

**SKRIPSI**  
**PENGENDALIAN PEMBANGKIT LISTRIK *HYBRID RENEWABLE***  
***ENERGY* (SURYA, BAYU DAN PICOHIDRO) MENGGUNAKAN**  
**MIKROKONTROLER ATMega2560**



*Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan Untuk*  
*Menyelesaikan Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro*  
*Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*

Disusun Oleh:

**MUHAMMAD AKBAR**

**D411 15 021**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2020**



LEMBAR PENGESAHAN

PENGENDALIAN PEMBANGKIT LISTRIK *HYBRID RENEWABLE*  
*ENERGY* (SURYA, BAYU DAN PIKOHIDRO) MENGGUNAKAN  
MIKROKONTROLER ATMega 2560

Disusun Oleh:

MUHAMMAD AKBAR

D411 15 021

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan  
program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik

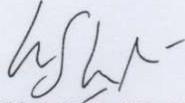
Universitas Hasanuddin

Makassar

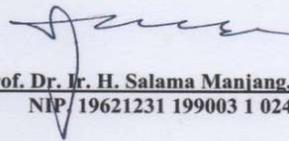
Disahkan Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II



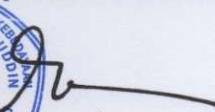
Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T.  
NIP. 19760914 200801 1 006



Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T.  
NIP. 19621231 199003 1 024

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro

  
  
Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.  
NIP. 19691026 199412 2 001

### SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : MUHAMMAD AKBAR  
TEMPAT LAHIR : AMBON  
TANGGAL LAHIR : 20 MARET 1997  
NIM : D41115021  
FAKULTAS / PRODI : TEKNIK / TEKNIK ELEKTRO  
WISUDA PERIODE : II  
JUDUL SKRIPSI : PENGENDALIAN PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID  
RENEWABLE ENERGY (SURYA, BAYU, PIKOHIDRO)  
MENGUNAKAN MIKROKONTROLER ATmega 2560

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa bilamana berkas yang saya unggah tidak benar dan tidak sesuai, maka saya bersedia melampirkan surat keterangan pembenaran dari pihak berwenang.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 12 Oktober 2020

Yang membuat pernyataan,



**Muhammad Akbar**



## ABSTRACT

Power plant in Indonesia is still dominated by thermal plant from diesel fuel, gas and coal which cannot be renewed. The renewable energy potential in Indonesia is highly able to develop such as photovoltaic, wind turbine and pico hydro plant. Hybrid power plant system is a method of combining two or more plants in order to obtain the synergy which give a positive impact in technical (reliability supply system) and economic advantage. The main purpose of this research is to construct a controlling system of hybrid plant renewable energy to maintain the load supply by utilizing microcontroller ATmega2560 as the central of the control. The finding of this research is hybrid system which has constructed is well function with battery voltage value equal to 10V as relay parameter to switch one power plant to another.

**Keywords: Photovoltaic, Wind Turbine, Pico Hydro Plant, Hybrid Plant, ATmega 2560**



## ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak potensi alam yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh pembangkit thermal dari bahan bakar diesel, gas dan batu bara yang merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui. Letak Indonesia yang berada digaris khatulistiwa memungkinkan cahaya matahari diterima setiap hari. Selain itu energi angin dan curah hujan yang baik juga menjadi potensi untuk pengembangan PLTS, PLTB dan PLTPH. Sistem *hybrid* pembangkit adalah suatu metode menggabungkan dua atau lebih pembangkit sehingga diperoleh sinergi yang memberikan keuntungan ekonomis maupun teknis (keandalan sistem *supply*). Tujuan utama dari penelitian ini merancang sistem pengendalian pembangkit *hybrid renewable energy* sehingga *supply* beban tetap terjaga. Pusat pengendalian sistem menggunakan mikrokontroler Arduino mega 2560 dengan komponen lain seperti sensor tegangan, sensor arus, relay dan lainnya. Pengendalian dilakukan dengan menjadikan tegangan baterai sebagai parameter *switching* pembangkit satu dengan pembangkit lainnya dengan nilai tegangan parameter baterai sebesar 10V. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan mensetting relay switch apabila sensor tegangan pada baterai membaca tegangan  $\geq 10V$  beban akan disupply oleh baterai namun, bila sensor tegangan baterai membaca  $< 10V$ , maka beban akan disupply oleh pikohidro. Sensor tegangan yang telah dihubungkan dengan sistem yang telah diprogramkan pada mikrokontroler menunjukkan sistem berfungsi dengan baik.

**Kata Kunci:** PLTS, PLTB, PLTPH, *Hybrid* Pembangkit, ATmega 2560



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat serta salam juga penulis kirimkan kepada nabi besar Muhammad SAW sebagai rahmatan lil ‘alamin beserta keluarga dan para sahabat yang senantiasa berjuang disisi-Nya. Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program strata satu departemen teknik elektro fakultas teknik universitas hasanuddin dengan judul “Pengendalian Pembangkit Listrik *Hybrid Renewable Energy* (Surya, Bayu Dan Piko Hidro) Menggunakan Mikrokontroler ATmega 2560”.

Penulis sangat menyadari bahwa terwujudnya tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dorongan dari beberapa pihak sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dalam waktu yang telah direncanakan. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini penulis menghaturkan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT sang maha segalanya yang selalu memberi penulis kesehatan, perlindungan serta keteguhan hati dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang tua penulis yang senantiasa mendukung, memfasilitasi dan mendoakan kesuksesan penulis selama ini serta kepada keluarga besar yang turut serta memberikan dukungan kepada penulis.
3. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT selaku Ketua Departemen Teknik Elektro dan Dr. Ikhlas Kitta, ST., MT selaku Sekretaris Departemen Teknik Elektro.

Bapak Dr. Ikhlas Kitta., ST., MT dan Bapak Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang., MT sebagai pembimbing I dan pembimbing II yang telah meluangkan



waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penyusunan tugas akhir ini.

5. Bapak dan ibu dosen serta staf departemen teknik elektro fakultas teknik universitas hasanuddin yang telah membantu dalam proses administrasi tugas akhir ini.
6. Rekan-rekan mahasiswa teknik elektro universitas hasanuddin
7. Semua pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis memohon maaf atas segala kekurangan serta sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dalam penyempurnaan tulisan ini. Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat memberi manfaat.

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN BERKAS .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ABSTRAK .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Penelitian .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Potensi Sumber Daya Energi di Indonesia .....	5
2.2 Sumber Energi Angin .....	6
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) .....	6
2.2.2 Turbin Angin .....	8
2.3 Sumber Energi Surya .....	14
2.3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) .....	14
2.3.2 Sel Photovoltaic .....	16
2.3.3 Jenis Panel Sel Surya .....	17
2.3.4 Prinsip Kerja Sel Photovoltaic .....	19
2.3.5 Komponen Sistem Photovoltaic .....	20
2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) .....	23
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> (PLTH) .....	25
2.6 Sistem Pengendalian Atau Pengontrolan .....	27
2.6.1 Arduino Mega 2560 .....	27
2.6.2 Arduino IDE 1.6.7 .....	29
2.6.3 Sensor Tegangan AC (ZMPT101B) .....	30
2.6.4 Sensor Tegangan DC .....	30
2.6.5 Sensor Arus ACS712 .....	31
2.6.6 Modul RTC .....	33



