

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Gardu Distribusi

Gardu Distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi PLN yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk mendistribusikan tenaga listrik pada konsumen, tegangan menengah ataupun tegangan. Pada gardu distribusi sendiri terdiri dari instalasi perlengkapan hubung bagi tegangan menengah (PHB- TM). Transformator Distribusi, dan perlengkapan hubung bagi tegangan rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para Konsumen baik itu dengan tegangan menengah ( TM 20 KV ) maupun tegangan rendah ( TR 220/380 Volt).



**Gambar 2.1** Gardu Distribusi  
(Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 2015)

Dalam Gardu distribusi ini biasanya digunakan Transformator distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan tinggi menjadi tegangan terpakai 220/380 Volt. Pada jaringan distribusi tegangan rendah (*Step Down Transformer*); Misalkan tegangan 20 KV menjadi Tegangan 380 Volt atau 220 Volt. Sedang transformator yang digunakan untuk menaikkan tegangan listrik (*Step Up Transformer*) hanya digunakan pada pusat pembangkit tenaga listrik agar tegangan yang didistribusikan pada suatu jaringan panjang tidak mengalami penurunan tegangan (*voltage drop*) yang berarti; yaitu tidak melebihi

ketentuan voltage drop yang diperkenankan 5 % dari tegangan semula. aturan pembebanan trafo telah diatur oleh PUIL 2000 yakni < 80 % dari kapasitas trafo. Jaringan Tegangan Rendah (JTR) Perkembangan sistem kelistrikan saat ini telah mengarah pada peningkatan efisiensi dalam penyaluran energi listrik.

## **2.2 Sensor**

Sensor adalah komponen yang digunakan untuk mendeteksi suatu besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu. Hampir seluruh peralatan elektronik yang ada mempunyai sensor didalamnya. Pada saat ini, sensor tersebut telah dibuat dengan ukuran sangat kecil. Ukuran yang sangat kecil ini memudahkan pemakaian dan menghemat energi. Sensor merupakan bagian dari transduser yang berfungsi untuk melakukan *sensing* atau “merasakan dan menangkap” adanya perubahan energi eksternal yang akan masuk ke bagian input dari transduser, sehingga perubahan kapasitas energi yang ditangkap segera dikirim kepada bagian konvertor dari transduser untuk diubah menjadi energi listrik.

Variabel keluaran dari sensor yang diubah menjadi besaran listrik disebut Transduser. Pada saat ini, sensor tersebut telah dibuat dengan ukuran sangat kecil dengan orde nanometer. Ukuran yang sangat kecil ini sangat memudahkan pemakaian dan menghemat energi.

### **2.2.1 Sensor *Clamp***

Pengukuran atau pendeteksian arus listrik merupakan salah satu dari parameter utama yang diperlukan dalam kelistrikan. Misalkan untuk pengukuran arus yang besar, pengukuran daya dan sebagai parameter proteksi. *Clamp* Sensor adalah Arus AC yang mengalir pada sebuah kabel akan memberikan perubahan fluks, sehingga besarnya arus tersebut tersebut dapat diukur dengan menggunakan sistem clamp yang beroperasi berdasarkan prinsip transformator arus (CT) yang digunakan untuk mengambil fluks magnetik yang dihasilkan akibat arus yang mengalir melalui

konduktor dengan asumsi arus yang mengalir melalui konduktor menjadi arus utama. dan prinsip hukum faraday yang mengatakan bahwa perubahan fluks magnet dalam sebuah kumparan akan menimbulkan arus yang akan mengalir pada kumparan tersebut, secara umum, perubahan fluks magnet dalam sebuah kumparan akan menimbulkan arus yang mengalir pada kumparan, apabila jumlah lilitan semakin besar, maka semakin besar pula tegangan yang dapat diukur di kedua ujung kumparan. Tegangan yang terukur tergantung pada besarnya arus yang mengalir pada konduktor.



**Gambar 2.2** Clamp Sensor  
(<https://www.sparkfun.com>)

Untuk menghubungkan sensor clamp ke Arduino, nilai output dari sensor clamp yang telah disearahkan terhubung dengan analog input arduino, yaitu tegangan Vdc

### **2.2.2 Sensor Tegangan**

Sensor tegangan adalah sensor yang digunakan untuk membaca nilai tegangan pada tiap-tiap fasa R S T di sisi beban. Sensor tegangan yang digunakan adalah transformator 500mA sebanyak tiga buah yang dipasang pada tiap-tiap fasa. Jenis

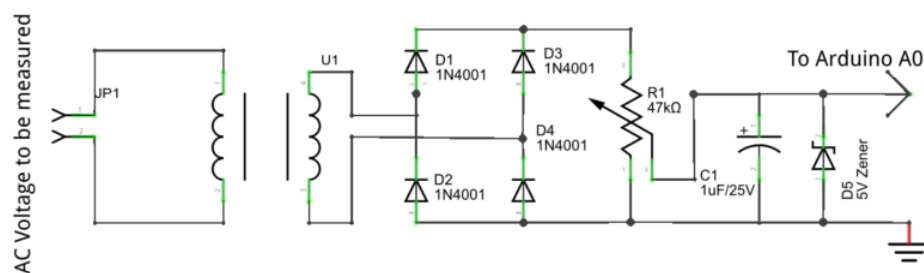
transformator yang digunakan adalah *transformator step down* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan



**Gambar 2.3** Sensor Tegangan

(<http://gloimg.everbuying.net/E/2015/201507/goods-img/1437953002178-P-2834493.jpg>)

Tegangan yang masuk ke sisi primer transformator kemudian diturunkan pada sisi sekunder kemudian masuk ke dalam input ADC internal mikrokontroler untuk diolah. Perubahan pada sisi primer transformator juga akan menyebabkan perubahan pada sisi sekunder. Perubahan tersebut yang kemudian akan dibaca oleh ADC dan diproses oleh mikrokontroler untuk ditampilkan di display.



