

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, sistem kelistrikan adalah sebuah elemen yang sangat penting dan tak bisa dilepaskan dalam kehidupan manusia. Segala aspek dalam kehidupan tidak bisa terlepas dari listrik. Begitupun di dalam dunia industri khususnya pertambangan. Sistem kelistrikan memiliki peranan yang sangat vital khususnya di dalam dunia pertambangan. Yang di mana sistem kelistrikan merupakan tonggak keberlangsungan operasi yang sangat bergantung pada pasokan listrik yang memiliki jaringan andal dan stabil tentunya. Karena, bila kegiatan pertambangan berlangsung tanpa adanya sistem kelistrikan, berbagai peralatan dan mesin yang digunakan dalam proses tersebut pastinya tidak akan berfungsi dengan semestinya.

Kelistrikan dalam pertambangan juga pastinya dipengaruhi oleh keandalan yang akan berdampak pada efisiensi dan produktivitas pertambangan itu sendiri. Gangguan berupa pemadaman listrik dapat menyebabkan *downtime* yang tentunya berdampak signifikan. Yang pada gilirannya pasti dapat mengakibatkan penurunan produksi dan melonjaknya biaya operasional. Oleh karena itu, pihak perusahaan tambang perlu melakukan investasi dalam sistem kelistrikan yang andal dan tentunya berkualitas tinggi dalam menunjang keberlangsungan dan efisiensi dalam operasional pertambangan.

Salah satu kawasan industri pertambangan berukuran besar yang ada di wilayah Sulawesi adalah PT. Vale Indonesia yang saat ini dikenal memiliki tingkat produktivitas pertambangan nikel yang sangat tinggi. Dalam kegiatan operasional pertambangan perusahaan ini, kebutuhan akan sistem kelistrikan yang andal dan efisien merupakan hal yang sangat krusial. Karena, kegiatan pertambangan dan produksi dilakukan terus menerus atau selama 24 jam tanpa henti. Pasokan listrik yang bekerja secara kontinu ini tentunya dipengaruhi oleh kinerja sistem proteksi yang terpasang dalam jaringan distribusi.

Sistem proteksi memiliki fungsi untuk mengamankan dan mengisolasi gangguan pada jaringan distribusi, sehingga dapat menurunkan dampak kerusakan yang bisa saja terjadi akibat gangguan pada jaringan. Sistem proteksi yang bekerja dengan baik tentunya akan mengamankan jaringan distribusi yang mengalami gangguan dan memisahkannya dengan jaringan yang tidak terjadi gangguan. Dengan demikian, sistem proteksi dapat menjaga kontinuitas suplai listrik untuk berbagai peralatan yang digunakan dalam segala proses pertambangan dan produksi.

Sistem proteksi yang andal tentu saja penting untuk menjaga kelancaran dalam , tetapi juga untuk memastikan keselamatan kerja bagi seluruh restasi dalam kemajuan teknologi proteksi yang canggih dan merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan demi optimal dari jaringan distribusi tenaga listrik khususnya kawasan n seperti PT. Vale Indonesia Tbk.



Salah satu upaya untuk menjaga performa sistem distribusi adalah dengan penerapan koordinasi proteksi yang tepat. *Overcurrent relay* (OCR) dan *ground fault relay* (GFR) merupakan *relay* proteksi yang melihat lonjakan arus lebih pada sistem distribusi dan merupakan perangkat pengaman utama dalam penyulang B11S03. Dan apabila terjadi kesalahan koordinasi pada sistem proteksi maka dapat berakibat fatal bagi operasional pertambangan ini. Maka, koordinasi proteksi yang tepat sangat diperlukan. Koordinasi proteksi yang tepat khususnya pada *relay* tersebut akan sangat berpengaruh terhadap kinerja *circuit breaker* dan *recloser* yang ada pada sistem distribusi ini.

