya  
End Sub
```

```
Sub Data_logger()  
Print #2 , "Ag; " ; Angin1 ; Chr(9)  
Print #2 , "I; " ; Asc_i ; Chr(9)  
Print #2 , "V; " ; Tegangan1 ; Chr(9)  
Print #2 , "Rpm; " ; Buff_rotari ; Chr(9)  
Print #2 , "P; " ; Daya ; Chr(9)  
End Sub
```

```
Sub Baca_tegangan()  
Tegangan1 = Tegangan * 0.0244140625
```

End Sub

Sub Baca_rpm()

Timer1 = 0

Start Timer1

Wait 1

Stop Timer1

Rotari = Timer1 / N_lubang

Buff_rotari = Fusing(rotari , "##.##")

End Sub

Sub Baca_angin()

Angin1 = Angin * 54.25

Angin1 = Angin1 / 1024

End Sub

Sub Baca_arus()

Nilai_i(i) = Raw_i

If I = 100 Then

For Buff_i = 0 To I

Max(nilai_i(buff_i) , Get_i , Idx)

Next

Sing_raw_i = Get_i * 5

Sing_raw_i = Sing_raw_i / 1024

Calc_i = Sing_raw_i - 2.5

Tot_i = Calc_i / 0.066

```

Tot_i = Abs(tot_i)
Tot_i = Tot_i * 0.0048876
Asc_i = Fusing(tot_i , "##.##")

I = 0

For J = 0 To I
    Nilai_i(j) = 0
Next
End If
'Waitms 50

I = I + 1

End Sub

/=====
=====HMI=====
Imports System
Imports System.IO
Imports System.IO.Ports
Imports System.Threading
Imports System.ComponentModel

Public Class Form1

    Dim COMport As String
    Dim receivedData As String = ""
    Dim rnd As Random = New Random
    Dim tag As Integer
    Dim datadiv As String
    Dim Incoming As String

    Private Sub Label2_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Label2.Click
        ' do nothing
    End Sub

```

```
Private Sub Form1_Load(sender As Object, e As
EventArgs) Handles MyBase.Load
    Timer1.Enabled = False
End Sub
```

```
Private Sub TextBox1_TextChanged(sender As Object,
e As EventArgs) Handles TextBox1.TextChanged
    ' do nothing
End Sub
```

```
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Button1.Click
    SerialPort1.Close()
    SerialPort1.PortName = "COM5"
    SerialPort1.BaudRate = 9600
    SerialPort1.DataBits = 8
    SerialPort1.Parity = Parity.None
    SerialPort1.StopBits = StopBits.One
    SerialPort1.Handshake = Handshake.None
    SerialPort1.Encoding =
System.Text.Encoding.Default
    SerialPort1.ReadTimeout = 10000
    SerialPort1.Open()
    Timer1.Enabled = True
    Button1.ForeColor = Color.Lime
    Button2.Enabled = True
    Button1.Enabled = False
End Sub
```

```
Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Button2.Click
    SerialPort1.Close()
    Timer1.Enabled = False
    Button2.Enabled = False
    Button1.Enabled = True
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Tick(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Timer1.Tick
    tag = 0
    receivedData = ReceiveSerialData()
    TextBox1.Text = rnd.Next(0, 1000)
```

```

    TextBox2.Text = rnd.Next(0, 1000)
    TextBox3.Text = rnd.Next(0, 1000)
    TextBox4.Text = rnd.Next(0, 1000)

    Dim splitData As String() =
receivedData.Split(New Char() {";"c})

    For Each datadiv In splitData
        Select Case tag
            Case 1
                'TextBox1.Text = datadiv
            Case 2
                'TextBox2.Text = datadiv
            Case 3
                'TextBox3.Text = datadiv
            Case 4
                'TextBox4.Text = datadiv
        End Select
        tag += 1
    Next
End Sub

Function ReceiveSerialData() As String
    Try
        Incoming = SerialPort1.ReadLine()
        If Incoming Is Nothing Then
            Return "nothing" & vbCrLf
        Else
            Return Incoming
        End If
    Catch ex As TimeoutException
        Return "Error: Serial Port read timed out."
    End Try