2.6.7 Modul MicroSD Adaptor.....	34
2.6.8 Relay.....	34
BAB III METODE PENELITIAN.....	35
3.1 Jenis Penelitian .....	35
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	35
3.3 Alat Dan Bahan .....	35
3.4 Metode Penelitian .....	36
3.4.1 Studi Literatur.....	36
3.4.2 Perancangan Sistem.....	36
3.4.2.1 Perancangan Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ).....	36
3.4.2.2 Perancangan Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ).....	39
3.4.3 Pengujian Sistem .....	42
3.4.4 Analisa Data .....	43
3.5 Arsitektur Perancangan Sistem.....	43
3.6 Diagram Alir Kerja Alat Sistem Hybrid.....	44
3.7 Alur Penelitian.....	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	46
4.1 Deskripsi Hasil Penelitian .....	46
4.1.1 Prinsip Kerja Sistem Pembangkit Listrik Energi Surya, Energi Angin Dan Piko hidro.....	46
4.1.2 Rincian Bagian Sistem Pembangkit Listrik Energi Surya, Energi Angin Dan PLTPH Dengan Mikrokontroller ATMega2560.....	48
4.2 Analisa Data Hasil Penelitian .....	52
4.2.1 Pengujian Rangkaian Rectifier Pada PLTB.....	52
4.2.2 Pengujian Sensor Tegangan DC pada PLTS .....	54
4.2.3 Pengujian Sensor Tegangan AC pada PLTB.....	56
4.2.4 Pengujian Sensor Arus ACS712.....	58
4.2.5 Pengujian Relay.....	60
4.2.6 Pengujian Pengisian Baterai .....	61
4.2.7 Pengujian Pengosongan Baterai .....	63
4.2.8 Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro (PLTPH) .....	64
4.3 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan .....	66
PENUTUP.....	68
Kesimpulan.....	68



5.2 Saran .....	69
DAFTAR PUSTAKA .....	70
LAMPIRAN .....	72
Lampiran 1. Alat dan Bahan.....	72
Lampiran 2. Program Sistem <i>Hybrid</i> Pembangkit .....	77
Lampiran 3. Dokumentasi Pengujian Penelitian .....	85
Lampiran 4. Data Monitoring PLTS .....	88
Lampiran 5. Data Monitoring PLTB .....	90
Lampiran 6. Perhitungan Teori Tegangan DC Pada Rectifier .....	91
Lampiran 7. Perhitungan Waktu Pengosongan Baterai.....	91
Lampiran 8. Perhitungan Waktu Pengisian Baterai .....	92
Lampiran 9. Wiring Diagram Pengendalian Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i> .....	93



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Potensi Angin Di Indonesia.....	7
Gambar 2.2 Sketsa Sederhana Turbin Angin.....	9
Gambar 2.3 Turbin Angin Sumbu Horizontal .....	11
Gambar 2.4 Turbin Angin Sumbu Vertikal .....	13
Gambar 2.5 Intensitas Radiasi Matahari Di Indonesia .....	15
Gambar 2.6 Panel Surya Tipe Monocrystalline .....	17
Gambar 2.7 Panel Surya Tipe Polycrystalline .....	18
Gambar 2.8 Pendopongan Semikonduktor Tipe-p dan Tipe-n .....	19
Gambar 2.9 Prinsip Kerja Sel Photovoltaik .....	20
Gambar 2.10 Solar Charger Controller .....	21
Gambar 2.11 Baterai .....	22
Gambar 2.12 Inverter .....	23
Gambar 2.13 Konstruksi PLTPH .....	24
Gambar 2.14 Sistem PLTH (a) Serial (b) Paralel (c) Tersaklar .....	25
Gambar 2.15 Sistem <i>Hybrid</i> Off Grid .....	26
Gambar 2.16 Sistem <i>Hybrid</i> On Grid .....	26
Gambar 2.17 Arduino Mega 2560 .....	27
Gambar 2.18 Tampilan Arduino IDE .....	29
Gambar 2.19 Sensor Tegangan AC ZMPT101B .....	30
Gambar 2.20 Sensor Tegangan DC .....	30
Gambar 2.21 Sensor Arus ACS712 .....	31



Gambar 2.22 Pin Out ACS712 .....	32
Gambar 2.23 Modul RTC .....	33
Gambar 2.24 Modul MicroSD Adaptor .....	34
Gambar 2.25 Relay .....	34
Gambar 3.1 Rangkaian Power <i>Supply</i> 5 Volt .....	37
Gambar 3.2 Rangkain Rectifier .....	38
Gambar 3.3 Rangkaian Regulator DC .....	39
Gambar 3.4 Aplikasi Arduino IDE .....	41
Gambar 3.5 Tampilan Serial Monitor Pada Arduino IDE .....	42
Gambar 3.6 Diagram Sistem <i>Hybrid</i> Pembangkit Renewable Energi .....	43
Gambar 3.7 Diagram alir kerja alat sistem hybrid .....	44
Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian .....	45
Gambar 4.1 Panel <i>Solar cell</i> .....	48
Gambar 4.2 Turbin Angin .....	48
Gambar 4.3 Komponen Pendukung PLTS Dan PLTB .....	49
Gambar 4.4 Rangkaian Rectifier .....	49
Gambar 4.5 Rangkaian Kontrol <i>Hybrid</i> .....	50
Gambar 4.6 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro .....	50
Gambar 4.7 Grafik Pengujian Rangkaian Rectifier .....	53
Gambar 4.8 Pengujian Sensor Tegangan DC pada PLTS .....	55
Gambar 4.9 Pengujian Sensor Tegangan AC pada PLTB .....	57
Gambar 4.10 Pengujian Sensor Arus ACS712 .....	58
Gambar 4.11 Grafik Tegangan Pengisian Baterai .....	62
Gambar 4.12 Pengujian Pengosongan Baterai .....	63
Gambar 4.13 Pengujian Pembangkit Pikohidro .....	65



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia .....	5
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560 .....	28
Tabel 2.3 Terminal List Sensor Arus ACS712 .....	32
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Rangkaian Rectifier .....	53
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor Tegangan DC pada PLTS .....	54
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sensor Tegangan AC pada PLTB .....	55
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712 .....	58
Tabel 4.5 Pengujian Relay Switch .....	60
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Pengisian Baterai .....	61
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Pengosongan Baterai .....	63
Tabel 4.8 Pengujian Pembangkit Pikohidro .....	65



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu energi yang sangat dibutuhkan untuk keberlangsungan hidup manusia. Di Indonesia peningkatan konsumsi listrik setiap tahunnya diperkirakan meningkat. Rencana umum penyediaan tenaga listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) tahun 2010-2019 menyebutkan kebutuhan listrik pertahunnya adalah 55.000 MW. Jadi, rata-rata peningkatan kebutuhan listrik pertahunnya adalah 5.500 MW. Dari total daya tersebut sebanyak 32.000 MW (57%) dibangun sendiri oleh PLN, sedangkan sisanya (43%) dibangun oleh pengembang listrik swasta (Febriansyah dkk, 2012).

Pembangkit listrik saat ini masih banyak menggunakan bahan yang tidak dapat diperbaharui, seperti gas, diesel dan batu bara. Indonesia merupakan salah satu negara yang mendapatkan sinar matahari lebih besar dari negara lain dengan perkiraan sekitar 4,8 kW/m<sup>2</sup>/hari. Selain itu, energi surya merupakan energi yang mungkin tidak pernah habis mengingat posisi Indonesia yang berpotensi menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi masa depan karena berada pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di hampir seluruh Indonesia sepanjang tahun (Maulana, 2015).

Kebutuhan listrik yang semakin meningkat akan mendorong manusia untuk memanfaatkan berbagai macam potensi energi yang ada di Indonesia. Energi terbarukan seperti energi angin, gelombang laut, air, panas bumi dan lainnya belum

di manfaatkan secara optimal. Energi angin merupakan energi alternatif yang



mempunyai prospek baik karena selalu tersedia di alam dan merupakan sumber energi yang bersih dan terbarukan kembali (Putri dkk, 2016).

Pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) adalah suatu pembangkit listrik tenaga air (PLTA) *low head* dengan kapasitas kurang dari 500 kilo Watt (kW). Potensi total PLTPH di Indonesia tahun 2002 adalah sebesar 500 Mega Watt (MW) yang sudah dimanfaatkan baru 21 MW. Potensi tersebut sebenarnya masih akan sejalan dengan intensitas studi potensi yang dilakukan untuk menemukan lokasi-lokasi baru (Nurhayati dan Herdi, 2018).