Recloser merupakan alat yang digunakan untuk memutuskan dan menghubungkan kembali jaringan listrik yang mengalami gangguan. Gangguan yang dimaksud adalah gangguan temporer atau sementara. Gangguan temporer merupakan gangguan yang durasinya singkat, hanya terjadi dalam waktu beberapa detik saja. *Recloser* bekerja secara otomatis dengan kemampuan untuk menutup kembali kontak (*reclose*) sebanyak tiga kali. Dan apabila gangguan masih terjadi setelah tiga kali *reclose*, alat ini akan masuk ke mode *lockout* (tetap membuka). Seluruh proses *switching* pada *recloser* berlangsung secara cepat, menyebabkan kondisi peralihan (transien) menuju keadaan yang stabil (*steady state*). Ketika sudah berada pada kondisi ini, terjadi perubahan tegangan, arus, dan frekuensi dari keadaan normal, yang pastinya dapat berefek pada peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen. Namun demikian, *recloser* memiliki manfaat dalam mengurangi durasi pemadaman listrik. Dengan melakukan pengoptimalan penempatan *recloser* pada jaringan distribusi, indeks keandalan tenaga listrik dapat ditingkatkan.

Keandalan dalam sistem distribusi tenaga listrik merupakan parameter yang sangat penting untuk menjamin kontinuitas pasokan listrik kepada konsumen. Tingkat keandalan mencerminkan seberapa baik sistem distribusi dapat mengatasi gangguan dan pemadaman dalam periode waktu tertentu. Indeks keandalan dalam jaringan distribusi listrik adalah parameter kritis yang mengukur sejauh mana sistem dapat memberikan pasokan listrik yang dapat diandalkan kepada pelanggan. Beberapa indeks keandalan pada jaringan distribusi listrik adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Duration of Interruption Index*). Salah satu metode yang sering digunakan dalam menghitung tingkat keandalan suatu sistem distribusi adalah *section technique*, yaitu metode yang membagi suatu jaringan menjadi beberapa bagian atau *section* untuk mempermudah perhitungan indeks keandalan berdasarkan data gangguan pada sistem.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penulis tertarik melakukan penelitian

KOORDINASI PROTEKSI OCR DAN GFR SERTA ANALISIS INGAN DISTRIBUSI PENYULANG B11S03 PT. VALE



ah

lakang masalah, maka rumusan masalah dalam penelitian ini

1. Bagaimana koordinasi proteksi proteksi pada penyulang 33 kV B11S03 PT. Vale Indonesia Tbk sebelum penambahan *recloser*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *recloser* terhadap koordinasi proteksi pada penyulang B11S03?
3. Bagaimana perbandingan indeks keandalan jaringan distribusi penyulang B11S03 sebelum dan sesudah penambahan *recloser* dengan *metode section technique*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengidentifikasi koordinasi proteksi *overcurrent relay* dan *ground fault relay* pada penyulang 33 kV B11S03 PT. Vale Indonesia Tbk. sebelum penambahan *recloser*.
2. Menganalisis koordinasi proteksi OCR dan GFR pada penyulang 33 kV B11S03 setelah penambahan *recloser*.
3. Membandingkan nilai indeks keandalan jaringan distribusi penyulang 33 kV B11S03 sebelum dan sesudah penambahan *recloser* menggunakan metode *section technique*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini secara khusus bermanfaat dalam memberikan kontribusi untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi 33 kV penyulang B11S03 PT. Vale Indonesia Tbk melalui analisis koordinasi proteksi dan evaluasi nilai indeks keandalan sebelum maupun sesudah penambahan *recloser*. Selain itu, hasil penelitian dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem distribusi tenaga listrik khususnya pada wilayah pertambangan.