**Gambar 2.4** Skematic Pengukuran Tegangan AC

(<http://circuit4you.com/arduino-ac-voltage>, 2016)

Pengukuran tegangan AC dapat dilakukan dengan mengubah tegangan AC menjadi DC Voltase proporsional dengan menggunakan rangkaian penyearah dan filter. Untuk penyearah pengukuran *low voltage* (mili volt) digunakan tegangan dioda

yaitu 0,7 Volt. Serupa dengan pengukuran voltase DC Pembagi tegangan dibangun menggunakan resistor variabel 47K Ohm R1. Dioda zener 5V digunakan untuk melindungi Arduino dari tegangan berlebih yang tidak disengaja. Sesuaikan resistor R1 (47K) untuk mengkalibrasi tegangan. Disini tegangan AC yang bisa kita berikan ke transformator adalah dari 50V ke 230V tergantung pada peringkatnya. Rectified DC diumpankan ke rangkaian pembagi tegangan.

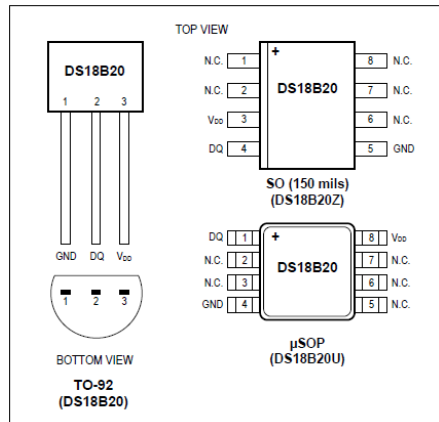
### 2.2.3 Sensor Temperatur DS18B20



**Gambar 2.5** Sensor temperature DS18B20

(<https://www.tweaking4all.com/hardware/arduino/arduino-ds18b20-temperature-sensor>)

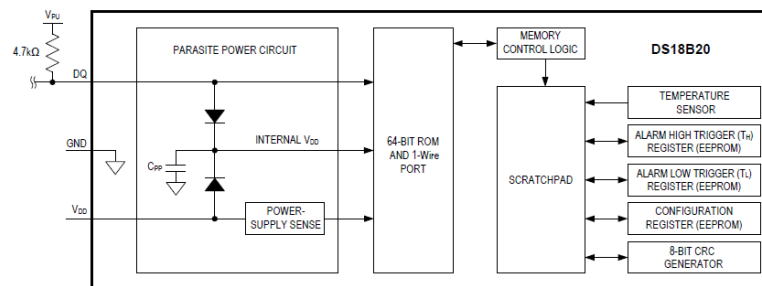
Termometer digital DS18B20 menyediakan pengukuran suhu Celcius 9-bit sampai 12-bit dan memiliki fungsi alarm dengan pemicu tingkat atas dan bawah yang tidak dapat diprogram pengguna nonvolatile. DS18B20 mengkomunikasikan bus 1-Wire yang menurut definisinya hanya membutuhkan satu jalur data (dan ground) untuk komunikasi dengan mikrokontroler pusat. Selain itu, DS18B20 dapat memperoleh daya langsung dari data line ("*powerparasite*"), sehingga menghilangkan kebutuhan akan catu daya eksternal.



**Gambar 2.6** Konfigurasi Pin DS18B20

(www.maximintergrated.com)

Setiap DS18B20 memiliki kode serial 64-bit yang unik, yang memungkinkan beberapa DS18B20 berfungsi pada bus 1-Wire yang sama. Jadi, mudah untuk menggunakan satu mikroprosesor untuk mengendalikan banyak DS18B20s yang didistribusikan di area yang luas. Aplikasi yang dapat memanfaatkan fitur ini meliputi pengendalian lingkungan HVAC, sistem pemantauan suhu di dalam bangunan, peralatan, atau mesin, dan sistem pemantauan dan pengendalian proses.



**Gambar 2.7** Blok Diagram DS18B20

(www.maximintergrated.com)

Diagram blok DS18B20, dan deskripsi pin diberikan di tabel Pin Diskripsi. ROM 64-bit menyimpan kode serial unik perangkat. Memori *scratchpad* berisi register suhu 2 byte yang menyimpan keluaran digital dari sensor suhu. Selain itu,

