

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Review Penelitian Terdahulu

Suatu keberhasilan ataupun efektifitas dalam perancangan alat monitoring energi listrik, tentunya terdapat beberapa peneliti terdahulu yang menciptakan alat sistem monitoring arus tegangan dan daya listrik. Dikarenakan kondisi kebutuhan yang digunakan berbeda-beda, perancangan alatpun memiliki fitur-fitur yang berbeda juga. Sehingga mempunyai ciri khas tersendiri pada alat-alat yang diciptakan oleh peneliti terdahulu. Dalam hal ini peneliti mencoba untuk menelaah hasil-hasil perancangan alat dari peneliti terdahulu guna sebagai acuan perbandingan perancangan alat yang peneliti buat dengan peneliti terdahulu. Selain itu juga sebagai pelengkap sekaligus sumber rujukan bagi peneliti.

Pertama, (Yulizar, Ira Devi Sara, dan Mahdi Sukri, 2016) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Banda Aceh. Penelitian ini membahas tentang sistem *prototype* yang berfungsi untuk mengukur daya listrik dalam satu hunian di kamar kos berbasis arduino R3 dan *GSM Shield SIM900*. Dalam proses perancangan alat ini menggunakan beberapa sensor diantaranya adalah sensor tegangan dan sensor arus, sensor tegangan yang digunakan oleh peneliti adalah *trafo stepdown*, diode jembatan (bridge) dan kapasitor yang dirancang terlebih dahulu menjadi adapter dari 220VAC menjadi 5VDC yang kemudian diinputkan pada analog input Arduino. Sedangkan untuk sensor arus menggunakan ACS712-30A. Output dari kedua sensor tersebut kemudian ditampilkan pada LCD dalam bentuk biaya dan daya yang digunakan. Selain itu juga menggunakan GSM SIM 900 sebagai alat komunikasi antara pemilik kos untuk mengetahui biaya dan daya yang dipakai dalam bentuk SMS. Keakuratan pada sistem kerja alat ini pengukurannya diperoleh dari hasil perbandingan antara pembacaan sensor

dengan pembacaan pada alat ukur yang terpercaya tingkat keakuratannya dengan tingkat akurasi 2%.

Kedua, (Afrizal Fitriandi, Endah Komalasari, Herri Gusmedi, 2016) Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. Penelitian ini membahas tentang perancangan alat yang berfungsi untuk monitoring arus dan tegangan berbasis mikrokontroller dan *SMS gateway*. Alat yang peneliti buat ini berfungsi untuk monitoring arus dan tegangan secara real time pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Mikro Hydro (PLTMH) yang beroperasi menggunakan sistem *hybrid*. Pemberitahuan output tegangan dan arus pada pembangkit ini dimonitor dan di kirimkan via *SMS gateway* dengan durasi setiap 5 menit. Pada sistem perancangan alat ini peneliti menggunakan Arduino Uno R3, sensor arus ACS712-20A dan menggunakan sensor tegangan sama halnya dengan peneliti pertama yaitu menggunakan trafo *stepdown*, *diode bridge* dan kapasitor. Perbedaannya peneliti yang kedua ini menggunakan beberapa resistor untuk memfilter tegangan dari 220VAC menjadi 5VDC. Selain itu peneliti juga menggunakan LCD sebagai display output arus dan tegangan, serta GSM Shield SIM900 untuk memberikan informasi tentang data arus dan tegangan melalui SMS gateway.

Ketiga, (Muhammad Safii dan Rizky Citra Asid, 2018) Jurusan Teknik Informatika STMIK Balikpapan. Penelitian ini berjudul “PERANCANGAN SISTEM MONITORING TEGANGAN OUTPUT GENSET MENGGUNAKAN ETHERNET SHIELD & SMS GATEWAY BERBASIS ARDUINO UNO”. Alat yang peneliti buat ini berfungsi untuk sistem monitoring tegangan *output on/off* pada *generator set (Genset)* dan dalam proses monitoringnya dapat dilakukan dari mana saja. Hal ini dikarenakan alat ini dilengkapi dengan fitur *SMS Gateway* sebagai hasil dari output tegangan *on/off* pada *genset*. Sehingga pengguna tidak repot dalam melaksanakan *checklist* pada *output* genset. Selain itu juga dapat dimonitoring menggunakan *website*. Pada perancangan alat ini peneliti menggunakan sensor tegangan ZMPT101B, *Ethernet shield* sebagai sarana untuk

memonitoring output genset menggunakan *website*, GSM Shield IComSat V1.1 SIM 900A GSM/GPRS sebagai sarana untuk mengirimkan pesan hasil monitoring melalui *SMS Gateway* dan Arduino Uno R3 sebagai pemroses hasil inputan dari sensor dan modul-modul lainnya.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

	Peneliti 1	Peneliti 2	Peneliti 3
Nama/ Jurusan/ Lembaga/ Tahun	Yulizar, Ira Devi Sara, Mahdi Syukri/ Teknik Elektro/ Universitas Syiah Kuala Banda Aceh/ 2016	Afrizal Fitriandi, Endah Komalasari, Herri Gusmedi/ Teknik Elektro/ Universitas Lampung/ 2016	Muhammad Safii(1), Rizky Citra Asid(2)/ Manajemen Informatika(1), Teknik Informatika(2)/ STMIK Balikpapan/ 2018
Judul	Prototipe Pengukuran Pemakaian Energi Listrik Pada Kamar Kos Dalam Satu Hunian Berbasis Arduino Uno R3 dan GSM Shield SIM900	Rancang Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler Dengan SMS Gateway	Perancangan Sistem Monitoring Tegangan Output Genset Menggunakan Ethernet Shield & SMS Gateway Berbasis Arduino Uno
Sampel	Daya pada	Arus dan	Tegangan

	kamar kos dalam satu Hunian	tegangan pada PLTMH dan PLTS	output pada Genset
Teori	1. Teori Pengukuran Daya dan Energi 2. Teori pengukuran dengan alat ukur.	1. Teori Hukum Kirchoff Arus dan Tegangan	1. Teori Sistem Kerja Genset
Metode	Perancangan Alat	Perancangan Alat	Perancangan Alat
Hasil	Alat dapat melakukan monitoring energy listrik pada kamar kos dalam satu hunian dengan menggunakan SMS Gateway. Serta pengukuran alatnya lebih Akurat	Alat dapat melakukan monitoring arus dan tegangan pada PLTMH dan PLTS menggunakan SMS Gateway dan pengguna mendapatkan SMS yang didurasi setiap 5 menit.	Alat dapat melakukan monitoring tegangan output pada Genset melalui web dan SMS Gateway. Sehingga memudahkan operator dalam melaksanakan checklist tegangan pada genset.

Dari hasil review perancangan alat oleh peneliti terdahulu diatas, penelitian ini memiliki beberapa persamaan dan perbedaan. Meskipun pada penelitian ini memiliki tema yang sama dengan peneliti terdahulu, namun memiliki perbedaan diantara ketiga peneliti terdahulu tersebut. Jika pada peneliti terdahulu hanya melakukan monitoring pada bagian-bagian tertentu, misalkan peneliti pertama hanya menampilkan *output* berupa hasil monitoring pengukuran daya. Peneliti kedua menampilkan *output* berupa hasil monitoring arus dan tegangan pada pembangkit, dan peneliti ketiga hanya menampilkan hasil monitoring berupa *output* tegangan pada genset. Tetapi pada penelitian ini, perancangan alat di desain dapat menampilkan hasil monitoring arus, tegangan, serta daya yang dipakai kemudian hasil monitoring pemakaian daya akan di kalkulasi berdasarkan perhitungan *cost/* biaya pemakaian baik itu menggunakan KWH digital maupun KWH analog. Untuk pemakaian komponen terdapat beberapa komponen yang berbeda dengan peneliti terdahulu, dalam perancangan alat ini menggunakan sensor arus ACS712-30A, menggunakan sensor tegangan yang lebih presisi dalam pengukuran tegangan yaitu sensor ZMPT101B, sedangkan untuk sistem komunikasi *SMS gateway* menggunakan GSM Shield SIM800L.