1.5 Batasan Penelitian

Supaya penelitian ini dapat terarah dengan baik, maka batasan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisis koordinasi proteksi dibatasi pada *overcurrent relay* (OCR) dan *ground fault relay* (GFR) sebagai *relay* utama pada sistem distribusi.
2. Evaluasi keandalan jaringan distribusi dilakukan menggunakan metode *section technique* dan indeks keandalan yang dianalisis terbatas pada SAIFI, dan SAIDI.
3. Perbandingan kinerja sistem distribusi hanya dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah penambahan *recloser*.



l seperti cuaca ekstrem, *human error* dalam operasional, peralatan, dan lain-lain tidak dimasukkan secara rinci dalam rancangan sebagai bagian dari data gangguan yang tersedia.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini diuraikan sebagai berikut untuk memberikan alur penyajian yang teratur, logis, serta memudahkan pembaca dalam memahami setiap tahapan pembahasan yang disusun dalam laporan ini :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan, serta landasan teori yang mencakup teori-teori yang relevan dengan penelitian.

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode pengambilan data, metode analisis yang digunakan, dan langkah-langkah penelitian.

BAB III HASIL

Bab ini menyajikan hasil analisis data yang diolah serta pemaparan data yang diperoleh.

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini berisi analisis terhadap hasil penelitian yang telah diperoleh.

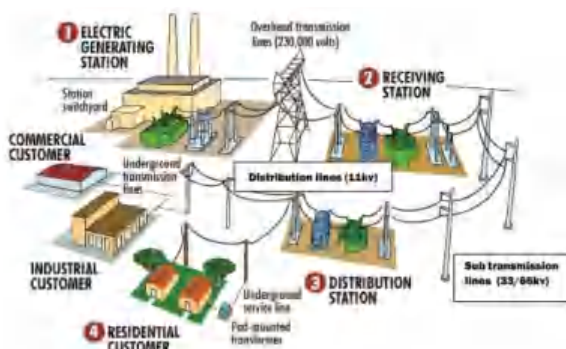
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan berdasarkan hasil pembahasan serta saran terkait tugas akhir ini.

1.7 Tinjauan Pustaka

1.7.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem yang mencakup beberapa komponen, yaitu unit pembangkitan, saluran transmisi, gardu induk, dan jaringan distribusi yang terhubung dan bekerja bersama untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan atau konsumen sesuai kebutuhan yang diperlukan (Suripto, 2017).



Gambar 1 Skema Sistem Tenaga Listrik

www.researchgate.net/figure/Power-System-Network_fig3_342



na pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa seluruh sistem diawali es pembangkitan tenaga listrik. Sistem pembangkitan tenaga ant) merupakan sistem yang terdiri dari satu atau lebih unit rtinya akan mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik bisa menghasilkan daya listrik yang cukup sesuai dengan

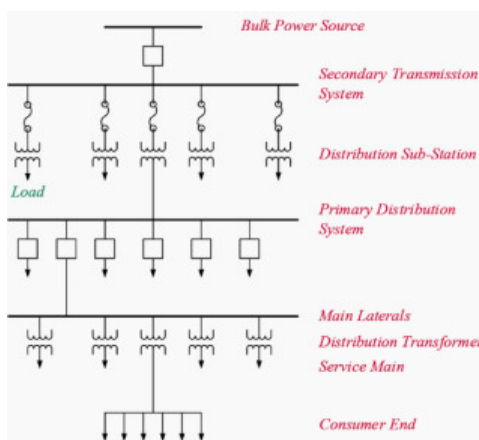
kebutuhan dari konsumen. Secara umum, sistem pembangkitan tenaga listrik terbagi menjadi dua jenis, yaitu *centralized generation* (pembangkitan terpusat), dan *distributed generation* (pembangkitan terdistribusi). *Centralized generation* merupakan jenis pembangkitan di mana listrik dihasilkan dalam skala yang besar di satu lokasi tertentu. Contoh dari pembangkitan jenis ini adalah pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), dan sebagainya. Sedangkan *distributed generation* merupakan jenis pembangkitan yang menggunakan sistem interkoneksi di mana terdapat lebih dari satu pembangkit yang berkapasitas relatif kecil yang umumnya berasal dari sumber energi terbarukan dan diinterkoneksi dengan jaringan listrik yang telah terhubung dengan pembangkit listrik berkapasitas besar (Syahputra, 2021).

