

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Setelah penulis melakukan telaah terhadap beberapa referensi yang ada, ada beberapa yang memiliki keterkaitan dengan perancangan yang penulis lakukan.

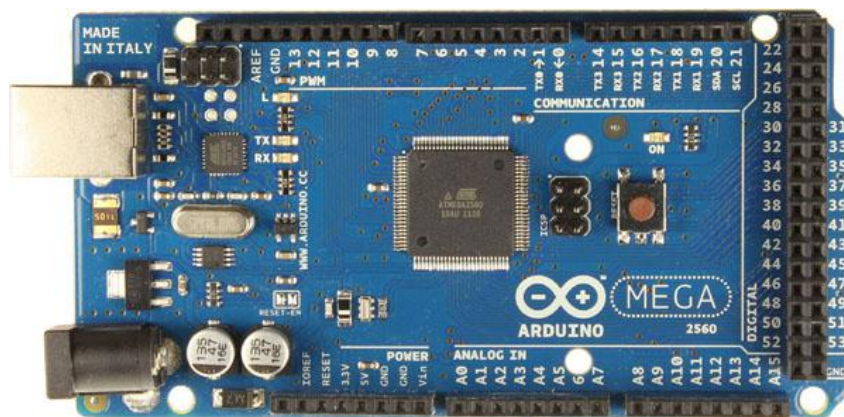
Tugas Akhir yang berjudul Monitoring Suhu Transformator Tenaga 1 Fasa Berbasis Arduino Mega 2560 Dilengkapi dengan Data Logger ^[1] membahas tentang pendeteksian arus yang tidak seimbang, dan atau keadaan pada tegangan yang mengindikasikan adanya gangguan dengan mendeteksi suhu pada kumparan dan minyak trafo menggunakan *Arduino Mega 2560* sebagai pusat kendali dari alat monitoring arus yang tidak seimbang pada transformator . Alat ini dapat mendeteksi adanya arus yang tidak seimbang dengan cara meneteksi perbedaan suhu secara *realtime* yang dapat dipantau melalui data logger. *Arduino Mega 2560* sebagai pusat kendali dari beberapa *input* yaitu sensor tegangan, sensor arus, sensor kecepatan dan *push button*. Sensor arus, tegangan, dan kecepatan digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan arus, tegangan, dan kecepatan pada motor dan ditampilkan pada HMI yang dilengkapi dengan data logger. *Push button* digunakan untuk mengontrol *starting star delta* jarak jauh.

Diharapkan dengan digunakannya alat tersebut dapat memberi informasi kondisi motor secara *real-time* ke operator pabrik untuk mengetahui kondisi motor.

Perbedaan tugas akhir yang akan dikerjakan penulis dengan referensi – referensi diatas adalah penulis akan menggunakan *Arduino Mega 2560* sebagai pusat kendali dari alat monitoring Pengasutan Motor Starting Star Delta Motor Induksi 3 Fasa. Alat ini dirancang untuk mampu memonitoring tegangan, arus, dan kecepatan Motor . Monitoring menggunakan aplikasi VT Scada dan ethernet shield sehingga dapat menampilkan arus, kecepatan dan tegangan Motor pada Mini PC melalui router.

2.2. Dasar Teori

2. 2. 1. Arduino Mega 2560



Gambar 2.1 Arduino Mega 2560^[1]

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip Arduino Mega 2560. Board ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital

I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (serial port hardware). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. Board ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler. Dengan penggunaan yang cukup sederhana, kita hanya tinggal menghubungkan power dari USB ke PC anda atau melalui adaptor AC/DC ke jack DC.^[1]

SPESIFIKASI :

Chip mikrokontroler	: Arduino Mega 25602560
Tegangan operasi	: 5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	: 7V - 12V
Tegangan input (limit, via jack DC)	: 6V - 20V
Digital I/O pin	: 54 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM output
Analog Input pin	: 16 buah

Arus DC per pin I/O	: 20 mA
---------------------	---------

Arus DC pin 3.3V	: 50 mA
------------------	---------

Memori Flash	: 256 KB, 8 KB telah digunakan untuk bootloader
--------------	--

SRAM	: 8 KB
------	--------

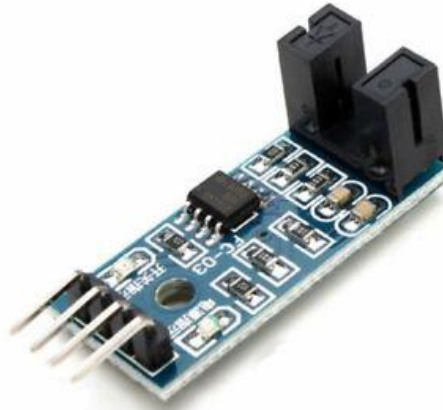
EEPROM	: 4 KB
--------	--------

Clock speed	: 16 Mhz
-------------	----------

Dimensi	: 101.5 mm x 53.4 mm
---------	----------------------

Berat	: 37
-------	------

2. 2. 2. Sensor Kecepatan Motor Optocoupler



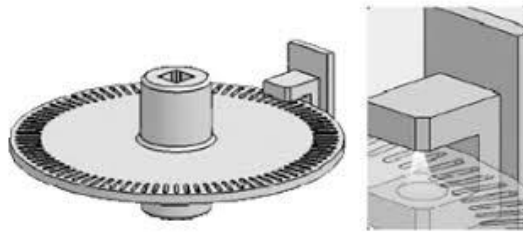
Gambar 2.2 Sensor Optocoupler^[2]

Optocoupler adalah suatu piranti yang terdiri dari 2 bagian yaitu transmitter dan receiver, yaitu antara bagian cahaya dengan bagian deteksi sumber cahaya terpisah. Biasanya optocoupler digunakan sebagai saklar elektrik, yang bekerja secara otomatis. Optocoupler adalah suatu komponen penghubung (coupling) yang bekerja berdasarkan picu cahaya optic.^[2]

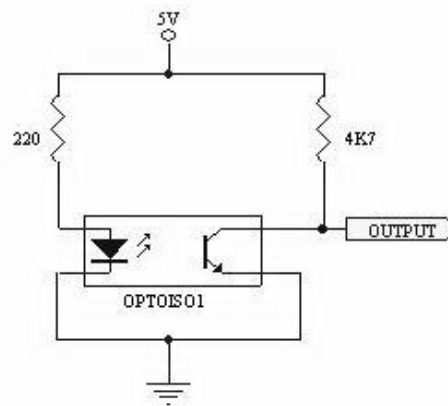
Optocoupler terdiri dari dua bagian yaitu :

- Pada transmitter dibangun dari sebuah LED infra merah. LED infra merah memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap sinyal tampak. Cahaya yang dipancarkan oleh LED infra merah tidak terlihat oleh mata telanjang.

- Pada bagian receiver dibangun dengan dasar komponen phototransistor. Phototransistor merupakan suatu transistor yang peka terhadap tenaga cahaya unruk menangkap radiasi dari sinar infra merah.