Berdasarkan fenomena ini, maka tenaga surya, tenaga angin dan tenaga air menjadi salah satu energi alternatif yang menjanjikan untuk Indonesia. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pembangkit listrik tenaga angin/bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) merupakan pengembangan dari energi terbarukan yang paling cocok dikembangkan di Indonesia mengingat karena Indonesia beriklim tropis yang memiliki potensi penyinaran, kecepatan angin dan curah huan yang cukup baik untuk pengembangan konversi dari energi tersebut yang dapat dikombinasikan yang dikenal dengan pembangkit *hybrid* (Abdillah dan Afandi, 2018).

Pembangkit *hybrid* akan maksimal pemakainnya jika disertai dengan sistem pengendalian pembangkit yang akan mengontrol pembangkit untuk menghubungkan atau memutus pembangkit untuk mensuplai beban. Penulisan penelitian ini dikembangkan sebuah model pembangkit *hybrid* dari energi angin, energi surya dan pikohidro. Ketiganya menggunakan konsep konversi energi yang

sehingga cukup menarik untuk dilakukan investigasi dalam hal  
ngan begitupun dalam pengendalian atau pengontrolannya.



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang dirumuskan dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang bangun sistem pengendalian pembangkit *hybrid renewable energy* tenaga surya, angin dan pikohidro?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, yaitu:

1. Membuat rancang bangun sistem pengendalian pembangkit *hybrid renewable energy* tenaga surya, angin dan pikohidro menggunakan mikrokontroler ATmega2560.
2. Menguji kinerja dari relay switch untuk menghubungkan dan memutus satu sumber listrik ke sumber listrik yang lain.
3. Mengetahui waktu pengisian dan pengosongan baterai yang berkapasitas 12V 60Ah.

## 1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Membuat rancang bangun sistem pembangkit *hybrid renewable energy* (surya, bayu dan pikohidro) yang dilakukan di laboratorium teknik tegangan tinggi.
2. Menggunakan mikrokontroller ATmega2560 sebagai pusat pengontrolan sistem *hybrid*.
3. Penelitian ini difokukan pada pengendalian/pengontrolan pembangkit *hybrid renewable energy*.

## 1.5 Sistematika Penulisan



Sistematika penulisan merupakan gambaran umum tentang keseluruhan isi dari penelitian ini maka saya memaparkan dalam beberapa bab sebagai berikut:

## **BAB I PENDAHULUAN**

Bagian dari pendahuluan yang berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian dan sistematika penulisan.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi tentang teori penunjang yang relevan untuk bahan penelitian yang diperoleh dari sumber referensi untuk menyusun kerangka teori dan konseptual.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi tentang waktu dan tempat penelitian, metode pengambilan data, analisis data dan langkah-langkah penelitian.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi tentang hasil penelitian dan pembahasan yang diperoleh dari pengujian pengendalian pembangkit listrik *hybrid renewable energy* (surya, bayu dan pikohidro) menggunakan mikrokontroler ATMega2560

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi tentang kesimpulan dari pembahasan permasalahan dan saran-saran untuk perbaikan dan penyempurnaan tugas akhir ini.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Potensi Sumber Daya Energi di Indonesia

Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumber daya energi baik energi yang bersifat sumber tidak terbarukan maupun yang bersifat sumber terbarukan. Eksplorasi sumber daya energi lebih banyak difokuskan pada energi fosil yang bersifat sumber energi tidak terbarukan sedangkan sumber energi yang bersifat terbarukan relatif belum banyak dimanfaatkan. Kondisi ini menyebabkan ketersediaan energi fosil khususnya minyak mentah semakin langka yang menyebabkan Indonesia harus lebih memfokuskan diri pada sumber energi yang tidak dapat habis (Sumiarso, 2011).

Menipisnya sumber daya energi yang tidak dapat diperbaharui, maka dikembangkanlah penemuan energi yang bersumber dari energi terbarukan seperti air, panas bumi, pikohidro, biomassa, matahari dan angin. Sumber-sumber energi terbarukan pada umumnya tersedia diberbagai lokasi, sehingga cukup baik untuk dimanfaatkan pada daerah-daerah yang masih sulit terjangkau oleh pasokan energi konvensional. Energi terbarukan menjadi solusi dari menurunnya sumber daya tidak terbarukan dikarenakan relatif mudah didapat, diperoleh dengan gratis dan tidak menghasilkan limbah. Berikut ini beberapa tabel potensi energi terbarukan di Indonesia:

**Tabel 2.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia**

No	Energi Terbarukan	Potensi		Kapasitas Pembangkit Yang Sudah Terpasang
		Nilai	Satuan	
	Energi Air	75.67	GW	420.00 MW



**Sambungan Tabel 2.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia**

No	Energi Terbarukan	Potensi		Kapasitas Pembangkit Yang Sudah Terpasang
		Nilai	Satuan	
2	Panas Bumi	27.00	GW	800.00 MW
3	Mini/Micro Hydro	458.75	MW	84.00 MW
4	Biomassa	49.81	GW	302.40 MW
5	Matahari	4.80	KWh/m <sup>2</sup> /hari	8.00 MW
6	Angin	9.29	GW	0.50 MW

(Sumber: *Blue print pengelolaan energy nasional 2006-2025*)

Pengembangan pemanfaatan sumber daya energi terbarukan ini bukan berarti terbebas dari segala kendala. Kendala yang menghambat pengembangan energi terbarukan bagi produksi energi listrik, seperti biaya investasi pembangunan yang tinggi menimbulkan masalah finansial pada penyediaan modal awal dan kontinuitas penyediaan energi listrik rendah karena sumber daya energinya sangat bergantung pada kondisi alam yang perubahannya tidak menentu.

Ketersediaan energi terbarukan juga tidak kontinue terhadap waktu sehingga perlu dilakukan penyimpanan energi atau kombinasi antara sumber-sumber energi tersebut. Penelitian ini dibuat dengan mengkombinasikan beberapa sumber energi terbarukan untuk mensuplay beban. Pengkombinasian tiga sumber pembangkit energi listrik atau lebih disebut juga pembangkit listrik sistem *hybrid*.

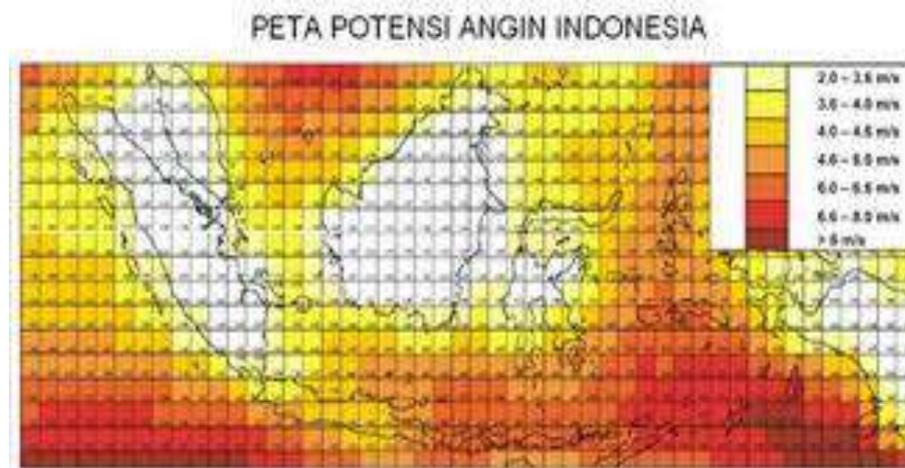
## 2.2 Sumber Energi Angin

### 2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Energi angin merupakan salah satu potensi energi terbarukan yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan energi listrik domestik,



khususnya wilayah terpencil. Pembangkit energi angin yang biasa disebut pembangkit listrik tenaga angin ini bebas polusi dan sumber energinya yaitu angin yang tersedia dimanapun, maka pembangkit ini dapat menjawab masalah lingkungan hidup dan ketersediaan sumber energi.