Tenaga listrik yang telah dihasilkan pada unit pembangkit, selanjutnya akan dinaikkan tegangannya menggunakan transformator daya (*step-up transformer*) karena tegangan yang dihasilkan generator relatif kecil. Tegangan yang dinaikkan berkisar 70kV hingga 500kV bahkan lebih. Tujuan dari mempertinggi tingkat tegangan adalah untuk memperbesar daya hantar dari saluran dan untuk memperkecil rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran. Listrik yang telah dinaikkan tegangannya tersebut akan mengalir pada sistem transmisi yang bertujuan untuk menyalurkan tenaga listrik ke beban yang berada jauh dari lokasi unit pembangkitan.

Setelah daya listrik mendekati beban, tegangan akan diturunkan menggunakan transformator distribusi (*step-down transformer*) dan akan disalurkan melalui jaringan distribusi tegangan rendah 220V/380V.

1.7.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian atau tahapan terakhir dari sistem tenaga listrik yang tak lain adalah jaringan penghantar yang menghubungkan gardu induk pusat beban dengan pelanggan. Sistem ini meliputi bagian yang dimulai dari penyulang (*feeder*) yang berada di terminal sekunder transformator distribusi pada gardu induk dan disebar ke berbagai pusat beban.



gambar 2 Skema Sistem Distribusi Tenaga Listrik

source: https://www.researchgate.net/figure/Distribution-System_fig1_365527368



Sistem distribusi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

1.7.2.1 Sistem Pendistribusian Langsung

Sistem pendistribusian langsung adalah sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara langsung dari unit pembangkit dan tidak melalui rangkaian jaringan transmisi. Sistem ini dapat ditemukan pada pusat pembangkit yang terletak pada daerah yang tidak jauh dari pusat beban.

1.7.2.2 Sistem Pendistribusian Tak Langsung

Sistem pendistribusian tak langsung adalah sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan apabila unit pembangkit terletak jauh dari pusat beban, sehingga diperlukan adanya sistem transmisi dalam penyaluran tenaga listrik ke pusat beban (Suswanto, 2009).

1.7.3 Struktur Jaringan Distribusi

Secara umum, sistem distribusi tenaga listrik terdiri atas beberapa komponen, antara lain:

1.7.3.1 Gardu Induk

Gardu induk merupakan komponen paling pertama dalam tahapan pendistribusian tenaga listrik. Gardu induk berfungsi sebagai tempat untuk menurunkan tegangan tinggi dari jaringan transmisi ke level tegangan menengah, biasanya berkisar di bawah 30kV (Suswanto, 2009).

Sebagai pangkal dari jaringan distribusi, gardu ini berisikan transformator *step-down*, peralatan kontrol, dan peralatan proteksi agar penyaluran tenaga terjaga stabilitas tegangan, memastikan keandalan, serta agar mencegah terjadinya gangguan pada jaringan distribusi.

Untuk lebih spesifik, fungsi utama gardu induk adalah sebagai berikut :

1. Mengonversi level tegangan ke tegangan tinggi lainnya, atau ke level tegangan menengah.
2. Memudahkan pengukuran, pengawasan operasi, dan pengamanan sistem tenaga listrik (Syafar, 2018).

1.7.3.2 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan jaringan bertegangan menengah (<30kV) dan terletak pada titik sekunder transformator *step-down* saluran transmisi yang terletak pada gardu induk hingga titik primer transformator distribusi yang nantinya akan menurunkan ke level tegangan rendah (JTR).

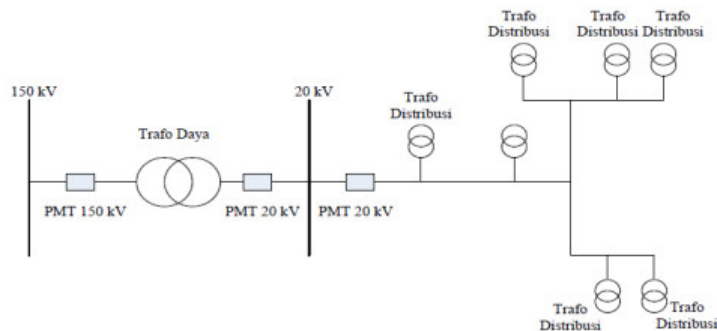
Berdasarkan tipe konfigurasinya, jaringan distribusi primer terbagi atas beberapa konfigurasi, antara lain :