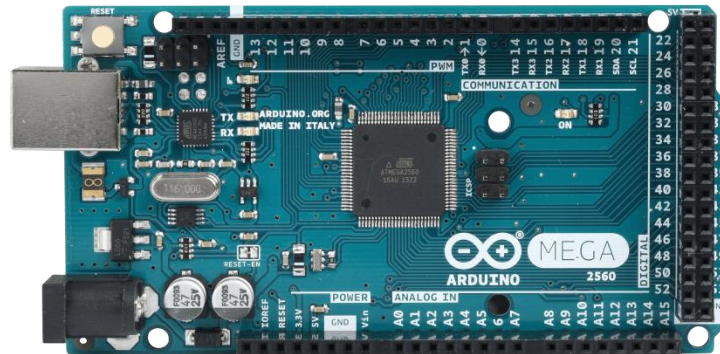
*scratchpad* menyediakan akses ke register pemicu alarm 1-byte atas dan bawah (TH dan TL) dan register konfigurasi 1-byte. Register konfigurasi memungkinkan pengguna mengatur resolusi konversi suhu-ke-digital menjadi 9, 10, 11, atau 12 bit. Register TH, TL, dan konfigurasi bersifat nonvolatile (*EEPROM*), sehingga mereka akan menyimpan data saat perangkat dimatikan. DS18B20 menggunakan protocol bus eksklusif 1-Wire Maxim yang menerapkan komunikasi bus menggunakan satu sinyal kontrol. Garis kontrol memerlukan resistor *pull up* yang lemah karena semua perangkat terhubung ke bus melalui port 3-state atau open-drain (pin DQ dalam kasus DS18B20). Dalam sistem bus ini, mikroprosesor (perangkat utama) mengidentifikasi dan menangani perangkat di bus menggunakan kode 64-bit unik masing-masing perangkat. Karena setiap perangkat memiliki kode unik, jumlah perangkat yang bisa dialamatkan pada satu bus hampir tak terbatas. Protokol bus *1-Wire*, termasuk penjelasan rinci tentang perintah dan "slot waktu", dibahas di bagian Sistem Bus 1-Kawat. Fitur lain dari DS18B20 adalah kemampuan untuk beroperasi tanpa catu daya eksternal. Tenaga dipasok melalui resistor *pull up* 1-Wire melalui pin DQ saat bus tinggi. Sinyal bus tinggi juga mengisi kapasitor internal (CPP), yang kemudian memasok daya ke perangkat saat bus rendah. Metode menurunkan daya dari bus 1-Wire disebut sebagai kekuatan pengguna. Sebagai alternatif, DS18B20 juga didukung oleh suplai eksternal pada VDD.

### **2.3 Arduino Mega 2560**

Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang didalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output seperti yang diinginkan. Jadi, mikrokontroler bertugas sebagai otak yang mengendalikan input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik.

Mikrokontroler ada pada perangkat elektronik sekeliling kita, misalnya Handphone, MP3 Player, DVD, Televisi, AC, dll. Mikrokontroler juga dapat

mengendalikan robot karena komponen utama Arduino adalah mikrokontroler, maka Arduino dapat digunakan sesuai kebutuhan kita.



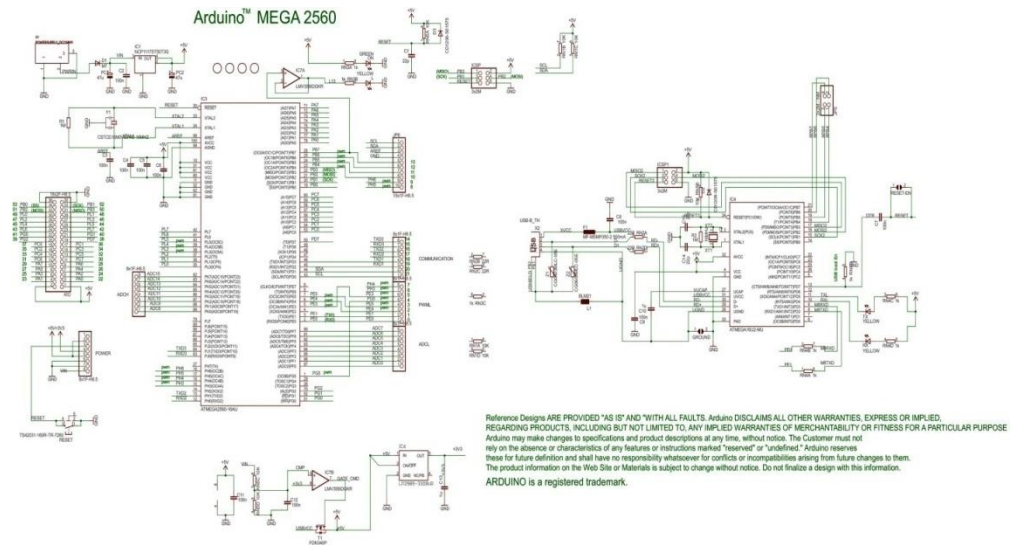
**Gambar 2.8** Arduino Mega 2560

(<https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>)

Arduino memiliki kelebihan dibandingkan dengan perangkat kontroler lainnya diantaranya adalah:

- Tidak perlu perangkat chip programmer karena didalamnya sudah ada *bootloader* yang akan menangani *upload* program dari Arduino IDE.
- Sudah memiliki sarana komunikasi USB sehingga, pengguna laptop yang tidak memiliki port serial/RS323 bisa menggunakannya.
- Memiliki modul siap pakai (*Shield*) yang bisa ditancapkan pada board arduino. Contohnya *shield GPS, Ethernet*, dll.

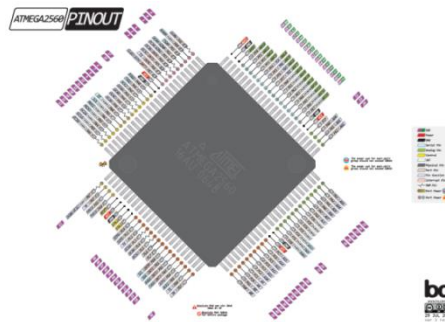




**Gambar 2.9** Skematik Arduino Mega 2560

([https://arduino-info.wikispaces.com/file/view/arduino-mega2560\\_R3-sch.jpg/603805022/arduino-mega2560\\_R3-sch.jpg](https://arduino-info.wikispaces.com/file/view/arduino-mega2560_R3-sch.jpg/603805022/arduino-mega2560_R3-sch.jpg))