2.2 Dasar Teori

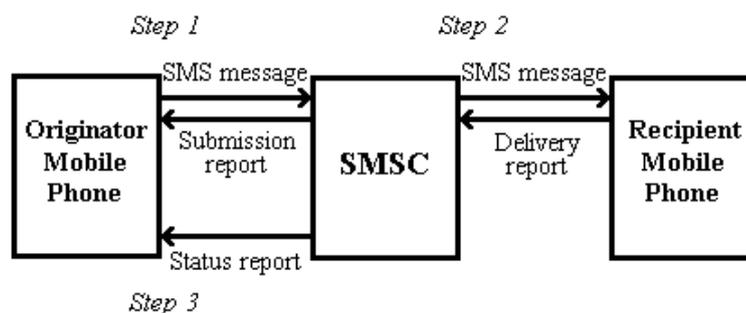
2.2.1 Short Message Service (SMS)

SMS adalah sebuah sistem untuk komunikasi yang dipunyai oleh *GSM (Global System for Mobile Communication)*. Pengiriman SMS ini hanya membutuhkan waktu yang cukup singkat jika dalam pemrosesannya masih dalam jangkauan pelayanan GSM. Prinsip kerja dari SMS adalah dengan cara menyimpan dan mengirimkan pesan (*Store and Forward*). Proses pengiriman pesan ini tidak dapat dilakukan secara langsung dikirimkan kepada penerima, harus melalui *SMS-Center* yang menyimpan terlebih dahulu SMS yang dikirimkan tersebut.

SMS center merupakan suatu program yang berfungsi sebagai pengatur distribusi data dan informasi yang didalamnya mengandung suatu aturan dalam penulisan dan format tertentu supaya dapat memberikan *output* yang lebih informatif dan beragam sesuai dengan kebutuhan masing-masing pengguna. *SMS Gateway* adalah suatu sistem pengiriman pesan secara terpusat. Dalam hal ini satu pengguna dapat mengirimkan pada 1 orang maupun lebih dalam waktu bersamaan. *SMS gateway* biasanya digunakan pada lembaga pendidikan, instansi perusahaan, perkantoran dan militer sebagai sarana pemberitahuan informasi yang berkaitan dengan keorganisasian maupun pemberitahuan tentang administrasi pembayaran dan lain sebagainya.

1. *Intra-Operator SMS*

Berikut adalah gambar mekanisme dari pengiriman SMS yang terdapat pada gambar 2.1:



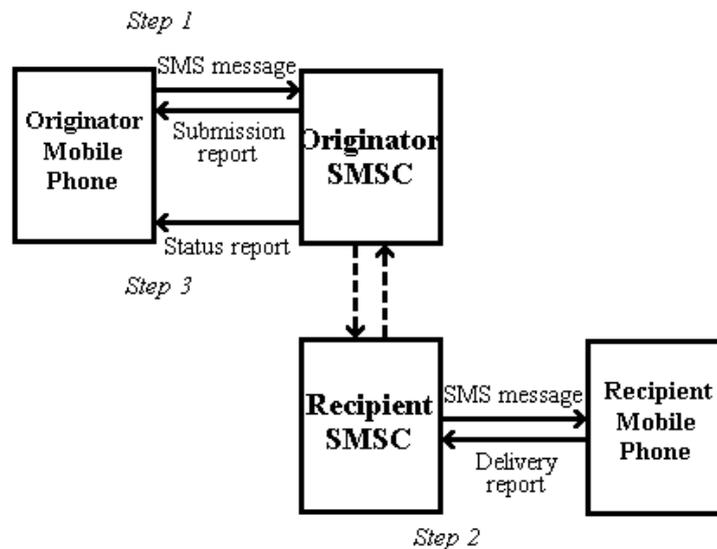
Gambar 2.1 Blok Diagram SMS menggunakan satu operator

Pada tersebut atau gambar 2.1 dapat diambil kesimpulan bahwa SMS pertama kali dikirimkan oleh *Originator Mobile Phone* atau pengirim pesan di proses terlebih dahulu oleh *SMS-C*. Setelah itu *SMSC* mengirimkan pesan tersebut kepada penerima/ nomer yang dituju oleh pengirim secara langsung. Setelah itu nomer penerima melakukan pengiriman pesan bahwa SMS diterima *SMSC*. Setelah itu *SMSC* akan memberikan laporan/ report tersebut kepada

pengirim SMS disertai laporan bahwa SMS telah terkirim, belum terkirim ataupun gagal terkirim.

2. *Inter-Operator SMS*

Pada sistem mekanisme berikut ini adalah mengirimkan SMS melalui 2 SMSC. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.2:



Gambar 2.2 Block Diagram SMS Berbeda Operator

Pada gambar tersebut dijelaskan bahwa SMSC juga dapat memproses pesan yang dikirim dari pengirim yang ditujukan dari SMSC Operator pengirim ke SMSC operator penerima pesan. Setelah itu baru diteruskan ke nomer yang akan dituju oleh pengirim. Laporan pengiriman (*Delivery Report*) ketika berhasil akan melewati jalur tersebut agar pesan dapat disampaikan ke nomer pengirim pesan (SMS). Dalam gambar tersebut terdapat sistem komunikasi yang tidak secara langsung antara 2 operator yang berbeda. Komunikasi tersebut dapat berjalan dengan lancar setelah ada kesepakatan dan kerja sama antar operator. Jika tidak ada kesepakatan dan kerjasama antara kedua operator tersebut maka proses pengirim ataupun penerima SMS tidak dapat berlangsung.

3. AT Command

AT Command adalah suatu sistem komunikasi yang digunakan oleh PC/ komputer untuk berkomunikasi dengan terminal (*Modem/ Phone Modem*). AT Command pada SMS dalam penggunaannya disertai dengan data *Input dan Output (I/O)* yang diproses oleh Protocol Data Unit (PDU). Berikut ini adalah tabel beberapa jenis perintah AT Command yang sangat penting dalam proses berlangsungnya SMS.

Tabel 2.2 Beberapa Perintah AT Command untuk SMS

Command	Fungsi
AT + CMGS	Mengirim Pesan
AT + CMGR	Menerima Pesan
AT + CMGD	Menghapus Pesan
AT + CSCA	Alamat dari pusat SMS Service
AT + CNML	Memeriksa Pesan

2.2.2 KWH Meter

KWH (*Kilo Watt Hours*) meter merupakan suatu alat yang digunakan oleh PLN untuk mengukur besarnya pemakaian daya listrik. KWH meter ini banyak dijumpai di rumah-rumah maupun instansi perusahaan. Pada awalnya PLN menggunakan KWH meter analog (Pascabayar) sebagai pengukuran pemakaian daya, namun seiring berkembangnya teknologi, pihak PLN mengimplementasikan masyarakat untuk menggunakan KWH meter digital (Prabayar). Berikut ini adalah penjelasan dari KWH meter analog dan digital :

1. KWH Meter Analog (Pascabayar)

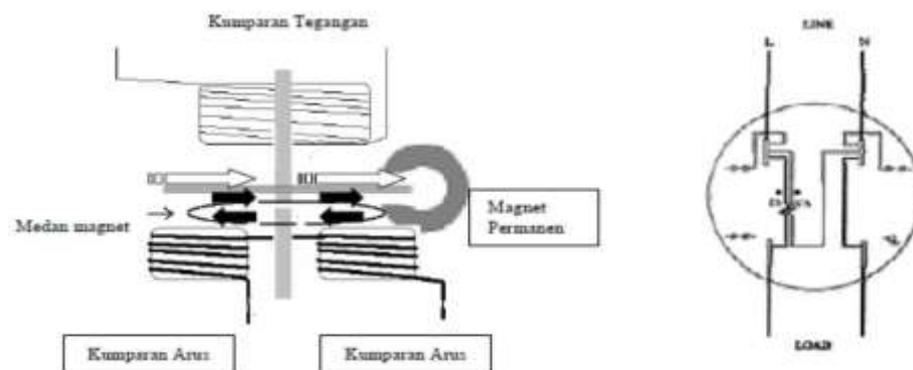
KWH meter analog adalah KWH meter yang memiliki bagian utama berupa kumparan arus (I) dan kumparan tegangan (V), piringan berbahan dasar alumunium, magnet tetap yang berfungsi untuk menetralsir piringan alumunium dari induksi

medan magnet listrik, dan gear mekanik yang berfungsi sebagai *counter*/hitungan jumlah perputaran dari piringan aluminium.

KWH meter ini bekerja menggunakan metode induksi medan magnet yang didapatkan, dan setelah itu medan magnet tersebut menggerakkan piringan yang berbahan dasar material aluminium. Setiap putaran dari piringan aluminium, selanjutnya piringan tersebut akan menggerakkan gear mekanik untuk menghasilkan *counter* pada tampilan digit pemakaian daya yang sudah digunakan.



Gambar 2.3 KWH Meter Analog



a. Medan Magnet KWH Meter

b. Model Fisik KWH Meter

Gambar 2.4 Skema Rangkaian KWH Meter

Pada gambar 2.4 a menunjukkan bagaimana sistem kerja dari perputaran piringan yang bekerja berdasarkan medan magnet. Arus

listrik yang mengalir melewati lilitan berbanding lurus dengan perubahan arus (I) terhadap waktu (t). Sehingga dapat menimbulkan adanya medan magnet pada permukaan kawat tembaga pada bagian coil kumparan arus. Sedangkan untuk kumparan tegangan memberikan arahan terhadap medan magnet agar menerpa bagian permukaan aluminium, hal tersebut dapat menimbulkan sebuah gesekan antara piringan aluminium dan medan magnet yang terdapat disekitar piringan aluminium. Dengan adanya hal tersebut, sistem perputaran baik itu saat mulai awal berputar serta kecepatan putar dari piringan aluminium dipengaruhi oleh besar kecilnya arus listrik yang melewati kumparan arus.

