

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

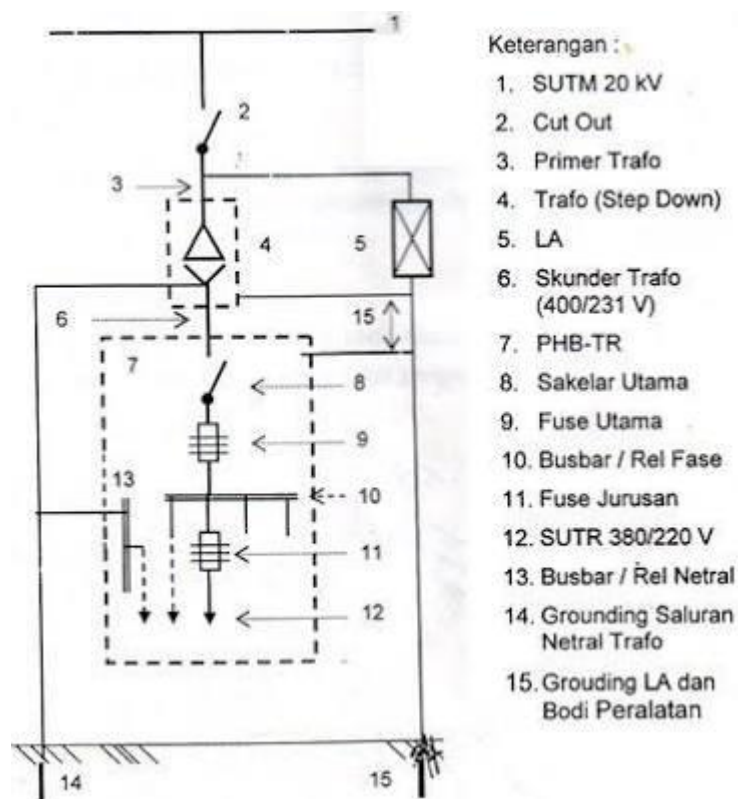
2.1 Tinjauan Mutakhir

Pengembangan sistem penyeimbangan arus beban secara terkontrol untuk gardu distribusi belum banyak dilakukan, hingga kini PLN melakukan operasi penyeimbangan beban secara manual. Pengembangan yang banyak dilakukan hanya sebatas data *logger* yang dapat mencatat data historial arus yang mengalir pada setiap fasa gardu distribusi. Pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan terhadap *prototype* rancang bangun penyeimbangan arus beban pada sistem 3 fasa menggunakan mikrokontroler ATMEGA 2560.

1. Penelitian yang dilakukan oleh Agus Eka Arditha (2015) dengan judul “Perancangan Sistem Kontrol Pemakaian Energi Listrik dengan Skala Prioritas Menggunakan ATMEGA 8535”. Pada penelitian tersebut dijelaskan cara merancang suatu sistem yang dapat memprioritaskan penggunaan peralatan elektronik dalam suatu rumah tangga untuk mengoptimalkan pemakaian daya listrik dan tercipta kondisi yang nyaman tanpa terjadi pemutusan daya listrik.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Zainma Wiraisy (2014) dengan judul “Rancang Bangun Alat Perekam Penggunaan Daya Listrik untuk Beban Rumah Tangga”. Pada penelitian ini dijelaskan cara memonitoring penggunaan daya listrik pada suatu rumah tangga dengan nilai masukan berupa tegangan dan arus untuk mengetahui daya rata-rata.
3. Penelitian yang dilakukan oleh Hilman Hermawan Jufri (2011) dengan judul “Rancang Bangun Alat Ukur Daya Arus Bolak-balik Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535”. Pada penelitian ini dijelaskan cara menampilkan hasil pengukuran terhadap daya pada rangkaian AC dengan modul ACS712 dan mikrokontroler berbasis ATMEGA 8535 pada LCD.

2.2 Saluran Jaringan Tegangan Rendah

Jaringan Tegangan Rendah (JTR) adalah saluran yang menghubungkan antara Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dengan Saluran tenaga Listrik Tegangan Rendah (SLTR) atau Tegangan Rumah (TR). Pada JTR terdapat gardu distribusi yang terdiri dari berbagai komponen untuk mendistribusikan tenaga listrik tergantung dari jenis konstruksinya. Komponen secara umum terdiri dari *fuse cut-out*, trafo *step-down*, *lightning arrester*, *fuse* utama, busbar/rel fasa, *fuse* saluran busbar/rel *grounding*.



