

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Manuver jaringan distribusi adalah kegiatan teknik manipulasi jaringan atau memodifikasi terhadap operasi normal dari jaringan dengan membuka atau menutup peralatan *switching* pada jaringan untuk membatasi wilayah padam sesuai kebutuhan. Manuver jaringan disebabkan karena adanya gangguan atau pekerjaan dan pemeliharaan jaringan. Salah satu teknik manipulasi jaringan dengan adanya melimpahkan beban dari suatu penyulang ke penyulang lainnya. Pelimpahan beban dilakukan untuk membagi beban agar sebagian wilayah yang aman, tetapi tidak tersuplai listrik karena adanya gangguan maupun pekerjaan menjadi tidak padam^[13]. Manuver jaringan adalah pekerjaan pengalihan atau pelimpahan beban baik sebagian maupun seluruh penyulang ke penyulang lain yang bersifat sementara^[2]. Proses manuver jaringan merupakan proses pelimpahan beban dari penyulang utama (*main feeder*) ke penyulang cadangan (*backup feeder*) ketika terjadi gangguan atau pemeliharaan, sehingga daerah yang terganggu atau padam dapat tetap dialiri listrik dan menjaga kontinuitas pelayanan listrik ke pelanggan^[16].

Manuver jaringan digunakan untuk menekan angka SAIDI dan SAIFI. Analisis SAIDI dan SAIFI yang ada pada suatu penyulang dengan metode simulasi *Section Techniques* atau dengan membagi *section* pada setiap *load point* pada suatu *feeder*^[15]. *Section* pada setiap *load point* dibagi berdasarkan *keypoint* atau peralatan *switching* yang dapat dikontrol sehingga daerah padam dapat dipisahkan. *Keypoint* yang dimaksud merupakan LBS (*Load Break Switch*) dan *Recloser* yang telah

terintegrasi dengan SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) sehingga kontrol dapat dilakukan secara remote. Semakin optimal penggunaan *keypoint* yang ada dapat berpengaruh pada nilai SAIDI dan SAIFI pada penyulang ^[23].

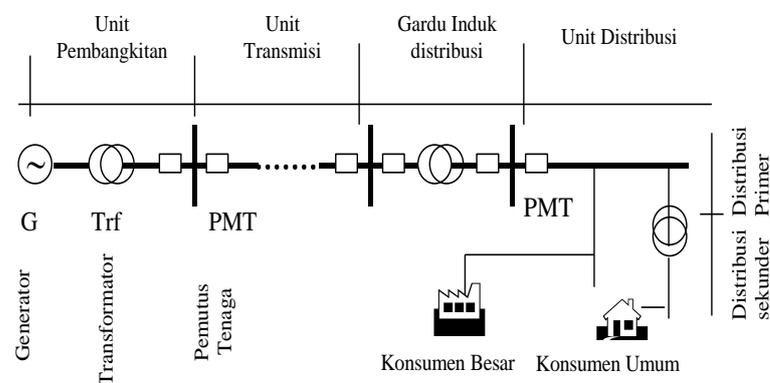
Berdasarkan referensi tersebut, penggunaan *keypoint* dapat berpengaruh pada tingkat keandalan jaringan. Tugas akhir ini dirancang untuk mensimulasikan penggunaan *ratio 4 keypoint* pada suatu penyulang dan simulasi manuver jaringan antara 3 penyulang. Penulis akan membahas manuver jaringan yang disebabkan oleh adanya pemeliharaan pada salah satu penyulang. Karena adanya pemeliharaan pada salah satu penyulang tersebut maka dilakukan manuver pelimpahan beban ke penyulang lain sehingga dapat mengamankan daerah padam agar tetap dapat dialiri listrik. Pada manuver jaringan yang disebabkan adanya pemeliharaan, akan dibahas syarat – syarat manuver yaitu penyulang bantuan (*backup feeder*) masuk terlebih dahulu sehingga tidak terjadi padam sesaat. Penulis menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pusat kontrol serta untuk memonitor beban dan mengontrol peralatan menggunakan aplikasi VTScada. Monitoring dan controlling beban pada penyulang menggunakan sistem SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) sehingga bisa dikontrol secara jarak jauh dan *real time*. SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) adalah suatu sistem yang dapat melakukan pengawasan, pengendalian dan akuisisi data terhadap sebuah *plant*. Seiring dengan perkembangan komputer yang pesat beberapa dekade terakhir, maka komputer menjadi komponen penting dalam sebuah sistem SCADA modern. Umumnya komputer ini terhubung dengan sebuah pengendali melalui sebuah protokol komunikasi tertentu. Selain itu mikrokontroler yang digunakan adalah

Arduino Mega 2560 dan dilengkapi *Ethernet Shield* agar bisa terhubung ke jaringan komputer dengan PC (*Personal Computer*) layar sentuh dengan menggunakan media komunikasi protokol TCP/IP (*Transfer Control Protocol / Internet Protocol*) atau LAN (*Local Area Network*).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) dan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi [18]. Sistem tenaga listrik terdiri dari Unit Pembangkitan, Unit Transmisi, Gardu Induk Distribusi, dan Unit Distribusi. Sistem Distribusi Tenaga Listrik mengatur penyaluran tenaga listrik dari PMT *Outgoing* sampai ke konsumen seperti pada Gambar 2.1 yang menunjukkan instalasi sistem tenaga listrik.

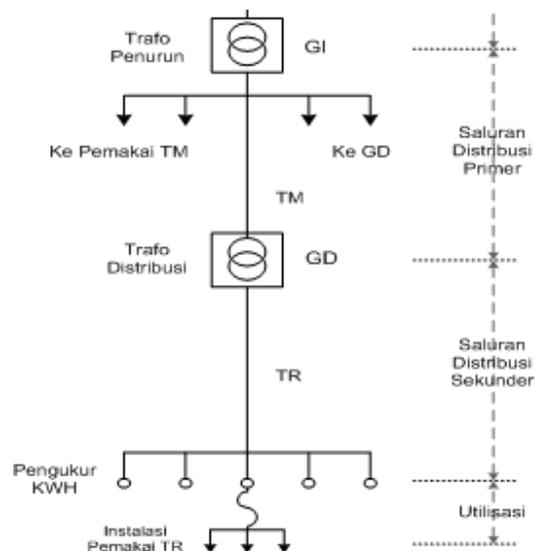


Gambar 2.1 Instalasi Sistem Tenaga Listrik [19]

Dilihat dari tegangannya sistim distribusi pada saat ini dapat dibedakan dalam 2 macam yaitu:

- a. Distribusi Primer, sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan tegangan operasi nominal 20 kV/ 11,6 kV.
- b. Distribusi Sekunder, sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan tegangan operasi nominal 380 / 220 volt ^[16].

Gambar 2.2 menunjukkan pengelompokan system jaringan distribusi.



Gambar 2.2 Pengelompokan Sistem Jaringan Distribusi ^[18]

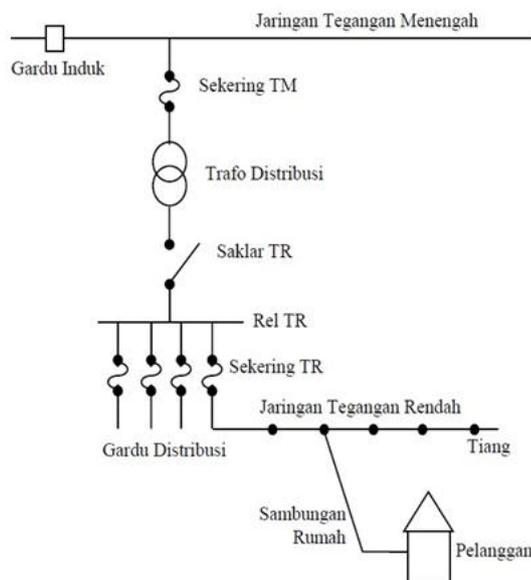
2.2.2 Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Pusat Pembangkit Tenaga Listrik ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) memiliki tegangan sistem sebesar 20kV ^[17]. Sering disebut sistem Jaringan

Tegangan Menengah (JTM) dengan tegangan operasi nominal 20kV. Jaringan Tegangan Menengah adalah jaringan tenaga listrik yang berfungsi untuk menghubungkan gardu induk sebagai suplai tenaga listrik dengan gardu – gardu distribusi. Sistem tegangan menengah yang digunakan pada umumnya adalah 20kV [16].