Sistem koneksi pada KWH meter di jelaskan pada gambar 2.4b. Pada gambar tertera 4 buah terminal yang terdiri dari 2 buah terminal input dari jaringan PLN dan 2 terminal yang berikutnya adalah terminal output yang digunakan untuk memberikan *supply* tenaga listrik.

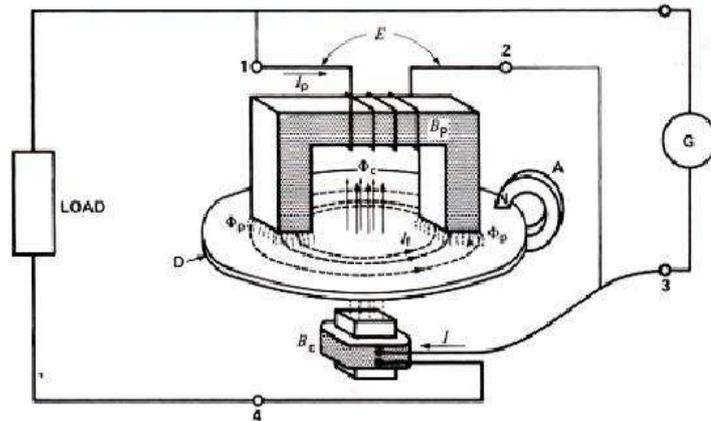


Gambar 2.5 Skema Hubungan Kumparan pada KWH meter

Pada gambar 2.5 terdapat 2 terminal input yang dipasang secara parallel yang dihubungkan ke kumparan tegangan dan pada kumparan arus di pasang secara seri diantara terminal input dan output KWH.

Prinsip kerja dari KWH meter apabila dilihat dari segi fisika terdapat pada gambar 2.6. Pada gambar tersebut dijelaskan bahwa fluks bolak balik (Φ_c) yang dihasilkan oleh arus beban I , mengalir dan memberikan induksi elektromagnetik pada piringan aluminium. Sehingga dari keadaan tersebut dapat terbentuk

tegangan dan *eddy current*. Sedangkan untuk fluks bolak balik (Φ_p) dihasilkan oleh kumparan tegangan B_p yang dilewati arus I_f . Dengan adanya hal tersebut piringan aluminium mendapatkan gaya dan resultan dari torsi sehingga piringan dapat berputar.



Gambar 2.6 Prinsip Dasar KWH meter.

Pada gambar tersebut terdapat torsi yang sebanding dengan fluks bolak balik (Φ_p) dan arus I_f serta terdapat harga cosinus sebagai pembanding sudut diantara fluks bolak balik dan arus. Daya aktif yang dihasilkan untuk diberikan pada beban adalah dari fluks bolak balik (Φ_p) dan I_f yang sebanding lurus dengan tegangan E dan arus beban I , maka dengan adanya perbandingan tersebut terbentuklah torsi putaran piringan yang sebanding dengan $EI \cos \theta$. Karena itu putaran dari piringan tergantung pemakaian dari daya aktif yang digunakan. Semakin besar daya yang digunakan maka semakin besar pula kecepatan putar pada piringan aluminium yang dihasilkan, begitupun sebaliknya. Secara umum rumus perhitungan daya listrik dibedakan menjadi 3 macam yaitu :

a. Daya Semu/ S : $V \times I$ (VA) (2.1)

b. Daya Reaktif/ Q : $V \times I \sin \theta$ (VAR) (2.2)

c. Daya Aktif/ P : $V \times I \cos \theta$ (Watt) (2.3)

2. KWH Meter Prabayar

KWH meter prabayar adalah KWH meter terbaru yang dirakit dengan menggunakan KWH elektrik yang baru menggunakan sistem digital (Pulsa). Pada sistem pembayaran dari pemakaian daya listrik dengan menggunakan aplikasi *chip card*. Aplikasi ini memudahkan pelanggan pada saat pengisian rekening listrik yang efektif khususnya untuk masyarakat dan pihak PLN. Chip card merupakan kartu yang digunakan untuk melakukan transaksi pembayaran yang populer seiring dengan kemajuan teknologi microelektronika serta transaksinya sangat praktis digunakan oleh pengguna.

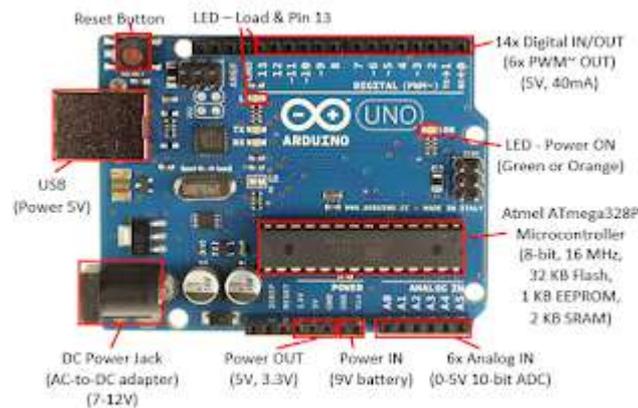
Beberapa keuntungan dari penggunaan KWH meter prabayar bagi pelanggan adalah sebagai berikut:

- a. Dapat digunakan untuk mengendalikan serta membatasi konsumsi pemakaian energy listrik yang akan digunakan dikarenakan pembayaran dilakukan di awal transaksi.
- b. Penggunaan KWH meter dilengkapi dengan sistem pengukuran yang akurat dan sistem keamanan yang bagus.
- c. Mengurangi adanya human eror yang menyebabkan kesalahan saat penagihan.

2.2.3 Arduino Uno R3

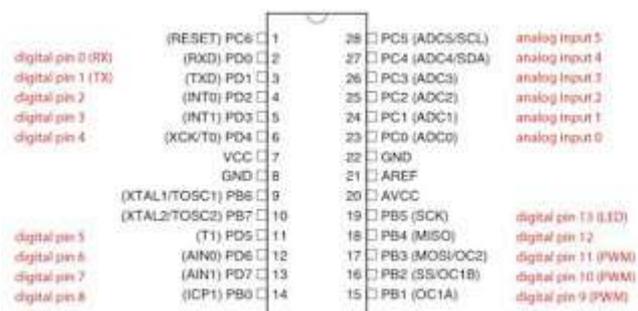
Arduino adalah sebuah perangkat elektronik yang memiliki karakteristik *open source* dan mempunyai *hardware dan software* yang mudah untuk dioperasikan. Dalam pengoperasiannya arduino memiliki berbagai macam sensor yang digunakan untuk mengenali bagaimana kondisi lingkungannya. Misalkan untuk lingkungan yang lembab arduino mempunyai sensor suhu. Fungsi dari perangkat sensor-sensor tersebut adalah untuk mengendalikan *output* dari arduino seperti output

motor, lampu, dan berbagai jenis actuator lainnya. Arduino terdapat beberapa jenis seperti arduino mega, arduino uno, arduino fio dan lain sebagainya. Dalam pembahasan kali ini saya akan membahas yaitu Arduino Uno R3.



Gambar 2.7 Board Arduino Uno R3

Gambar 2.7 merupakan board arduino yang dilengkapi dengan penjelasan bagian perbagian dari board tersebut. Dalam memberikan kode di bard tersebut, arduino memberikan kode yang mudah dipahami oleh orang-orang awam. Apabila sebelumnya pengguna tidak menggunakan arduino sebagai mikrokontroller, kode pada arduino ini disamakan dengan lembar data dari pabriknya. Arduino memberikan kode untuk dua jenis saluran yaitu analog dan digital. Setiap I/O baik itu digital atau analog diberikan kode dengan urutan angka. Misalkan D4 adalah saluran digital pada kanal 4, dan A3 adalah saluran analog pada kanal 3.



Gambar 2.8 Pin Out Arduino Atmega 328

Berikut adalah penjelasan dari bagian-bagian penunjang Arduino Uno R3 :

1. Sumber Daya/ *Power*

Sumber daya yang dipakai untuk mengoperasikan arduino terdapat dua koneksi yaitu dapat melalui koneksi USB maupun dengan menggunakan catu daya eksternal. Dalam sistem pengoperasiannya secara otomatis arduino memilih sumber daya. Untuk pemakaian catu daya eksternal (*non-USB*) harus menggunakan adapter penurun tegangan AC menjadi DC, atau dapat juga menggunakan baterai/aki. Sistem koneksi saat penggunaan adapter adalah dengan menggunakan jack 2.1 mm dan dikoneksikan pada board arduino khususnya bagian catu daya. Untuk penggunaan baterai dapat dikoneksikan pada *pin header* Gnd dan Vin dari konektor sumber daya.