Gambar 2.1 Line Diagram Gardu Distribusi
(Sumber: Anonim, 2010)

Pada gambar 2.1 dapat dilihat dari saluran udara tegangan menengah 20 kV sebelum menuju trafo distribusi yang menggunakan trafo *step-down* terdapat *fuse cut-out* yang berfungsi sebagai pengaman trafo. Selain itu juga terdapat *lightning arrester* yang berfungsi untuk mengamankan trafo dan peralatan gardu distribusi lainnya bila terjadi tegangan lebih termasuk surja petir. Pada sisi sekunder dari trafo distribusi terdapat saklar utama dan *fuse* utama sebagai pengaman. Selanjutnya terdapat busbar atau rel fasa utama yang akan dibagi menjadi beberapa saluran

sesuai dengan jumlah beban yang dibebankan pada trafo. *Fuse* saluran dipasang untuk mengamankan jalur setiap saluran apabila terdapat arus berlebih. Peralatan pengaman lainnya seperti *grounding* trafo dan *grounding lightning arrester* (Anonim, 2010).

2.3 Penyeimbangan Arus Beban pada Sistem 3 Fasa

Arus beban yang tidak seimbang disebabkan oleh mendominasinya pelanggan dengan beban satu fasa dibandingkan pelanggan yang menggunakan beban tiga fasa. Sehingga pelanggan dengan beban satu fasa disambungkan ke salah satu fasa yang terdapat dalam sistem tiga fasa. Penggunaan energi listrik pelanggan satu fasa seringkali memiliki jam operasi yang berbeda, akibatnya arus beban yang mengalir di setiap fasa tidak akan sama. Situasi ini menyebabkan adanya arus yang cukup besar mengalir pada fasa netral. Efek lain yang ditimbulkan adalah sudut fasa yang dibentuk tidak lagi 120° dan membuat arus beban trafo menjadi tidak seimbang. Definisi keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

1. Ketiga vektor arus atau tegangan sama besar.
2. Ketiga vektor arus/tegangan membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang apabila salah satu dari dua syarat tidak terpenuhi atau kedua syarat tidak terpenuhi sama sekali, sehingga terdapat tiga kemungkinan yang menyebabkan situasi beban tidak seimbang seperti:

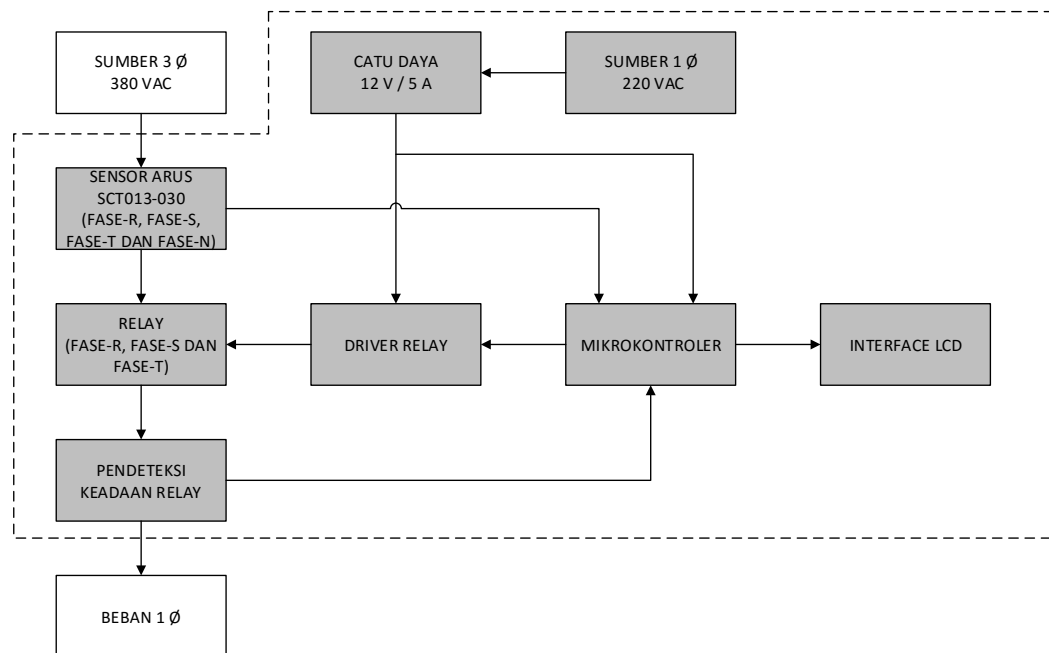
1. Ketiga vektor sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Ketiga vektor tidak sama besar dan membentuk sudut 120° satu sama lain.
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