2.2.3 Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder yang lazim disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dimulai dari sisi sekunder trafo distribusi sampai dengan Sambungan Rumah (SR) pada pelanggan yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi ke pelanggan dengan tegangan operasi yakni tegangan rendah. Hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan konsumen dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hubungan Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah dan Konsumen [17]

Pada saat ini SUTR yang menggunakan kabel telah banyak digunakan oleh PLN untuk mengurangi gangguan yang disebabkan oleh gangguan pohon dan gangguan lain yang disebabkan oleh perbuatan manusia. Untuk kabel Sambungan Rumah (SR) ke pelanggan saat ini telah digunakan *twisted* kabel dengan inti penghantar dari material aluminium dan tembaga ^[17].

Sistem jaringan sekunder yang baik pada saat ini harus memberikan taraf keandalan pada jaringan tegangan rendah di daerah dengan kepadatan beban yang tinggi, dengan menjamin bahwa energi listrik yang sampai ke pelanggan mempunyai mutu yang baik, sehingga biayanya yang tinggi dapat dipertanggung jawabkan dan tingkat keandalan ini dipandang perlu.

2.3 Macam – Macam Pola Jaringan Distribusi Primer

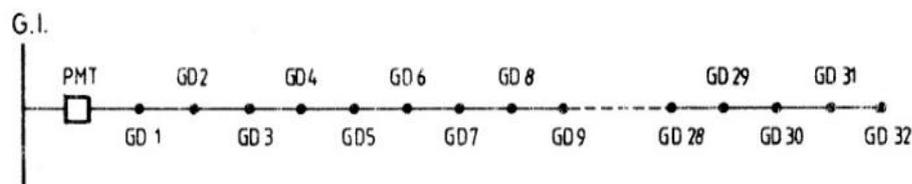
Pola jaringan distribusi untuk menyalurkan tenaga listrik kepada konsumen bermacam – macam, diantaranya adalah pola sistem *radial*, *loop*, *spindle*, dan *mesh/network*. Hal ini diterapkan sesuai dengan kebutuhan dan kemampuan finansial dari pihak yang akan menggunakan sistem jaringan tersebut. Tentunya pada masing – masing pola jaringan distribusi tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan.

2.3.1 Sistem Jaringan *Radial*

Sistem *radial* pada jaringan distribusi merupakan sistem tenaga listrik yang disalurkan secara *radial* melalui gardu induk ke konsumen – konsumen dilakukan secara terpisah satu sama lainnya. Dalam *feeder* tersebut dipasang gardu –gardu distribusi untuk konsumen. Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Tapi kualitas dan kontinuitas

pelayanannya kurang baik sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan maka akan mengalami gangguan secara total. Dinamakan *radial* karena saluran ini ditarik secara *radial* dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang – cabang ke titik – titik beban yang dilayani [2].

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Hal ini disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi. Jika terjadi gangguan pada *feeder* utama, maka seluruh gardu akan ikut padam. Sistem *radial* ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 sistem *radial* [3]

Keuntungan sistem jaringan *Radial*:

- Konstruksinya lebih sederhana.
- Material yang digunakan sedikit, sehingga lebih ekonomis.
- Sistem pemeliharannya lebih murah.
- Untuk penyaluran jarak pendek akan lebih murah.

Kelemahan Sistem Jaringan *Radial*:

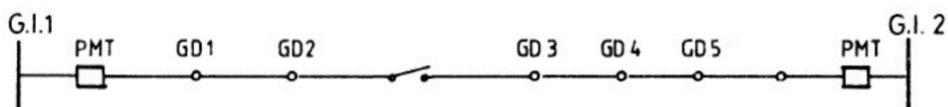
- Keandalan sistem lebih rendah.
- Faktor penggunaan konduktor 100%.
- Rugi - rugi tegangan lebih besar.

- Kapasitas pelayanan terbatas.
- Bila penyulang utama terkena gangguan, maka penyaluran daya akan terhenti.

2.3.2 Sistem Jaringan *Tie Line*

Setiap gardu distribusi akan mendapat *supply* dari dua penyulang. Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain ^[4].

Jaringan ini merupakan modifikasi dari jaringan *radial* yaitu jaringan *radial* ganda atau dikenal dengan sebutan jaringan *tie line*. Hal ini berbeda dengan konfigurasi jaringan *radial* biasa dengan setiap gardu distribusi hanya memperoleh *supply* dari satu penyulang. Saat terjadi gangguan atau proses pemeliharaan maka jaringan dapat dipindahkan ke penyulang lainnya. Hal ini mengakibatkan keandalan sistem menjadi lebih baik. Jaringan ini dapat ditemukan pada rumah sakit, bandara, dan pelanggan penting lainnya. Gambar 2.5 merupakan gambar sitem jaringan *tie line*.



Gambar 2.5 Sistem Jaringan *Tie Line* ^[6]

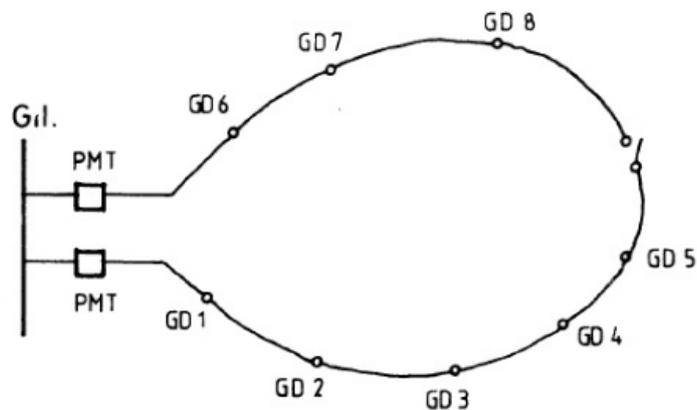
2.3.3 Sistem Jaringan *Loop*

Sistem rangkaian tertutup pada jaringan distribusi merupakan suatu sistem penyaluran melalui dua atau lebih saluran *feeder* yang saling berhubungan membentuk rangkaian berbentuk cincin ^[5].

Sistem ini secara ekonomis menguntungkan, karena gangguan pada jaringan terbatas hanya pada saluran yang terganggu saja. Sedangkan pada saluran lain masih dapat menyalurkan tenaga listrik dari sumber lain dalam rangkaian yang tidak terganggu. Sehingga kontinuitas pelayanan sumber tenaga listrik dapat terjamin dengan baik ^[5].

Jaringan *loop* memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- Metode operasinya mudah.
- Keandalannya cukup tinggi.
- Investasinya cukup mahal.



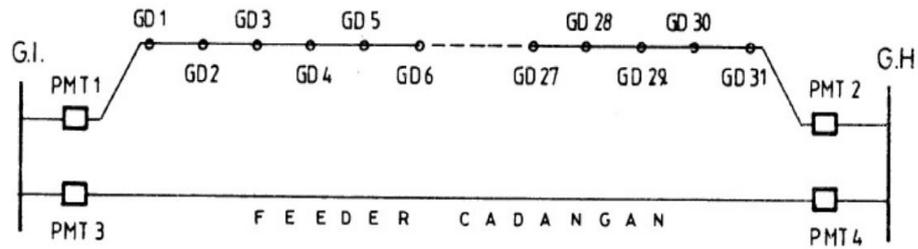
Gambar 2.6 Sistem *Loop* ^[3]

Gambar 2.6 merupakan gambar jaringan sistem *loop*, dalam struktur ini saluran harus mempunyai kapasitas yang cukup. Ukuran dari penghantar saluran utama dirancang sama pada seluruh jaringan *loop*. Pemilihan ukuran penghantar berdasarkan beban normal yang harus dibawa ditambah beban setengah *loop* yang lain.