End Function

End Class

```

Halaman ini sengaja untuk dikosongkan

LAMPIRAN G
DATA UJI SISTEM *MONITORING*

Berikut ini merupakan data uji *monitoring* antara lain arus, tegangan, daya, serta rpm saat turbin angin berputar :

A. Data Uji Keluaran Arus Genertaor Menggunakan Bilah Kayu NACA 0021

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	0.12	0.19	0.22	0.28	0.31	0.39
5 m/s	40 cm	0	0.10	0.13	0.18	0.24	0.28	0.32
5 m/s	50 cm	0	0.03	0.07	0.12	0.19	0.22	0.28
6 m/s	30 cm	0	0.58	0.63	0.72	0.77	0.88	0.90
6 m/s	40 cm	0	0.47	0.52	0.56	0.65	0.71	0.73
6 m/s	50 cm	0	0.32	0.44	0.47	0.59	0.65	0.64
7 m/s	30 cm	0	0.83	1.01	1.08	1.11	1.17	1.20
7 m/s	40 cm	0	0.73	0.86	0.88	0.99	1.09	1.15
7 m/s	50 cm	0	0.58	0.67	0.73	0.81	0.97	1.07

B. Data Uji Keluaran Arus Generator Menggunakan Bilah Fiber NACA 0021

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	0.23	0.31	0.39	0.46	0.53	0.6
5 m/s	40 cm	0	0.15	0.22	0.31	0.41	0.48	0.55
5 m/s	50 cm	0	0.08	0.13	0.24	0.35	0.41	0.49
6 m/s	30 cm	0	0.74	0.84	0.92	0.98	1.07	1.15
6 m/s	40 cm	0	0.48	0.54	0.63	0.76	0.88	0.94
6 m/s	50 cm	0	0.21	0.37	0.43	0.51	0.57	0.68
7 m/s	30 cm	0	0.74	0.98	1.11	1.21	1.37	1.45
7 m/s	40 cm	0	0.65	0.85	1.02	1.14	1.29	1.37
7 m/s	50 cm	0	0.53	0.74	0.86	1.05	1.18	1.21

C. Data Uji Keluaran Arus Generator Menggunakan Bilah Kayu NACA 6412

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	0.21	0.39	0.47	0.53	0.59	0.64
5 m/s	40 cm	0	0.18	0.26	0.33	0.40	0.47	0.58
5 m/s	50 cm	0	0.04	0.10	0.16	0.23	0.31	0.43
6 m/s	30 cm	0	0.58	0.63	0.72	0.87	0.94	1.01
6 m/s	40 cm	0	0.49	0.54	0.66	0.75	0.88	0.96
6 m/s	50 cm	0	0.22	0.39	0.43	0.57	0.71	0.75
7 m/s	30 cm	0	0.83	1.01	1.08	1.11	1.17	1.20
7 m/s	40 cm	0	0.73	0.86	0.98	1.03	1.10	1.15
7 m/s	50 cm	0	0.58	0.67	0.73	0.81	0.87	1

D. Data Uji Keluaran Arus Generator Menggunakan Bilah Fiber NACA 6412

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	0.19	0.26	0.32	0.40	0.47	0.54
5 m/s	40 cm	0	0.17	0.22	0.29	0.37	0.41	0.49
5 m/s	50 cm	0	0.15	0.19	0.23	0.29	0.32	0.39
6 m/s	30 cm	0	0.48	0.54	0.66	0.75	0.86	0.98
6 m/s	40 cm	0	0.39	0.47	0.62	0.71	0.78	0.90
6 m/s	50 cm	0	0.24	0.37	0.49	0.63	0.70	0.86
7 m/s	30 cm	0	1.02	1.17	1.23	1.38	1.47	1.53
7 m/s	40 cm	0	0.88	0.99	1.16	1.24	1.38	1.45
7 m/s	50 cm	0	0.82	0.94	1.05	1.13	1.19	1.26

E. Data Uji Keluaran Tegangan Generator Menggunakan Bilah Kayu NACA 0021

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	0.30	0.44	0.51	0.57	0.63	0.68
5 m/s	40 cm	0	0.24	0.40	0.46	0.53	0.57	0.63
5 m/s	50 cm	0	0.19	0.32	0.39	0.45	0.52	0.59
6 m/s	30 cm	0	0.64	0.73	0.85	0.92	0.97	1
6 m/s	40 cm	0	0.57	0.66	0.74	0.86	0.87	0.96
6 m/s	50 cm	0	0.50	0.60	0.68	0.72	0.79	0.85
7 m/s	30 cm	0	0.77	0.86	0.99	1.09	1.19	1.26
7 m/s	40 cm	0	0.66	0.74	0.85	0.93	1.04	1.17
7 m/s	50 cm	0	0.51	0.62	0.81	0.87	0.92	0.98

F. Data Uji Keluaran Tegangan Generator Menggunakan Bilah Fiber NACA 0021