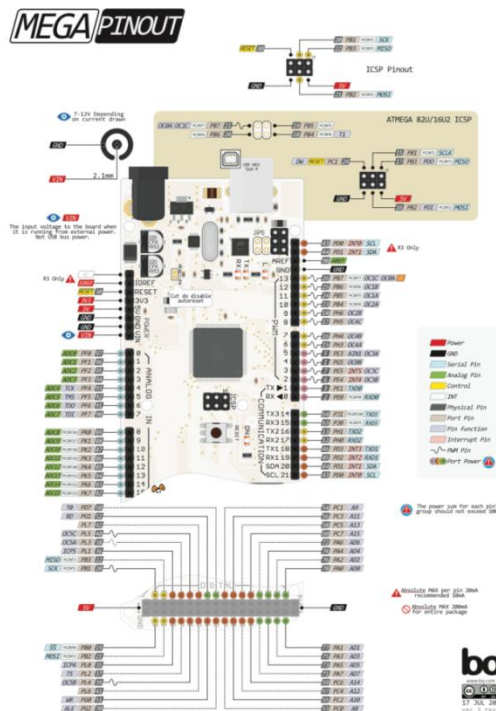
Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega2560. Arduino Mega2560 memiliki 54 pin digital input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai input analog, dan 4 pin sebagai UART (port serial hardware), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, jack power, header ICSP, dan tombol reset. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau power dihubungkan dengan adaptor AC-DC atau baterai untuk mulai mengaktifkannya. Arduino Mega 2560 kompatibel dengan sebagian besar shield yang dirancang untuk Arduino Duemilanove atau Arduino Diecimila. Arduino Mega2560 adalah versi terbaru yang menggantikan versi Arduino Mega.



**Gambar 2.11** Atmega 2560

(<https://www.bq.com>, 2014 )

Arduino Mega 2560 berbeda dari papan sebelumnya, karena versi terbaru sudah tidak menggunakan chip driver FTDI USB-to-serial. Tapi, menggunakan chip Atmega16U2 (Atmega8U2 pada papan Revisi 1 dan Revisi 2) yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial.



**Gambar 2.11** Pin Arduino Mega 2560

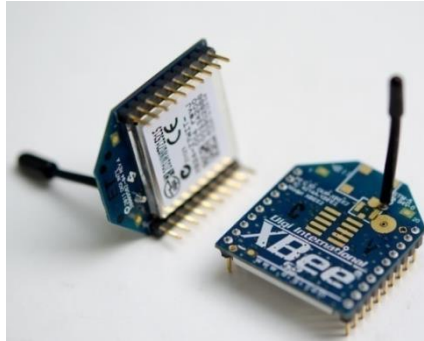
(<http://forum.arduino.cc/index.php?topic=146511.0>)

Spesifikasi Teknis dari Mikrokontroler Arduino Mega 2560 :

- Mikrokontroler : ATmega2560
- Tegangan : 5 V
- Input Tegangan : 7–12 V
- Digital I/O pins : 54 pin
- PWM digital I/O pins : 1
- Analog input pins : 16
- DC per I/O pin : 40 mA
- DC for 3.3V pins : 50 mA
- Memori Flash : 256 kB
- Bootloader flash memory : 8 kB
- SRAM : 8 kB
- EEPROM : 4 kB
- Crystal oscillator clock speed : 16 MHz
- Dimensi : 101.52 × 53.3 mm
- Weight : 37 g

#### 2.4 XBee S2C 2,4 Ghz

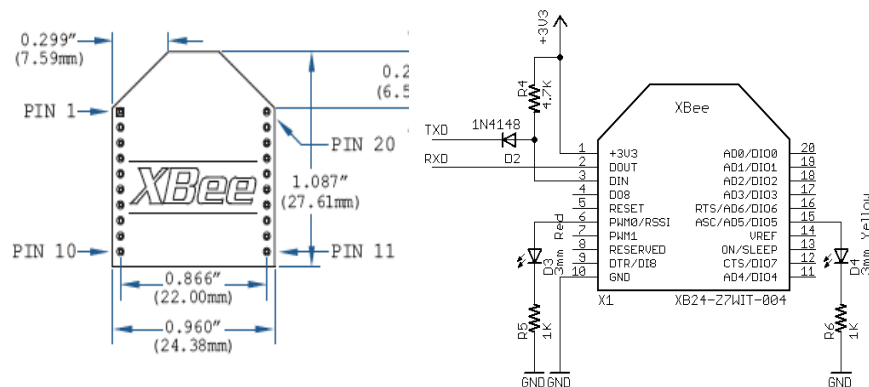
Zigbee adalah sebuah spesifikasi protokol komunikasi radio digital berdaya rendah berdasarkan spesifikasi IEEE 802.15.4 tahun 2003 dan *Zigbee Alliance* dengan jangkauan yang jauh. Spesifikasi IEEE 802.15.4 merupakan dasar dari *ZigBee* untuk lapisan bawah MAC dan PHY serta menentukan standar radio 2,4 GHz yang digunakan dunia. XBee adalah brand yang mensupport dari berbagai protokol komunikasi termasuk ZigBee 802.15.4 dan WiFi.



**Gambar 2.12 XBee S2C**

(<https://en.wikipedia.org/wiki/XBee>)

Modul RF ZigBee/ XBee yang terdiri dari firmware ZigBee yang dimuat ke perangkat XBee S2C dan Pro S2C. Modul RF ZigBee menyediakan konektivitas nirkabel ke perangkat titik akhir di jaringan ZigBee, dengan menggunakan set fitur Zigbee, modul ini dapat dioperasikan antar perangkat Zigbee lainnya, termasuk perangkat dari vendor lain. Dengan XBee pengguna dapat mengaktifkan jaringan ZigBee mereka dalam hitungan menit tanpa konfigurasi atau pengembangan tambahan. Modul RF ZigBee XBee kompatibel dengan perangkat lain yang menggunakan teknologi ZigBee XBee, termasuk *gateway* ConnectPortX, Adaptor XBee dan XBee Pro, Router, Sensor Xbee, dan produk lainnya dengan nama ZB.