Hal yang perlu diperhatikan pada sistem ini apabila beban yang dilayani bertambah, maka kapasitas pelayanan untuk sistem rangkaian tertutup ini kondisinya akan lebih jelek. Tetapi jika digunakan titik sumber (Pembangkit Tenaga Listrik) lebih dari satu di dalam sistem jaringan ini maka sistem ini akan banyak dipakai dan akan menghasilkan kualitas tegangan lebih baik, serta regulasi tegangannya cenderung kecil.

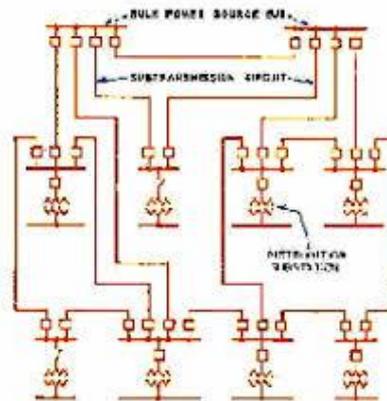
2.3.4 Sistem Jaringan *Spindle*

Selain bentuk-bentuk dasar dari jaringan distribusi yang telah ada, maka dikembangkan pula bentuk-bentuk modifikasi, yang bertujuan meningkatkan keandalan dan kualitas sistem. Salah satu bentuk modifikasi yang populer adalah bentuk *spindle*, yang biasanya terdiri atas maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani, dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban. Saluran 6 penyulang yang beroperasi dalam keadaan berbeban dinamakan "*working feeder*" atau saluran kerja, dan satu saluran yang dioperasikan tanpa beban dinamakan "*express feeder*". Fungsi "*express feeder*" dalam hal ini selain sebagai cadangan pada saat terjadi gangguan pada salah satu "*working feeder*", juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya *drop* tegangan pada sistem distribusi bersangkutan pada keadaan operasi normal. Dalam keadaan normal memang "*express feeder*" ini sengaja dioperasikan tanpa beban. Perlu diingat di sini, bahwa bentuk-bentuk jaringan beserta modifikasinya seperti yang telah diuraikan di muka, terutama dikembangkan pada sistem jaringan arus bolak-balik (AC) ^[7]. Jaringan sistem *spindle* ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Sistem *Spindle* [6]

2.3.5 Sistem Distribusi Jaring-jaring (*NET*)



3.3.5

Gambar 2.8 Sistem Jaring-jaring (*NET*) [8]

Titik beban memiliki lebih banyak alternatif saluran/penyulang, sehingga bila salah satu penyulang terganggu, dengan segera dapat digantikan oleh penyulang yang lain. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin. Kelebihan jaringan *net*:

- 1) Kontinuitas penyaluran daya paling terjamin.
- 2) Kualitas tegangannya baik, rugi daya pada saluran amat kecil.
- 3) Dibanding dengan bentuk lain, paling *flexible* (luwes) dalam mengikuti pertumbuhan dan perkembangan beban.

Kekurangan jaringan *net*:

- 1) Sebelum pelaksanaannya, memerlukan koordinasi perencanaan yang teliti dan rumit.
- 2) Memerlukan biaya investasi yang besar (mahal).
- 3) Memerlukan tenaga - tenaga terampil dalam pengoperasian nya.

Dengan spesifikasi tersebut, bentuk jaringan pada gambar 2.8 ini hanya layak untuk melayani daerah beban yang benar-benar memerlukan tingkat keandalan dan kontinuitas yang tinggi, antara lain: instalasi militer, pusat sarana komunikasi dan perhubungan, rumah sakit, dan sebagainya. Karena bentuk ini merupakan jaringan yang menghubungkan beberapa sumber, maka bentuk jaringan *NET* atau jaringan-jaring disebut juga jaringan "*interkoneksi*" ^[8].

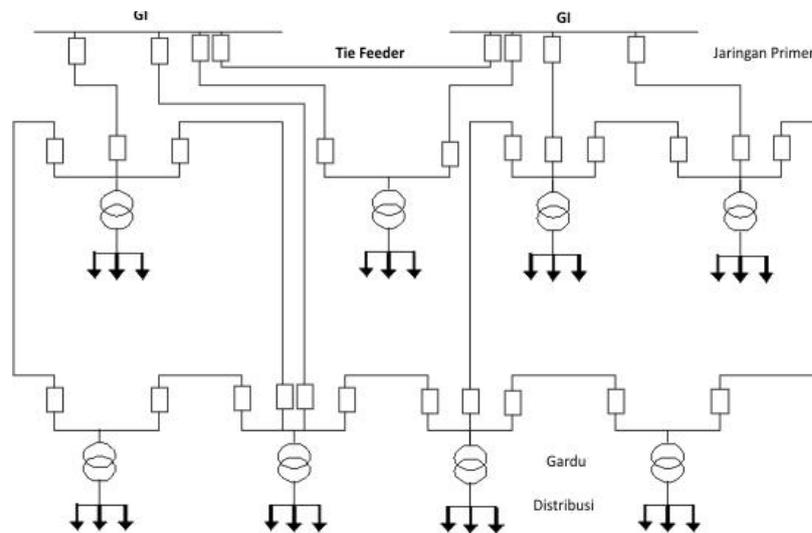
2.3.6 Sistem Jaringan *Mesh/Network*

Sistem *network/mesh* ini merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara terus - menerus oleh dua atau lebih *feeder* pada gardu - gardu induk dari beberapa Pusat Pembangkit Tenaga Listrik yang bekerja secara paralel. Pada sistem ini merupakan gabungan dari sistem jaringan sebelumnya dan mengalami perbaikan. Sehingga jaringan *mesh* merupakan sistem jaringan yang memiliki kehandalan paling baik ^[8].

Struktur ini diterapkan pada area distribusi yang luas dengan beban yang besar dan memerlukan keandalan yang lebih untuk kelangsungan pelayanan terhadap pelanggan ^[8]. Gambar sistem *mesh/network* ditunjukkan pada gambar 2.9.

Jaringan *mesh/network* memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- Metode operasinya sulit.
- Diperlukan jumlah Gardu Induk lebih dari dua.
- Investasinya sangat mahal.
- Keandalan sistem sangat baik.



Gambar 2.9 Sistem *Mesh/Network* ^[8]

Keuntungan Sistem Jaringan *Mesh/network*:

- Penyaluran tenaga listrik dapat dilakukan secara terus - menerus dengan menggunakan dua *feeder* atau lebih.
- Pengembangan dari sistem - sistem terdahulu.
- Tingkat keandalan yang sangat baik.
- Jumlah cabang lebih banyak daripada jumlah titik *feeder*.
- Jika terjadi gangguan di salah satu *feeder*, maka dapat di *backup* dengan *feeder* yang lain dengan cara melakukan manuver jaringan sesuai dengan perhitungan beban.

Kekurangan Sistem Jaringan *Mesh*:

- Biaya konstruksi dan pembangunan sangat mahal.
- Setting alat proteksi lebih sulit.
- Membutuhkan peralatan proteksi yang handal dalam jumlah yang besar pula.

Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanan. Sebab semua titik beban terhubung paralel dengan beberapa sumber tenaga listrik ^[8].

2.4 Manuver Pelimpahan Beban Jaringan Distribusi 20 kV

Manuver jaringan atau manipulasi jaringan merupakan serangkaian kegiatan pelimpahan tenaga listrik dengan membuat modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat adanya gangguan atau pekerjaan pemeliharaan jaringan akibat adanya gangguan atau adanya pekerjaan jaringan sedemikian rupa sehingga tetap tercapai kondisi penyaluran yang maksimum atau dengan kata lain yang lebih sederhana adalah mengurangi daerah pemadaman ^[2].

Manuver jaringan adalah pekerjaan pengalihan atau pelimpahan beban baik sebagian maupun seluruh penyulang ke penyulang lain yang bersifat sementara.

Kegiatan yang dilakukan saat manuver:

- 1) Menghubungkan bagian - bagian jaringan yang terpisah menurut keadaan operasi normalnya, baik dalam keadaan bertegangan maupun tidak.
- 2) Memisahkan jaringan menjadi bagian-bagian jaringan yang semula terhubung menurut keadaan operasi normalnya, baik dalam keadaan bertegangan maupun tidak.