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	0.46	0.51	0.58	0.65	0.69	0.72
5 m/s	40 cm	0	0.37	0.49	0.56	0.58	0.61	0.65
5 m/s	50 cm	0	0.31	0.43	0.49	0.54	0.59	0.62
6 m/s	30 cm	0	1.18	1.25	1.32	1.39	1.41	1.46
6 m/s	40 cm	0	0.68	0.86	0.97	1.09	1.17	1.28
6 m/s	50 cm	0	0.54	0.72	0.81	0.87	0.96	1.14
7 m/s	30 cm	0	1.54	1.71	1.78	1.88	1.98	2.13
7 m/s	40 cm	0	1.36	1.43	1.51	1.66	1.73	1.96
7 m/s	50 cm	0	1.07	1.18	1.27	1.40	1.48	1.56

G. Data Uji Keluaran Tegangan Generator Menggunakan Bilah Kayu NACA 6412

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	0.49	0.58	0.61	0.69	0.72	0.77
5 m/s	40 cm	0	0.41	0.51	0.57	0.62	0.68	0.73
5 m/s	50 cm	0	0.21	0.39	0.44	0.57	0.62	0.69
6 m/s	30 cm	0	0.69	0.77	0.87	0.99	1.09	1.15
6 m/s	40 cm	0	0.63	0.70	0.84	0.93	1.05	1.10
6 m/s	50 cm	0	0.41	0.59	0.68	0.86	0.99	1.04
7 m/s	30 cm	0	1.16	1.25	1.32	1.37	1.39	1.46
7 m/s	40 cm	0	0.66	0.94	1.06	1.14	1.20	1.27
7 m/s	50 cm	0	0.51	0.72	0.80	0.87	0.98	1.14

H. Data Uji Keluaran Tegangan Generator Menggunakan Bilah Fiber NACA 6412

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	0.46	0.51	0.59	0.66	0.75	0.83
5 m/s	40 cm	0	0.34	0.44	0.53	0.62	0.68	0.79
5 m/s	50 cm	0	0.21	0.36	0.45	0.51	0.57	0.68
6 m/s	30 cm	0	0.74	1.09	1.17	1.21	1.29	1.35
6 m/s	40 cm	0	0.53	0.65	0.93	1.08	1.10	1.17
6 m/s	50 cm	0	0.57	0.69	0.75	0.88	0.97	1.09
7 m/s	30 cm	0	1.64	1.72	1.79	1.86	1.92	1.98
7 m/s	40 cm	0	1.32	1.54	1.66	1.72	1.79	1.86
7 m/s	50 cm	0	1.18	1.37	1.54	1.62	1.68	1.74

I. Data Uji Daya yang Dihasilkan Generator Menggunakan Bilah Kayu NACA 0021

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	0.04	0.08	0.11	0.16	0.20	0.27
5 m/s	40 cm	0	0.02	0.05	0.08	0.13	0.16	0.20
5 m/s	50 cm	0	0.01	0.02	0.05	0.09	0.11	0.17
6 m/s	30 cm	0	0.37	0.46	0.61	0.71	0.85	0.90
6 m/s	40 cm	0	0.28	0.34	0.41	0.56	0.62	0.70
6 m/s	50 cm	0	0.16	0.26	0.32	0.43	0.51	0.54
7 m/s	30 cm	0	0.64	0.87	1.07	1.21	1.39	1.51
7 m/s	40 cm	0	0.48	0.64	0.75	0.92	1.13	1.36
7 m/s	50 cm	0	0.30	0.42	0.59	0.71	0.89	1.05

J. Data Uji Daya yang Dihasilkan Generator Menggunakan Bilah Fiber NACA 0021

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	0.11	0.16	0.23	0.30	0.37	0.43
5 m/s	40 cm	0	0.06	0.11	0.17	0.24	0.29	0.36
5 m/s	50 cm	0	0.02	0.06	0.12	0.19	0.24	0.30
6 m/s	30 cm	0	0.87	1.05	1.21	1.36	1.51	1.68
6 m/s	40 cm	0	0.33	0.46	0.61	0.83	1.03	1.20
6 m/s	50 cm	0	0.11	0.27	0.35	0.44	0.55	0.78
7 m/s	30 cm	0	1.14	1.68	1.98	2.27	2.71	3.09
7 m/s	40 cm	0	0.88	1.22	1.54	1.89	2.23	2.69
7 m/s	50 cm	0	0.57	0.87	1.09	1.47	1.75	1.89

K. Data Uji Daya yang Dihasilkan Generator Menggunakan Bilah Kayu NACA 6412

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	0.10	0.23	0.29	0.37	0.43	0.49
5 m/s	40 cm	0	0.07	0.13	0.19	0.25	0.32	0.42
5 m/s	50 cm	0	0.01	0.04	0.07	0.13	0.19	0.30
6 m/s	30 cm	0	0.40	0.49	0.63	0.86	1.03	1.16