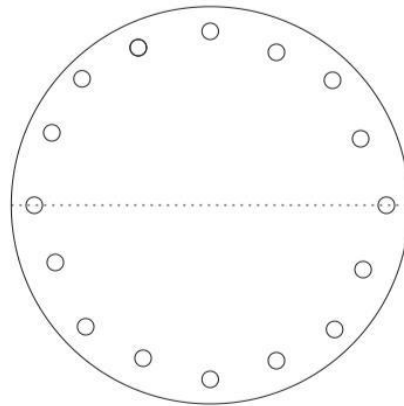
Gambar 2.3 *Optical Encoder*^[2]



Gambar 2.4 Rangkaian Optocoupler^[2]

Penerapan optocoupler pada tugas akhir ini adalah sebagai *rotary encoder* yang digunakan untuk mendeteksi kecepatan putaran motor yang nantinya akan digunakan untuk pemindahan konfigurasi dari star ke delta. *Rotary encoder* tersebut memanfaatkan sebuah piringan yang diseluruh

tepinya diberi lubang. Dan dari lubang jika berputar akan memiliki pola „1“ dan „0“ (*high dan low*).^[2]



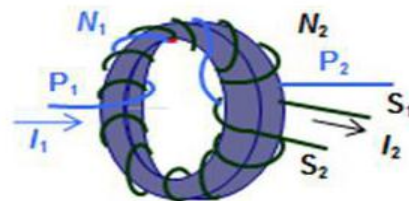
Gambar 2.5 Piringan yang digunakan^[2]

2. 2. 3. Sensor Arus

Trafo arus (*Current Transformator-CT*) yaitu perlatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik di sisi primer yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran.^[3]

Pada dasarnya prinsip kerja dari trafo arus sama dengan trafo tenaga. Jika ada arus I_1 mengalir pada kumparan primer maka akan timbul gaya gerak magnet $N_1 I_1$ yang mengakibatkan terbentuknya fluks pada inti besi. Fluks tersebut menginduksi kumparan sekunder sehingga timbul gaya gerak listrik pada kumparan sekunder. Pada saat kumparan sekunder dalam

kondisi tertutup maka akan mengalir arus I_2 . Arus ini menimbulkan gaya gerak magnet $N_2 I_2$ pada kumparan sekunder. ^[3]



Gambar 2.6Rangkaian pada CT^[3]

2. 2. 4. Sensor Tegangan

Sensor tegangan ini digunakan untuk mendapatkan parameter tegangan antar fasa dengan mengukur tegangan tiap fasa menggunakan rangkaian sensor tegangan yang telah dirancang berjumlah tiga buah dan kemudian diproses oleh mikrokontroler *Arduino Due* sehingga dapat mengetahui besar tegangan antar fasa yang ditampilkan pada *display* LCD.

Rangkaian ini pada intinya terdiri dari transformator *step down* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, rangkaian penyearah, filter kapasitor, serta rangkaian pembagi tegangan. Pada sensor tegangan ini terdapat dua buah resistor yang digunakan sebagai rangkaian pembagi tegangan yang akan menurunkan tegangan dari tegangan sumber menjadi tegangan yang dikehendaki. Sensor tegangan ini tidak langsung terhubung dengan sumber tegangan 380 volt. Nilai tegangan awal yang digunakan adalah tegangan *Line to Neutral* sebesar 220V. Karena tegangan tersebut dirasa terlalu bahaya untuk langsung diolah, baik bagi alat maupun bagi

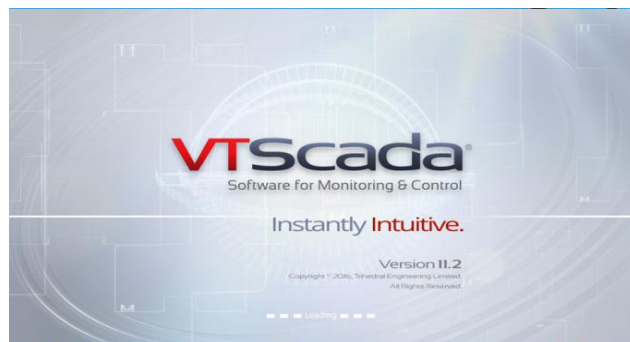
pengguna. Untuk mengatasi hal tersebut maka dibutuhkan transformator *step down* yang digunakan untuk menurunkan tegangan tersebut menjadi tegangan yang diinginkan. Kemudian tegangan tersebut disearahkan menggunakan diode penyearah gelombang penuh sehingga didapatkan tegangan keluaran volt DC yang bervariasi karena tegangan sumber antar fasanya pun juga bervariasi.

Penyearah yang dihasilkan oleh diode tersebut belum benar benar rata seperti tegangan DC pada umumnya, oleh Karena itu diperlukan kapasitor yang berfungsi sebagai *filter* (penyaring) untuk menekan *ripple* yang terjadi pada proses penyearahan gelombang AC. Kemudian tegangan DC yang sudah melewati proses penyaringan dengan kapasitor tersebut akan melewati rangkaian pembagi tegangan yang bertujuan untuk membagi tegangan yg keluar dengan tegangan yang diinginkan untuk selanjutnya di proses pada mikrokontroler *Arduino Due* melewati pin analog yang tersedia, kemudian ADC (*Analog to Digital Converter*) akan mengubah nilai tegangan analog kedalam bentuk digital yang digunakan. Selanjutnya dilakukan konversi sehingga dapat dihasilkan tegangan sebesar 380V.

2. 2. 5. **Software VT Scada**

SCADA, data – data plant diproses dan dipantau sehingga terdapat manajemen data yang di dalamnya juga difungsikan monitoring, alarming, dan controlling.

Komponen utama SCADA dibagi ke dalam tiga bagian yakni, *Control Loop*, terdiri dari sensor, PLC, dan aktuator seperti katup, breaker dan switch. *Interface Device* (HMI), sistem antarmuka dimana operator menggunakan *interface device* untuk mengatur set point, algoritma kendali dan menentukan parameter-parameter pada kontroller. *interface device* juga menampilkan informasi berupa data status dan historisnya. *Remote Diagnostic and Maintenance Utilities*, digunakan untuk mencegah, menganalisa, dan recovery dari kesalahan yang terjadi selama proses berlangsung.^[7]



Gambar 2.7 Software VT SCADA^[7]

2. 2. 6. *Ethernet Shield*

Ethernet Shield menambah kemampuan arduino board agar terhubung ke jaringan komputer. Perangkat *Ethernet Shield* ditunjukkan pada gambar 2.8.

Ethernet shield berbasiskan *chip* ethernet *Wiznet W5100*. Ethernet *library* digunakan dalam menulis program agar arduino board dapat terhubung ke jaringan dengan menggunakan *ethernet shield*. Pada *ethernet*

shield terdapat sebuah slot *micro-SD*, yang dapat digunakan untuk menyimpan file yang dapat diakses melalui jaringan. Onboard *micro-SD* card reader diakses dengan menggunakan *SDlibrary*. Arduino board berkomunikasi dengan *W5100* dan *SD card* menggunakan bus *SPI (Serial Peripheral Interface)*. Komunikasi ini diatur oleh library *SPI.h* dan *Ethernet.h*.^[5]



Gambar 2.8 Ethernet Shield^[5]

2. 2. 7. Data Logger

Data logger merupakan sebuah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengumpulkan dan merekam data dari objek yang direkam baik secara terintegrasi dengan sensor eksternal maupun sensor internal seperti sensor arus dan sensor tegangan. Data real time yang direkam dan dikumpulkan kemudian disimpan secara MMC/SD card untuk back up data apabila terjadi kerusakan pada data logger.^[8]

Biasanya ukuran fisiknya kecil, bertenaga baterai, portabel, dan dilengkapi dengan mikroprosesor, memori internal untuk menyimpan data dan sensor. Beberapa *data logger* diantarmukakan dengan komputer dan

menggunakan *software* untuk mengaktifkan *data logger* dan melihat dan menganalisa data yang terkumpul, sementara yang lain memiliki peralatan antarmuka sendiri (*keypad* dan *LCD*) dan dapat digunakan sebagai perangkat yang berdiri sendiri (*Stand-alone device*). Dan *data logger* dalam alat ini menampilkan arus, tegangan dan kecepatan motor di *software* VTScada yang hasil pengukuran tersimpan di Ms. *Excel*.^[8]

Salah satu keuntungan menggunakan *data logger* adalah kemampuannya secara otomatis mengumpulkan data setiap 24 jam. Setelah diaktifkan, *data logger* digunakan dan ditinggalkan untuk mengukur dan merekam informasi selama periode pemantauan.^[8]