Dalam pengoperasiannya arduino memiliki karakteristik tegangan pasokan eksternal mulai dari 6-20V. Jika menggunakan tegangan kurang dari 6V nantinya tidak akan stabil, tetapi bila menggunakan lebih dari 12 V berakibat panas pada regulator tegangan dan dapat merusak *board arduino*. Jadi rentang tegangan yang dianjurkan adalah 6 sampai dengan 12 Volt.

Pin power supply yang tersedia adalah sebagai berikut:

a. VIN

Input tegangan yang digunakan untuk catu daya eksternal apabila dalam penggunaan secara langsung dihubungkan ke listrik PLN dan tegangan dari PLN kemudian diturunkan menggunakan adapter.

b. 5V

Pin ini adalah pin yang outputnya diatur oleh regulator sebesar 5V. Input tegangan ini dapat menggunakan adapter 6-12V maupun menggunakan USB(5V)

c. Tegangan pada pin 3V3

Merupakan tegangan yang dihasilkan oleh *regulator* yang ada pada *board arduino* sebesar 3.3 Volt. Arus yang disediakan sebesar 50mA

d. GND

Merupakan *pin ground* atau *kutub negative* dari *board arduino*.

e. IOREF

Pin tersebut digunakan untuk memberikan batas tegangan saat *board arduino* dipakai. Pada penggunaan sebuah *shield* dapat dikonfigurasi dengan tegangan pada IOREF sehingga dapat mengatur pada tegangan yang tepat agar dapat bekerja dengan 5V ataupun 3.3V.

2. Memori

Atmega328 memiliki kapasitas penyimpanan 32KB dengan 0.5 KB yang digunakan sebagai *bootloader*. Selain itu Atmega328 juga memiliki penyimpanan sebesar 2KB dari SRAM dan 1 KB dari EEPROM (untuk penggunaan *library*).

3. Input dan Output

Pada *board arduino uno r3* terdapat 14 pin digital yang digunakan sebagai input dan output, menggunakan bahasa pemrograman *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead*. I/O tersebut beroperasi pada power supply 5V. Arus maksimum saat pengoperasian adalah sebesar 40mA dan memiliki Resistor *pull-up internal* pemutus secara *default*. Resistor ini berkisar antara 20-50 KΩ. Selain itu beberapa pin memiliki fungsi special yaitu:

a. Serial

Pin 0 dan 1 digunakan sebagai komunikasi serial dimana pin 0 adalah RX yang berfungsi untuk menerima data sedangkan pin 1 adalah TX yang berfungsi mengirimkan data. Kedua pin ini dikoneksikan dengan pin atmega328U2 USB to Serial TTL.

b. Eksternal Interupsi

Pin 2 dan 3 merupakan pin yang mendeteksi adanya interrupt pada saat kondisi nilai bawah (*low value*), rising (*falling edge*), serta perubahan nilai. Menggunakan fungsi `attachInterrupt()` untuk perinciannya.

c. PWM

Pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11 tersedia 8-bit PWM yang digunakan sebagai input maupun *output analog/ analogWrite()*.

d. SPI

Pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) mensupport komunikasi SPI dengan menggunakan software library SPI.

e. LED

Pin 13 Built-in LED dihubungkan dengan pin digital 13 dan LED akan aktif pada saat kondisi nilai HIGH.

Arduino memiliki 6 input analog yang di berikan inisial A0 sampai dengan A5 dimana inputan tersebut memiliki resolusi sebesar 10 bit (1024 nilai yang berbeda). Secara default mengukur tegangan output dari sensor berupa output analog dari 0V sampai dengan 5V. Perubahan tegangan maksimum digunakan pin AREF dan fungsi `analogReference()`. Beberapa pin memiliki fungsi khusus, yaitu TWI : pin A5 (SCL) dan A4 (SDA) mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan *software library Wire*.

4. Komunikasi

Pada arduino uno R3 mempunyai beberapa *feature* dalam sistem koneksi menggunakan komputer, arduino lain maupun microcontroller lainnya. Atmega328 memiliki fasilitas komunikasi serial UART TTL(5V) yang tersedia pada pin 0 (RX) dan 1 (TX). Ketika sedang proses komunikasi ataupun download program pada board arduino terdapat LED TX dan RX yang akan berkedip kedip melalui koneksi usb to serial dan koneksi usb komputer.

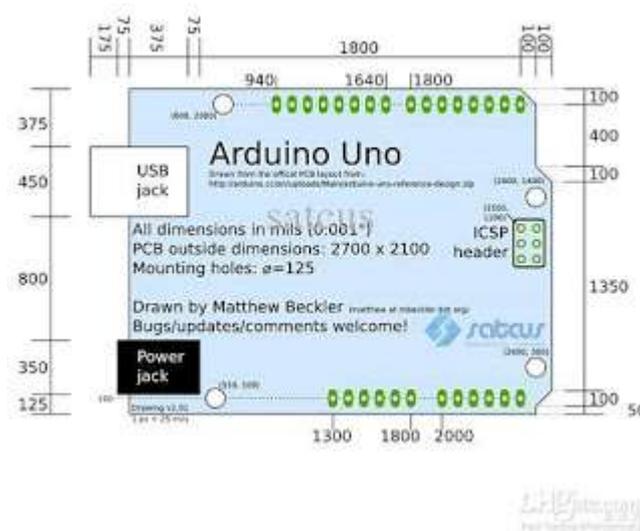
5. Pemrograman

Pemrograman dapat dilakukan menggunakan *software arduino*. Software dapat di download dari internet. Dalam penelitian ini saya menggunakan Arduino 1.6.5.

6. Perlindungan Arus

Arduino memiliki pelindung arus berupa *polyfuse reset* yang melindungi port USB dari hubung singkat. Pada komputer biasanya sudah ada pengaman tersendiri, namun disini arduino menambahkan perlindungan arus tambahan jika arus lebih dari 500mA maka sekering otomatis bekerja.

7. Karakteristik Fisik



Gambar 2.9 Karakteristik Fisik Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 memiliki skematik panjang dan lebarnya adalah 2,7 dan 2,1 inci, dengan konektor USB jack dan colokan catu daya yang melebihi ukuran tersebut. Empat buah lubang sekrup memungkinkan board harus dipasang pada panel kontrol. Perhatikan bahwa jarak antara pin digital adalah 4 mm, tidak seperti pin lainnya.

Feature:

a. *Brand New and High Quality*

- b. *Microcontroller*: ATmega328
- c. Tegangan Operasi: 5V
- d. Tegangan Input Disarankan: 7-12V
- e. Batas Tegangan Input: 6-20V
- f. I/O Pin Digital: 14 (dan 6 Pin digunakan untuk output PWM)
- g. Pin Input Analog: 6
- h. Arus DC pada setiap pin I/O: 40 mA
- i. Arus DC pada tegangan 3.3V: 150 mA
- j. *Flash Memory*: 32 KB (ATmega328) dan 0,5 digunakan untuk pemrosesan *bootloader*.
- k. SRAM: 2 KB (ATmega328)
- l. EEPROM: 1 KB (ATmega328)
- m. Clock Speed: 16 MH

2.2.4 Cara Pemrograman Arduino

1. Koneksi board Arduino dan kabel USB

Untuk pemrograman arduino membutuhkan komponen utama yaitu sebuah kabel USB dengan standar (A – B), kabel ini sama seperti yang digunakan pada Printer sebagai sistem koneksi antara arduino dengan PC.



Gambar 2.10 Board Arduino dan Kabel USB

2. Download Software Arduino

Langkah selanjutnya adalah *download* aplikasi untuk pemrograman arduino dari internet, dalam penelitian ini menggunakan aplikasi Arduino 1.6.5, biasanya aplikasi terdownload dalam bentuk file zip. Setelah proses *download* selesai, selanjutnya *extract file* yang telah kita download. Pastikan struktur dari folder tidak dirubah. Klik dua kali folder yang terdownload tersebut untuk melakukan instalasi. Terdapat beberapa file dan sub-folder di dalamnya.

3. Hubungkan Board

Hubungkan Arduino dengan sumber catu daya dari *port USB* atau *power supply* eksternal. Koneksikan board Arduino dengan PC menggunakan kabel USB. Setelah terkoneksi LED berwarna hijau (berlabel **PWR**) akan aktif.