**Gambar 2.1 Peta Potensi Angin Di Indonesia**

(Sumber: Susandi, Armi, Geografi ITB, Bandung, 2006)

Pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia menghadapi beberapa masalah penting yang harus dipecahkan karena menghambat pengembangan dan mengurangi minat masyarakat untuk memakai energi angin ini yaitu:

- a) Rendahnya distribusi kecepatan angin di Indonesia. Daerah di Indonesia rata-rata hanya memiliki kecepatan angin pada kisaran 2,5 - 6 m/s.
- b) Besarnya fluktuasi kecepatan angin di Indonesia. Yang berarti profil kecepatan angin selalu berubah secara drastis dengan interval yang cepat.

Peta persebaran potensi angin Indonesia diatas, dapat dilihat bahwa distribusi kecepatannya relatif rendah. rata-rata kecepatan angin yang rendah mengakibatkan, generator yang dipasang harus dirancang untuk berputar secara lambat pada kecepatan angin yang rendah yang kemungkinan terjadinya paling tinggi. Besarnya fluktuasi kecepatan angin di Indonesia menjadi masalah yang cukup besar,



karena kecepatan angin sering melonjak tinggi selama beberapa saat. Umumnya perancangan generator berputar secara optimal pada kecepatan angin rendah, maka generator tidak akan kuat menahan kecepatan angin yang tinggi dan akibatnya generator akan rusak (Susandi, 2006).

Turbin angin yang dipasang di Indonesia biasanya tidak dirancang untuk berputar secara optimal pada kecepatan rendah yang kemungkinan terjadinya paling besar tersebut. Turbin angin yang dipasang di Indonesia dirancang untuk berputar secara optimal pada kecepatan angin yang sedikit lebih tinggi daripada kecepatan angin yang rendah di daerah tersebut. Solusi ini menimbulkan masalah baru yaitu turbin tidak akan berputar dengan baik pada kecepatan yang sangat rendah (yang sering terjadi juga karena besarnya fluktuasi). Daya yang dihasilkan tidak terbangkitkan pada kecepatan rendah. Sistem turbin angin di Indonesia sering tidak menghasilkan daya (karena kecepatan sangat rendah cukup sering terjadi).

Angin selalu bertiup dari tempat dengan tekanan udara tinggi ke tempat dengan tekanan udara yang lebih rendah. Angin akan bergerak secara langsung dari udara bertekanan tinggi ke udara bertekanan rendah jika tidak ada gaya lain yang mempengaruhi. Perputaran bumi pada sumbunya, akan menimbulkan gaya yang akan mempengaruhi arah pergerakan angin.

### **2.2.2 Turbin Angin**

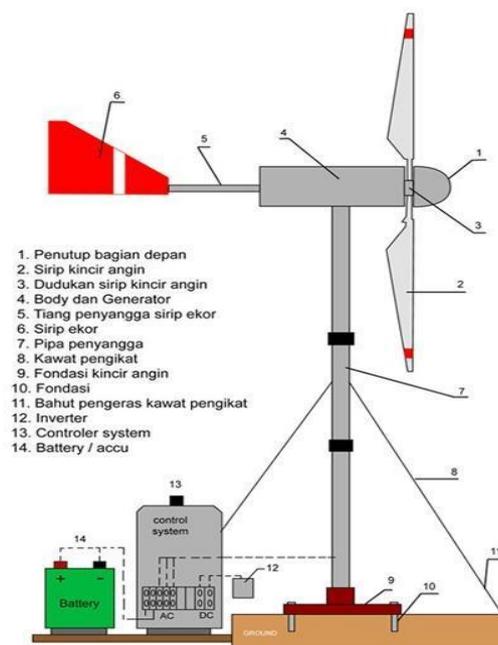
Turbin angin sekarang ini lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun

at ini penggunaan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit konvensional misalnya PLTD, PLTU, dan lainnya turbin angin masih lebih



dikembangkan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui.

Tenaga angin modern dihasilkan dalam bentuk listrik dengan mengubah rotasi dari pisau turbin menjadi arus listrik dengan menggunakan generator listrik. Kincir dengan energi angin digunakan untuk memutar peralatan mekanik untuk melakukan kerja fisik, seperti memompa air atau menyalakann lampu. Tenaga angin banyak jumlahnya, tidak habis habis, tersebar luas dan bersih. Turbin angin atau kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Daya yang dihasilkan oleh turbin angin tergantung pada diameter dari sudu, semakin panjang diameter maka daya yang dihasilkan semakin besar. Turbin angin sekarang ini banyak digunakan untuk mengakomodasi listrik masyarakat dengan menggunakan konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbarui yaitu angin.



**Gambar 2.2 Sketsa Sederhana Turbin Angin**

(sumber: Maldi, UTU, Aceh, 2016)



Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, pembangkit listrik tenaga angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibelakang bagian turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Jenis - jenis turbin dibagi menjadi dua yaitu:

1. Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak Menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, maka turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Bilah-bilah itu kemudian diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan. Turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, maka sebagian besar TASH merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Mesin downwind (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin dan karena di saat angin

is sangat kencang bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi



wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resistensi angin dari bilah-bilah itu.



**Gambar 2.3 Turbin Angin Sumbu Horizontal**

(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH):

Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin) antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Sejumlah lokasi geseran angin setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

Kelemahan turbin angin horizontal (TASH):

- a) Menara yang tinggi serta bilah yang panjang sulit diangkut dan juga memerlukan biaya besar untuk pemasangannya, bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.



H yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi mahal serta para operator yangampil.

- b) Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
- c) TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.
- d) Ukurannya yang tinggi merintangi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan landscape.
- e) Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.

## 2. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Turbin dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Desain turbin ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Drag (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan objek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan bearing wear yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan yang merupakan titik optimal bagi energi angin yang

dan turbulensi angin yang minimal.





**Gambar 2.4 Turbin Angin Sumbu Vertikal**

(Sumber: Maldi, UTU, Aceh, 2016)

Kelebihan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

- a) Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- b) Bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- c) Memiliki sudut airfoil (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi drag pada tekanan yang rendah dan tinggi.
- d) Desainnya berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau 4 persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya turbin angin sumbu horizontal.
- e) TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah dari pada TASH.

anya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6 m.p.h).



- f) Memiliki tip speed ratio (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.
- g) Tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.

Kekurangan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV):

- a) Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar
- b) Tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
- c) Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
- d) Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup.

## 2.3 Sumber Energi Surya

### 2.3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Energi surya merupakan energi yang potensial dikembangkan di Indonesia karena letak Indonesia yang berada di daerah khatulistiwa. Energi surya dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan di Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km<sup>2</sup> adalah sebesar 5,10 MW atau 4,8 KWh/m<sup>2</sup>/hari atau setara dengan 112.000 GWp yang didistribusikan.





**Gambar 2.5 Intensitas Radiasi Matahari Di Indonesia**

(Sumber: Susandi, Arni, Bandung, 2006)

Energi surya memiliki keunggulan-keunggulan dibandingkan dengan energi fosil, diantaranya:

- a) Sumber energi yang mudah didapatkan.
- b) Ramah lingkungan.
- c) Sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis.
- d) Instalasi, pengoperasian dan perawatan mudah.
- e) Listrik dari energi surya dapat disimpan dalam baterai.

Energi surya berupa radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas foton atau partikel energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah penerima. Rata-rata nilai dari radiasi surya atmosfer bumi adalah  $1.353 \text{ W/m}^2$  yang dinyatakan sebagai konstanta surya. Intensitas radiasi surya dipengaruhi oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca meliputi dan

awan, pergantian musim dan posisi garis lintang. Intensitas radiasi sinar di Indonesia berlangsung 4-5 jam per hari.