Akibat dari arus beban tidak seimbang hanya mempengaruhi sisi sekunder dari trafo distribusi (fasa-R, fasa-S, fasa-T dan fasa-N) dan mengalirnya arus pada fasa netral yang merupakan *losses* atau rugi daya bagi pihak penyedia listrik. Situasi ini dapat diatasi dengan melakukan *switching* beban. Penyeimbangan arus beban dilakukan dalam beberapa tahap yaitu pengukuran awal, pemetaan dan pemindahan saluran pelanggan dan pengukuran akhir. Pengukuran awal dimaksudkan untuk mengetahui kondisi arus yang mengalir pada setiap fasa dan ketidakseimbangan

arus beban yang terjadi. Selanjutnya dilakukan pemindahan beban dengan memindahkan saluran pelanggan yang terhubung ke fasa yang memiliki arus beban terbesar menuju fasa dengan arus terkecil. Tahap terakhir dengan mengukur arus pada setiap fasa untuk mengetahui apakah arus beban sudah seimbang (Prasetya, 2008).

2.4 Blok Diagram *Hardware*

Perencanaan rancang bangun yang akan dilakukan adalah penyeimbangan arus beban pada sistem 3 fasa menggunakan mikrokontroler ATMEGA 2560. Berikut merupakan blok diagram alat :



Gambar 2.2 Blok Diagram Rangkaian

Pada blok diagram terdapat beberapa rangkaian yang dibutuhkan dalam melakukan rancang bangun yang dibuat, seperti :

1. Arduino Mega 2560 R3
2. Sensor arus SCT013-030
3. *Driver* relay
4. LCD 16 x 2
5. Catu daya

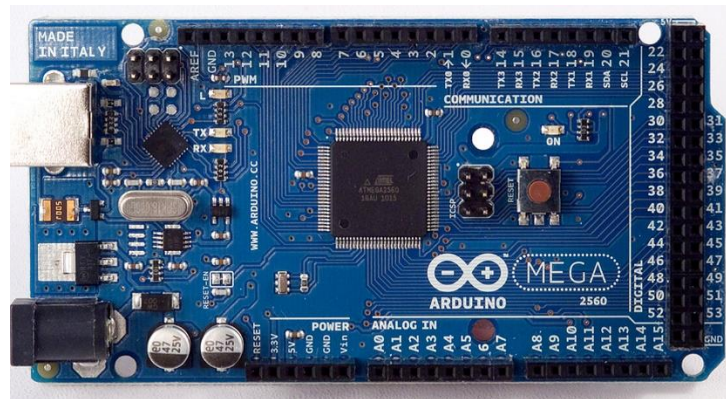
2.4.1 Mikrokontroler arduino

Arduino adalah mikrokontroler *singleboard* yang dirancang untuk memudahkan penggunaannya karena sifatnya yang *open-source*. Mikrokontroler jenis Atmel AVR adalah mikrokontroler yang digunakan pada arduino. Mikrokontroler AVR menggunakan basis arsitektur AVR RISC (*Reduced Intrusion Set Computer*) mengacu pada arsitektur Harvard, yang dibuat oleh Atmel tahun 1996. Adapun kelebihan yang dimiliki adalah (Arduino, 2016):

- 1) Lintas *platform* yaitu *software* arduino dapat dijalankan pada sistem operasi windows, macintosh OSX dan linux, sementara *platform* lain umumnya terbatas hanya pada Windows.
- 2) Sangat mudah dipelajari dan digunakan karena bahasa pemrogramannya masih sama seperti bahasa C.
- 3) *Open source*, baik dari sisi *hardware* maupun *softwarena*.
- 4) Memiliki modul siap pakai (*shield*) yang bisa ditancapkan pada board arduino yaitu *shield* GSM/GPRS, GPS, Ethernet, SD Card dan lain-lain.