4. Instalasi Drivers

Instalasi driver Arduino Uno menggunakan SO Windows 7, Vista atau XP:

- a. Koneksikan board Arduino Uno R3 dan tunggu Windows untuk memulai proses instalasi driver. Setelah beberapa saat, proses tersebut tidak akan berhasil, walaupun langkah sudah benar.
- b. Klik pada *Start Menu* dan buka *Control Panel*
- c. Pada *Control Panel*, klik 2x menu *System and Security*. Kemudian klik pada *System*. Setelah muncul tampilan *System*, pilih *Device Manager*.
- d. Perhatikan bagian *Ports (COM & LPT)*. Pada port terpakai dapat terlihat dengan nama port “Arduino Uno (COM**)”
- e. Klik kanan pada port “Arduino Uno (COM**)” dan selanjutnya pilih “*Update Driver Software*”.

- f. Setelah itu, pilih opsi “*Browse my computer for Driver software*”.
- g. Langkah terakhir, masuk dan pilih file driver Uno, dengan nama “**ArduinoUNO.inf**”, terletak di dalam folder “*Drivers*” pada *Software* Arduino yang telah terdownload.
- h. *Windows* akan otomatis melanjutkan instalasi driver.

5. Jalankan Aplikasi Arduino

Klik 2x pada aplikasi Arduino (arduino.exe). Untuk lebih mudah dalam penggunaan sebaiknya di *copy* kemudian di *paste* di layar awal atau Display

6. Buka contoh Blink

Buka contoh program LED Blink: **File** > **Examples** > **1.Basics** > **Blink**.

```

Blink | Arduino 0022
File Edit Sketch Tools Help
Blink
/*
Blink
Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.

This example code is in the public domain.
*/

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  // Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards:
  pinMode(13, OUTPUT);
}

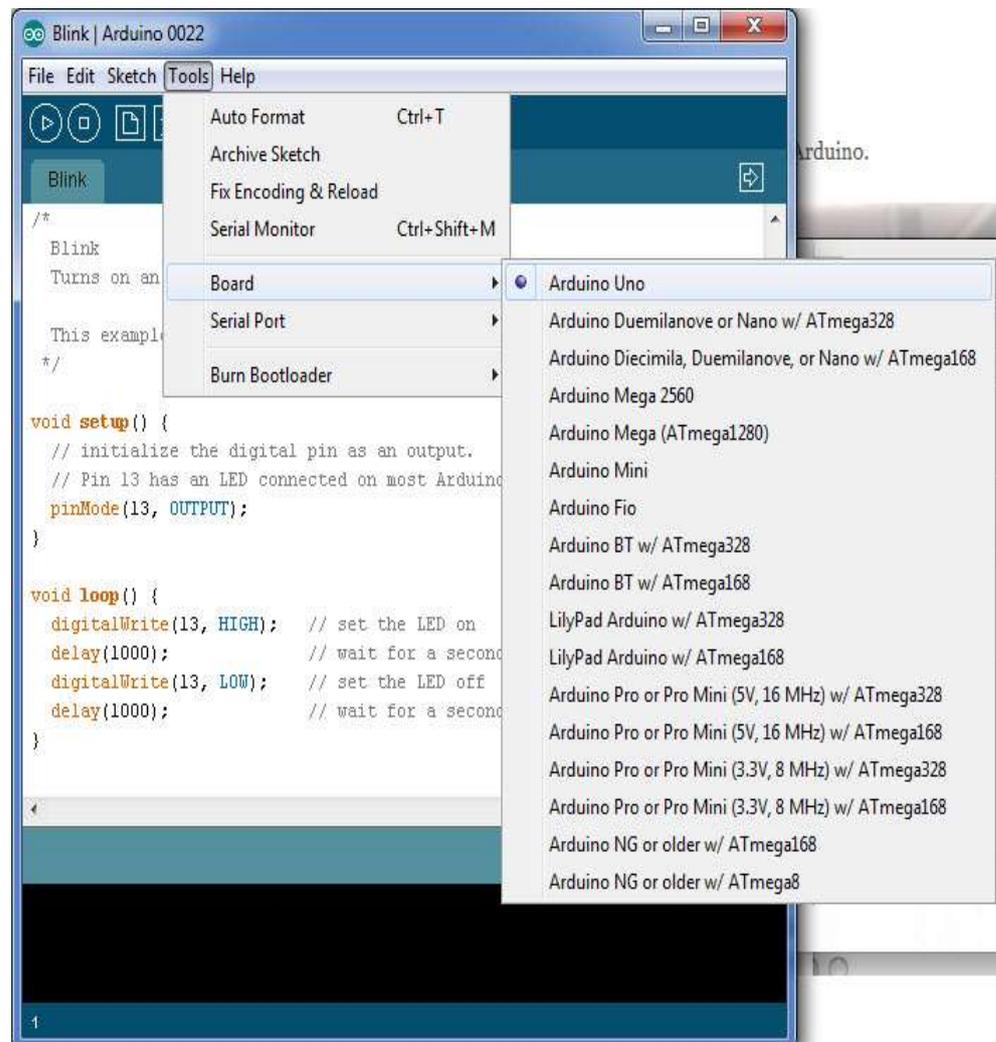
void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // set the LED on
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
  delay(1000); // wait for a second
}

```

Gambar 2.11 Contoh Program Led Blynk

7. Pilih board anda

Pilih board yang akan diprogram caranya adalah pilih menu Tool kemudian klik pada tanda panah bagian board. Selanjutnya pilih board yang digunakan. Dalam penelitian ini dikarenakan menggunakan arduino Uno R3 *board* yang dipilih adalah Arduino Uno.



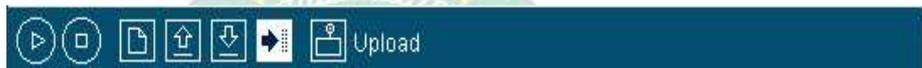
Gambar 2.12 Langkah Pemilihan Board

8. Pilih serial port anda

Selanjutnya adalah memilih *port* yang digunakan. Ketika arduino dikoneksikan biasanya *port* akan terdeteksi otomatis. Cara pengecekannya adalah pilih *menu tool* kemudian pilih *port*, pada bagian *port* tersebut nanti akan muncul *port* yang digunakan atau yang terkoneksi dengan Arduino Uno.

9. Upload program

Untuk memasukan data pemrograman pada arduino uno selanjutnya pada *toolbar* klik *tool* gambar panah ke kiri (Upload). Tunggu sebentar dan terlihat led TX dan RX pada *board* berkedip. Bila upload berhasil terdapat pesan pesan yang muncul yaitu “*Done uploading.*” pada status bar.



Gambar 2.13 Toolbar untuk proses uploading

Beberapa saat setelah upload selesai, anda dapat melihat pin 13 (L) LED pada board mulai berkedip (warna oranye). Jika pemrograman sudah benar maka program akan berjalan sesuai dengan apa yang anda inginkan dan anda atur dalam program tersebut.

2.2.5 Sensor Arus ACS712-30A

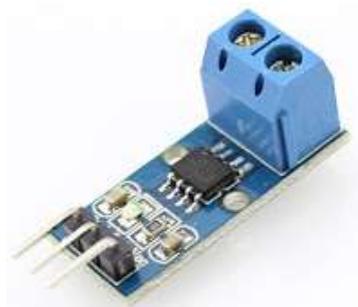
Sensor Arus ACS 712 adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi Arus yang melewati blok terminal pada sensor tersebut.

Sensor Arus ACS 712 memiliki *feature* dan manfaat seperti berikut:

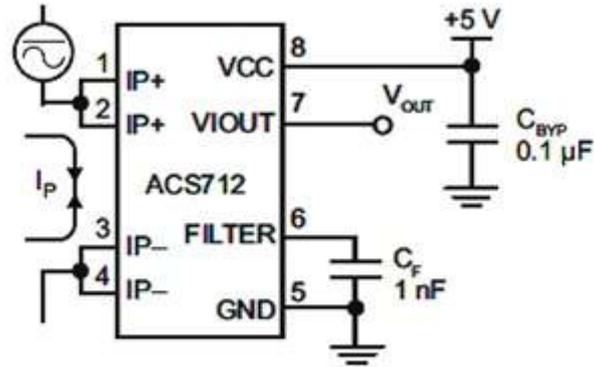
- a. Rendah noise
- b. Terdapat FILTER yang berfungsi untuk mengatur Bandwith
- c. Dalam pendeteksian arus sensor ini dapat mereshare arus yang masuk setiap 5 microdetik.