Efisiensi pemanfaatan PLTS dibutuhkan perencanaan yang baik dan akurat yaitu, sebagai berikut:

- a) Jumlah data yang akan dibutuhkan dalam pemakaian sehari-hari (Watt/Hour)
- b) Jumlah panel yang harus dipasang
- c) Berapa unit baterai yang diperlukan untuk kapasitas yang diinginkan dan penggunaan tanpa sinar matahari

Besarnya biaya dalam penentuan harga sebuah solar panel didasarkan atas perhitungan harga per Watt Peak (WP), ini berlaku di pasar internasional untuk penentuan harga sebuah solar panel.

### **2.3.2 Sel Photovoltaic**

Sinar matahari yang menyinari di bumi dapat diubah menjadi energi listrik melalui sebuah proses yang dinamakan photovoltaic (PV). Photo merujuk kepada cahaya dan voltaic mengacu kepada tegangan. Terminologi ini digunakan untuk menjelaskan sel elektron yang memproduksi energi listrik arus searah dari energi radiasi matahari. Photovoltaic cell dibuat dari material semikonduktor terutama silicon yang dilapisi oleh bahan tambahan khusus. Jika cahaya matahari mencapai cell maka elektron akan terlepas dari atom silikon dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energi listrik dapat dibangkitkan. Sel surya selalu didesain untuk mengubah cahaya menjadi energi listrik sebanyak-banyaknya dan dapat digabung menjadi seri atau parallel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan (Dafi dan Wisnu, 2016).

Cara kerja dari photovoltaic cell sangat tergantung kepada sinar matahari

rimanya. Kondisi iklim (misal awan tebal atau kabut) mempunyai efek



yang sangat signifikan terhadap jumlah energi matahari yang diterima sel sehingga akan mempengaruhi pula unjuk kerjanya.

### 2.3.3 Jenis Panel Sel Surya

Panel sel surya mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Panel sel surya menghasilkan arus yang digunakan untuk mengisi baterai. Panel surya terdiri dari photovoltaic yang menghasilkan energi listrik dari intensitas cahaya saat intensitas cahaya berkurang (berawan, mendung, hujan) arus listrik yang dihasilkan juga berkurang. Dengan memperluas panel surya berarti menambah konversi tenaga surya. Umumnya panel sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil yang tertentu juga.

Adapun jenis panel sel surya secara umum terbagi menjadi 2 jenis, yaitu sebagai berikut:

#### 1. Monokristal (Mono-Crystalline)

Panel ini adalah panel surya yang paling efisien, yaitu menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai 15%. Kelemahan dari jenis panel ini adalah tidak akan berfungsi di tempat yang cahayanya matahari kurang (teduh), kestabilannya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



**Gambar 2.6 Panel Surya Tipe Monocrystalline**

(Sumber: Dokumentasi Peneliti)



## 2. Polikristal (Poly-Crystalline)

Panel ini merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Tipe polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik dalam keadaan berawan.



**Gambar 2.7 Panel Surya Tipe Polycrystalline**

(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Cahaya matahari dapat diubah menjadi energi listrik melalui modul surya yang terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor merupakan bahan semi logam yang memiliki partikel yang disebut elektron-proton, yang apabila digerakkan oleh energi dari luar akan membuat pelepasan elektron sehingga menimbulkan arus listrik dan pasangan elektron hole. Modul surya mampu menyerap cahaya sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energi foton ini.

Energi foton pada cahaya matahari ini menghasilkan energi kinetik yang mampu melepaskan elektron-elektron ke pita konduksi sehingga menimbulkan

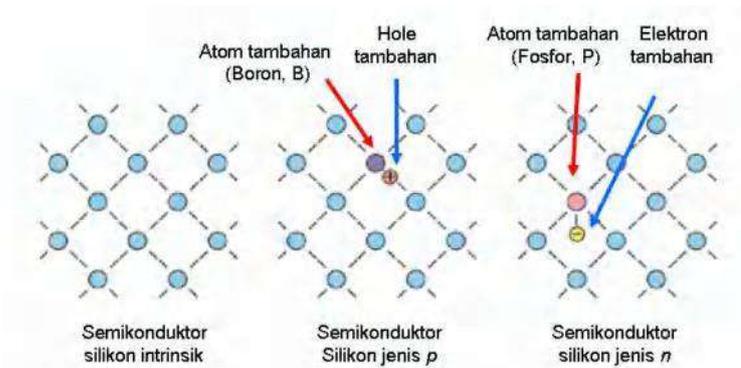
k. Energi kinetik akan makin besar seiring dengan meningkatnya cahaya dari matahari. Intensitas cahaya matahari tertinggi diserap



bumi di siang hari sehigga menghasilkan tenaga surya yang diserap bumi ada sekitar 120.000 terra Watt. Jenis logam yang digunakan juga akan menentukan kinerja dari pada sel surya.

### 2.3.4 Prinsip Kerja Sel Photovoltaic

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n *junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan *hole* tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Mendapatkan material silikon tipe-p dengan cara silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n silikon di doping oleh atom fosfor.

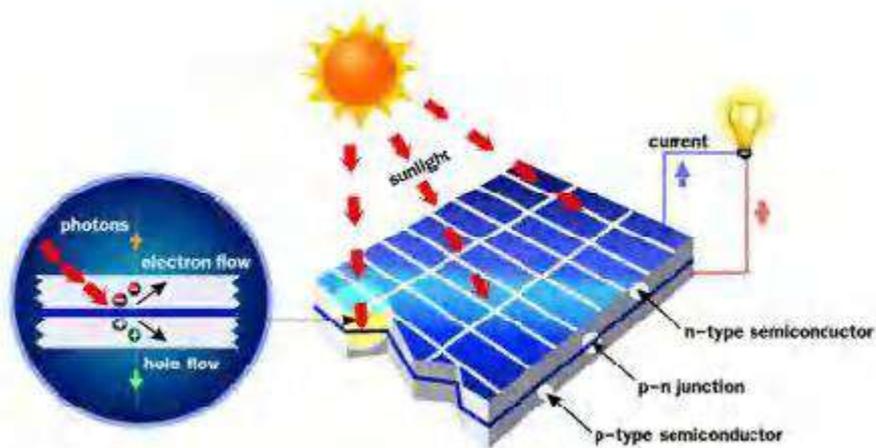


**Gambar 2.8 Pendopingan Semikonduktor Tipe-p dan Tipe-n**

(Sumber: Sigh, Jasprit, Mc. Graw Hill, Inc, Singapura, 1995)



Peran dari *p-n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan *hole* bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Semikonduktor tipe-p dan tipe-n ketika terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Aliran elektron dan *hole* ini mengakibatkan bentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan *p-n junction* ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik dan sebaliknya *hole* bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang.



**Gambar 2.9 Prinsip Kerja Sel Photovoltaik**

(Sumber: sun-nrg.org, April, 2016)

### 2.3.5 Komponen Sistem Photovoltaic

Adapun komponen-komponen yang terdapat dalam photovoltaic antara lain sebagai berikut:

#### 1) Solar Charger Controller

A solar charger controller adalah charger baterai yang disuplai dari panel surya fotovoltaik. Perangkat elektronik ini berfungsi untuk mengatur arus dari solar sel



ke dalam baterai. Perangkat ini memiliki fitur yang lengkap dan pengoperasian yang mudah dengan satu potensiometer untuk pengaturan tegangan mengambang floating voltage, dan kompensasi suhu ruang otomatis, sehingga masa pakai baterai akan lebih lama. Dilengkapi juga dioda untuk proteksi kutub terbalik.



**Gambar 2.10 Solar Charger Controller**

(Sumber: [www.scribd.com](http://www.scribd.com), Agustus, 2008)

Solar charge controller merupakan peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Solar *charger controller* mengatur *over charging* (kelebihan pengisian pada baterai) dan kelebihan voltase dari panel surya/*solar cell*. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai. Beberapa fungsi detail dari solar *charger controller* adalah sebagai berikut:

- a) Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *over charging* dan *over voltage*.
- b) Mengatur arus yang dibebaskan/diambil dari baterai agar baterai tidak *full discharge* dan *over loading*.
- c) Monitoring temperatur baterai.