2. 2. 8. Catu Daya

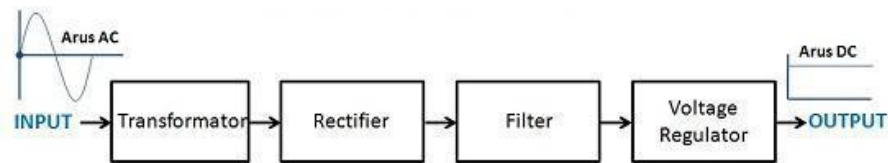
Catu daya atau sering disebut dengan *Power Supply* adalah perangkat elektronika yang berguna sebagai sumber daya untuk perangkat lain. Secara umum istilah catu daya berarti suatu sistem penyearah-filter yang mengubah ac menjadi dc murni. Sumber DC seringkali dapat menjalankan peralatan-peralatan elektronika secara langsung, meskipun mungkin diperlukan beberapa cara untuk meregulasi dan menjaga suatu ggl agar tetap meskipun beban berubah-ubah. Energi yang paling mudah tersedia adalah arus bolak-balik, harus diubah atau disearahkan menjadi dc berpulsa (*pulsating dc*), yang selanjutnya harus diratakan atau disaring menjadi tegangan yang tidak berubah-ubah. Tegangan dc juga memerlukan regulasi tegangan agar dapat menjalankan rangkaian dengan sebaiknya.^[6]

Secara garis besar, pencatu daya listrik dibagi menjadi dua macam, yaitu pencatu daya tak distabilkan dan pencatu daya distabilkan. Pencatu daya tak distabilkan merupakan jenis pencatu daya yang paling sederhana. Pada pencatu daya jenis ini, tegangan maupun arus keluaran dari pencatu daya tidak distabilkan, sehingga berubah-ubah sesuai keadaan tegangan masukan dan beban pada keluaran. Pencatu daya jenis ini biasanya digunakan pada peranti elektronika sederhana yang tidak sensitif akan perubahan tegangan. Pencatu jenis ini juga banyak digunakan pada penguat daya tinggi untuk mengkompensasi lonjakan tegangan keluaran pada penguat.^[6]

2. 2. 8. 1. Prinsip Kerja Catu Daya

Sebuah DC Power Supply atau Adaptor pada dasarnya memiliki 4 bagian utama agar dapat menghasilkan arus DC yang stabil. Keempat bagian utama tersebut diantaranya adalah Transformer, Rectifier, Filter dan Voltage Regulator.

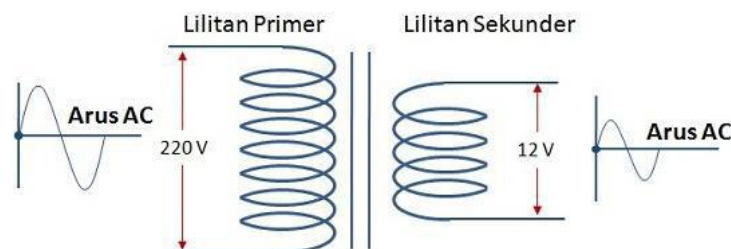
Sebelum kita membahas lebih lanjut mengenai Prinsip Kerja DC Power Supply, sebaiknya kita mengetahui Blok-blok dasar yang membentuk sebuah DC Power Supply atau Pencatu daya ini. Dibawah ini adalah Diagram Blok DC Power Supply (Adaptor) pada umumnya.^[6]



Gambar 2.9 Blok Diagram DC Power Supply^[6]

a. Transformator (Transformer / Trafo)

Transformator (Transformer) atau disingkat dengan Trafo yang digunakan untuk DC Power supply adalah Transformer jenis Step-down yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan komponen Elektronika yang terdapat pada rangkaian adaptor (DC Power Supply). Transformator bekerja berdasarkan prinsip Induksi elektromagnetik yang terdiri dari 2 bagian utama yang berbentuk lilitan yaitu lilitan Primer dan lilitan Sekunder. Lilitan Primer merupakan Input dari pada Transformator sedangkan Output-nya adalah pada lilitan sekunder. Meskipun tegangan telah diturunkan, Output dari Transformator masih berbentuk arus bolak-balik (arus AC) yang harus diproses selanjutnya.^[6]

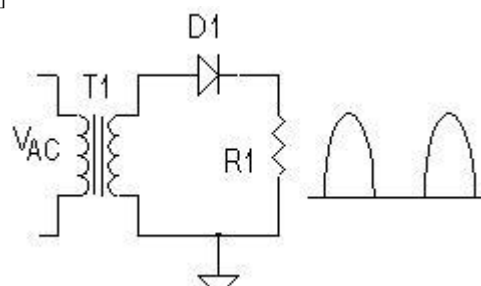


Gambar 2.10 Transformator / Trafo Step Down^[6]

b. Penyearah Gelombang (*Rectifier*)

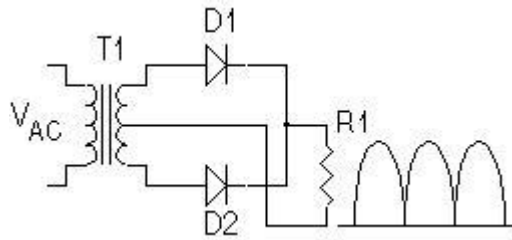
Rectifier atau penyearah gelombang adalah rangkaian Elektronika dalam Power Supply (catu daya) yang berfungsi untuk mengubah gelombang AC menjadi gelombang DC setelah tensinya diturunkan oleh Transformator Step down. Rangkaian Rectifier biasanya terdiri dari komponen Dioda. Terdapat 2 jenis rangkaian Rectifier dalam Power Supply yaitu “Half Wave Rectifier” yang hanya terdiri dari 1 komponen Dioda dan “Full Wave Rectifier” yang terdiri dari 2 atau 4 komponen dioda.^[6]

Prinsip penyearah (rectifier) yang paling sederhana ditunjukkan pada gambar 2.10 berikut ini. Transformator diperlukan untuk menurunkan tegangan AC dari jala-jala listrik pada kumparan primernya menjadi tegangan AC yang lebih kecil pada kumparan sekundernya.^[6]

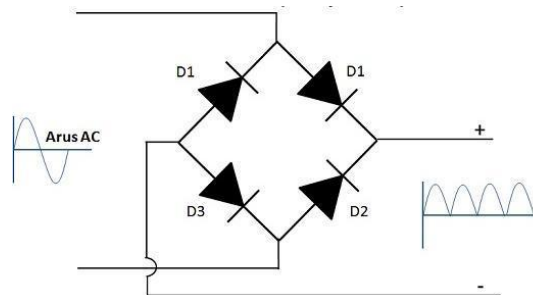


Gambar 2.11 Rangkaian penyearah sederhana^[6]

Pada rangkaian ini, dioda berperan untuk hanya meneruskan tegangan positif ke beban RL. Ini yang disebut dengan penyearah setengah gelombang (*half wave*). Untuk mendapatkan penyearah gelombang penuh (full wave) diperlukan transformator dengan center tap (CT) seperti pada gambar 2.11



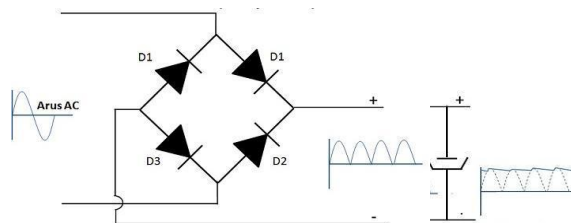
Gambar 2.12 Rangkaian penyearah gelombang penuh^[6]