- d. Bandwith 80 kHz
- e. Total output error 1,5% pada $T_A = 25^\circ \text{C}$
- f. Low-profile paket SOIC8
- g. 1,2 MW resistansi konduktor internal
- h. Memiliki Isolasi tegangan 2,1 kVRMS minimum dari pin 1-4 ke pin 5-8
- i. 5.0 V, operasi catu daya tunggal
- j. Memiliki sensitivitas keluaran. Sensitivitas ini tergantung dari pemakaian batas arus pada sensor yang digunakan. 30 A memiliki sensitivitas 66mV/A, 20A 100 mV/A, dan 5A memiliki sensitivitas 185mV/A.

Modul Sensor Arus ACS712 dapat mendeteksi arus hingga 30A dan sinyal arus yang masuk dideteksi melalui pin analog pada arduino, di pasaran hanya terdapat 3 macam modul sensor Arus ACS712 yang tersedia yaitu 30A, 20A, 5A. Dalam penelitian ini saya menggunakan sensor arus ACS712 dengan arus maksimum 30 A. Sensor arus ACS712 dapat mengukur arus positif dan negatif dengan kisaran -30A sampai 30A. Dalam pengoperasiannya sensor ACS712 ini memiliki catu daya sebesar 5V. Sensor ACS712-30 A ini memiliki karakteristik saat kondisi tanpa beban terdapat tegangan referensi sebesar 2.5V yaitu setengah dari tegangan sumber daya $V_{CC} = 5V$. Pada polaritas minus (-) arus yang dibaca -30A terjadi pada tegangan 0,5V. Tingkat perubahan tegangan timbal balik linear terhadap arus (I) yang besarnya adalah 400 mV/Ampere.



Gambar 2.14 Modul sensor arus ACS712



Gambar 2.15 Rangkaian skematik sensor arus ACS712

Pada gambar 2.15 menunjukkan rangkaian sensor arus ACS712-30A. Hasil pembacaan dari modul sensor arus perlu disamakan kembali dengan pembacaan nilai arus sebenarnya yang dihasilkan menggunakan alat ukur yang akurat. Konfigurasi Pin dari sensor arus ini dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut :

Tabel 2.3 Tabel konfigurasi Pin ACS712-30A

Nomor	Nama	Keterangan
1 dan 2	IP+	Pin mendeteksi arus
3 dan 4	IP-	Pin mendeteksi arus
5	GND	Pin <i>Ground</i>
6	<i>Filter</i>	Pin untuk kapasitor eksternal yang digunakan menentukan <i>bandwidth</i>
7	Vout	Arus keluaran yang dihitung
8	VCC	Tegangan Power supply 5 V

2.2.5.1 Kalibrasi Sensor Arus ACS712-30A

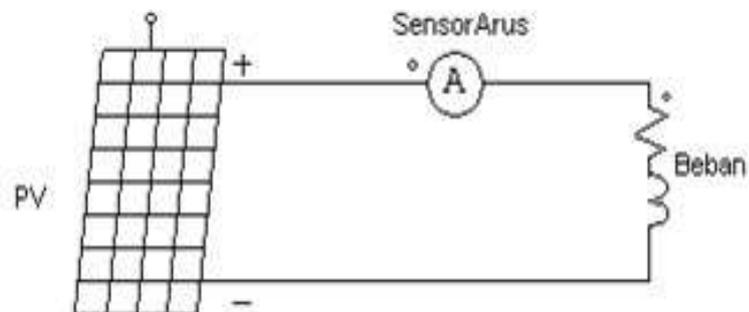
Modul ACS712-30A memiliki sensitivitas tegangan sebesar 66 mV/A. Sensor arus mempunyai karakteristik pembacaan mulai dari 0 (pada input 0V input) sampai dengan 1023 (pada input 5V) dengan hasil ketetapan sebesar 0,0049V. Pembacaan sensor arus, I pada analogread dirumuskan pada persamaan berikut:

$$I = (0,0049 \times V_{out} - 2,5) / 0,066 \dots\dots\dots (2.4)$$

Atau disederhanakan;

$$I = (0.0742 \times V_{out} - 37.87) \dots\dots\dots (2.5)$$

Modul sensor arus ini disusun secara seri terhadap beban, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16 berikut:

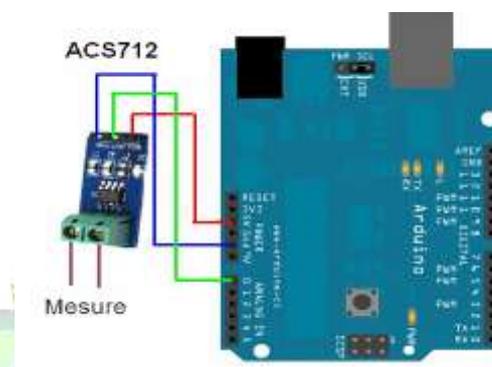


Gambar 2.16 Contoh Koneksi sensor arus yang dipasang secara seri terhadap beban.

2.2.5.2 Sistem koneksi Arduino dan Sensor ACS712-30A

Di dalam sistem koneksi sensor ACS712-30A dengan arduino yaitu dimana pada sensor arus ACS712 terdapat kode VCC, VOUT dan GND. Pada gambar 2.17 kabel warna merah

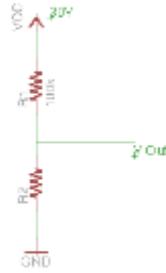
merupakan koneksi untuk VCC yang dihubungkan pada VCC 5V pada arduino uno. Kabel hijau merupakan koneksi untuk VOUT dimana koneksi ini dihubungkan pada pin analog pada arduino. Hal ini dikarenakan output yang dihasilkan sensor adalah output analog dan bekerja secara linier. Yang terakhir adalah kabel warna biru merupakan koneksi antara GND pada sensor arus dan Arduino.



Gambar 2.17 Rangkaian koneksi arduino dengan modul sensor arus

2.2.6 Sensor Tegangan ZMPT101B

Sensor tegangan ZMPT101B adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur level tegangan tertentu dimana sensor ini bekerja dengan prinsip hampir sama seperti adapter yaitu mengkonversi level tegangan ke level tegangan lainnya. Misalkan pada penelitian ini sensor tersebut digunakan untuk mengukur tegangan PLN yaitu 0V sampai dengan 220V dan tegangan tersebut kemudian dikonversi oleh board tersebut menjadi 0VDC sampai dengan 5VDC yang kemudian digunakan sebagai inputan analog pada arduino. Dengan adanya hal tersebut digunakan sistem pembagi tegangan seperti pada gambar 2.18 berikut.



Gambar 2.18 Rangkaian pembagi tegangan

Pada gambar rangkaian pembagi tegangan tersebut, terdapat $V_{in} = 30\text{ V}$ dan $V_{out} = 5\text{ V}$ dengan $R_1 = 100\text{ k}\Omega$, Sehingga perhitungan nilai dari R_2 adalah sebagai berikut :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \dots\dots\dots (2.6)$$

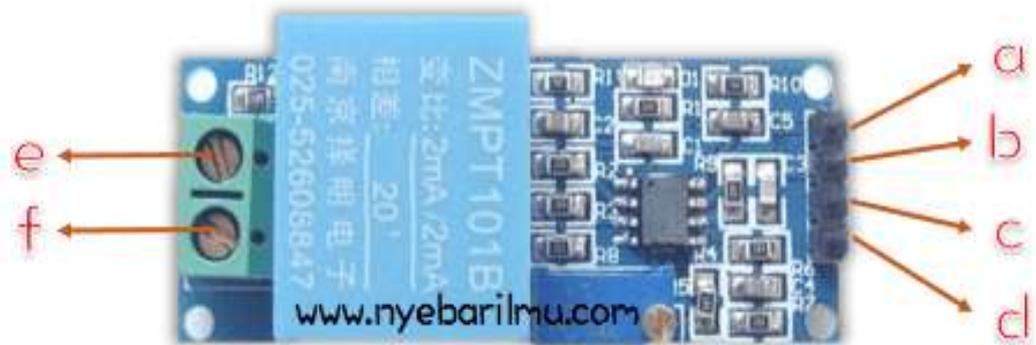
sehingga nilai yang diperoleh R_2 yaitu:

$$R_2 = \frac{R_1 \times V_{out}}{R_1 + (R_1 \times V_{out})} \times V_{in} = \frac{100 \times 5}{100 + (100 \times 5)} \times 30 = 25\text{ k}\Omega \dots\dots\dots (2.7)$$

ZMPT101B Ultra Micro Voltage Transformer ukuran kecil, akurasi tinggi, konsistensi yang baik, untuk tegangan dan pengukuran daya.