2.4.1.1 Arduino Mega 2560 R3

Arduino Mega 2560 R3 adalah mikrokontroler dengan ATmega 2560 pada papan dasarnya. Modul ini memiliki 54 pin *input* dan *output* diantaranya 15 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM, 16 pin *input* analog, 4 UARTs untuk port serial *hardware*, *crystal oscillator* 16 MHz, koneksi USB, *input* power, ICSP *header* dan tombol reset. Hal ini sudah termasuk semua yang dibutuhkan untuk mengaktifkan sebuah mikrokontroler seperti menghubungkan ke komputer dengan kabel USB atau dengan sumber yang berasal dari adaptor AC ke DC atau baterai. Arduino Mega 2560 R3 dapat digabungkan dengan perangkat atau modul yang di pasang pada Arduino Uno, Duemilanover atau Diecimila (Arduino, 2016).



Gambar 2.3 Arduino Mega 2560
(Sumber: Arduino, 2016)

2.4.1.2 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan *software* yang digunakan untuk membuat kode program dilengkapi dengan fitur pada *toolbar* memiliki fungsi yang dapat membantu dalam menghubungkan program dengan mikrokontroler arduino. Program yang dibuat dengan arduino IDE disebut dengan *sketches*. File *sketches* yang dibuat selanjutnya akan disimpan dengan menggunakan format *.ino*. Berbagai fitur yang dapat digunakan dalam membuat kode program seperti *copy*, *paste*, *cut*, *searching* dan *replace text*. *Sketches* yang sudah dibuat akan diperiksa dan menampilkan pesan *error* saat proses *exporting*. Pesan *error* juga memberikan informasi letak dari kesalahan pada *sketches*. Arduino IDE juga dilengkapi dengan pilihan jenis mikrokontroler yang digunakan nantinya. Fitur-fitur lainnya seperti *verify*, *upload*, *new*, *open*, *save* dan *serial monitor* memiliki fungsinya masing-masing (Arduino, 2016).

1. *Verify*

Verify berfungsi melakukan pemeriksaan terhadap kode program yang dibuat agar tidak terdapat kesalahan baik secara struktur maupun perintah yang digunakan.

2. *Upload*

Upload memiliki fungsi untuk mengkompilasi kode program serta mengunduh kode program dari dalam modul mikrokontroler yang digunakan.

3. *New*

New berfungsi untuk menyediakan lembar kerja baru untuk membuat *sketches*.

4. *Open*

Fungsi dari fitur ini untuk membuka file kode program yang sudah pernah dibuat sebelumnya dan tersimpan dengan format .ino.

5. *Save*

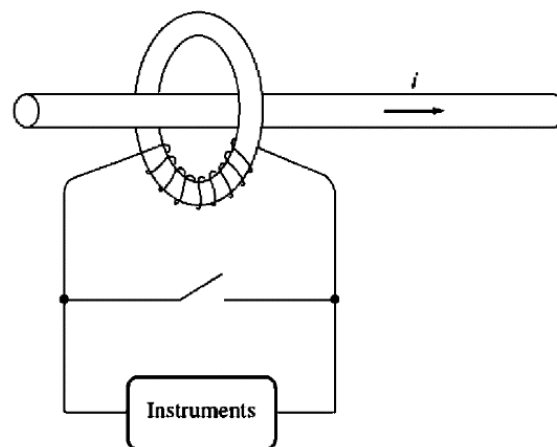
Save digunakan untuk menyimpan kode program atau *sketches* yang sudah dibuat.

6. *Serial monitor*

Serial monitor adalah fitur yang digunakan untuk monitoring kode program apakah sudah berfungsi sesuai dengan yang direncanakan.

2.4.2 Sensor Arus SCT013-030

Splilt-core Current Transformer adalah sensor arus yang menggunakan konsep kinerja dari trafo arus. Transformator arus dirancang untuk menghasilkan nilai arus sekunder yang lebih kecil dibandingkan sisi primernya. Trafo arus mengubah nilai arus pada suatu saluran transmisi ke nilai yang lebih kecil sehingga lebih aman untuk dilakukan pengukuran. Gambar 2.4 akan menjelaskan cara kerja dari trafo arus.



Gambar 2.4 Skema Transformator Arus
(Sumber: Stephen, 2005)

Trafo arus terdiri dari lilitan sekunder yang terdapat pada cicin *ferromagnetic*, dengan lilitan primer yang melewati bagian tengah dari cicin. Cicin *ferromagnetic* menahan sedikit fluks dari lilitan primer. Fluks ini menginduksi

tegangan dan arus ke dalam lilitan sekunder. Rasio trafo arus antara lilitan primer dan sekunder mempengaruhi arus yang dihasilkan. Rasio transformator arus biasanya berkisar antara 600:5, 800:5 atau 1000:5 ampere dengan rasio standar pada lilitan sekunder sebesar 5 ampere (Stephen, 2005).