Jenis Primer Tipe Radial

Distribusi primer tipe radial merupakan jaringan sistem terbuka, disalurkan secara radial dari gardu induk langsung menuju titik terdapat saluran lain untuk menyalurkan tenaga listrik. Jaringan ini merupakan sistem paling sederhana dan murah, karena material yang digunakan pada tipe ini sangat sedikit. Tipe radial merupakan jenis konfigurasi

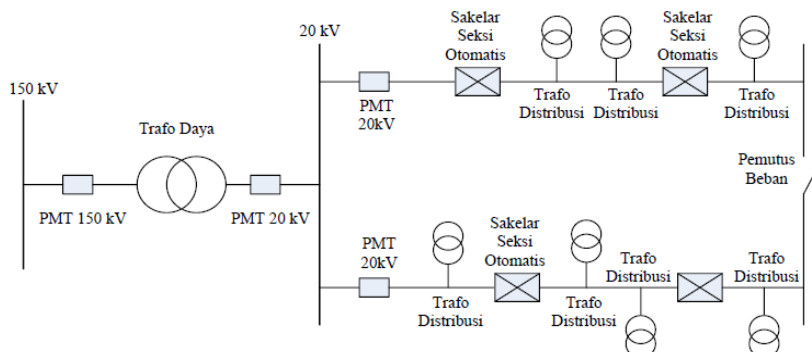
yang tingkat keandalannya paling rendah karena hanya menggunakan satu saluran saja, sehingga ketika jaringan atau *feeder* terdapat gangguan, semua peralatan pada jaringan tersebut akan terkena dampaknya dan menimbulkan *downtime* yang lama hingga sistem dapat diperbaiki kembali. Panjang dari saluran juga sangat berpengaruh, karena semakin panjang saluran, maka rugi-rugi tegangan pada jaringan akan semakin besar pula (Suswanto, 2009).



Gambar 3 Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial
Sumber: <http://eprints.polsri.ac.id/4122/3/File%20III.pdf>

2. Jaringan Distribusi Primer Tipe Loop

Jaringan distribusi primer tipe *loop* atau rangkaian tertutup menggunakan dua atau lebih saluran penyulang yang terkoneksi sehingga rangkaian berbentuk *loop* atau cincin dan memungkinkan bagi titik beban dilayani oleh dua arah penyulang. Sistem konfigurasi tipe ini secara ekonomis menguntungkan karena bila terjadi gangguan, hanya jaringan yang bermasalah saja yang terganggu, jaringan lainnya akan aman dan dapat menyalurkan tenaga listrik.



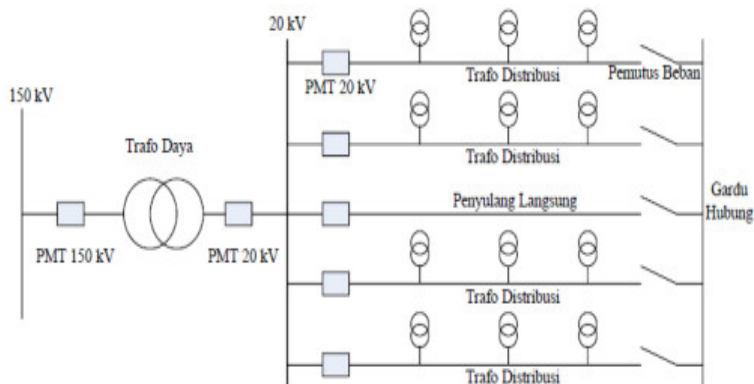
Gambar 4 Jaringan Distribusi Primer Tipe Loop
Sumber: <http://eprints.polsri.ac.id/4122/3/File%20III.pdf>