Aplikasi :

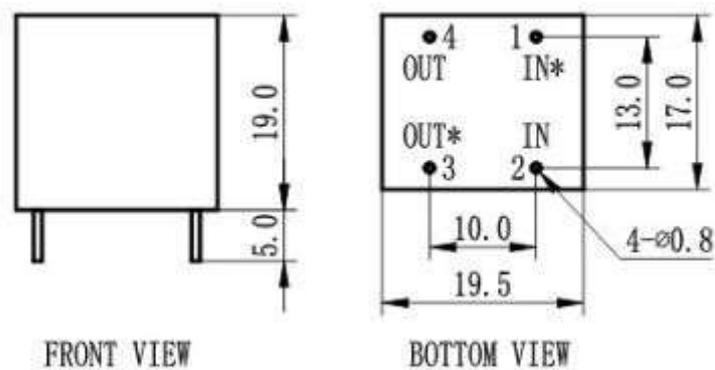
- a. Pendeteksi Kelebihan Arus
- b. *Pendeteksi Short Circuit*
- c. Pengukuran Arus
- d. Sirkuit analog ke digital



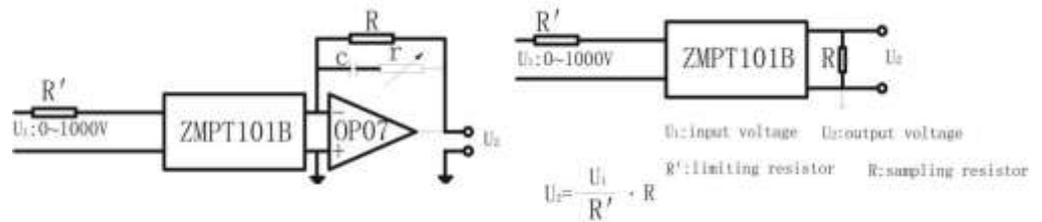
Gambar 2.19 Sensor Tegangan AC ZMPT101B

Keterangan pin :

- a. Vcc / Vinput tegangan (5Vdc)
- b. Voutput (Tegangan Analog)
- c. Gnd
- d. Gnd
- e. Sumber tegangan AC
- f. Sumber tegangan AC



Gambar 2.20 Dimensi ZMPT101B



Gambar 2.21 Skematik ZMPT101B

Tabel 2.4 Spesifikasi Elektrik ZMPT101B

Spesifikasi Elektrik	
Arus Primer	2 mA
Arus Sekunder	2 mA
Rasio Balik	1000:1000
Eror Sudut Fasa	$\leq 20^\circ$ (50 Ω)
Jarak Arus	0-3 mA
Linearitas	0.1 %
Tingkat Akurasi	0.2 %
Nilai Beban	$\leq 200\Omega$
Range Frekuensi	50 Hz – 60 Hz
Level Dielektrik	3000VAC/ min
Resistansi DC 20°C	110 Ω

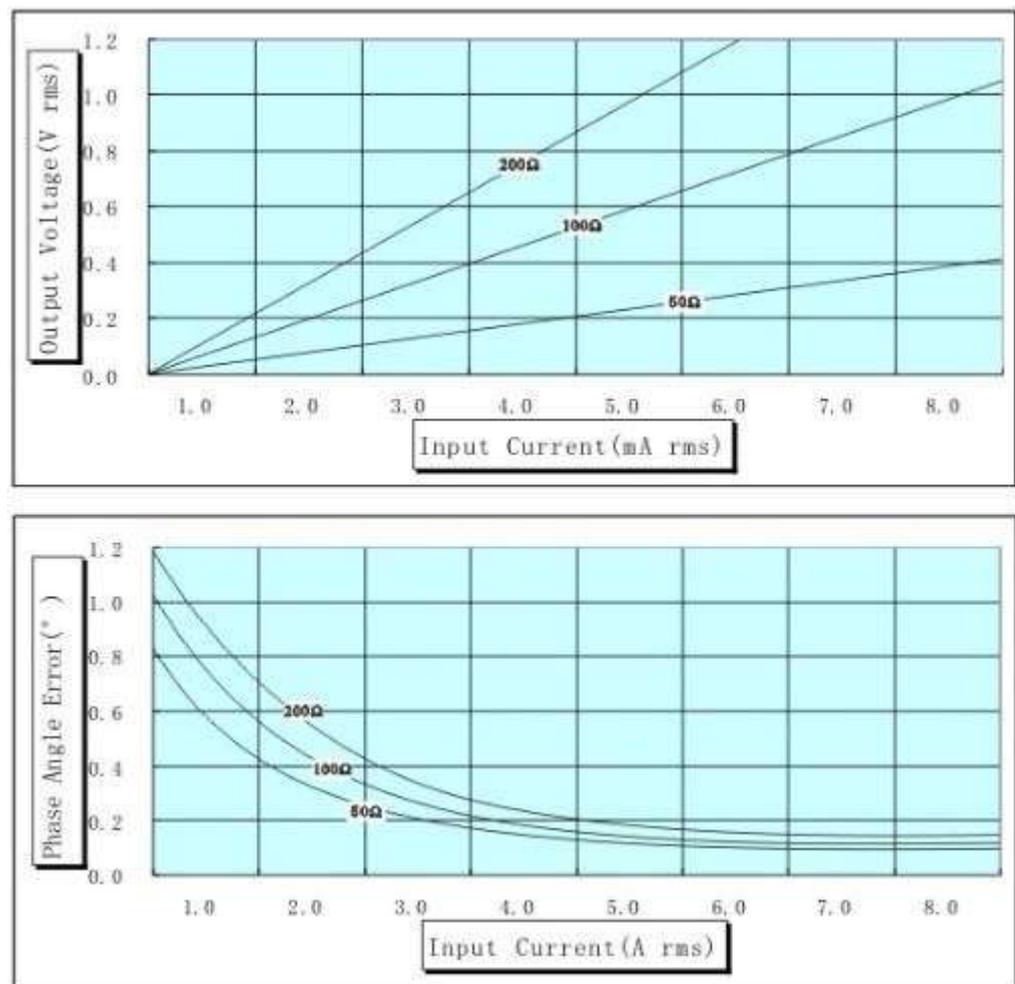
Tabel 2.5 Environment Spesification ZMPT101B

Environment Specification	
Temperature	-40°C to $\pm 130^\circ\text{C}$
Resistant Isolation	>100 M Ω

Tabel 2.6 Spesifikasi Mekanik ZMPT101B

Spesifikasi Mekanik	
Cup	PBT
Encapsulant	Epoxy
Terminal	Pin $\phi 0.80$ mm

Toleransi	± 0.2 mm
Berat	13 gram
Case	Karton



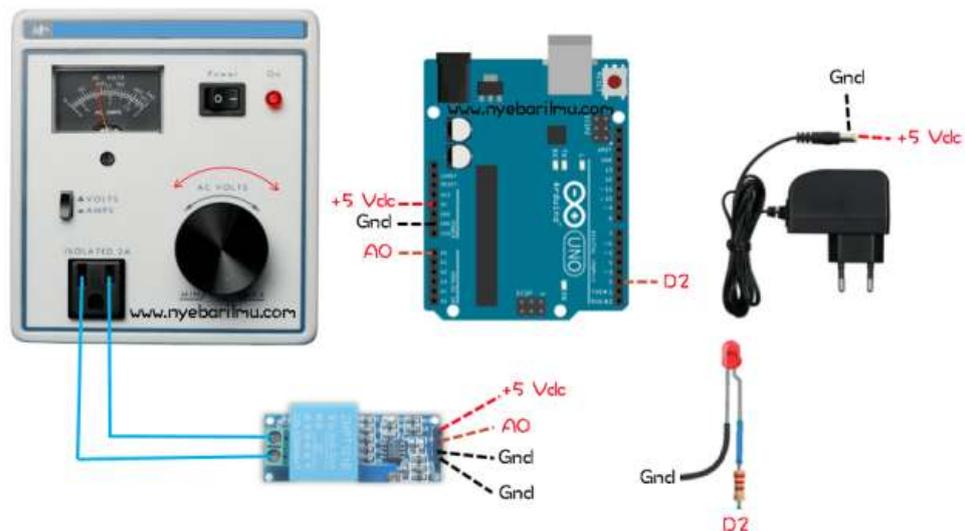
Gambar 2.22 Karakteristik Output ZMPT101 B

2.2.6.1 Fitur Sensor ZMPT101B :

- a. A01B aktif fase tunggal merupakan modul keluaran tegangan AC trafo.
- b. *Onboard* akurat sirkuit op amp, sinyal untuk pengukuran yang tepat dan fungsi kekurangan yang akurat

- c. Dapat diukur dalam tegangan 250V AC sesuai dengan *output analog* dapat disesuaikan

2.2.6.2 Skema rangkaian percobaan sensor ZMPT101B



Gambar 2.23 Skema rangkaian percobaan sensor ZMPT101B

Pada gambar 2.23 adalah skema rangkaian percobaan sensor tegangan ZMPT101B. Dalam skema rangkaian tersebut, sensor ZMPT101B di berikan tegangan secara berbeda beda mulai dari 0-220V menggunakan *voltage regulator*, hal ini bertujuan untuk mengetahui VOUT dari sensor ZMPT101B yang kemudian digunakan sebagai kalkulasi pada program arduino.