Gambar 2.5 Sensor Arus SCT013-030

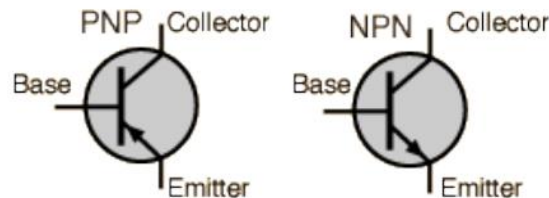
Gambar 2.5 adalah gambar jenis trafo arus SCT013-030 dengan batas maksimum arus yang dapat diukur sebesar 30 ampere. Transformator arus ini menggunakan magnet permanen sebagai cincin *ferromagnetic* (YHDC, 2011). Adapun spesifikasi yang dimiliki oleh SCT013-030 sebagai berikut.

1. *Input current* 0-30 Ampere
2. *Output voltage* 0-1 Volt
3. *Non-linearity* $\pm 1\%$
4. *Build in sampling resistance* (R_L) 62 Ω
5. *Turn ratio* 1800:1
6. *Resistance grade* B
7. *Work temperature* $-25^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$
8. *Dielectric strength (between shell and output)* 1500V AC/1min 5 mA

2.4.3 Transistor

Transistor adalah komponen semikonduktor yang terbuat dari bahan silikon ataupun germanium. Transistor merupakan komponen semikonduktor yang terdiri dari 3 lapisan diantaranya bahan semikonduktor tipe N yang diapit dengan bahan

semikonduktor tipe P (*PNP-transistor*) ataupun bahan semikonduktor tipe P yang diapit dengan bahan semikonduktor tipe N (*NPN-transistor*). Komponen ini mempunyai tiga buah kaki yaitu basis, kolektor dan emitor (Kusuma, 2012).



Gambar 2.6 Simbol Transistor
(Sumber: Kusuma, 2012)

Pada pengaplikasiannya transistor memiliki tiga siklus kerja yang menentukan fungsi dari komponen tersebut diantaranya daerah mati (*cut off*), daerah aktif dan daerah jenuh (saturasi).

1. Daerah mati (*cut off*).

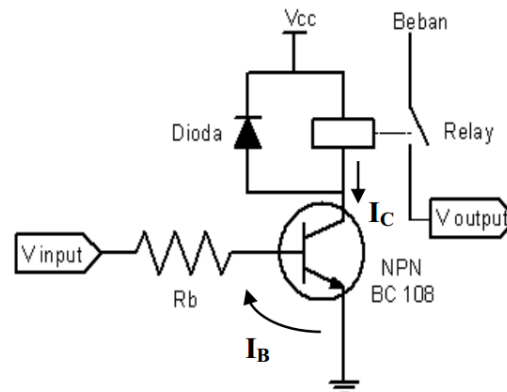
Daerah *cut off* adalah daerah kerja transistor mengalami penyumbatan antara kolektor dan emitor. Daerah *cut off* disebut sebagai daerah mati karena komponen ini tidak dapat mengalirkan arus dari kolektor menuju emitor. Pada daerah ini transistor berfungsi sebagai saklar terbuka.

2. Daerah aktif.

Daerah aktif merupakan daerah kerja transistor biasa digunakan sebagai penguat. Transistor bekerja pada daerah aktif karena komponen ini selalu mengalirkan arus dari kolektor menuju emitor, walaupun tidak dalam proses penguatan sinyal. Daerah aktif berada diantara siklus daerah mati (*cut off*) dan daerah jenuh (saturasi).

3. Daerah jenuh (saturasi).

Daerah jenuh merupakan daerah kerja transistor dapat mengalirkan arus secara penuh dari kolektor menuju emitor dengan tenggang waktu tertentu. Situasi ini tidak dapat berlangsung lama karena mengakibatkan suhu kerja dari transistor menjadi tinggi. Daerah jenuh merupakan daerah dimana transistor bekerja sebagai saklar tertutup.