6 m/s	40 cm	0	0.31	0.38	0.55	0.70	0.90	1.10
6 m/s	50 cm	0	0.09	0.23	0.29	0.49	0.70	0.78
7 m/s	30 cm	0	0.96	1.26	1.43	1.52	1.63	1.75
7 m/s	40 cm	0	0.48	0.81	1.04	1.17	1.32	1.46
7 m/s	50 cm	0	0.30	0.48	0.58	0.71	0.85	1.14

L. Data Uji Daya yang Dihasilkan Generator Menggunakan Bilah Fiber NACA 6412

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	0.09	0.13	0.19	0.26	0.35	0.45
5 m/s	40 cm	0	0.06	0.10	0.15	0.23	0.28	0.39
5 m/s	50 cm	0	0.03	0.07	0.10	0.15	0.18	0.27
6 m/s	30 cm	0	0.36	0.59	0.77	0.91	1.11	1.32
6 m/s	40 cm	0	0.21	0.31	0.58	0.77	0.86	1.05
6 m/s	50 cm	0	0.14	0.26	0.37	0.55	0.68	0.94
7 m/s	30 cm	0	1.67	2.01	2.20	2.57	2.82	3.03
7 m/s	40 cm	0	1.16	1.53	1.93	2.13	2.47	2.70
7 m/s	50 cm	0	0.97	1.29	1.62	1.83	2	2.19

M. Data Uji RPM Saat Generator Berputar Menggunakan Bilah Kayu NACA 0021

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	11.32	12.24	12.53	13.34	13.55	13.77
5 m/s	40 cm	0	9.31	11.27	11.99	12.32	12.47	12.54
5 m/s	50 cm	0	7.43	10.5	10.86	11.07	11.23	11.41
6 m/s	30 cm	0	13.56	13.74	14.82	15.78	16.45	16.98
6 m/s	40 cm	0	11.09	12.18	13.21	14.37	15.41	15.53
6 m/s	50 cm	0	10.87	11.04	12.66	13.21	14.37	14.46
7 m/s	30 cm	0	19.78	20.12	20.89	21.57	22.21	23.51
7 m/s	40 cm	0	18.51	19.23	19.68	20.05	20.96	21.12
7 m/s	50 cm	0	16.45	17.86	18.21	19.25	19.76	19.99

N. Data Uji RPM Saat Generator Berputar Menggunakan Bilah Fiber NACA 0021

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	14.32	15.47	15.53	16.58	17.63	17.77
5 m/s	40 cm	0	11.85	12.93	13.99	14.32	15.47	15.54
5 m/s	50 cm	0	9.46	10.54	10.86	11.17	12.21	13.33
6 m/s	30 cm	0	15.66	16.74	16.82	17.78	18.45	19.98
6 m/s	40 cm	0	12.09	12.43	13.57	14.37	15.41	16.53
6 m/s	50 cm	0	10.87	11.04	12.76	13.21	14.37	14.46
7 m/s	30 cm	0	25.35	26.12	28.44	29.56	29.78	30.5
7 m/s	40 cm	0	22.51	23.23	24.68	25.05	25.96	26.01
7 m/s	50 cm	0	20.45	21.86	22.21	23.33	23.76	23.99

O. Data Uji RPM Saat Generator Berputar Menggunakan Bilah Kayu NACA 6412

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	14.32	15.47	15.53	16.58	17.63	17.77
5 m/s	40 cm	0	11.85	12.93	13.99	14.32	15.47	15.54
5 m/s	50 cm	0	9.46	10.54	10.86	11.17	12.21	13.33
6 m/s	30 cm	0	15.66	16.74	16.82	17.78	18.45	19.98
6 m/s	40 cm	0	12.09	12.43	13.57	14.37	15.41	16.53
6 m/s	50 cm	0	10.87	11.04	12.76	13.21	14.37	14.46
7 m/s	30 cm	0	25.35	26.12	28.44	29.56	29.78	30.5
7 m/s	40 cm	0	22.51	23.23	24.68	25.05	25.96	26.01
7 m/s	50 cm	0	20.45	21.86	22.21	23.33	23.76	23.99

P. Data Uji RPM Saat Generator Berputar Menggunakan Bilah Fiber NACA 6412

Kecepatan Angin	Jarak	Variasi Sudut Bilah						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5 m/s	30 cm	0	11.24	11.53	11.87	13.59	13.76	14.46
5 m/s	40 cm	0	10.52	10.68	11.34	12.44	12.59	13.12
5 m/s	50 cm	0	9.3	9.53	10.36	10.59	11.11	11.35
6 m/s	30 cm	0	22.88	23.04	23.46	24.53	24.98	25.38