Pelimpahan beban juga dapat diartikan sebagai kegiatan atau pekerjaan pengalihan beban baik sebagian maupun seluruh penyulang ke penyulang lain yang bersifat sementara dengan menutup (memasukkan) atau membuka (melepas) peralatan – peralatan penghubung atau *switching* seperti ABSW, LBS, dan PMT [2].

2.4.1 Tujuan Pelaksanaan Pelimpahan Beban

Manuver jaringan distribusi dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

- a) Mempercepat penormalan jaringan.
- b) Mempersempit daerah padam atau meminimalisir pelanggan padam.
- c) Pengaturan distribusi beban jaringan.
- d) Pertimbangan keandalan jaringan.

Pelaksana pelimpahan beban jaringan distribusi biasanya dilakukan dalam rangka pemeliharaan jaringan, adanya gangguan, dan guna keandalan suatu wilayah atau tempat. Petugas yang memberikan perintah pelimpahan beban jaringan distribusi 20 KV yaitu:

- 1) *Dispatchcer* APD
- 2) *Dispatcher* Area
- 3) *Dispatcher* Unit atau Rayon
- 4) Pengawas Lapangan
- 5) Petugas pelaksana atau Petugas gangguan

2.4.2 Syarat Pelimpahan Beban Penyulang Jaringan Distribusi

Syarat-syarat yang harus dipenuhi saat melakukan manuver jaringan distribusi:

- 1) Tegangan dan frekuensi antara kedua penyulang yang akan di manuver dalam keadaan sama ataupun maksimal beda tegangan 0,5 KV.
- 2) Apabila kedua penyulang berasal dari transformator yang berbeda daya nya maka harus dimintakan persamaan tegangan terlebih dahulu ke pihak APD atau Area atas permintaan Rayon.
- 3) Penyulang yang menerima pelimpahan beban harus mampu menerima beban yang akan dilimpahkan.
- 4) Urutan ketiga *phasa* antara kedua penyulang yang akan di manuver harus sama.
- 5) Penampang konduktor kedua penyulang harus sama ukurannya.
- 6) Peralatan manuver atau *switching* harus dalam keadaan baik untuk beroperasi.

Adapun beberapa syarat yang harus dipenuhi agar dua buah penyulang akan melakukan *join*:

- 1) Tegangan dan frekuensi antara kedua penyulang sama dan untuk maksimal beda tegangan ialah 0,5 KV.
- 2) Penyulang yang menerima pelimpahan beban harus mampu menerima beban yang akan dilimpahkan.
- 3) Urutan ketiga *phasa* antara kedua penyulang yang akan di manuver harus sama.

Apabila antara dua penyulang tersebut tidak dapat langsung *join*, maka akan ada pemadaman sesaat untuk proses pelimpahan beban. Namun ketika antar penyulang langsung dapat *join*, maka tidak ada pemadaman sesaat ^[9].

2.4.3 Standing Operation Procedure (SOP) Pelimpahan Beban

Mempersiapkan *Standing Operation Procedure* (SOP) pada saat melakukan manuver pelimpahan beban merupakan hal yang wajib bagi petugas karena dapat digunakan sebagai pedoman untuk memperlancar dan mengoptimalkan pelaksanaan kegiatan manuver baik dalam keadaan gangguan maupun pemeliharaan. Berikut ini merupakan SOP yang berlaku di PT PLN Distribusi Jawa Tengah dan DIY ^[9].

2.4.3.1 Personil yang Terkait

- 1) *Assistant Manager* Distribusi
- 2) *Manager* Rayon
- 3) *Supervisor* Teknik
- 4) Petugas *Dispatcher* APJ
- 5) Petugas *Dispatcher* Rayon
- 6) Petugas Lapangan atau Mobil Unit

2.4.3.2 Alat K3/Alat Pelindung Diri

- 1) Sarung Tangan
- 2) Pakaian Kerja
- 3) Helm Pengaman
- 4) Sepatu Beralas Karet
- 5) Kotak P3K

2.4.3.3 Alat Kerja

- 1) Radio Komunikasi
- 2) Kendaraan Roda Empat
- 3) Sabuk Pengaman
- 4) Kunci Gembok ABSW
- 5) Kunci *Box Control LBS, Recloser*
- 6) Tangga (Berisolasi)
- 7) *Grip All Stick*
- 8) *Tool Set*

2.4.3.4 Prosedur Kerja atau Langkah Kerja

- 1) Menggunakan peralatan K3/ Alat Pelindung Diri (APD) yang sudah disiapkan.
- 2) Menyiapkan alat kerja dan material yang diperlukan.
- 3) Sesuai Perintah Kerja yang diterima dari piket pengatur/ *Dispatcher* Rayon baik langsung maupun melalui radio komunikasi, petugas pelaksana lapangan melaksanakan:

Untuk perintah yang disampaikan melalui radio komunikasi:

- a) Petugas pelaksana mengulang atau konfirmasi perintah secara lengkap dan juga menyampaikan posisinya pada saat itu, termasuk menanyakan tujuan atau maksud dari manuver dan alamat lokasi, nomor tiang dari peralatan manuver atau *switching* jaringan (apabila belum disampaikan oleh *Dispatcher* Rayon) serta mencatat pada lembar Perintah Kerja (PK).
- b) Menyiapkan kunci ABSW dan atau kunci *box control LBS, Recloser* yang akan dituju dan peralatan lain sesuai peralatan kerja yang disyaratkan.

Untuk perintah yang disampaikan langsung:

- a) Petugas pelaksana mencatat perintah atau instruksi dalam lembar Perintah Kerja secara lengkap, dengan rincian: maksud dari manuver jaringan, alamat lokasi, nomor tiang dari peralatan manuver atau *switching* jaringan (LBS, ABSW/PTS, PBO/*Recloser*, SSO/*Sectionalizer*, FCO)
- b) Menyiapkan kunci ABSW dan atau kunci *box kontrol* LBS, *Recloser* yang akan dituju dan sarana transportasi maupun peralatan lain sesuai peralatan kerja yang disyaratkan.
- 4) Datang ke lokasi sesuai yang diperintahkan *Dispatcher* Rayon
- 5) Melaporkan ke *dispatcher* Rayon ketika sudah siap/sampai di lokasi
- 6) *Dispatcher* Rayon memerintahkan pengecekan secara visual kondisi *jumper*, pisau kontak, stang kopel, pentanahan (untuk ABSW) dan memastikan posisi masuk atau lepas untuk ABSW, PBO/*Recloser*, SSO/*Sectionalizer*, FCO dan membuka gembok atau kunci stang ABSW; bok kontrol LBS / PBO atau menyiapkan Teleskop *Stick* untuk FCO.
- 7) Petugas lapangan memeriksa secara visual kondisi *jumper*, pisau kontak, stang kopel, pentanahan (untuk ABSW) dan memastikan posisi masuk atau lepas untuk ABSW, PBO/*Recloser*, SSO/*Sectionalizer*, FCO dan membuka gembok/kunci stang ABSW; *box kontrol* LBS/PBO atau menyiapkan Teleskop *Stick* untuk FCO. Apabila ada permasalahan, laporkan ke *dispatcher* Rayon adanya permasalahan untuk selanjutnya pengoperasian peralatan *switching* tidak boleh dilakukan.