2.2.7 LCD 16x2 dan I2C

LCD kepanjangan dari *Liquid Crystal Display* adalah sebuah penampil yang mempunyai sistem kerja menggunakan kristal cair sebagai bahan untuk menampilkan data yang berupa tulisan maupun angka. Pada kehidupan sehari – hari biasanya LCD ini banyak dan

mudah ditemukan contohnya adalah pada layar kalkulator, gamebot, televisi, atau pun layar PC.

Pada penelitian ini LCD yang digunakan adalah LCD 16x2. Pada perancangan alat, LCD ini digunakan untuk menampilkan status kerja alat, yaitu berupa tampilan arus daya dan tegangan pada KWH meter 1 phasa. Adapun fitur dalam LCD ini adalah:

1. Spesifikasi dari LCD 16x2

Adapun fitur – fitur yang tersedia antara lain

- a. Terdapat 16 kolom dan 2 baris
- b. *Back light* sebagai lampu latar/background LCD
- c. Memiliki 192 karakter tersimpan
- d. Metode pengalamatan dapat menggunakan 8 bit maupun 4 bit
- e. Terdapat karakter generator terprogram

2. Pin – pin LCD 16x2 dan keterangannya



Gambar 2.24 LCD 16x2 Arduino

Keterangan :

- a. **GND** : catu daya 0 VDC/ GND
- b. **VCC** : catu daya positif (5V)
- c. **Constrate** : untuk mengatur kontras/ ketajaman output display.
- d. **RS** atau **Register Select** :
 1. *High* : untuk proses pengiriman data
 2. *Low* : untuk proses pengiriman instruksi
- e. **R/W** atau **Read/Write**
 1. *High* : pengiriman data
 2. *Low* : pengiriman instruksi
 3. Untuk pengiriman data ke layar harus disambungkan dengan *LOW*
- f. **E (enable)** : sebagai sistem kontrol ke LCD ketika bernilai *LOW*, saat LCD tidak dapat terakses dengan baik.
- g. **D0 – D7** = Data Bus 0 – 7
- h. **Backlight +** : dikoneksi ke VCC (5V) untuk mengaktifkan lampu latar
- i. **Backlight –** : dikoneksi ke GND (0V) untuk mengaktifkan lampu latar

Dari keterangan diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa LCD adalah suatu *parallel bus*, yang dengan mudah dan cepat dalam penggunaan saat pengaplikasian dalam pembacaan ataupun penulisan baik dari ataupun ke LCD . Pengiriman data ini berupa kode ASCII yang ditampilkan sebanyak 8 bit dan dikirim ke LCD secara bersamaan dalam satu waktu secara 4 bit atau 8 bit. Pada saat digunakan mode 4 bit, maka proses terkirimnya 2 *nibble* data untuk menjadikan full 8 bit (pertama dikirim 4 bit MSB setelah itu 4 bit LSB dengan pulsa *clock EN* setiap *nibblenya*). Saat mikrokontroler mengirim data ke LCD, proses ini nantinya terdapat indikasi dari jalur kontrol EN dan ditampilkan pada LCD. Dalam proses

pengiriman data ke LCD, pertama-tama program harus diatur untuk mengkondisikan EN pada kondisi *high* (1) dan kemudian mengatur dua jalur kontrol yang lain (RS dan R/W) dan dapat mengirimkan data ke jalur data bus.

Ketika jalur yang lain sudah ready, EN harus diatur pada posisi *low* (0) selanjutnya tunggu proses pengiriman data beberapa detik (acuan dari *datasheet* dari LCD), setelah selesai atur ulang EN ke posisi *high* (1). Saat jalur komunikasi RS berada pada posisi *low* (0), pengiriman data ke LCD dianggap sebagai instruksi atau perintah khusus (seperti LCD clear, Cursor Position dll). Ketika RS pada kondisi *high* (1), data dapat ditampilkan pada layar dikarenakan data yang dikirim berupa data ASCII.

Sebagai contoh, saat ingin membuat tampilan huruf "C" pada LCD maka RS wajib di setting pada posisi ke 1. Jalur komunikasi R/W diwajibkan berada pada posisi *low* (0) saat data bus diberikan instruksi yang akan ditampilkan ke LCD. Jika jalur R/W berada pada posisi *high* (1), maka program akan melakukan proses *query* (pembacaan) data dari LCD. Dalam proses tersebut menggunakan satu buah instruksi, yaitu Get LCD status (status baca LCD), dan yang lainnya adalah instruksi proses penulisan. Jadi saat pengaplikasian menggunakan LCD, sebaiknya R/W selalu diset pada posisi *low* (0).

Jalur proses pengiriman data terdiri atas 4 dan 8 jalur (tergantung pengaturan mode yang digunakan oleh pengguna), jalur tersebut diberikan inisial DB0, DB1, DB2, DB3, DB4, DB5, DB6 dan DB7. Proses pengiriman data baik secara paralel 4 atau 8 bit adalah dua jenis mode operasi primer. Untuk membuat sebuah pengaplikasian *interface* LCD, hal yang paling utama adalah menentukan mode operasi yang akan digunakan.

2.2.8 GSM Modul SIM800L

Module SIM800L adalah sebuah module GSM/GPRS Serial yang paling diminati oleh para penggemar elektronika, ataupun bagi yang sudah professional dengan ilmu elektronika dimana pengaplikasian dalam berbagai aplikasi pengendalian jarak jauh via Handphone berupa SMS dan menggunakan simcard jenis *micro* SIM. Sekarang ini, terdapat beberapa jenis dari *Breakout Board*, tetapi yang paling banyak dipasaran yaitu versi mini dengan kartu GSM jenis Micro SIM.

SIM800L merupakan modul *GSM / GPRS quad-band*, yang beroperasi pada frekuensi GSM850MHz, GSM900MHz, DCS1800MHz dan PC1900MHz. SIM800L mempunyai beberapa fitur GPRS multi-slot kelas 12 / kelas 10 (Opsional) dan didukung oleh skema pemberian kode dari GPRS CS-1, CS-2, CS-3, dan CS-4. Meskipun bentuk fisik dari SIM800L ini kecil 15.8 * 17.8 * 2mm, SIM800L dapat memenuhi hampir semua kebutuhan ruang dalam aplikasi pengguna, seperti *smartphone*, PDA dan perangkat mobile lainnya. Dalam penelitian ini SIM800L digunakan untuk memberikan informasi tentang arus daya dan tegangan pada KWH meter 1 phasa melalui *SMS Gateway*.



Gambar 2.25 Modul GSM SIM800L

Keterangan PinOut :

1. ANT : merupakan antena
2. VCC : range tegangan catu daya 3.7 – 4.2Vdc
3. RST : Reset (Pengatur Ulang)
4. RX : Rx Data Serial (Penerima data serial)
5. TX : Tx Data Serial (Pengirim data serial)
6. GND : Ground
7. RING : Nada yang digunakan ketika ada telepon/ SMS
8. DTR
9. MIC + : kutub positif microphone
10. MIC – : kutub negative microphone
11. Speaker + : kutub positif speaker
12. Speaker – : kutub negative speaker
13. Micro Sim (Kartu GSM)

2.2.8.1 Spesifikasi modul SIM800L :

- a. Menggunakan Chip IC : SIM800
- b. Sumber tegangan ke VCC : antara 3.7 – 4.2Vdc (pada datasheet = 3.4 – 4.4V), dan pada saat penggunaan sebaiknya menggunakan 3.7 VDC agar tidak terjadi notifikasi eror “*Over Voltage*“
- c. Frekuensi yang dipakai pada jaringan GSM yaitu *QuadBand* (850/900/1800/1900Mhz)
- d. Konektifitas class 1 (1W) pada DCS 1800 dan PCS 1900GPRS, dan pada class 4 (2W) pada GSM 850 dan EGSM 900
- e. GPRS multi-slot class 1~12 (option) tetapi setingan awal pada class 12
- f. Temperatur normal : 40°C ~ +85°C

- g. Pada saat diakses ke mikrokontroller tidak perlu menggunakan MAX232 dikarenakan sudah dilengkapi dengan port TTL atau serial port.
- h. Transmitting power
- i. Modul daya secara otomatis booting, jaringan rumah
- j. Led yang terdapat pada modul yang berfungsi untuk indikator sinyal. Pada saat module terhubung dengan jaringan GSM, **LED akan berkedip secara perlahan**, tetapi jika tidak terdapat sinyal maka **LED akan berkedip secara cepat**.
- k. Skematik ukuran module : 2.5cm x 2.3cm