6 m/s	40 cm	0	17.89	18.54	19.21	20.86	21.22	22.5
6 m/s	50 cm	0	12.23	13.54	16.32	17.98	18.41	18.77
7 m/s	30 cm	0	22.97	24.38	25.75	28.94	29.34	30.32
7 m/s	40 cm	0	21.54	22.34	23.9	25.43	26.79	27.88
7 m/s	50 cm	0	19.67	20.43	21.65	22.75	23.9	24.76

LAMPIRAN H PENGAMBILAN DATA

Berikut ini merupakan hasil pengambilan data turbin angin di pantai Kenjeran dengan menggunakan bilah fiber NACA 0021 dengan jarak antara lengan dan poros turbin 30 cm dan dengan variasi sudut bilah 90°

Tabel 1 Pengambilan Data Turbin Angin Sumbu Vertikal

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)	RPM (rad/s)
1	4.3	0.02	5.63	0.1126	9.53
2	4.7	0.01	5.96	0.0596	10.51
3	3.98	0.02	5.81	0.1162	9.65
4	3.88	0.02	5.83	0.1166	10
5	3.76	0.01	5.43	0.0543	9.3
6	3.45	0.02	5.39	0.1078	9.28
7	4.15	0.02	5.52	0.1104	9.43
8	3.45	0.01	5.36	0.0536	9.3
9	3.65	0.02	5.41	0.1082	9.35
10	3.45	0.02	5.34	0.1068	9.29
11	3.65	0.02	5.43	0.1086	9.37
12	3.45	0.02	5.36	0.1072	9.29
13	3.8	0.02	5.44	0.1088	9.37
14	4.05	0.02	5.5	0.11	9.5
15	3.06	0.01	5.55	0.0555	9.54
16	3.05	0.02	5.56	0.1112	9.49
17	3.99	0.02	5.81	0.1162	9.67
18	4.5	0.02	5.69	0.1138	9.57
19	4.35	0.03	5.56	0.1668	9.45

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)	RPM (rad/s)
20	3.8	0.03	5.44	0.1632	9.37
21	4.7	0.02	5.71	0.1142	11.22
22	3.6	0.01	5.14	0.0514	9.25
23	3.5	0.02	5.34	0.1068	9.35
24	4.3	0.03	5.63	0.1689	9.53
25	4.6	0.03	5.8	0.174	11.35
26	3.6	0.02	5.63	0.1126	10.19
27	3.5	0.02	5.19	0.1038	9.55
28	3.5	0.01	5.34	0.0534	9.35
29	3.7	0.01	5.18	0.0518	9.54
30	4.7	0.02	5.77	0.1154	11.55
31	5.1	0.03	6	0.18	15.03
32	5.1	0.03	5.59	0.0177	9.34
33	5.2	0.04	6.15	0.246	24.6
34	5.6	0.04	6.25	0.25	18.75
35	5.2	0.04	6.07	0.2428	24.28
36	5.1	0.04	6.18	0.2472	18.54
37	5.3	0.04	6.24	0.2496	18.72
38	5.2	0.03	6.1	0.183	18.3
39	4.7	0.03	5.88	0.1764	10.87
40	5.2	0.03	5.93	0.1779	11.45

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Cindy Reviko Ekatiara yang dilahirkan di Kota Malang pada tanggal 6 Januari 1997 dari ayah bernama Djoko Wahjoeharjanto dan ibu bernama Masrevi Syukrilawati. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Jalan Bhaskara IV No. 11 Surabaya. Pada tahun 2009, penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Kalisari II Surabaya. Pada tahun 2012, penulis menyelesaikan pendidikan menengah pertama di SMPN 19 Surabaya. Pada tahun 2015, penulis menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMAN 20 Surabaya. Pada tahun 2018, penulis mampu menyelesaikan gelar ahli madya di Program Studi D-III Teknologi Instrumentasi, Departemen Teknik Instrumentasi, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “PERANCANGAN SISTEM MONITORING KINERJA TURBIN ANGIN TIPE DARRIEUS SUMBU VERTIKAL BERDASARKAN PUTARAN ROTOR PADA GENERATOR”. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui : revikocindy@gmail.com.