**Gambar 2.13 Pin XBee dan Skematik XBee**

(<https://roy.vanegas.org/itp/tutorials/xbee> dan <http://www.arduino.cc/index.php?topic=93513.0>)

Standar protokol Xbee sama dengan standar Bluetooth. Manufaktur perangkat suatu pabrik sepenuhnya support dengan standar Xbee yang dapat berkomunikasi dengan perangkat Xbee buatan pabrik lainnya. Contohnya, Bluetooth headset motorola yang dapat berkomunikasi dengan Apple iPhone, saklar lampu Centalite Xbee dapat berkomunikasi dengan kunci pintu Black & Decker.



**Gambar 2.14** Mengirim dan Menerima Data XBee

(<http://www.digi.com/xbee/xbee-pro-s2c-zigbee-rf-module>)

Gambar diatas menunjukkan pertukaran API frame id yang berlangsung diantarmuka UART saat mengirim data radio frekuensi ke perangkat lain. Status pengiriman selalu dikirim pada akhir transmisi data kecuali id frame diatur ke 0 dalam permintaan TX. Jika data tidak dapat dikirim ke tempat tujuan, frame status pengiriman menunjukkan penyebab kegagalan. Tipe frame data yang diterima (0x90 atau 0x91) ditentukan oleh perintah.

## 2.5 XBee Shield

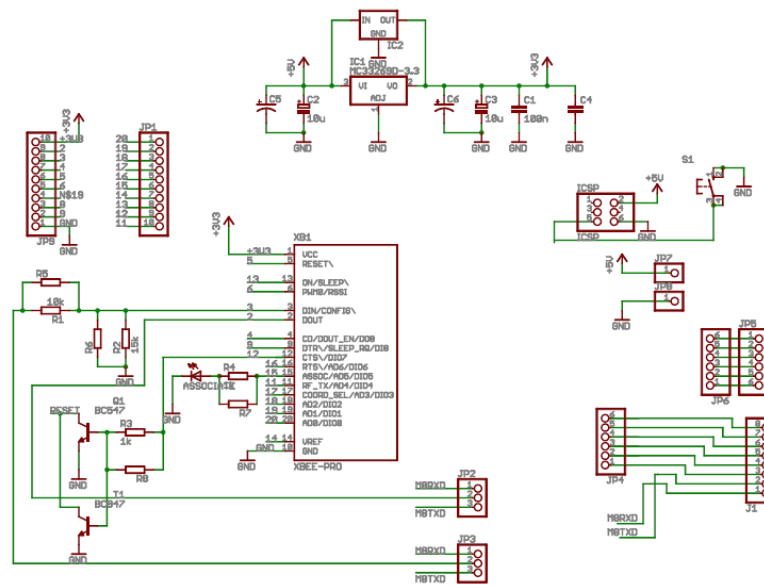


**Gambar 2.15** Xbee Shield

([https://cdn.itead.cc/media/catalog/product/i/m/im120417004\\_10.jpg](https://cdn.itead.cc/media/catalog/product/i/m/im120417004_10.jpg))

*XBee Shield* berfungsi untuk meningkatkan kemampuan komunikasi Nirkabel *Zigbee Xbee Series Modules* dan memungkinkan Arduino untuk berkomunikasi tanpa kabel. Modul yang mampu berkomunikasi hingga 100 kaki di dalam ruangan atau 300 kaki di luar ruangan (dengan garis pandang). Yang bisa digunakan sebagai pengganti serial / usb atau anda bisa memasukkannya ke dalam mode perintah dan mengkonfigurasikannya untuk berbagai pilihan jaringan. *XBee Shield* memecah masing masing pin XBee ke solder pad melalui lubang serta juga menyediakan pin Female untuk penggunaan pin digital 2 – 7 dan input analog, yang ditutupi *XBee Shield* ( pin 8 – 13 ‘Digital tidak terhalang oleh perisai). *XBee Shield* diciptakan oleh Libelium, dikembangkan dalam motilitas SquidBee mereka ( digunakan untuk membuat jaringan sensor). *XBee Shield* bisa digunakan untuk semua modul XBee termasuk versi seri 1 dan 2, standard dan pro XBee.

Perisai Xbee memiliki dua jumper (lengan plastik kecil yang bisa dilepas yang masing-masing sesuai dengan dua dari tiga pin berlabel Xbee / USB). Ini menentukan bagaimana komunikasi serial Xbee terhubung ke komunikasi serial antara mikrokontroler (ATmega8 atau ATmega168) dan chip USB-to-serial FTDI di dewan Arduino. Dengan jumper pada posisi Xbee (yaitu pada dua pin ke arah bagian dalam papan), pin DOUT modul Xbee terhubung ke pin RX dari mikrokontroler; Dan DIN terhubung ke TX. Perhatikan bahwa pin RX dan TX dari mikrokontroler masih terhubung ke pin TX dan RX (masing-masing) dari chip FTDI - data yang dikirim dari mikrokontroler akan dikirim ke komputer melalui USB dan dikirim secara nirkabel oleh modul Xbee.