Gambar 2.13 Rangkaian Penyearah DC *Power Supply*^[6]

c. Penyaring (*Filter*)

Dalam rangkaian DC Power supply, filter digunakan untuk meratakan sinyal arus yang keluar dari Rectifier. Filter ini biasanya terdiri dari komponen Kapasitor (Kondensator) yang berjenis Elektrolit atau ELCO (*Electrolyte Capacitor*).^[6]

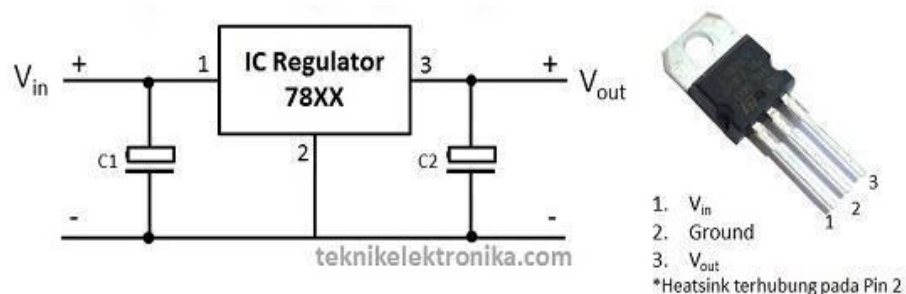


Gambar 2.14 Penyaring (*Filter*) DC *Power Supply*^[6]

d. Pengatur Tegangan (*Voltage Regulator*)

Untuk menghasilkan Tegangan dan Arus DC (arus searah) yang tetap dan stabil, diperlukan *Voltage Regulator* yang berfungsi untuk mengatur tegangan sehingga tegangan Output tidak dipengaruhi oleh suhu, arus beban dan juga tegangan input yang berasal Output Filter. *Voltage Regulator* pada umumnya terdiri dari Dioda Zener, Transistor atau IC (Integrated Circuit).^[6]

Pada DC Power Supply yang canggih, biasanya *Voltage Regulator* juga dilengkapi dengan *Short Circuit Protection* (perlindungan atas hubung singkat), *Current Limiting* (Pembatas Arus) ataupun *Over Voltage Protection* (perlindungan atas kelebihan tegangan).^[6]



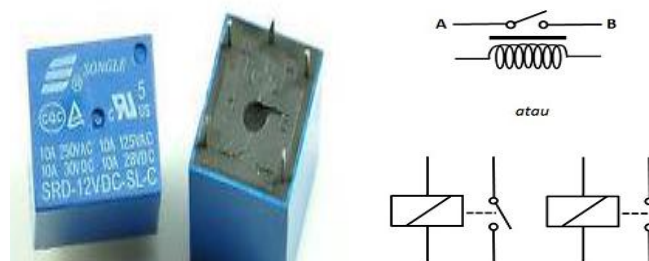
Gambar 2.15 Rangkaian Dasar IC *Voltage Regulator*^[6]

2. 2. 9. Driver Relay

Rangkaian driver relay adalah rangkaian yang dibangun dari bermacam-macam komponen elektronika yang memiliki fungsi saling mendukung antara komponen yang satu dengan komponen yang lain. Masingmasing komponen tersebut digunakan untuk mencapai satu tujuan, yaitu dapat membuat saklar elektronik. Saklar dapat menyambung dan

memutuskan arus listrik. Selain itu rangkaian driver relay merupakan rangkaian elektronika yang bisa mengendalikan pengoperasian sesuatu dari jarak jauh. Dengan demikian, harus dibuat fungsi rangkaian pengendali yang sama. Bahkan sebaiknya saklar elektronik tersebut bersifat otomatis tanpa ada orang yang bertugas menekan saklar tersebut. ^[16]

Relay menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. Sebagai contoh, dengan *relay* yang menggunakan elektromagnet 5 Volt dan 50 mA mampu menggerakkan *armature relay* (yang berfungsi sebagai saklarnya) untuk menghantarkan listrik 220V 2A. ^[17]

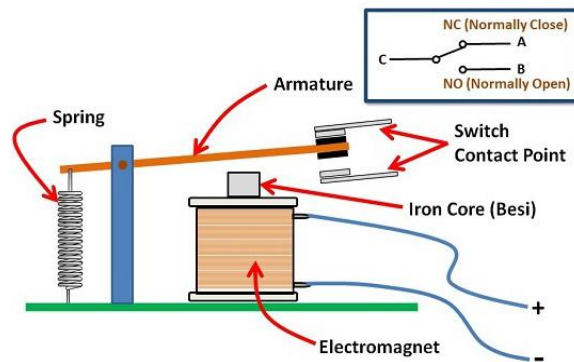


Gambar 2.16 *Relay*^[17]

Pada dasarnya, *relay* terdiri dari empat komponen dasar, yaitu :

- 1) Electromagnet (*coil*)
- 2) *Armature*
- 3) *Switch contact point* (saklar)
- 4) *Spring*

Berikut ini merupakan gambar bagian-bagian *relay* :



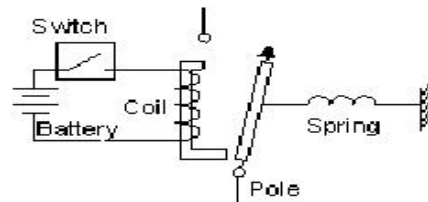
Gambar 2.17 Struktur Relay SPDT^[17]

Prinsip kerja relay berdasarkan gambar 2.19, sebuah besi (iron core) yang dililit oleh sebuah kumparan coil yang berfungsi untuk mengendalikan besi tersebut. Apabila kumparan coil diberikan arus listrik, maka akan timbul gaya elektromagnet yang kemudian menarik armature untuk berpindah dari posisi sebelumnya (NC) ke posisi baru (NO) sehingga menjadi saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi barunya (NO). Posisi dimana armature tersebut berada sebelumnya (NC) akan menjadi open atau tidak terhubung. Pada saat tidak dialiri arus listrik, armature akan kembali lagi ke posisi awal (NC). Coil yang membutuhkan arus listrik yang relatif kecil. Kontak poin (contact point) relay terdiri dari 2 jenis yaitu :^[17]

- 1) *Normally close* (NC) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *close* (tertutup)^[17]
- 2) *Normally open* (NO) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *open* (terbuka).^[17]

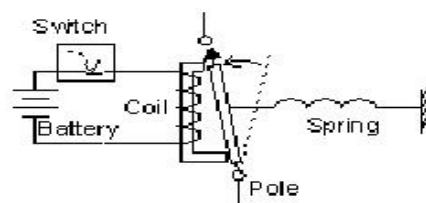
Kontak *normally open* (NO) akan membuka ketika tidak ada arus yang mengalir pada kumparan, tetapi tertutup secepatnya setelah kumparan

menghantarkan arus atau diberi tenaga. *Relay* pada saat kontak *normally open* terlihat pada gambar 2.20.^[17]



Gambar 2.18 *Normally Open*^[17]

Pada saat kontak *normally close* akan tertutup apabila kumparan tidak diberi daya dan membuka ketika kumparan diberi daya. *Relay* pada saat kontak *normally close* terlihat pada gambar 2.21 Apabila kumparan diberi daya, terjadi medan elektromagnetis. Aksi dari medan pada gilirannya menyebabkan *plunger* bergerak pada kumparan menutup kontak NO dan membuka kontak NC.^[17]



Gambar 2.19 *Normally Close*^[17]

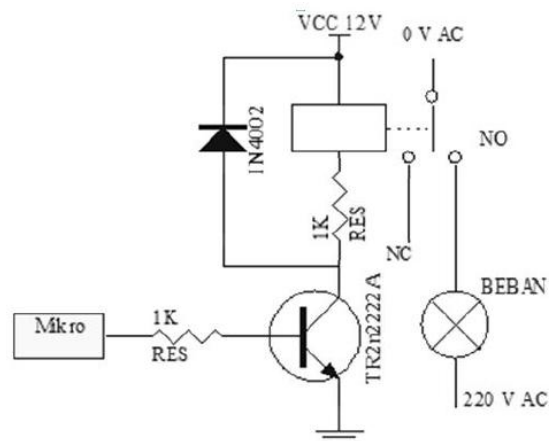
Beberapa fungsi *relay* yang telah umum diaplikasikan kedalam peralatan elektronika diantaranya adalah:

- 1) *Relay* digunakan untuk menjalankan fungsi logika (*logic function*)
- 2) *Relay* digunakan untuk memberikan fungsi penundaan waktu (*time delay function*)

- 3) *Relay* digunakan untuk mengendalikan sirkuit tegangan tinggi dengan bantuan dari signal tegangan rendah
- 4) Ada juga *relay* yang berfungsi untuk melindungi motor ataupun komponen lainnya dari kelebihan tegangan ataupun hubung singkat (*short*).