- 8) Petugas lapangan/mobil unit melaporkan ke *dispatcher* RAYON kalau gembok ABSW sudah dilepas/kunci bok kontrol LBS/PBO sudah dibuka atau Teleskop *Stick* siap untuk dioperasikan dan menanyakan apakah pelaksanaan pengoperasian peralatan *switching* dapat dilaksanakan. Khusus untuk pelepasan ABSW, ditanyakan terlebih dahulu kepada *Dispatcher* RAYON beban ABSW, apakah masih dalam batas operasi aman $< 40 \text{ A}$, kalau diluar batas operasi aman, minta ke dispatcher RAYON melakukan pengaturan terlebih dahulu untuk mengurangi beban (ABSW).
- 9) Menanyakan kepada *dispatcher* RAYON apakah kondisi jaringan telah aman dari petugas, peralatan kerja, tidak ada regu lain yang ikut bekerja memanfaatkan pemadaman termasuk petugas dari RAYON lain yang terkait dengan jaringan tersebut dan aman bagi lingkungan apabila diberi tegangan melalui pengoperasian peralatan *switching*. (khusus untuk operasi tutup / pemberian tegangan)
- 10) Petugas pelaksana/mobil unit menunggu perintah pengoperasian peralatan *switching* atau pengaturan beban/jaringan dari *dispatcher* RAYON kalau operasi ABSW diluar batas aman operasi.
- 11) *Dispatcher* RAYON memerintahkan pelaksanaan pengoperasian/ eksekusi peralatan *switching* atau melaksanakan pengaturan beban apabila beban ABSW diluar batas aman operasi.
- 12) Petugas pelaksana/mobil unit menyampaikan konfirmasi bahwa perintah dimengerti dan akan segera dilaksanakan.

- 13) Petugas Pelaksana/mobil unit minta kepada *dispatcher* RAYON untuk pengamatan PMT (khusus apabila akan memasukkan peralatan *switching*).
- 14) Eksekusi pengoperasian peralatan *switching* dilaksanakan, untuk selanjutnya mengamati kondisi *jumper-jumper* dan ketiga pisau ABSW apakah sudah lepas/tertutup dengan sempurna, indikator LBS / PBO, *Fuse holder* sudah lepas/tertutup dengan sempurna (sesuai dengan langkah kerja yang diatur dalam SOP dari masing-masing peralatan).
- 15) Gembok kembali stang ABSW, tutup dan kunci *Control Box* LBS/PBO.
- 16) Melaporkan kepada *dispatcher* RAYON bahwa pengoperasian peralatan manuver (pelepasan maupun pemasukan) sudah dilaksanakan dengan baik disertai penjelasan mengenai kondisi peralatan manuver jaringan setelah pengoperasian (stang ABSW sudah digembok, *control box* LBS/PBO sudah ditutup dan dikunci).
- 17) *Dispatcher* Rayon menerima laporan dari petugas pelaksana lapangan/mobil unit dan mencatat jam pelepasan/pemasukan, selanjutnya piket *dispatcher* Rayon melaporkan ke piket pengatur/*dispatcher* APJ.
- 18) Mencatat apabila ada kelainan dalam operasi (keluar bunga api, dsb) juga hal-hal lain seperti handel hilang, gembok hilang, operasi stang berat, *jumper* tampak hampir putus, dsb.

2.5 Peralatan *Switching* Jaringan Tegangan Menengah

Dalam sistem jaringan tegangan menengah terdapat banyak peralatan yang dapat membantu proses penyaluran tenaga listrik. Peralatan *switching* dapat memisahkan *section* yang mengalami gangguan dengan *section* normal dan dapat digunakan pada saat pelimpahan beban yang dibutuhkan. Peralatan *switching* berupa LBS (*Load Break Switch*) atau *recloser* yang telah terintegrasi dengan *scada* ini sering disebut *keypoint*. Peralatan *switching* tersebut antara lain:

2.5.1 Pemutus Tenaga

Pemutus tenaga atau PMT merupakan peralatan proteksi, pembatas, dan pemutus utama yang dipasang pada saluran utama di gardu induk yang berfungsi sebagai pengaman utama jaringan yang dilengkapi dengan relai – relai proteksi yang telah disetting sesuai dengan arus gangguan maupun waktu tertentu dan berdasarkan perhitungan koordinasi dengan alat proteksi lain seperti *recloser*.

Alat ini mampu bekerja secara otomatis dalam memutus atau menutup rangkaian pada semua kondisi baik pada kondisi normal maupun waktu kondisi gangguan dan mampu dialiri arus listrik secara terus menerus. PMT mampu memutus arus beban dan mampu memutus arus lebih akibat gangguan yang terjadi. Pada kondisi normal, dapat membuka maupun menutup rangkaian listrik. Pada kondisi gangguan, dengan bantuan *relay* dapat membuka rangkaian listrik.



Gambar 2.10 Pemutus Tenaga

2.5.2 Load Break Switch (LBS)

Load Break Switch (LBS) merupakan pemutus beban yang disertai dengan peredam busur api (medium minyak, gas SF₆, *vacuum interrupter*, dll) terhadap beban besar yang dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban maupun tidak. Cara pengoperasian pemutus beban tidak sama dengan pemisah, biasanya melalui suatu kotak panel kontrol yang dapat di tombol sehingga pengoperasiannya lebih mudah dan aman. Tetapi, apabila panel kontrolnya tidak bisa maka dapat dioperasikan dengan menggunakan stick untuk menarik tuas LBS. Biasanya setelah dimasukkan atau dilepas akan terdengar bunyi yang menandakan bahwa kondisi LBS telah berubah yakni dari NO (*normally open*) menjadi NC (*normally close*) dan sebaliknya. Peralatan ini juga dapat dioperasikan dengan kontrol jarak jauh (SCADA). Gambar fisik LBS ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 *Load Break Switch* Schneider ^{10}

2.5.3 *Recloser*

Recloser merupakan peralatan proteksi, pembatas, maupun pemutus beban yang sering digunakan pada sistem distribusi tenaga listrik yang ditempatkan di jaringan dan bekerja secara otomatis dalam memutus beban yang dilengkapi dengan relai – relai proteksi secara OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*) yang telah disetting sesuai dengan kondisi di lapangan. Peralatan ini bekerja berdasarkan arus gangguan yang terjadi. Gambar fisik *Recloser* ditunjukkan pada gambar 2.12 *Recloser* berfungsi sebagai:

1. Peralatan untuk memperkecil atau mempersempit daerah padam akibat gangguan.
2. Mendeteksi gangguan pada daerah tertentu berdasarkan arus gangguan.
3. Sebagai pengaman untuk jaringan yang berada sebelum *recloser*.

Ada pun tujuan dari pemasangan *Recloser*, yaitu:

1. Mencegah meluasnya kerusakan peralatan.
2. Agar kontinuitas sistem tenaga listrik tetap terjaga.



Gambar 2.12 *Recloser* Schneider

2.6 Gangguan pada Jaringan Distribusi

Penyebab terjadinya gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam maupun luar sistem jaringan. Gangguan yang berasal dari dalam terutama disebabkan oleh perubahan sifat ketahanan yang ada, misalnya isolator yang retak atau aus karena faktor umur, sedangkan gangguan dari luar biasanya berupa gejala alam antara lain petir, burung, pohon, hujan dan sebagainya. Gangguan pada sistem distribusi yaitu:

2.6.1 Gangguan Hubung Singkat

Pada prinsipnya setiap gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi akibat adanya hubungan langsung antar fasa (fasa R – S, fasa S – T, fasa R – S – T) atau juga bias terjadi akibat adanya hubungan fasa – tanah yang ada pada jaringan, gardu induk, maupun pusat pembangkit. Biasanya arus hubung singkat dan sudut fasanya tergantung pada jenis gangguan, besarnya sistem pembangkitan, impedansi sumber sampai dengan titik gangguan serta impedansi gangguan itu sendiri.

Penyebab terjadinya gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam maupun luar sistem jaringan. Gangguan yang berasal dari dalam terutama disebabkan oleh perubahan sifat ketahanan yang ada, misalnya isolator yang retak atau aus karena faktor umur, sedangkan gangguan dari luar biasanya berupa gejala alam antara lain petir, burung, pohon, hujan, dan sebagainya.

2.6.2 Gangguan Permanen

Gangguan hubung singkat permanen, bias terjadi pada kabel atau pada belitan trafo tenaga yang disebabkan karena arus gangguan hubung singkat antar fasa atau fasa dengan tanah, sehingga penghantar menjadi panas yang berpengaruh pada isolasi atau minyak trafo tenaga, sehingga isolasi tembus. Pada generator, yang disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau pembebanan berlebih dari kemampuan generator ^[13].

2.6.3 Gangguan Beban Lebih

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus – menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri oleh arus tersebut. Hal ini disebabkan karena arus yang mengalir melebihi dari kemampuan hantar arus dari peralatan listrik yang merupakan pengaman listrik.