Jaringan Distribusi Primer Tipe Spindel

Jaringan ini merupakan jaringan distribusi primer gabungan dari struktur busbar. Busbar busbar ujungnya dapat di satukan pada gardu hubung dan terdapat pemutus tenaga. Penyulang ekspres (*express feeder*) ini harus selalu dalam keadaan siaga, dan siap terus menerus untuk menjamin bekerjanya busbar busbar menyalurkan energi listrik ke beban pada saat terjadi gangguan

atau pemeliharaan. Dalam keadaan normal tipe ini beroperasi secara radial. Pada sebuah sistem spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah atau Saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai ke titik beban



Gambar 5 Jaringan Distribusi Primer Tipe Spindel
Sumber: <http://eprints.polsri.ac.id/4122/3/File%20III.pdf>.

1.7.3.3 Gardu Hubung (*Switch Substation*)

Gardu hubung adalah gardu yang menghubungkan antara gardu induk dengan transformator distribusi. Gardu ini hanyalah berisikan *switchgear* dan *busbar* yang berguna untuk proses *switching* pada jaringan distribusi (Syafar, 2018).



Gambar 6 Switchgear pada Gardu Hubung

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk



1.7.3.4 Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah gardu yang menghubungkan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Oleh sebab itu, pada gardu distribusi hanya terdapat transformator distribusi (*step-down*) yang berfungsi menurunkan level tegangan menengah (JTM) ke tegangan rendah (JTR) 220V/380V (Syafar, 2018).



Gambar 7 Gardu Distribusi
Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

1.7.3.5 Penyulang (*Feeder*)

Penyulang (*feeder*) adalah saluran yang menjadi penghubung antara gardu induk dengan gardu distribusi. Berdasarkan penggunaannya, penyulang dapat dibagi beberapa jenis, antara lain :

1. Penyulang Tunggal

Penyulang tipe ini merupakan sistem paling sederhana akan tetapi bila dilihat dari tingkat keandalannya, penyulang tipe ini memiliki keandalan jaringan yang rendah. Hal tersebut dapat disebabkan pelayanan aliran tenaga yang terputus apabila terjadi gangguan pada sistem penyulang. Penyulang tipe ini akan memerlukan lebih banyak material seperti isolator, dan ruang apabila dibandingkan dengan penyulang tipe lain. Selain itu, penyulang tipe ini justru lebih memudahkan bagi operasi pemeliharaan. Serta, bila terjadi gangguan penyulang tidak akan mengalami pemadaman.



3. Sistem Tanpa Penyulang

Sistem ini banyak ditemukan karena adanya kemajuan dalam keandalan peralatan listrik, penyederhanaan sistem instalasi, dan meluasnya sistem saluran bawah tanah.

1.7.3.6 Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder adalah komponen yang memiliki fungsi untuk menjadi penyalur antara titik sekunder dari transformator distribusi (*step-down*) yang berada di gardu distribusi menuju pusat beban. Atau dengan kata lain, jaringan distribusi sekunder adalah perpanjangan tangan dari jaringan distribusi primer dengan pusat beban. Jaringan distribusi sekunder di Indonesia berada pada level tegangan 220V/380V (Syafar, 2018).

Jaringan distribusi di Indonesia dirancang menjadi dua jenis, yaitu fase tunggal yang diperuntukkan bagi daerah pemukiman, dan tiga fase yang diperuntukkan bagi daerah industri ataupun komersial yang mempunyai beban lebih tinggi (Syahputra, 2021).

1.7.4 Gangguan Pada Sistem Distribusi

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, gangguan dapat saja terjadi dan tentunya menimbulkan efek buruk terhadap titik beban. Gangguan merupakan penghalang dari sistem yang sedang beroperasi menyalurkan tenaga listrik atau dapat dikatakan suatu kondisi yang tidak normal dalam sistem. Pada peralatan listrik, gangguan merupakan kondisi di mana terjadi kerusakan yang mengakibatkan arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya.