## 2) Baterai

Baterai adalah alat elektro kimia yang dibuat untuk mensuplai listrik ke komponen kelistrikan. Baterai menyimpan listrik dalam bentuk energi kimia, yang dikeluarkannya bila diperlukan dan mensuplainya ke masing-masing sistem kelistrikan atau alat yang memerlukannya.



**Gambar 2.11 Baterai**

(Sumber: [www.scribd.com](http://www.scribd.com), Agustus, 2008)

Baterai merupakan suatu proses kimia listrik dimana pada saat pengisian energi listrik diubah menjadi energi kimia dan saat pengeluaran energi kimia diubah menjadi energi listrik. Baterai yang digunakan berfungsi untuk menyimpan tegangan yang dihasilkan oleh *solar cell* dan dimanfaatkan kembali untuk mensuplai beban.

## 3) Inverter

Inverter merupakan suatu komponen yang digunakan pada sistem photovoltaic

fungsi untuk mengubah listrik DC (Direct Current) sebagai output dari  
ubah menjadi listrik AC (Alternating Current) untuk mensuplai beban AC.





**Gambar 2.12 Inverter**

#### **2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH)**

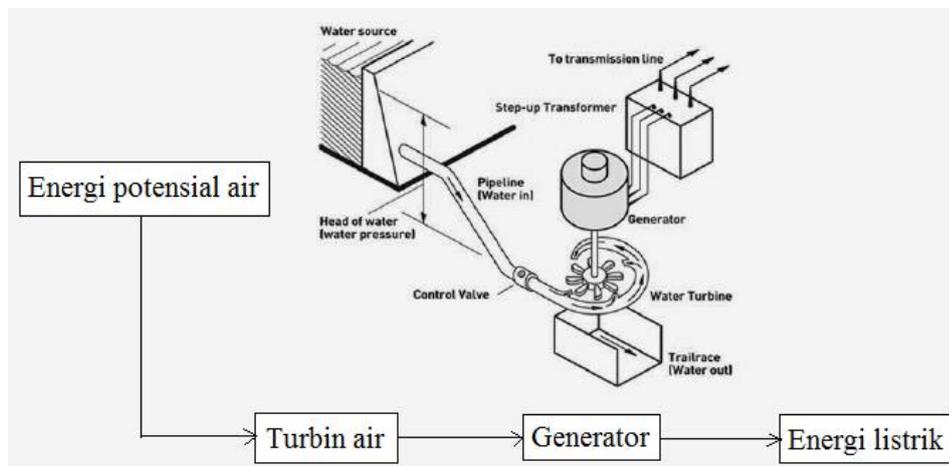
Pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) adalah suatu sistem pembangkit listrik yang dapat mengubah potensi air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik dengan menggunakan turbin dan generator. Sebuah skema pikohidro memerlukan dua hal yaitu debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. *Head* merupakan energi spesifik yang dinyatakan dalam satuan meter dengan kata lain adalah energi per satuan berat jenis fluida. *Head* yang diukur adalah *head* statis yaitu berupa elevasi dari permukaan air sumber dan elevasi dari masing-masing komponen PLTPH yang akan dipasang (Fatma, 2016).

Dengan kemajuan teknis, tinggi 1 sampai 1,5 m dapat digunakan dan kapasitas turbin dapat dibuat 4 sampai 5 kW. Salah satu sebab bagi negara-negara maju membangun PLTA berkapasitas kecil ini adalah harga minyak OPEC yang terus meningkat sekarang ini di samping bertambahnya kebutuhan listrik.



Adapun konstruksi bangunan sipil untuk PLTPH adalah:

1. Bending berfungsi menaikkan tinggi muka air di sungai agar bisa masuk ke pintu pengambilan (*intake*).
2. *Intake* berfungsi mengarahkan air dari sungai masuk ke dalam bak pengendap.
3. Bak pengendap berfungsi untuk menangkap sedimen yang melalui saluran.
4. Saluran pembawa berfungsi untuk mengalirkan air dari *intake* ke bak penenang (*forebay*) untuk mempertahankan kestabilan debit air.
5. Bak penenang berfungsi mengendalikan aliran minimum sebagai antisipasi aliran yang cepat pada turbin serta tempat pengendapan akhir.
6. Pipa pesat berfungsi membawa air menuju turbin yang ditempatkan di rumah pembangkit.
7. Rumah pembangkit berfungsi melindungi peralatan *electrical mechanical* seperti turbin, generator, panel kontrol dan lainnya dari segala gangguan.
8. Saluran pembuang (*tailrace*) berfungsi sebagai saluran pembuang air dari rumah pembangkit dan menggerakkan turbin.

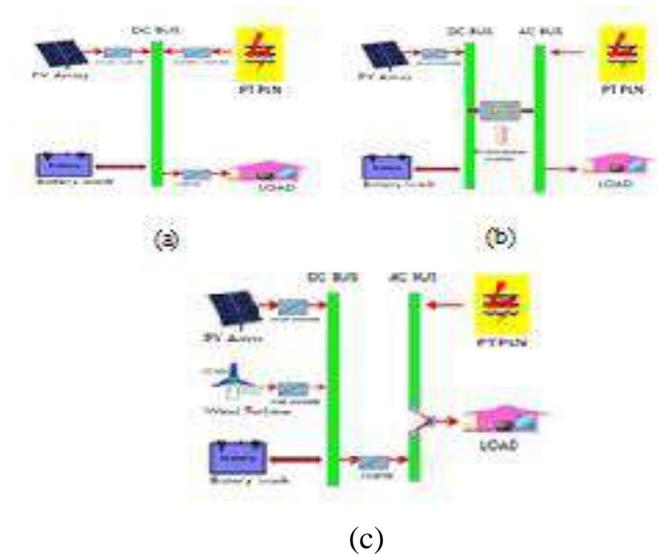


**Gambar 2.13 Konstruksi PLTPH**



## 2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

*Hybrid system* adalah penggabungan dua atau lebih sumber energi. Salah satu contohnya adalah *solar electric system* dengan sumber energi lain (seperti generator diesel, pembangkit listrik tenaga angin). *Hybrid system* dipilih dalam rangka menyediakan sumber energi yang handal dan tidak bergantung dengan energi fosil. *Hybrid system* terbagi menjadi sistem serial, paralel dan tersaklar.



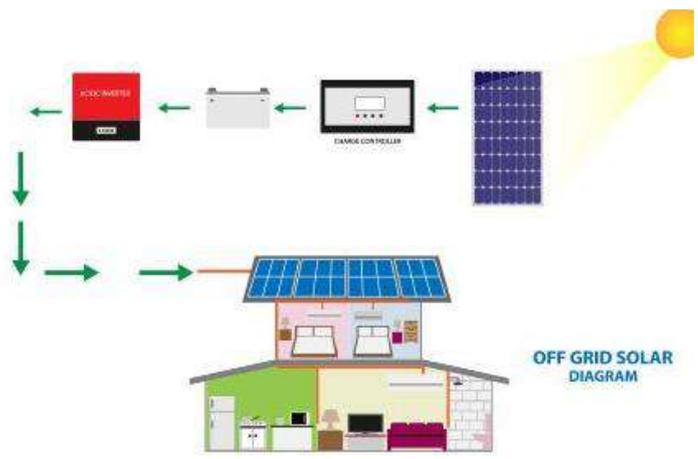
**Gambar 2.14 Sistem PLTH (a) Serial (b) Paralel (c) Tersaklar**

Prinsip kerja PLTH tersaklar (*switched*), inverter beroperasi sebagai sumber AC. Sumber energi terbarukan yang lain dapat mengisi (*charging*) baterai. Pada sistem ini beban dapat langsung disuplai PLN.