Gambar 2.7 Rangkaian Transistor sebagai Saklar
(Sumber: Kusuma, 2012)

2.4.4 Relay

Di dunia elektronika relay merupakan komponen yang paling sering digunakan untuk memutuskan atau menghubungkan suatu rangkaian secara terkontrol. Relay adalah saklar elektronik yang bekerja dengan memanfaatkan medan magnet. Komponen ini terdiri dari lilitan dan lempengan yang berfungsi sebagai saklar. Saat lilitan dialiri arus listrik maka akan timbul medan magnet dan menarik lempengan. Adapun berbagai jenis relay berdasarkan kutubnya (Boylestad, 2007):

1. COMMON yaitu kutub acuan.
2. NC (*Normally Close*) adalah kutub yang posisi awalnya terhubung dengan COMMON.
3. NO (*Normally Open*) adalah kutub dengan posisi awal terbuka dan akan terhubung dengan COMMON jika kumparan relay diberi arus listrik.

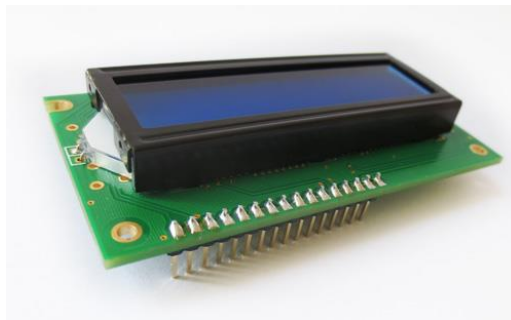
Berdasarkan jumlah kutub pada relay, maka relay dibedakan menjadi empat jenis:

1. SPST = *Single Pole Single Throw*
2. SPDT = *Single Pole Double Throw*
3. DPST = *Double Pole Single Throw*
4. DPDT = *Double Pole Double Throw*

Pole adalah jumlah COMMON, sedangkan *Throw* adalah jumlah terminal *output* (NO dan NC).

2.4.5 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Penampil (*display*) elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi untuk menampilkan angka, huruf atau simbol-simbol lainnya. LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah salah satu *display* elektronika yang umum digunakan. LCD dibuat dengan CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya melainkan memantulkan cahaya yang ada di sekitarnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. Jumlah karakter yang dapat ditampilkan oleh sebuah LCD tergantung dari spesifikasi yang dimiliki (*Revolution Education Ltd, 2016*).



Gambar 2.8 LCD 16 x 2 *Display*
(Sumber: www.rev-ed.co.uk, 2016)

Terdapat beberapa pin yang penting untuk memberi perintah pada LCD, yakni:

1. Pin data adalah jalur data karakter yang ingin ditampilkan dalam LCD, pin ini dapat dihubungkan dengan rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8 bit.
2. Pin RS (*register select*) adalah pin yang berfungsi sebagai indikator untuk menentukan perintah yang masuk merupakan sebuah perintah atau data. Apabila logika nol (*low*) ini mengindikasikan bahwa yang masuk adalah perintah, sedangkan apabila logika satu (*high*) menandakan bahwa yang masuk adalah data.
3. Pin R/W (*read write*) adalah pin yang berfungsi untuk membedakan perintah yang diberikan pada LCD untuk membaca data atau menulis data.
4. Pin E (*enable*) adalah pin yang berfungsi untuk memegang data yang masuk maupun keluar.

5. Pin VLCD adalah pin yang berfungsi untuk mengatur kecerahan dari tampilan LCD, pin ini biasanya dihubungkan dengan trimpot $10\text{ k}\Omega$ dan tegangan 5 V digunakan sebagai sumber LCD.

2.4.6 Transformator

Transformator adalah peralatan listrik yang mampu mengubah energi listrik pada suatu nominal ke energi listrik dengan nominal lain menggunakan prinsip medan magnet. Transformator sering disingkat dengan istilah trafo. Trafo terdiri dari dua buah lilitan kawat berisolasi pada suatu inti besi. Lilitan pada sisi primer akan terhubung dengan sumber selanjutnya disebut dengan lilitan *input* dan lilitan sekunder berfungsi sebagai lilitan *output*. Saat lilitan primer diberi tegangan maka timbul fluks, hal ini sesuai dengan hukum Faraday. Fluks yang berubah akan menginduksi tegangan pada lilitan sekunder dari transformator. Akibat dari induksi akan timbul beda potensial pada sisi sekunder, transformator memiliki rasio perbandingan jumlah lilitan primer dan lilitan sekunder.