Driver relay adalah rangkaian elektronika yang biasanya digunakan untuk mengendalikan serta pengoperasian sesuatu dari jarak jauh atau semacam *remote*. Tentunya rangkaian ini bisa mempermudah dan juga memperlancar pekerjaan yang memang kadang membutuhkan rangkaian dari *relay* ini. Dengan menggunakan rangkaian *relay* tersebut, anda bisa melakukan kontrol dan juga mengoperasikan perangkat elektronik yang anda miliki dari jarak jauh dan tentu saja anda tidak perlu bergeser serta berpindah tempat duduk.^[17]

Komponen inti dari *driver relay* adalah transistor. Cara yang termudah untuk menggunakan sebuah transistor adalah sebagai sebuah *switch* artinya bahwa kita mengoperasikan transistor pada salah satu dari saturasi atau titik sumbat, tetapi tidak di tempat-tempat sepanjang garis beban. Jika sebuah transistor berada dalam keadaan saturasi, transistor tersebut seperti sebuah *switch* yang tertutup dari kolektor emiter. Jika transistor tersumbat (*cutoff*), transistor seperti sebuah *switch* yang terbuka.^[17]



Gambar 2.20 Rangkaian *Driver Relay*^[17]

Gambar 2.22 merupakan gambar rangkaian driver relay dimana rangkaian tersebut merupakan rangkaian *switching* transistor yang digerakkan oleh tegangan *step* yang berasal dari *power supply*. Jika tegangan input (dari mikrokontroler) nol, transistor tersumbat (*cutoff*). Dalam hal ini, transistor kelihatannya seperti sebuah *switch* yang terbuka. Dengan tidak adanya arus yang melalui tahanan kolektor, maka tegangan output sama dengan +12 V.^[17]

2. 2. 10. Motor Induksi

Motor induksi adalah suatu mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi gerak dengan menggunakan gandengan listrik dan mempunyai slip antara medan stator dan medan rotor. Stator adalah bagian dari mesin yang tidak berputar dan terletak pada bagian luar. Stator terbuat dari besi bundar berlaminasi dan mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan kumparan. Rotor adalah bagian dari mesin yang berputar bebas dan letaknya di bagian dalam. Rotor terbuat dari besi laminasi yang

mempunyai slot dengan batang aluminium / tembaga yang terhubung singkat pada ujungnya. Motor induksi merupakan salah satu mesin asinkronous (*asynchronous motor*) karena mesin ini beroperasi pada kecepatan di bawah kecepatan sinkron. ^[9]



Gambar 2.21 Motor Induksi Tiga Fasa 380/660^[9]

Kecepatan sinkron ini dipengaruhi oleh frekuensi mesin dan banyaknya kutub pada mesin. Motor induksi selalu berputar dibawah kecepatan sinkron karena medan magnet yang terbangkitkan pada stator akan menghasilkan fluks pada rotor sehingga rotor tersebut dapat berputar. ^[9]

Namun fluks yang terbangkitkan pada rotor mengalami *lagging* dibandingkan fluks yang terbangkitkan pada stator sehingga kecepatan rotor tidak akan secepat kecepatan putaran medan magnet. ^[9]

Motor AC 3 phase bekerja dengan memanfaatkan perbedaan fasa sumber untuk menimbulkan gaya putar pada rotornya. Apabila sumber tegangan 3 fase dipasang pada kumparan stator, akan timbul medan putar dengan kecepatan seperti rumus berikut :

$$N_s = 120 f/p$$

dimana N_s merupakan Kecepatan medan putar, f yaitu Frekuensi Sumber. dan P adalah Kutub motor.

Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada batang konduktor dari rotor akan timbul GGL induksi. Karena batang konduktor merupakan rangkaian yang tertutup maka GGL akan menghasilkan arus (I). Adanya arus (I) di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. GGL induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar GGL induksi tersebut timbul, diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r).^[9]

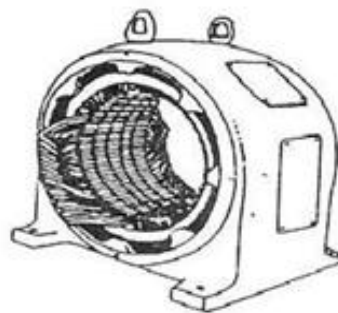
2.2.10.1 Bagian – Bagian Motor Induksi 3 Fasa

Secara umum motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator yang diam. Diantara stator dengan rotor ada celah udara (*gap*) yang jaraknya sangat kecil.^[10]

Komponen stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Stator terdiri dari susunan laminasi inti yang memiliki alur (*slot*) yang menjadi tempat dudukan kumparan yang dililitkan dan berbentuk silindris.^[10]

Motor induksi memiliki dua komponen yang utama, kedua komponen tersebut adalah :

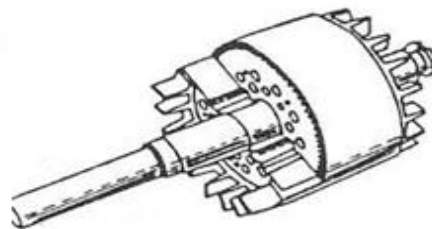
1. Stator, merupakan suatu bagian dari motor yang diam. Stator terdiri dari tiga buah kumparan, ujung-ujung belitan kumparan dihubungkan melalui terminal untuk memudahkan penyambungan dengan sumber tegangan. Masing-masing kumparan memiliki kutub. Banyaknya kutub tersebut mempengaruhi kecepatan motor induksi. ^[10]



Gambar 2.22 Stator ^[10]

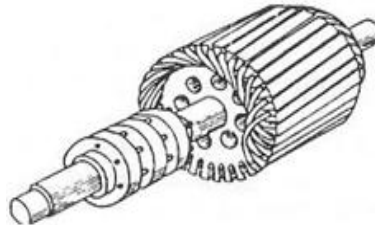
2. Rotor, merupakan bagian dari motor yang bergerak. Rotor dapat dikategorikan menjadi dua kategori yaitu :
 - a. Rotor Sangkar, motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan daripada jenis rotor lilit, sebab rotor sangkar mempunyai bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang-batang penghantar yang ditempatkan di dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari tembaga, *alloy* atau aluminium. Ujung-ujung batang penghantar dihubungkan singkat oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk sangkar tupai. Motor induksi yang menggunakan rotor ini disebut motor induksi rotor

sangkar. Karena batang penghantar rotor yang telah dihubungkan singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur-alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengan sumbu tetapi sedikit miring. ^[10]



Gambar 2.23 Rotor Sangkar ^[10]