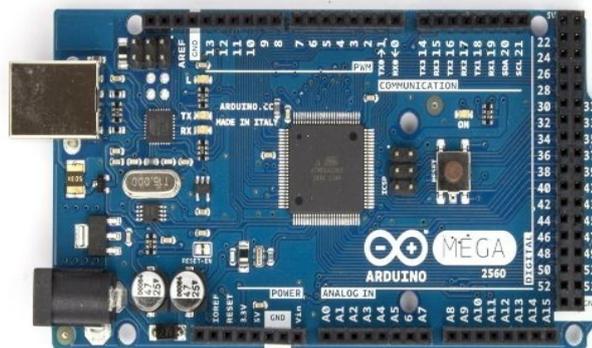
2.7 Mikrokontroller Arduino Mega 2560

Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroller dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel.

Mikrokontroller itu sendiri adalah chip atau *Integrated Circuit (IC)* yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan ditanamkannya program pada

mikrokontroler adalah supaya rangkaian elektronik dapat membaca *input*, kemudian memproses *input* tersebut sehingga menghasilkan *output* yang sesuai dengan keinginan. Jadi mikrokontroler berfungsi sebagai otak yang mengatur *input*, proses, dan *output* sebuah rangkaian elektronik [20].

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berbasis Atmega2560 yang memiliki 54 pin digital *input/output*, dimana 15 pin diantaranya digunakan sebagai *output* PWM, 16 pin sebagai *input* analog, 4 pin sebagai UART (*port serial hardware*), sebuah osilator Kristal 16MHz, koneksi USB, *jack power*, *header ISCP*, dan tombol reset [20].



Gambar 2.13 Arduino Mega 2560

a. **Catu Daya Arduino**

Arduino Mega dapat diaktifkan melalui konektor USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber daya dipilih secara otomatis. Sumber daya eksternal (non-USB) dapat berasal dari adaptor AC/DC atau baterai. Jika menggunakan adaptor maka pemasangannya dengan menyambungkan steker 2,1 mm yang bagian tengahnya terminal positif ke power jack pada papan. Sedangkan jika menggunakan baterai maka sambungkan ujung positif dan negatif baterai ke pin VIN dan GND pada papan Arduino.

Papan Arduino ATmega2560 dapat bekerja dengan rentang daya eksternal dari 6 Volt sampai 20 Volt. Jika tegangan kurang dari 7 Volt, maka pin 5 Volt mungkin akan menghasilkan tegangan kurang dari 5 Volt dan ini akan membuat papan menjadi tidak stabil. Jika sumber tegangan menggunakan lebih dari 12 Volt, penstabil tegangan (*voltage regulator*) akan mengalami panas berlebihan dan bias merusak papan. Rentang sumber tegangan yang dianjurkan adalah 7 Volt sampai 12 Volt.

Pin tegangan yang tersedia pada papan Arduino adalah sebagai berikut:

1. VIN, *input* tegangan untuk papan Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal.
2. 5V, sebuah pin yang mengeluarkan tegangan ter-regulator 5 Volt, dari pin ini tegangan sudah diatur dari regulator yang tersedia (*built-in*) pada papan.
3. 3V3, sebuah pin yang menghasilkan tegangan 3,3 Volt. Tegangan ini dihasilkan oleh regulator yang terdapat pada papan (*on-board*). Arus maksimum yang dihasilkan adalah 50Ma.

4. GND, pin *Ground*.

b. Memori

Mikrokontroler Atmega 2560 mempunyai 256 KB *flash memory* untuk menyimpan kode (yang mana 8 KB digunakan untuk *bootloader*), 8 KB SRAM (*Static Random Access Memory*), dan 4 KB EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*).

c. Input dan Output

Setiap pin pada Arduino Mega 2560, yang berjumlah 54 pin dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, dengan menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Setiap pin mempunyai arus maksimum 40mA dan mempunyai resistor *pull-up* internal dengan hambatan 20-50 kOhms. Selain itu tegangan yang masuk ke *input* mikrokontroler harus berada di kisaran nilai tertentu. Pada umumnya tegangan minimum adalah 0 Volt atau mendekati 0 Volt dan nilai ini diterima sebagai level logika rendah. Tegangan tertinggi biasanya sama dengan catu daya yaitu 5 – 7 Volt untuk tegangan yang direkomendasikan dan nilai tersebut diterima sebagai level tegangan tinggi ^[21]. Berikut adalah beberapa pin yang memiliki fungsi khusus:

1. **Serial: 0 (RX) dan 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) dan 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) dan 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) dan 14 (TX).** Pin ini digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) data *serial TTL*.
2. **Interupsi Eksternal:** pin 2 (*interrupt 0*), pin 3 (*interrupt 1*), pin 18 (*interrupt 5*), pin 19 (*interrupt 4*), pin 20 (*interrupt 3*), dan pin 21 (*interrupt 2*). Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah

interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau perubahan nilai.

3. **PWM: pin 0 sampai 13.** Pin ini digunakan untuk *output* PWM dengan fungsi *analogWrite()*.
4. **SPI: pin 50 (MISO), 5 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** Pin ini mendukung komunikasi *SPI* menggunakan *SPI library*.
5. **LED: pin 13.** Pin ini dilengkapi dengan LED yang sudah tersedia pada papan *Arduino (built-in)*. Ketika pin bernilai tinggi maka LED akan menyala, dan sebaliknya akan mati jika bernilai rendah.
6. **I²C: pin 20 (SDA) dan 21 (SCL).** Pin ini mendukung komunikasi TWI menggunakan *Wire library*.

Arduino Mega 2560 mempunyai 16 pin *input* analog, yang masing-masing menyediakan resolusi 10 bit (1024 nilai yang berbeda). Secara otomatis pin ini dapat diukur atau diatur mulai dari *ground* sampai 5 V, meskipun bisa juga merubah titik jangkauan tertinggi menggunakan pin AREF dengan fungsi *analogReference()*. Selain pin tersebut, berikut adalah pin lain yang tersedia di papan:

1. AREF, digunakan untuk mengubah tegangan referensi pada *input* analog.
2. Reset, digunakan untuk menghidupkan ulang *microcontroller*. Biasanya digunakan untuk membuat tombol reset tersendiri yang akan menghentikan fungsi tombol reset pada papan.

d. Komunikasi

Arduino Mega 2560 mempunyai beberapa fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, dengan *Arduino* yang lain, atau dengan mikrokontroler lain. *ATmega 2560* menyediakan empat *UART hardware* untuk TTL (5V) komunikasi serial. Sebuah *chip ATmega16U2* yang terdapat pada papan digunakan sebagai media komunikasi serial melalui USB dan muncul sebagai *COM Port Virtual* (pada *Device* komputer) untuk berkomunikasi dengan perangkat lunak pada komputer. Perangkat lunak *Arduino* termasuk di dalamnya serial monitor memungkinkan data tekstual sederhana dikirim ke dan dari papan *Arduino*. LED RX dan TX (pada pin 13) akan berkedip ketika data sedang dikirim atau diterima melalui *chip USB-to-serial* yang terhubung melalui USB komputer.

Arduino Mega 2560 dapat diprogram menggunakan aplikasi IDE (*Integrated Development Environment*) yang merupakan *software open source* dari *Arduino*. *Software* ini berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner, dan meng-*upload* ke dalam memori mikrokontroler.

2.8 Arduino Ethernet Shield

Ethernet shield menambah kemampuan *arduino board* agar terhubung ke jaringan komputer. Perangkat *Ethernet shield* ditunjukkan pada gambar 2.15



Gambar 2.15 *Ethernet shield* ^[11]

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*^[10].

Bus *SPI* menggunakan pin digital 11, 12 dan 13 pada *Arduino Uno* dan pin 50, 51, dan 52 pada *Mega*. Pin digital 10 digunakan untuk memilih *W5100* dan pin digital 4 digunakan untuk memilih *SD card*. Pin-pin yang sudah disebutkan sebelumnya tidak dapat digunakan untuk input/output umum ketika kita menggunakan *ethernet shield*. Karena *W5100* dan *SD card* berbagi bus *SPI*, hanya salah satu yang dapat aktif pada satu waktu^[11].