Pada sistem *hybrid* terbagi menjadi 2 bagian yaitu sistem *off grid* dan sistem *on grid*. Sistem *off grid* merupakan suatu sistem yang tidak terhubung ke jaringan listrik dan karenanya membutuhkan penyimpanan baterai. Sistem *off grid* harus

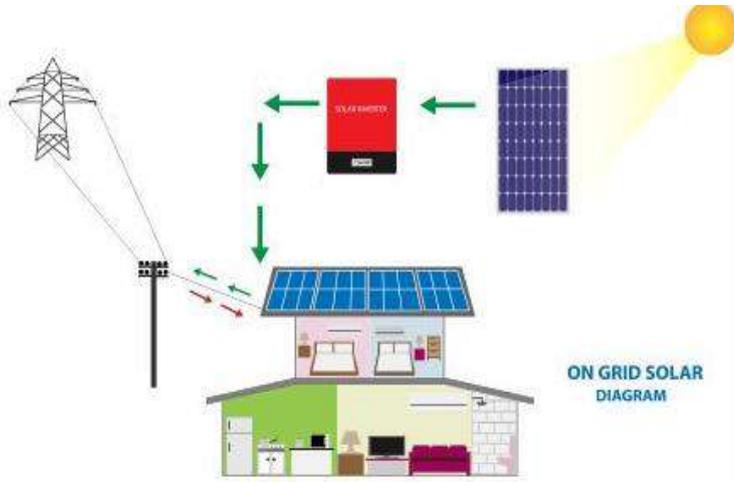
dirancang dengan baik sehingga akan menghasilkan daya yang cukup sepanjang musim hujan dan memiliki kapasitas baterai yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi di rumah.





**Gambar 2.15 Sistem Hybrid Off Grid**

Sedangkan sistem *on grid* atau *grid tie* merupakan sistem yang biasa disebut semi-otonom karena masih terkoneksi ke jaringan listrik. Sistem ini merupakan sistem yang sederhana dan ekonomis dengan mengatur kapasitas sistem dan menyelaraskan beban pemakaian sebanyak mungkin dengan hasil produksi, maka daya yang diimpor dapat diminimalkan dan memaksimalkan konsumsi dari yang dihasilkan sistem yang berarti nilai pengambilan investasi dapat dicapai lebih cepat melalui penghematan energi listrik.



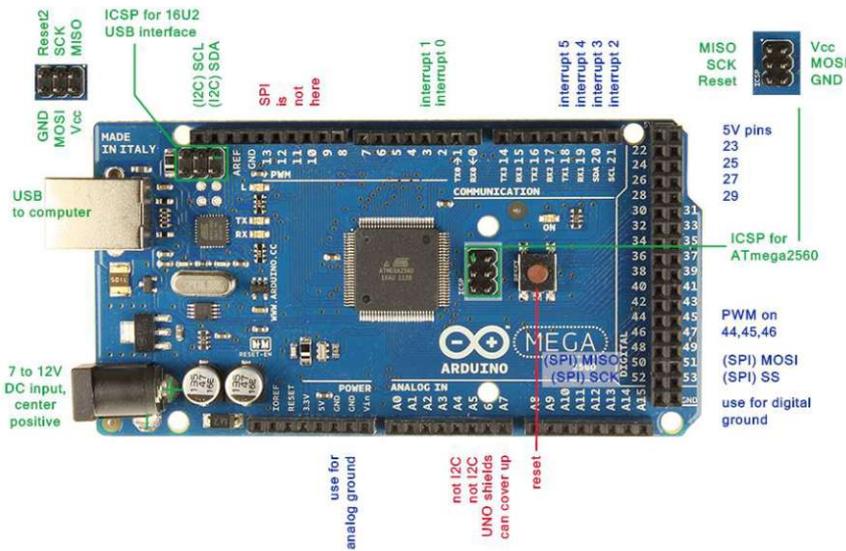
**Gambar 2.16 Sistem Hybrid On Grid**



## 2.6 Sistem Pengendalian Atau Pengontrolan

### 2.6.1 Arduino Mega 2560

Arduino adalah jenis suatu papan (*board*) yang berisi mikrokontroler atau arduino dapat disebut sebagai sebuah papan mikrokontroler. Papan mikrokontroler yang banyak digunakan adalah Arduino uno, yaitu hanya seukuran kartu kredit dilengkapi dengan sejumlah pin yang digunakan untuk berkomunikasi dengan peralatan lain (Kadir, 2015).



**Gambar 2.17** Arduino Mega 2560

Arduino Mega (Gambar 2.17) merupakan tipe Arduino yang digunakan pada penelitian ini. Mega 2560 merupakan papan mikrokontroler berbasis ATmega2560. Memiliki 54 pin masukan/keluaran digital (15 diantaranya dapat digunakan sebagai keluaran PWM), 16 masukan analog, 4 UART (*port serial hardware*), satu osilator kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, satu *jack power*, satu pin *header* ICSP, dan sebuah tombol reset. Arduino mega menyediakan semua yang diperlukan untuk

ng kemampuan mikrokontroler. Secara sederhana dihubungkan ke dengan kabel USB atau memberi daya dengan adaptor AC-DC atau



baterai untuk memulai menggunakannya. Papan mega 2560 kompatibel dengan hampir seluruh *shield* yang didesain untuk Uno dan papan Duemilanove atau Diecimila lama (Arduino.cc, diakses 5 Agustus 2020).

Arduino Mega 2560 Revisi 3 memiliki fitur-fitur baru sebagai berikut:

1. 1.0 pinout: Ditambahkan pin SDA dan pin SCL yang dekat dengan pin AREF dan dua pin baru lainnya ditempatkan dekat dengan pin RESET. IOREF memungkinkan *shield* untuk beradaptasi dengan tegangan yang tersedia di papan. Dimasa depan *shield* akan kompatibel baik dengan papan yang menggunakan AVR yang beroperasi dengan tegangan 5 Volt dan dengan Arduino Due yang beroperasi dengan tegangan 3.3 Volt. Ada dua pin yang tidak terhubung yang disediakan untuk tujuan masa depan.
2. Sirkuit RESET
3. Chip ATmega 16U2 menggantikan chip ATmega 8U2.

Spesifikasi Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560**

<b>Microcontroller</b>	ATmega2560
<b>Operating Voltage</b>	5V
<b>Input Voltage (Recommended)</b>	7-12V
<b>Input Voltage (Limit)</b>	6-20V
<b>Digital I/O Pins</b>	54 (of which 15 provide PWM output)
<b>Analog Input Pins</b>	16
<b>DC Current Per I/O Pins</b>	20 mA
<b>DC Current For 3.3V Pin</b>	50 mA
<b>Flash Memory</b>	256 KB of which 8 KB used by bootloader

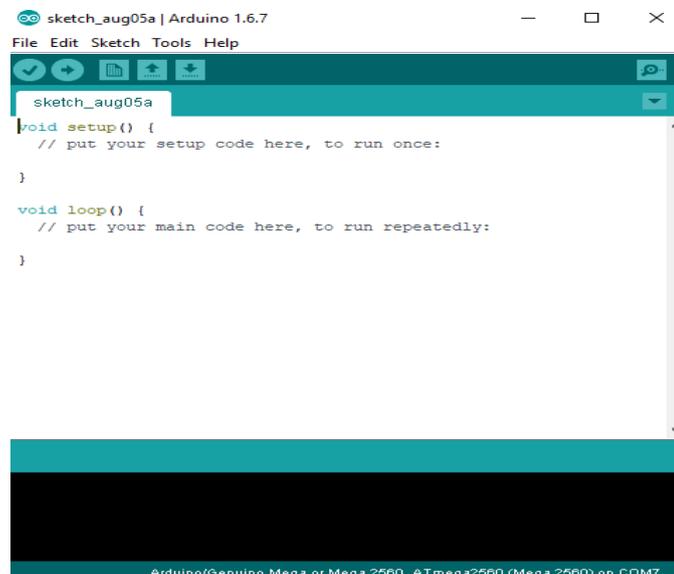


## Sambungan Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560

<b>SRAM</b>	8 KB
<b>FEPRM</b>	4 KB
<b>Clock Speed</b>	16 MHz
<b>LED_Builtin</b>	13
<b>Length</b>	101.52 mm
<b>Width</b>	53.5 mm
<b>Weight</b>	37 g