**Gambar 2.16** XBee Shield Skematik

(<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoXbeeShield>, )

Mikrokontroler, bagaimanapun hanya akan dapat menerima data dari modul Xbee, tidak melalui USB dari komputer. Dengan jumper pada posisi USB (yaitu pada dua pin yang paling dekat dengan tepi papan), pin DOUT modul Xbee terhubung ke pin RX dari chip FTDI, dan DIN pada modul Xbee terhubung ke pin TX Dari chip FTDI Ini berarti bahwa modul Xbee dapat berkomunikasi langsung dengan komputer - namun, ini hanya bekerja jika mikrokontroler telah dihapus dari papan Arduino. Jika mikrokontroler dibiarkan di papan Arduino, ia akan bisa berbicara dengan komputer secara normal melalui USB, namun komputer maupun mikrokontroler tidak dapat berbicara dengan modul Xbee. Pins serial (Din dan Dout) dari XBee dihubungkan melalui saklar SPDT yang memungkinkan anda memilih koneksi ke pin UART (D0,D1) atau pin digital manapun pada standard Arduino (d2 dan D3). Sumber diambil dari pin 5V Arduino dan diatur on- board ke 3.3 VDC sebelum dipasok ke XBee. Xbee Shield juga menangani tingkat pergeseran pada pin Din dan Dout dari XBee. Pada revisi terbaru, shifter tingkat diode diganti drngna shifter tingkat Mosfet yang lebih kuat. Indikator Led untuk menunjukkan daya dan aktifitas pada pin Din, Dout, Rssi, dan Dio5 dari XBee.

## 2.6 LCD Display

Display elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis *display* elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD (*Liquid Cristal Display*) berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik. Pada gambar 2.14 merupakan tampilan dari LCD.



**Gambar 2.17** LCD (*Liquid Cristal Display*)

(<http://www.buydisplay.com/default/display-16x4-lcd-module>)

Dalam modul LCD (*Liquid Cristal Display*) terdapat mikrokontroller yang berfungsi sebagai pengendali tampilan karakter LCD (*Liquid Cristal Display*). Mikrokontroller pada suatu LCD (*Liquid Cristal Display*) dilengkapi dengan memori dan register. Memori yang digunakan microcontroler internal LCD yaitu :

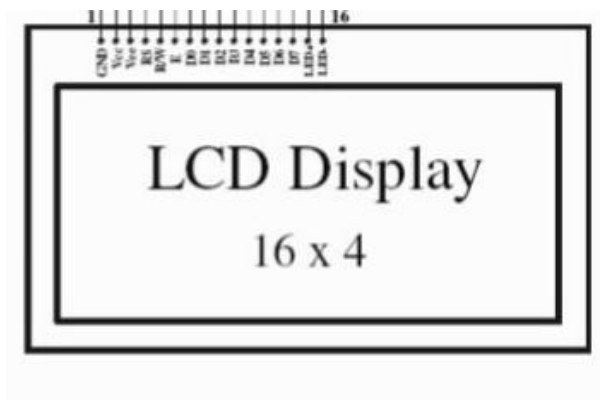
- **DDRAM** (*Display Data Random Access Memory*) merupakan memori tempat karakter yang akan ditampilkan berada.
- **CGRAM** (*Character Generator Random Access Memory*) merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana bentuk dari karakter dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan.
- **CGROM** (*Character Generator Read Only Memory*) merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana pola tersebut merupakan karakter



dasar yang sudah ditentukan secara permanen oleh pabrikan pembuat LCD (*Liquid Cristal Display*) tersebut sehingga pengguna tinggal mengambilnya sesuai alamat memorinya dan tidak dapat merubah karakter dasar yang ada dalam CGROM.

Register control yang terdapat dalam suatu LCD diantaranya adalah.

- **Register perintah** yaitu register yang berisi perintah-perintah dari mikrokontroler ke panel LCD (*Liquid Cristal Display*) pada saat proses penulisan data atau tempat status dari panel LCD (*Liquid Cristal Display*) dapat dibaca pada saat pembacaan data.
- **Register data** yaitu register untuk menuliskan atau membaca data dari atau ke DDRAM. Penulisan data pada register akan menempatkan data tersebut ke DDRAM sesuai dengan alamat yang telah diatur sebelumnya.



**Gambar 2.18** LCD 16x4 datasheet

(<http://www.picbasic.co.uk/forum/showthread.php?t=9183>)

Pin, kaki atau jalur input dan kontrol dalam suatu LCD (*Liquid Cristal Display*) diantaranya adalah :

- **Pin data** adalah jalur untuk memberikan data karakter yang ingin ditampilkan menggunakan LCD (*Liquid Cristal Display*) dapat dihubungkan dengan bus data dari rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8 bit.

- **Pin RS** (*Register Select*) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah. Logika low menunjukkan yang masuk adalah perintah, sedangkan logika high menunjukkan data.
- **Pin R/W** (*Read Write*) berfungsi sebagai instruksi pada modul jika low tulis data, sedangkan high baca data.
- **Pin E** (*Enable*) digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar.
- **Pin VLCD** berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras) dimana pin ini dihubungkan dengan trimpot 5 Kohm, jika tidak digunakan dihubungkan ke ground, sedangkan tegangan catu daya ke LCD sebesar 5 Volt.

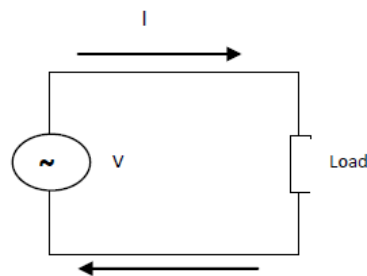
## 2.7 Daya Listrik

Daya Listrik adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya memiliki satuan *Watt*, yang merupakan perkalian dari Tegangan (*volt*) dan arus (*ampere*). Daya dinyatakan dalam *P*, Tegangan dinyatakan dalam *V* dan Arus dinyatakan dalam *I*, sehingga besarnya daya dinyatakan :

$$P = V \times I$$

$$P = \text{Volt} \times \text{Ampere} \times \text{Cos } \varphi$$

$$P = \text{Watt}$$



**Gambar 2.19** Arah Aliran arus listrik  
(Ramdhani Mohammad, 2009. Rangkaian Listrik. Jakarta. Penerbit Erlangga.)

### 2.7.1 Daya Aktif

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Adapun persamaan dalam daya aktif sebagai berikut :

$$\text{Untuk } 1P_{\text{phasa}} = V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \quad (1)$$

$$\text{Untuk } 3P_{\text{phasa}} = 3 \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \quad (2)$$

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja ( Watt ).