Jika kita menggunakan kedua perangkat dalam program kita, hal ini akan diatasi oleh *library* yang sesuai. Jika kita tidak menggunakan salah satu perangkat dalam program kita, kiranya kita perlu secara eksplisit mendeselect-nya. Untuk melakukan hal ini pada *SD card*, set pin 4 sebagai *output* dan menuliskan logika tinggi padanya, sedangkan untuk *W5100* yang digunakan adalah pin 10^[11].

Untuk menghubungkan *ethernet shield* dengan jaringan, dibutuhkan beberapa pengaturan dasar. Yaitu *ethernet shield* harus diberi alamat *MAC (Media Access Control)* dan alamat *IP (Internet Protocol)*. Sebuah alamat *MAC* adalah sebuah identifikasi unik secara global untuk perangkat tertentu. Alamat *IP* yang valid

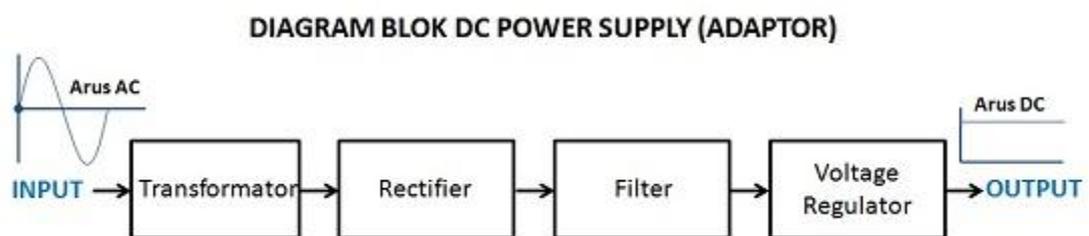
tergantung pada konfigurasi jaringan. Hal ini dimungkinkan untuk menggunakan *DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)* untuk secara dinamis menentukan sebuah IP. Selain itu juga diperlukan *gateway* jaringan dan *subnet*.

2.9 Catu Daya

Catu daya adalah suatu unit yang dapat mensuplai listrik ke unit lain, yang mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC dan menjaga agar tegangan *output* konstan dalam batas-batas tertentu. Catu daya memiliki 3 bagian utama agar dapat menghasilkan arus DC yang stabil. Keempat bagian tersebut diantaranya:

- a. Transformator
- b. Penyearah (*Rectifier*)
- c. Penyaring (*Filter*)

Diagram blok catu daya ditunjukkan pada gambar 2.16



Gambar 2.16 Blok Diagram Catu Daya ^[12]

2.9.1 Transformator

Transformator adalah suatu alat gandengan elektromagnet, atas dasar induksi magnet dapat mengubah dan memindahkan besaran listrik bolak-balik dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain tanpa disertai perubahan besaran frekuensi. Pada dasarnya sebuah transformator terdiri dari sebuah kumparan primer dan sebuah kumparan sekunder yang digulung pada sebuah inti besi lunak. Arus bolak-

balik pada kumparan primer menimbulkan medan magnet yang berubah-ubah dalam inti besi. Medan magnet ini menginduksi GGL (Gaya Gerak Listrik) bolak-balik dalam kumparan sekunder. Transformator adalah komponen kelistrikan yang memiliki kegunaan untuk mengkonversi tegangan tinggi AC menjadi tegangan rendah DC. Komponen utama penyusun transformator adalah kumparan kawat berisolasi (kawat email berdiameter tertentu) dan inti besi. Transformator terbagi menjadi dua bagian kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Gambar 2.17 merupakan gambar fisik tranformator *step down*.



Gambar 2.17 Transformator *Step Down* ^[13]

Jika kumparan primer transformator dihubungkan ke sumber daya listrik bolak-balik, transformator akan mengalirkan arus pada kumparan primer dan menghasilkan fluks magnet yang berubah-ubah sesuai frekuensi yang masuk ke transformator. Fluks magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi ke kumparan sekunder. Sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul GGL induksi. Efek induksi ini dinamakan induktansi timbal-balik (*mutual inductance*).

Konstruksi transformator secara umum terdiri dari:

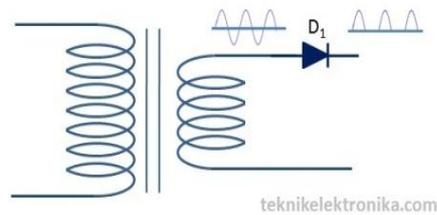
- 1) Inti yang terbuat dari lembaran - lembaran plat besi lunak atau baja silikon yang diklem jadi satu.
- 2) Belitan dibuat dari tembaga yang cara membelitkannya pada inti dapat konsentris maupun spiral.
- 3) Sistem pendinginan pada trafo-trafo dengan daya yang cukup besar.

2.9.2 Rectifier (Penyearah Gelombang)

Rectifier atau penyearah gelombang adalah rangkaian elektronika dalam *power supply* yang berfungsi untuk mengubah gelombang AC menjadi gelombang DC setelah tegangannya 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.

1. *Half Wave Rectifier* / Penyearah Setengah Gelombang

Penyearah setengah gelombang merupakan penyearah yang paling sederhana karena hanya menggunakan 1 buah dioda untuk menghambat sisi sinyal negatif dari gelombang AC dari *power supply* dan melewatkan sisi sinyal positifnya. Dapat dilihat pada gambar di bawah ini merupakan rangkaian penyearah setengah gelombang.



Gambar 2.18 Penyearah Setengah Gelombang^[24]

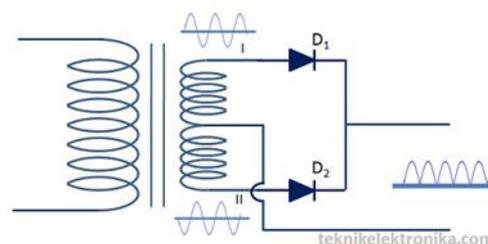
Pada prinsipnya, arus AC terdiri dari 2 sisi gelombang yakni sisi positif dan sisi negatif yang bolak-balik. Sisi positif gelombang dari arus AC yang masuk ke dioda akan menyebabkan dioda terbias maju (*forward bias*) sehingga melewatkannya, sedangkan sisi *negative* gelombang arus AC yang masuk akan menjadikan dioda dalam posisi *reverse bias* sehingga menghambat sinyal negatif tersebut.

2. *Full Wave Rectifier* / Penyearah gelombang penuh

Penyearah gelombang penuh ada yang menggunakan 2 Dioda dan 4 Dioda

a. Penyearah 2 Dioda

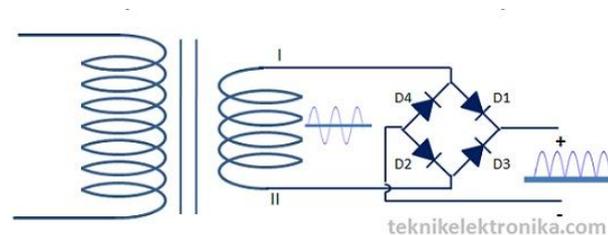
Penyearah gelombang penuh 2 dioda memerlukan transformator khusus yang dinamakan Transformator CT (*Center Tapped*). Dapat dilihat pada gambar di bawah ini merupakan rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda pada transformator CT.