### 2.6.2 Arduino IDE 1.6.7

Arduino IDE adalah *software* yang tersedia di situs Arduino.cc berfungsi untuk menulis *sketch* yang digunakan sebagai program di papan Arduino. IDE (*Integrated Development Environment*) berarti bentuk alat pengembangan program yang terintegrasi sehingga berbagai keperluan disediakan dan dinyatakan dalam bentuk antarmuka berbasis menu. Kita dapat menulis *sketch*, memeriksa ada kesalahan atau tidak di *sketch*, dan kemudian mengunggah *sketch* yang sudah terkompilasi ke papan Arduino dengan menggunakan Arduino IDE (Kadir, 2015).



```
sketch_aug05a | Arduino 1.6.7
File Edit Sketch Tools Help
sketch_aug05a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM7
```

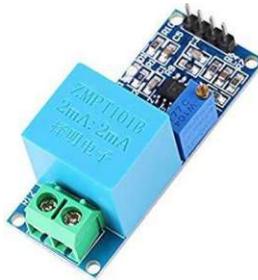
Gambar 2.18 Tampilan Arduino IDE



### 2.6.3 Sensor Tegangan AC (ZMPT101B)

Tegangan listrik (*Voltage*) timbul dikarenakan ada beda potensi listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik. Besaran tegangan dinyatakan dalam satuan international volt.

Pengukuran ini dilakukan dikarenakan adanya beda potensial di suatu medan listrik yang berefek pada aliran listrik yang mengalir pada material yang berbahan dari konduktor.



Gambar 2.19 Sensor Tegangan AC ZMPT101B

### 2.6.4 Sensor Tegangan DC

Prinsip kerja modul sensor tegangan yaitu didasarkan pada prinsip penekanan resistansi, dan dapat membuat tegangan input berkurang hingga 5 kali dari tegangan asli.



Gambar 2.20 Sensor Tegangan DC

Fitur-fitur dan kelebihan:

- Variasi Tegangan masukan: DC 0 - 25 V

• Rentang tegangan dengan jangkauan: DC 0.02445 V - 25 V

• Tegangan resolusi analog: 0,00489 V



- Tegangan DC masukan antarmuka: terminal positif dengan VCC, negatif dengan GND
- Output Interface: "+" Koneksi 5 / 3.3V, "-" terhubung GND, "s" terhubung Arduino pin A0
- DC antarmuka masukan: red terminal positif dengan VCC, negatif dengan GND

### 2.6.5 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 pengukuran arusnya 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.



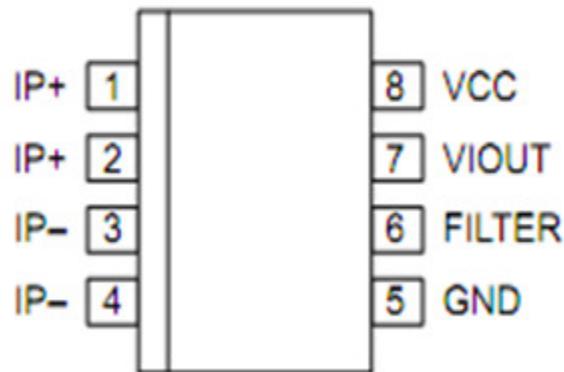
**Gambar 2.21 Sensor Arus ACS712**

Sensor ini memiliki pembacaan dengan ketepatan yang tinggi, karena di

terdapat rangkaian *low-offset linear hall* dengan satu lintasan yang dari tembaga. Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir



melalui kabel tembaga yang terdapat di dalamnya yang menghasilkan medan magnet yang ditangkap oleh *integrated hall IC* 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 *hall transducer* secara berdekatan. Persisnya, tegangan proporsional yang rendah akan menstabilkan *Bi CMOS Hall IC* yang di dalamnya yang telah dibuat untuk ketelitian yang tinggi oleh pabrik. Berikut *terminal list* dan gambar pin out ACS712.



**Gambar 2.22 Pin Out ACS712**

**Tabel 2.3 Terminal List Sensor Arus ACS712**

<i>Number</i>	<i>Name</i>	<i>Description</i>
<i>1 and 2</i>	<i>IP+</i>	<i>Terminal for current being sampled; fused internally</i>
<i>3 and 4</i>	<i>IP-</i>	<i>Terminal for current being sampled; fused internally</i>
<i>5</i>	<i>GND</i>	<i>Signal ground terminal</i>
<i>6</i>	<i>FILTER</i>	<i>Terminal for external capacitor that sets bandwidth</i>
<i>7</i>	<i>VOUT</i>	<i>Analog output signal</i>
	<i>VCC</i>	<i>Device power supply terminal</i>



Fitur-fitur yang dimiliki ACS712 sebagai berikut:

1. Rise time output = 5  $\mu$ s
2. Bandwidth sampai dengan 80 kHz
3. Total kesalahan output 1,5% pada suhu kerja  $T_A = 25^\circ\text{C}$
4. Tahanan konduktor internal 1,2 m $\Omega$
5. Tegangan isolasi minimum 2,1 kVRMS antara pin 1-4 dan pin 5-8.
6. Sensitivitas output 185 mV/A.
7. Mampu mengukur arus AC atau DC hingga 5 A.
8. Tegangan output proporsional terhadap input arus AC atau DC.
9. Tegangan kerja 5 VDC.

#### 2.6.6 Modul RTC

RTC (Real Time Clock) merupakan chip IC yang mempunyai fungsi menghitung waktu yang dimulai dari detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan hingga tahun dengan akurat. Untuk menjaga atau menyimpan data waktu yang telah di ON kan pada modul terdapat sumber catu daya sendiri yaitu baterai jam kancing serta keakuratan data waktu yang ditampilkan digunakan osilator kristal eksternal. Sehingga saat perangkat mikrokontroler terhubung dengan RTC ini sebagai sumber data waktu dimatikan, data waktu yang sudah terbaca dan ditampilkan tidak akan hilang sebitu saja dengan catatan daya pada baterai tidak habis.



**Gambar 2.23 Modul RTC**

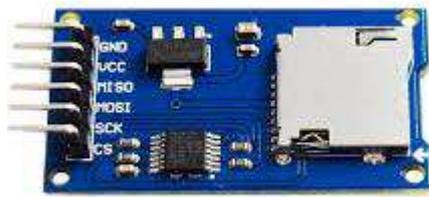


### 2.6.7 Modul MicroSD Adaptor

Modul (microSD Card Adaptor) adalah modul pembaca kartu micro SD, melalui sistem file dan SPI antarmuka driver, MCU untuk melengkapi sistem file untuk membaca dan menulis kartu MicroSD.

Fitur modul adalah sebagai berikut:

- 1) Mendukung kartu Micro SD, kartu Micro SDHC (kartu kecepatan tinggi)
- 2) Tingkat konversi papan sirkuit yang antarmuka level untuk 5V atau 3.3V
- 3) Power *supply* adalah 4.5V ~ 5.5V, regulator tegangan 3.3V papan sirkuit



**Gambar 2.24 Modul MicroSD Adaptor**

### 2.6.8 Relay

Relay merupakan komponen elektronika berupa saklar atau switch elektrik yang dioperasikan secara listrik dan terdiri dari 2 bagian utama yaitu elektromagnet (coil) dan mekanikal (seperangkat kontak Saklar/Switch). Komponen elektronika ini menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (low power) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi.



**Gambar 2.25 Relay**