- b. Rotor Lilit, rotor lilit terdiri atas belitan fasa banyak, belitan ini dimasukkan ke dalam alur-alur inti rotor. Belitan ini sama dengan belitan dan stator, tetapi belitan selalu dihubungkan secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal-terminal sikat/cincin seret yang terletak pada poros rotor. Pada jenis rotor lilit dapat mengatur kecepatan motor dengan cara mengatur tahanan belitan rotor tersebut. Pada keadaan kerja normal sikat karbon yang berhubungan dengan cincin seret tadi dihubungkan singkat. Motor induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan Motor Induksi *Slipring* atau Motor Induksi Rotor Lilit. ^[10]



Gambar 2.24 Rotor Lilit ^[10]

2.2.10.2 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

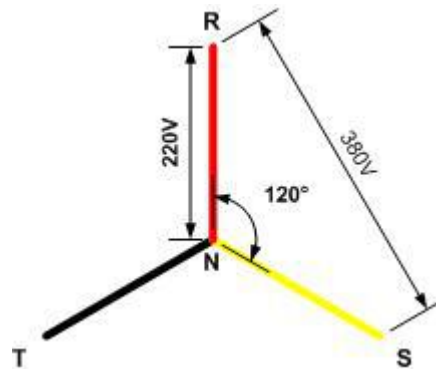
Ada beberapa prinsip kerja motor induksi :

1. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan medan (stator), timbulah medan putar dengan kecepatan, $n_s = \frac{120f}{p}$.^[9]
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. ^[9]
3. Akibatnya pada kumparan jangkar (rotor) timbul tegangan induksi (ggl)
4. E_{2s} adalah tegangan induksi pada saat rotor berputar
 Karena kumparan jangkar merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I). Adanya arus di dalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor. ^[9]
5. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel poros, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. ^[9]

6. Seperti telah dijelaskan pada poin 3 bahwa tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r).^[9]
7. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut *slip*.^[9]
8. Bila $n_r = n_s$ tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .^[9]
9. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau *asinkron*.^[10]

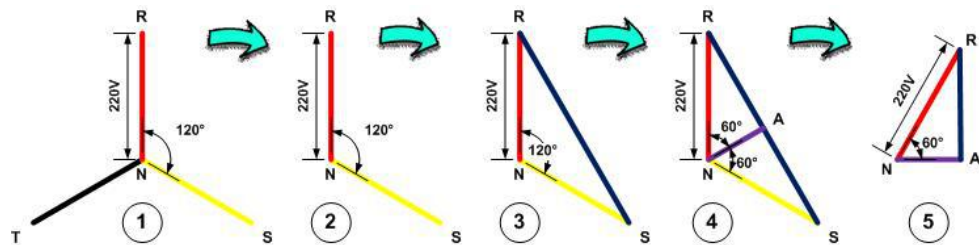
2. 2. 11. Tegangan 3 Fasa

Tegangan tiga fasa sering digambarkan dengan tiga buah garis dengan satu ujung saling bertemu, sehingga setiap garis membentuk sudut 120 derajat. Sudut itulah yang disebut sudut perbedaan fasa antara satu fasa dengan fasa lainnya sebesar 120 derajat. Seperti diperlihatkan pada gambar berikut:^[11]



Gambar 2.25 Tegangan 3 fasa^[11]

Untuk mencari darimana datangnya akar tiga, Mari kita coba gunakan perhitungan matematika sederhana, dengan bantuan gambar sebagai berikut:^[11]



Gambar 2.26 Perhitungan 3 fasa^[11]

- Gambar 1 adalah representasi dari tegangan tiga fasa dan netral, dimana tegangan fasa ke netral adalah 220V ($V_{RN}=220V$, $V_{SN}=220V$, $V_{TN}=220V$)^[11]
- Gambar 2 merupakan cuplikan dua buah fasa, dimana antara dua fasa berbeda sudut 120 derajat.^[11]

- Gambar 3, ditarik garis dari R ke S, yang merepresentasikan tegangan antar fasa atau VRS.^[11]
- Gambar 4, bidang segitiga RSN, dibagi dua dengan menarik garis NA, sehingga terbentuk dua buah segitiga yang memiliki bentuk serupa, dengan sudut RNA=sudut SNA, sebesar 60 derajat.^[11]
- Gambar 5, merupakan potongan segitiga RNA dari gambar 4, dari gambar inilah dasar perhitungan akan dimulai.^[11]

Ingat rumus untuk menghitung kaki-kaki segitiga. Dengan mengacu pada gambar 5, didapat:

$$\sin 60^\circ = \frac{RA}{RN}$$

$$\sin 60^\circ = \frac{RA}{220}$$

$$RA = 220 \times \sin 60^\circ$$

$$RA = 220 \times \frac{1}{2} \sqrt{3}$$

$$RA = 110 \times \sqrt{3}$$

Dari perhitungan di atas, kembali ke gambar 4, RS=RA+AS, dan RA=AS, sehingga RS=RA+RA atau RS=2RA, sehingga:

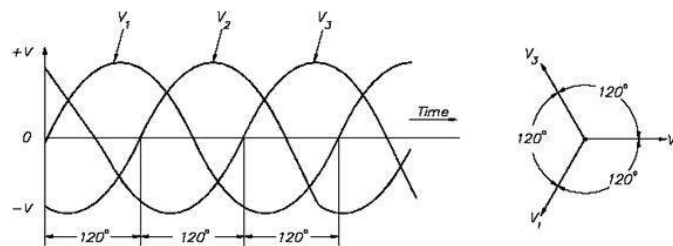
$$\begin{aligned}
 RS &= 2 \times RA \\
 RS &= 2 \times 110 \times \sqrt{3} \\
 RS &= 220 \times \sqrt{3} \\
 RS &= 381,05 \\
 RS &\sim 380
 \end{aligned}$$

Sehingga VRS=380volt

Hal serupa berlaku untuk VST dan VTR

2. 2. 12. Hubungan Bintang Segitiga(Star-Delta)

Pada sistem tenaga listrik 3 fase, idealnya daya listrik yang dibangkitkan, disalurkan dan diserap oleh beban semuanya seimbang, $P_{\text{pembangkitan}} = P_{\text{pemakaian}}$, dan juga pada tegangan yang seimbang. Pada tegangan yang seimbang terdiri dari tegangan 1 fase yang mempunyai magnitudo dan frekuensi yang sama tetapi antara 1 fase dengan yang lainnya mempunyai beda fase sebesar 120° listrik, sedangkan secara fisik mempunyai perbedaan sebesar 60° , dan dapat dihubungkan secara bintang (Y, wye) atau segitiga (delta, Δ , D).

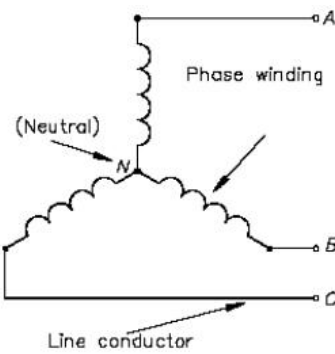


Gambar 2.27 Sistem Tiga Fasa

Gambar 2.27 menunjukkan fasor diagram dari tegangan fase. Bila fasor-fasor tegangan tersebut berputar dengan kecepatan sudut dan dengan arah berlawanan jarum jam (arah positif), maka nilai maksimum positif dari fase terjadi berturut-turut untuk fase V_1 , V_2 dan V_3 . sistem 3 fase ini dikenal sebagai sistem yang mempunyai urutan fasa a – b – c . sistem tegangan 3 fase dibangkitkan oleh generator sinkron 3 fase.

2.2.11.1 Hubungan Bintang

Pada hubungan bintang (Y, wye), ujung-ujung tiap fase dihubungkan menjadi satu dan menjadi titik netral atau titik bintang. Tegangan antara dua terminal dari tiga terminal a – b – c mempunyai besar magnitude dan beda fasa yang berbeda dengan tegangan tiap terminal terhadap titik netral. Tegangan V_a , V_b dan V_c disebut tegangan “fase” atau V_f .