Gambar 2.19 Penyearah Gelombang Penuh 2 Dioda ^[24]

Selama setengah siklus positif, maka dioda sebelah atas akan di *bias forward* dan dioda di sebelah bawah akan di *bias reverse*. Oleh sebab itu arus akan mengalir melalui dioda atas menuju ke beban. Sedangkan selama setengah siklus negatif maka dioda bawah yang akan di *bias forward* dan dioda atas akan di *bias reverse*. Arus akan mengalir melalui dioda bawah menuju ke beban. Inilah mengapa tegangan beban merupakan sinyal gelombang penuh.

b. Penyearah 4 Dioda / Dioda *Bridge*

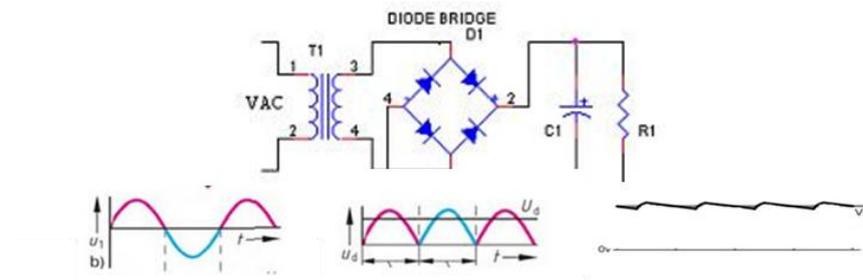


Gambar 2.20 Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda ^[24]

Berdasarkan gambar diatas, jika transformator mengeluarkan *output* sisi sinyal positif, maka D1 dan D2 akan berada dalam kondisi *forward bias* sehingga melewati sinyal positif tersebut sedangkan D3 dan D4 akan menghambat sinyal sisi negatifnya. Kemudian pada saat *output* transformator berubah menjadi sisi negatif maka D3 dan D4 akan berada dalam kondisi *forward bias* sehingga melewati sinyal sisi positif tersebut sedangkan D1 dan D2 akan menghambat sinyal negatifnya.

2.9.3 Filter (Penyaring)

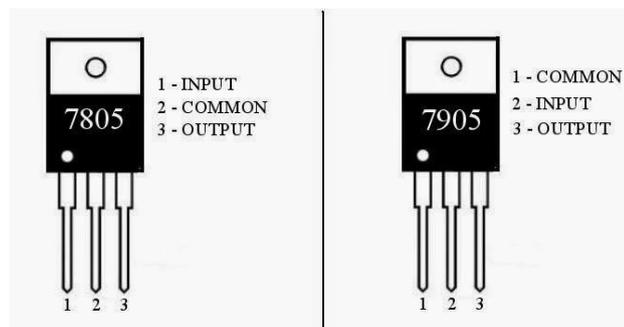
Filter atau penyaring yang digunakan dalam rangkaian *power supply* adalah kapasitor, yaitu komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik. Dalam rangkaian *power supply*, kapasitor digunakan untuk meratakan sinyal *output* dari penyearah dan memperlemah riak / *ripple*.



Gambar 2.21 Rangkaian *Filter Kapasitor* [22]

2.9.4 Regulator

Regulator tegangan merupakan rangkaian yang digunakan sebagai penstabil tegangan *power supply*. Rangkaian ini dapat memberikan *output* tegangan DC yang teratur atau tetap pada nilai yang telah ditentukan meskipun tegangan masukan catu atau beban yang tersambung berubah-ubah. Penggunaan regulator tegangan yang sekarang banyak digunakan sudah dalam bentuk *chip IC*, seperti ditunjukkan pada gambar 2.22. IC *regulator* tegangan tetap adalah keluarga 78XX untuk tegangan positif dan seri 79XX untuk tegangan negatif.

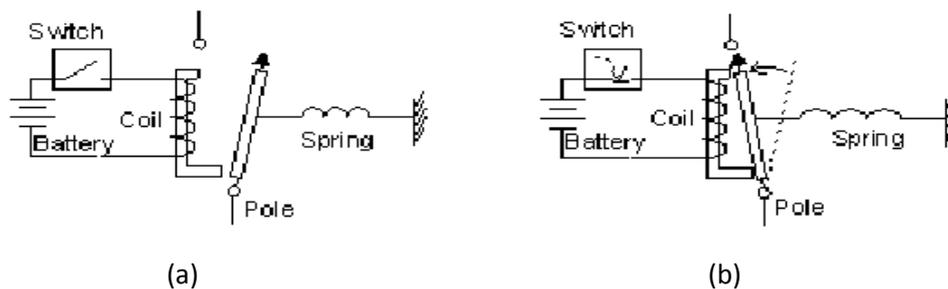


Gambar 2.22 Diagram *Pinout* dari *Voltage Regulator* [25]

2.10 Relay

Relay adalah saklar yang dikendalikan oleh arus. *Relay* memiliki sebuah kumparan tegangan rendah yang dililitkan pada inti. *Relay* berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik yang dikontrol dengan memberikan

tegangan dan arus tertentu pada koilnya. Dalam sebuah *relay*, terdapat sebuah armatur besi yang apabila terdapat arus nominal yang mengalir, akan menarik pegas sehingga berpindah posisi dari *Normally Close* ke *Normally Open*, atau sebaliknya. [27]



Gambar 2.23 Posisi Kontak *Relay*^[28]

(a) Posisi Kontak *Open* saat *Relay* Tidak Bekerja

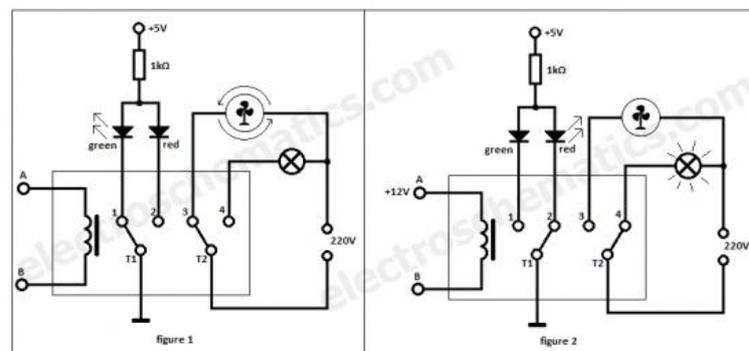
(b) Posisi Kontak *Close* saat *Relay* Bekerja

Cara kerja *relay* yaitu ketika kumparan dialiri arus listrik maka akan timbul gaya elektromagnet yang akan menarik *armature* berpegas, dan kontak akan menutup. Kontak dapat berupa kontak *normally open* (NO) maupun kontak *normally closed* (NC). Kontak NO berarti kondisi awal *relay* sebelum diaktifkan statusnya terbuka dan jika diberi *input* maka kontak akan menutup, sedangkan kontak NC berarti kondisi awal *relay* sebelum diaktifkan berstatus tertutup. *Relay* juga dapat disebut komponen elektronika berupa saklar elektronik yang digerakkan oleh arus listrik. Secara prinsip, *relay* merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (*solenoid*) di dekatnya. Ketika *solenoid* dialiri arus listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada solenoid sehingga kontak saklar akan menutup^[27]. Pada saat arus dihentikan, gaya magnet akan hilang

dan tuas akan kembali ke posisi semula sehingga kontak saklar kembali terbuka. Berdasarkan jumlah *pole* (kontak) dan jumlah *throw* (kondisi kontak) maka *relay* dapat digolongkan menjadi beberapa golongan yaitu:

- 1) *Single Pole Single Throw (SPST)*
- 2) *Single Pole Double Throw (SPDT)*
- 3) *Double Pole Single Throw (DPST)*
- 4) *Double Pole Double Throw (DPDT)*

Dalam alat yang dibuat *relay* yang digunakan merupakan jenis *relay double pole double throw (DPDT)* 12 V DC. Dalam hal ini berarti, *relay* memiliki dua koil yang apabila ia diberi arus DC ia akan menginduksi kumparan dan akan menggerakkan 2 kontak secara bersamaan. Digunakannya *relay* tersebut bertujuan agar dapat menggerakkan dua beban sekaligus.



Gambar 2.24 Relay DPDT Menggerakkan 2 Beban^[28]

2.11 Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan berupa modul sensor arus ZMCT103C yang digunakan untuk membaca besaran arus yang mengalir pada rangkaian beban. Sensor arus ZMCT103C merupakan sensor arus dengan model mini current transformer yang bekerja dengan melakukan pengukuran disisi primer dengan cara

mentransformasikan besaran arus primer yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti.

Pada sensor arus ini juga terdapat rangkaian penguat op-amp yang berhubung pada keluaran transformator arus. Op-amp adalah salah satu dari IC linier yang berfungsi sebagai penguat sinyal listrik.



Gambar 2.25 Sensor Arus ZMCT103C