Apabila jumlah lilitan primer lebih banyak dibandingkan dengan lilitan sekunder maka trafo tersebut dikatakan sebagai trafo *stepdown* dan begitu juga sebaliknya, jika lilitan sekunder lebih banyak dibandingkan dengan lilitan primer maka trafo tersebut merupakan trafo *step up*. Transformator *stepdown* biasanya digunakan untuk peralatan listrik yang membutuhkan *input* tegangan yang rendah, sisi primer akan dihubungkan dengan tegangan jala-jala 220 volt dan sisi sekunder akan menghasilkan *output* sebesar 6 volt , 9 volt dan 12 volt sesuai dengan spesifikasi yang dimiliki (Stephen, 2005).

2.4.7 Dioda

Dioda adalah komponen semikonduktor berfungsi sebagai pengantar dalam mengalirkan arus listrik. Dioda memiliki dua buah terminal pada setiap ujungnya yakni katoda dan anoda. Komponen semikonduktor ini dapat bekerja sebagai saklar tertutup apabila diberi tegangan maju (*forward bias*) dan akan berfungsi sebagai saklar terbuka apabila diberi tegangan mundur (*reverse bias*). *Forward bias* adalah kondisi dimana tegangan pada anoda lebih positif dibandingkan dengan katoda,

sedangkan *reverse bias* adalah suatu kondisi dimana tegangan katoda lebih positif dibandingkan anoda. Ada beberapa jenis dioda yang biasanya digunakan dalam bidang elektro sesuai dengan yang dibutuhkan, seperti (Boylestad, 2007):

1. Dioda penyearah yang berfungsi sebagai penyearah arus AC menjadi arus DC.
2. Dioda zener yang berfungsi sebagai pengaman sebuah rangkaian dan juga digunakan sebagai penstabil tegangan.
3. LED (*Light Emitting Diode*) yang dapat digunakan sebagai indikator.
4. *Photodiode* berfungsi sebagai sensor cahaya yang cara kerjanya dengan menyerap cahaya yang ada di sekitarnya.

2.4.8 Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronika dengan fungsi untuk menyimpan muatan listrik. Kapasitor terdiri dari dua buah konduktor yang memiliki sekat berupa lempengan yang kemudian disebut dengan keping. Terdapat dua jenis yang berbeda dari komponen ini, jenis tanpa polaritas dimana tidak mempunyai terminal positif dan negatif sedangkan jenis dengan polaritas mempunyai terminal positif dan negatif. Sisi positif dan sisi negatif pada kapasitor polar dipisahkan oleh sebuah keping, sebuah kapasitor memiliki satuan Farad. Umumnya pemasangan kapasitor polar disesuaikan dengan jalur positif dan negatif pada rangkaian, jika pemasangannya terbalik kapasitor yang dipasang akan menimbulkan ledakan. Kapasitor dapat mengalami kegagalan kerja jika kesalahan pemasangan terminalnya dan tegangan yang digunakan pada kapasitor melebihi tegangan kerjanya. Berikut merupakan fungsi lain dari sebuah kapasitor pada rangkaian elektronika (Boylestad, 2007):

1. Sebagai kopling antara rangkaian yang satu dengan rangkaian yang lainnya.
2. Perata tegangan DC pada rangkaian penyearah.
3. Pembangkit gelombang AC atau osilator.
4. Sebagai filter dalam rangkaian penyearah.
5. Menghilangkan loncatan bunga api (*bouncing*) bila dipasang pada saklar.

2.4.9 Regulator tegangan

Regulator tegangan adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk menstabilkan tegangan pada nominal tertentu. Regulator tegangan memiliki tiga buah terminal yaitu terminal *input* (V_{in}) yang terhubung ke sumber, terminal *output* (V_{out}) yang dihubungkan ke beban dan terminal ground (GND) yang terhubung ke ground.



Gambar 2.9 Regulator Tegangan
(Sumber: Boylestad, 2007)

Sesuai dengan fungsinya komponen ini biasanya digunakan untuk menstabilkan atau menurunkan suatu nominal tegangan menjadi nominal tegangan tertentu tanpa dipengaruhi oleh tegangan *input*. Regulator yang umum digunakan pada rangkaian elektronika adalah IC LM7805, LM7809 dan LM7812 pemasangannya disesuaikan dengan kebutuhan (Boylestad, 2007).