Gambar 2.28 Hubungan Bintang

Dengan adanya saluran / titik netral maka besaran tegangan fase dihitung terhadap saluran / titik netralnya, juga membentuk sistem tegangan 3 fasa yang seimbang dengan magnitudenya (akar 3 dikali magnitude dari tegangan fase).

$$V_{\text{fase}} = \frac{V_{\text{Line}}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(1)$$

$$V_{\text{line}} = \sqrt{3}V_{\text{fase}} = 1,73V_{\text{fase}} \dots\dots\dots(2)$$

Sedangkan untuk arus yang mengalir pada semua fase bernilai sama

$$I_{\text{Line}} = I_{\text{fase}} \dots\dots\dots(3)$$

Sebagaimana diketahui bahwa

$$P_{3\text{fase}} = 3 \times P_{1\text{fase}} \dots\dots\dots(4)$$

$$P_{3\text{fase}} = 3 \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(5)$$

Pada hubungan bintang untuk sistem 1 fasa dikenal dengan persamaan (1)

dan (3), maka

$$P_{3\text{fase}} = 3 \times V_{\text{fase}} \times I_{\text{fase}} \times \cos \varphi$$

Karena besaran pengenal pada listrik 3 fasa adalah V_{Line} dan I_{Line} , maka sesuai dengan persamaan (2) dan (3) maka

$$P_{3\text{fasa}} = 3 \times \frac{V_{Line}}{\sqrt{3}} \times I_{Line} \times \cos \varphi$$

$$P_{3\text{fasa}} = 3 \times \frac{V_{Line}}{\sqrt{3}} \times \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \times I_{Line} \times \cos \varphi$$

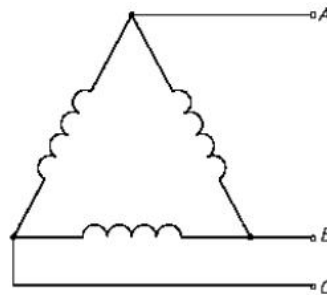
$$P_{3\text{fasa}} = 3 \times \frac{\sqrt{3}V_{Line}}{3} \times I_{Line} \times \cos \varphi$$

Sehingga didapatkan daya 3 fasa

$$P_{3\text{fasa}} = \sqrt{3} \times V_{Line} \times I_{Line} \times \cos \varphi$$

2.2.11.2 Hubungan Delta

Pada hubungan segitiga (delta, Δ , D) ketiga fase saling dihubungkan sehingga membentuk hubungan segitiga 3 fase.



Gambar 2.29 Hubungan Delta

Dengan tidak adanya titik netral, maka besarnya tegangan saluran dihitung antar fase, karena tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar magnitude yang sama, maka:

$$V_{line} = V_{\text{fase}} \dots \dots \dots (6)$$

Tetapi arus saluran dan arus fasa tidak sama dan hubungan antara kedua arus tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan hukum kirchoff, sehingga:

$$I_{\text{fasa}} = \frac{I_{\text{Line}}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(7)$$

$$I_{\text{line}} = \sqrt{3}I_{\text{fasa}} = 1,73I_{\text{fasa}} \dots\dots\dots(8)$$

Sesuai dengan hubungan delta 1 fasa yaitu persamaan (6) dan (7), maka pada persamaan (1) didapat

$$P_{3\text{fasa}} = 3 \times V_{\text{fasa}} \times I_{\text{fasa}} \times \cos \varphi$$

Karena besaran pengenalan pada listrik 3 fasa adalah V_{Line} dan I_{Line} , maka sesuai dengan persamaan (6) dan (8) maka

$$P_{3\text{fasa}} = 3 \times V_{\text{Line}} \times \frac{I_{\text{Line}}}{\sqrt{3}} \times \cos \varphi$$

$$P_{3\text{fasa}} = 3 \times V_{\text{Line}} \times \frac{I_{\text{Line}}}{\sqrt{3}} \times \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \times \cos \varphi$$

$$P_{3\text{fasa}} = 3 \times V_{\text{Line}} \times \frac{\sqrt{3}I_{\text{Line}}}{3} \times \cos \varphi$$

Sehingga diperoleh daya 3 fasa

$$P_{3\text{fasa}} = V_{\text{Line}} \times \sqrt{3}I_{\text{Line}} \times \cos \varphi$$

2.2.13. Router

Router adalah sebuah alat yang mengirimkan paket data melalui sebuah jaringan atau Internet menuju tujuannya, melalui sebuah proses yang dikenal sebagai routing. Proses routing terjadi pada lapisan 3 (Lapisan jaringan seperti *Internet Protocol*) dari *stack* protokol tujuh-lapis OSI. [5]

Router berfungsi sebagai penghubung antar dua atau lebih jaringan untuk meneruskan data dari satu jaringan ke jaringan lainnya. *Router* berbeda dengan switch. Switch merupakan penghubung beberapa alat untuk membentuk suatu *Local Area Network (LAN)*.^[5]

Sebagai ilustrasi perbedaan fungsi dari *router* dan *switch* merupakan suatu jalanan, dan *router* merupakan penghubung antar jalan. Masing-masing rumah berada pada jalan yang memiliki alamat dalam suatu urutan tertentu. Dengan cara yang sama, switch menghubungkan berbagai macam alat, dimana masing-masing alat memiliki alamat IP sendiri pada sebuah LAN.

Router dapat digunakan untuk menghubungkan banyak jaringan kecil ke sebuah jaringan yang lebih besar, yang disebut dengan *internetwork*, atau untuk membagi sebuah jaringan besar ke dalam beberapa *subnetwork* untuk meningkatkan kinerja dan juga mempermudah manajemennya. *Router* juga kadang digunakan untuk mengoneksikan dua buah jaringan yang menggunakan media yang berbeda (seperti halnya *router wireless* yang pada umumnya selain ia dapat menghubungkan komputer dengan menggunakan radio, ia juga mendukung penghubungan komputer dengan kabel *UTP*), atau berbeda arsitektur jaringan, seperti halnya dari *Ethernet* ke *Token Ring*.

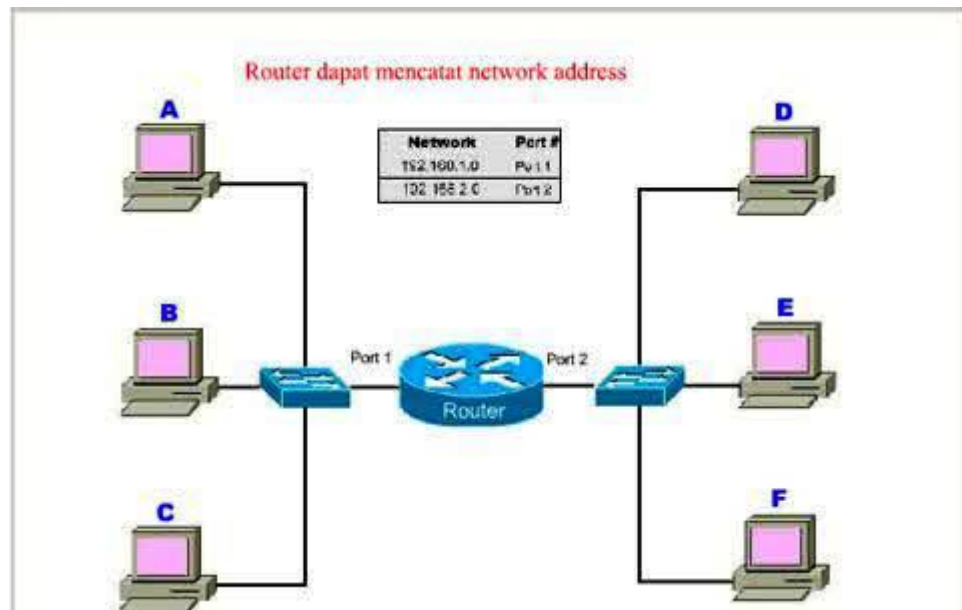
Router juga dapat digunakan untuk menghubungkan LAN ke sebuah layanan telekomunikasi seperti halnya telekomunikasi leased line atau *Digital Subscriber Line (DSL)*. *Router* yang digunakan untuk menghubungkan LAN ke sebuah koneksi *leased line* seperti T1, atau T3, sering disebut sebagai access server. Sementara itu, *router* yang digunakan untuk menghubungkan