### 2.7.2 Daya Reaktif

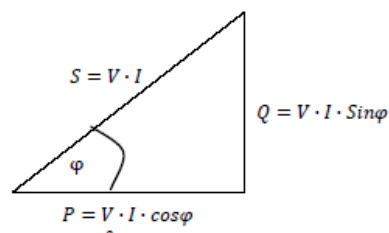
Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

$$\text{Untuk } 1P_{\text{phasa}} \quad Q = V \cdot I \cdot \text{Sin } \varphi \quad (1)$$

$$\text{Untuk } 3P_{\text{phasa}} \quad Q = 3 \cdot V \cdot I \cdot \text{Sin } \varphi \quad (2)$$

### 2.7.3 Daya Semu

Daya Semu (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan. Satuan daya semu adalah VA.

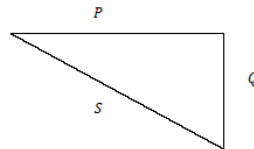


**Gambar 2.20** Penjumlahan trigonometri daya aktif, reaktif dan semu

(Ramdhani Mohammad, 2009. Rangkaian Listrik. Jakarta. Penerbit Erlangga.)

### 2.7.4 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe - tipe daya yang berbeda antara daya semu, daya aktif dan daya reaktif berdasarkan prinsip trigonometri.



**Gambar 2.21** segitiga daya

(Ramdhani Mohammad, 2009. Rangkaian Listrik. Jakarta. Penerbit Erlangga.)

dimana berlaku hubungan :

$$S = V \cdot I$$

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi$$

### 2.8 Faktor Daya

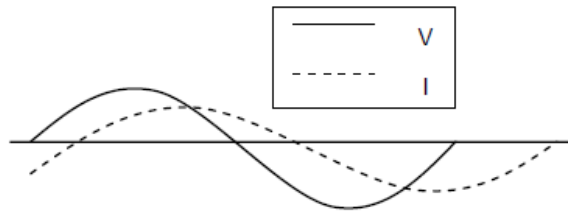
Faktor daya ( $\cos \varphi$ ) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya semu (VA) yang digunakan dalam listrik arus bolak balik (AC) atau beda sudut fasa antara  $V$  dan  $I$  yang biasanya dinyatakan dalam  $\cos \varphi$

$$\cos \varphi = 1$$

#### 2.8.1 Faktor Daya Terbelakang (Lagging)

Faktor daya terbelakang (lagging) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

1. Beban/ peralatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif.
2. Arus mendahului tegangan,  $V$  terbelakang dari  $I$  dengan sudut  $\varphi$ .



**Gambar 2.22** Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut

(Ramdhani Mohammad, 2009. Rangkaian Listrik. Jakarta. Penerbit Erlangga.)

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Daya} &= \frac{\text{Daya aktif } P}{\text{Daya semu } S} \\
 &= \frac{kW}{kVA} \\
 &= \frac{V \cdot I \cdot \cos\phi}{V \cdot I} \\
 &= \cos\phi
 \end{aligned}$$

Faktor daya mempunyai nilai range antara 0 – 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang bagus apabila bernilai mendekati satu.

$$\begin{aligned}
 \text{Tan } \phi &= \frac{\text{Daya Reaktif (Q)}}{\text{Daya Aktif (P)}} \\
 &= \frac{kVAR}{kW}
 \end{aligned}$$

Karena komponen daya aktif umumnya konstan (komponen kVA dan kVAR berubah sesuai dengan faktor daya), dapat juga di tulis sebagai berikut:

$$\text{Daya Reaktif (Q)} = \text{Daya Aktif (P)} \times \text{Tan } \phi$$

Sebuah contoh, rating kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya sebagai berikut :

$$\text{Daya reaktif pada pf awal} = \text{Daya Aktif (P)} \times \text{Tan } \phi_1$$

$$\text{Daya reaktif pada pf diperbaiki} = \text{Daya Aktif (P)} \times \text{Tan } \phi_2$$

Sehingga rating kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya adalah :


$$\text{Daya reaktif (kVAR)} = \text{Daya Aktif (kW)} \times (\text{Tan } \phi_1 - \text{Tan } \phi_2)$$

## 2.9 Sifat Beban Listrik

Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah nol. Reaktansi induktif ( $X_L$ ) akan menjadi nol yang berarti bahwa induktor tersebut akan short circuit. Reaktansi kapasitif ( $X_C$ ) akan menjadi tak berhingga yang berarti bahwa kapasitif tersebut akan open circuit. Jadi sumber DC akan mengakibatkan beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian. Bila sumber listrik AC maka beban dibedakan menjadi 3 sebagai berikut :

### 2.9.1 Beban Resistif

Beban resistif yang merupakan suatu resistor murni. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus se-fasa. Secara matematis dinyatakan :

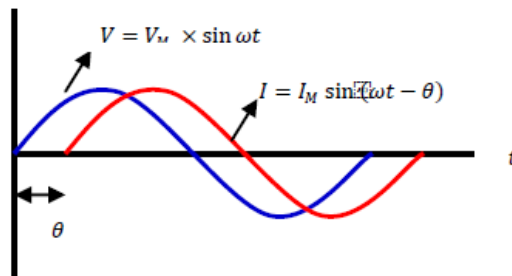
$$R = V / I$$


The diagram consists of a horizontal line with two arrows pointing to the right. The first arrow is positioned above the letter 'I' and the second arrow is positioned above the letter 'V'. This represents the relationship between current (I) and voltage (V) in a resistive load.