jaringan lokal ke sebuah koneksi DSL disebut juga dengan *DSL router*. Router-router jenis tersebut umumnya memiliki fungsi firewall untuk melakukan penapisan paket berdasarkan alamat sumber dan alamat tujuan paket tersebut, meski beberapa *router* tidak memilikinya. *Router* yang memiliki fitur penapisan paket disebut juga dengan *packet-filtering router*. *Router* umumnya memblokir lalu lintas data yang dipancarkan secara broadcast sehingga dapat mencegah adanya broadcast storm yang mampu memperlambat kinerja jaringan. Gambar 2.5.1 menunjukkan bentuk fisik *router*.^[12]



Gambar 2.30 Router^[12]

Ilustrasi mengenai konfigurasi hubungan *router* dan komputer dapat dilihat pada gambar 2.5.2 dibawah ini:



Gambar 2.31 Konfigurasi Hubungan *Router* dan Komputer^[12]

Pada gambar diatas terdapat 2 buah *network* komputer yang terhubung dengan sebuah *router*. Network sebelah kiri yang terhubung ke port 1 *router* mempunyai alamat network 192.168.1.0 dan network sebelah kanan terhubung ke port 2 dari *router* dengan network address 192.155.2.0. Cara kerja *router* dapat dimisalkan sebagai berikut^[12]:

- Komputer A mengirim data ke komputer C, maka *router* tidak akan meneruskan data tersebut ke network lain.
- Begitu pula ketika komputer F mengirim data ke E, *router* tidak akan meneruskan paket data ke network lain.
- Barulah ketika komputer F mengirimkan data ke komputer B, maka *router* akan meneruskan paket data tersebut ke komputer B.

2. 2. 14. Modbus Protokol

Modbus adalah salah satu protokol untuk komunikasi serial yang di publikasikan oleh Modicon pada tahun 1979 untuk di gunakan pada PLC Modicon (PLC pertama di dunia yang di kembangkan oleh *Schneider*). Secara sederhana, modbus merupakan metode yang digunakan untuk mengirimkan data/informasi melalui koneksi serial antar perangkat elektronik. Perangkat yang meminta informasi disebut *Modbus Master* dan perangkat penyediaan informasi disebut *Modbus Slave*. Pada jaringan Modbus standar, terdapat sebuah master dan slave sampai dengan 247, masing-masing mempunyai Alamat Slave yang berbeda mulai dari 1 sampai 247. Master juga dapat menulis informasi kepada Slave.^[13]

Modbus merupakan sebuah open protokol, yang berarti bahwa dapat digunakan dalam peralatan tanpa harus membayar royalti. Modbus telah menjadi protokol komunikasi standar dalam industri, dan sekarang paling banyak dipakai untuk menghubungkan perangkat elektronik industri. Modbus digunakan secara luas oleh banyak produsen di banyak industri. Protokol ini menjadi standard komunikasi dalam industri dan menjadi yang paling banyak dipakai untuk komunikasi antar peralatan elektronik pada industri. Alasan utama mengapa Modbus Protokol banyak di gunakan adalah:

1. Di publikasikan secara terbuka tanpa royalti fee untuk penggunaannya.
2. Relatif mudah untuk di aplikasikan pada industrial network.
3. Modbus mempunyai struktur bit tanpa memiliki banyak larangan bagi vendor lain untuk mengaksesnya.

Modbus memungkinkan adanya komunikasi dua-jalur antar perangkat yang terhubung ke jaringan yang sama, misalnya suatu sistem yang mengukur suhu, tekanan, kelembaban dsb, kemudian mengkomunikasikan hasilnya ke komputer (HMI/Human Machine Interface). Modbus sering digunakan untuk menghubungkan supervisory computer dengan remote terminal unit (RTU), supervisory control dan sistem akuisisi data (SCADA).^[13]

Produsen atau *suplier* besar m`aupun kecil, *system integrator*, *end-user*, pengembang open source, dosen dan pihak yang berkepentingan lainnya dapat menjadi anggota Modbus. Beberapa anggota yang menonjol adalah SoftDEL Systems, Precision Digital Corporation, Motor Protection Electronics, FieldServer Technologies dan masih banyak lagi.^[13]

Berdasarkan media transferanya, Modbus dikategorikan ke dalam Modbus serial (RS232/485) dan Modbus Ethernet (TCP/IP). Jika dirujuk dari bentuk datanya, Modbus dibagi ke dalam Modbus RTU (serial) dan Modbus ASCII. Pada Modbus serial digunakan

istilah Master/Slave sedangkan Modbus Ethernet biasanya memakai terminologi Server/Client.^[14]

Protokol Modbus memungkinkan komunikasi yang mudah di semua jenis arsitektur jaringan. Setiap jenis perangkat (PLC, HMI, Kontrol Panel, Driver, kontrol Motion, I / O Device dll) dapat menggunakan protokol Modbus untuk operasi remote. Komunikasi yang sama dapat dilakukan juga pada serial line seperti pada Ethernet TCP / IP. Gateway memungkinkan komunikasi antara beberapa jenis bus atau jaringan dengan menggunakan protokol Modbus.^[14]

2.2.15. TCP/IP

Modbus TCP/IP adalah salah satu perangkat lunak jaringan komputer (*networking software*) yang terdapat dalam sistem, dan dipergunakan dalam komunikasi data dalam local area *network* (LAN) maupun Internet. TCP singkatan dari *Transfer Control Protocol* dan IP singkatan dari *Internet Protocol*. TCP/IP menjadi satu nama karena fungsinya selalu bergandengan satu sama lain dalam komunikasi data.

TCP/IP saat ini dipergunakan dalam banyak jaringan komputer lokal (LAN) yang terhubung ke Internet, karena memiliki sifat^[15]:

- a. Merupakan protokol standar yang terbuka, gratis dan dikembangkan terpisah dari perangkat keras komputer tertentu. Karena itu protokol ini banyak didukung oleh vendor perangkat keras, sehingga TCP/IP merupakan pemersatu perangkat keras komputer yang beragam merk

begitu juga sebagai pemersatu berbagai perangkat lunak yang beragam merk sehingga walau anda memakai perangkat keras dan perangkat lunak komputer yang berlainan dengan teman anda pada jaringan komputer berbeda, anda dan teman anda dapat berkomunikasi data melalui Internet.^[15]

- b. Berdiri sendiri dari perangkat keras jaringan apapun. Sifat ini memungkinkan TCP/IP bergabung dengan banyak jaringan komputer. TCP/IP bisa beroperasi melalui sebuah *Ethernet*, sebuah *token ring*, sebuah saluran *dial-up*, sebuah X-25 dan secara virtual melalui berbagai media fisik transmisi data. ^[15]
- c. Bisa dijadikan alamat umum sehingga tiap perangkat yang memakai TCP/IP akan memiliki sebuah alamat unik dalam sebuah jaringan komputer lokal, atau dalam jaringan komputer global seperti Internet.
- d. Protokol ini distandarisasi dengan skala tinggi secara konsisten, dan bisa memberikan servis kepada user-user di dunia. ^[15]