**Gambar 2.23** Arus dan tegangan pada beban resistif  
(Ramdhani Mohammad, 2009. Rangkaian Listrik. Jakarta. Penerbit Erlangga.)

### 2.9.2 Beban Induktif

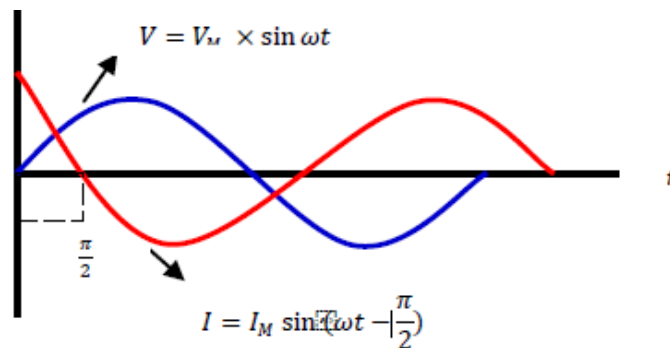
Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya inti besi, contoh : motor – motor listrik, induktor dan transformator. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “lagging”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). Tegangan mendahului arus sebesar  $\phi^\circ$ . Secara matematis dinyatakan :



**Gambar 2.24** Arus, tegangan dan GGL induksi-diri pada beban induktif  
(Ramdhani Mohammad, 2009. Rangkaian Listrik. Jakarta. Penerbit Erlangga.)

### 2.9.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “leading”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR). Arus mendahului tegangan sebesar  $\phi^\circ$ . Secara matematis dinyatakan :



**Gambar 2.24** Arus, tegangan dan GGL induksi-diri pada beban kapasitif  
(Ramdhani Mohammad, 2009. Rangkaian Listrik. Jakarta. Penerbit Erlangga.)

## 2.10 Hubungan antara Resistansi, Suhu dan Arus Listrik

Arus Listrik merupakan gerakan kelompok partikel bermuatan listrik dalam arah tertentu. Arah arus listrik yang mengalir dalam suatu konduktor adalah dari potensial tinggi ke potensial rendah. Selain dipengaruhi oleh jenis konduktor nya.

Besar dari arus listrik juga di pengaruhi oleh suhu pada medium penghantarnya. Hal tersebut dapat dilihat dari persamaan di bawah ini :

$$\Delta R = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Dimana :  $\Delta R$  : Perubahan Hambatan terhadap T

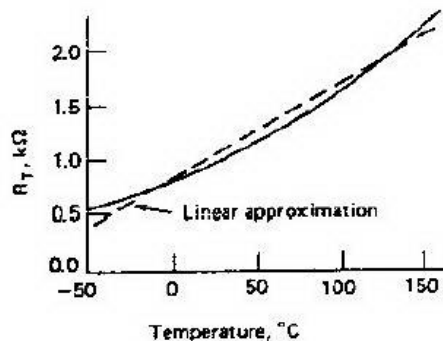
$R_0$  : Hambatan Awal

$\alpha$  : Koefisien Suhu

$\Delta T$  : Perubahan Suhu

Jadi, semakin besar suhu suatu penghantar maka hambatan yang terjadi akan semakin besar, dan jika hambatan semakin besar akan mempengaruhi besar arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar.

Nilai resistansi yang semakin meningkat pada suhu yang semakin naik menunjukkan karakteristik yang disebut *Positive Temperature Coefficient ( PTC )*



**Gambar 2.25** *Positive Temperature Coefficient ( PTC )*  
(<http://www.elektronika-dasar.web.id>)

Semakin tinggi temperatur suatu penghantar, semakin tinggi pula getaran elektron – elektron bebas dalam penghantar tersebut. Getaran – getaran elektron inilah yang akan menghambat jalannya muatan listrik ( arus listrik ) dalam penghantar tersebut. Adapun hambatan jenis penghantar. Adapun hambatan jenis penghantar (  $\rho$  ) akan berubah seiring dengan temperatur penghantar, hambatan jenis nya akan semakin tinggi.



Tabel 2.1 Hambatan Koefisien Suhu pada suatu penghantar

Bahan	Koefisien Suhu 0 °C
<i>Platina</i>	+ 0,0034
<i>Perak</i>	+ 0,0038
<i>Tembaga</i>	+ 0,0043
<i>Baja</i>	+ 0,0065
<i>Karbon</i>	- 0,0005

Tabel 2.2 Hambatan Jenis beberapa bahan

Jenis Bahan	Hambatan jenis
<i>Platina</i>	10,6 x 10 <sup>-8</sup>
<i>Perak</i>	5,9 x 10 <sup>-8</sup>
<i>Tembaga</i>	1,68 x 10 <sup>-8</sup>
<i>Baja</i>	4,0 x 10 <sup>-7</sup>
<i>Karbon</i>	3,5 x 10 <sup>-5</sup>
<i>Aluminium</i>	2,65 x 10 <sup>-8</sup>
<i>Nikrom</i>	1,2 x 10 <sup>-6</sup>

Nilai resistansi pada sebuah konduktor pada suhu ( °C ) dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$\Delta R = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Dimana :  $R_0$  : Hambatan awal pada suhu 0 °C

$R_t$  : Hambatan pada suhu X

$\alpha$  : Koefisien Suhu jenis suatu penghantar

$t$  : Suhu x °C