Secara umum, terdapat tiga kategori gangguan, yaitu gangguan hubung singkat (*short circuit*), gangguan beban lebih (*overload*), dan gangguan tegangan lebih (*over voltage*). Dari ketiga jenis gangguan tersebut, jenis gangguan yang paling sering terjadi dan memiliki dampak sangat besar bagi jaringan distribusi adalah gangguan hubung singkat. Sehingga, gangguan pada sistem distribusi lebih mengacu pada gangguan hubung singkat dan peralatan yang dipasang sebagai proteksi lebih cenderung untuk mengatasi gangguan hubung singkat (Suswanto, 2009).

Ketika terjadi gangguan, *relay* pengaman *feeder* akan bekerja dan membuka *circuit breaker* yang berada di gardu induk dan mengakibatkan terputusnya suplai tenaga listrik. Hal tersebut bertujuan agar mengamankan peralatan listrik yang berada pada area gangguan tersebut. Selain rusaknya peralatan listrik, kontinuitas pelayanan ke konsumen terganggu, peralatan listrik milik konsumen juga sangat berpotensi mengalami kerusakan, dan menurunnya stabilitas sistem distribusi bahkan dapat berakibat buruk pada sistem pembangkitan tenaga listrik (Syafar, 2018).

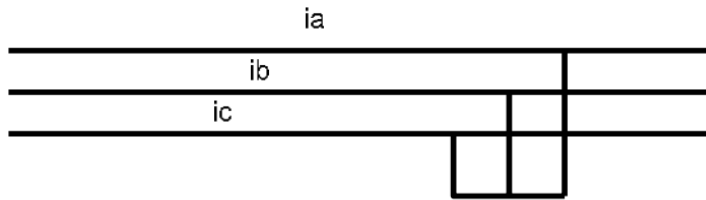
Jenis gangguan berdasarkan tinjauannya dapat diklasifikasikan berdasarkan tipe dan durasi gangguan, yaitu:



Berdasarkan Tipe atau Jenisnya

Gangguan Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan arus maupun tegangan tiap fasanya tetap seimbang setelah terjadi. Sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisa hanya dengan urutan positif saja.

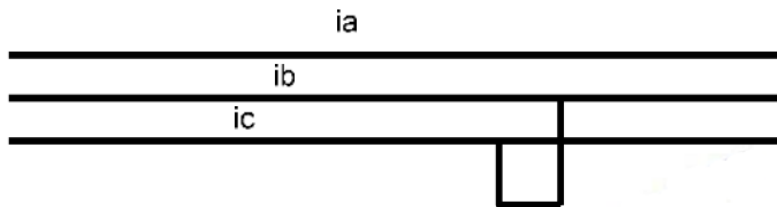


Gambar 8 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Sumber: <https://repo.unsrat.ac.id/5071/1/e8c8b94ab20942caf58238b9058f85d43281d883.pdf>

2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Gangguan hubung singkat dua fasa atau yang biasa disebut hubung singkat fasa ke fasa adalah kondisi dimana antara fasa ke fasa saling terhubung singkat. Pada gangguan hubung singkat fasa ke fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah.

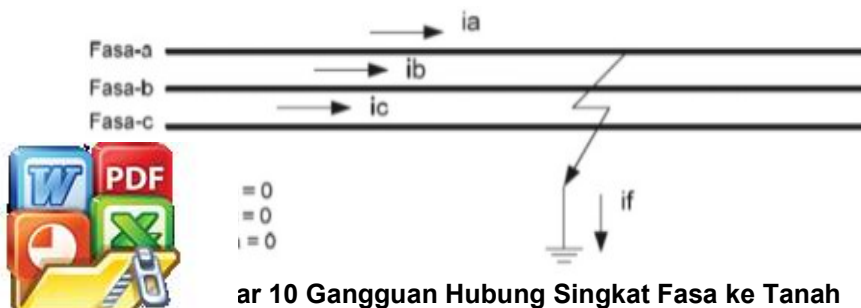


Gambar 9 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Sumber: <https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/C41A/2019/C.441.19.0023/C.441.19.0023-05-BAB-II-20230303122949.pdf>

3. Gangguan Fasa ke Tanah (*Ground Fault*)

Ground fault adalah terhubungnya konduktor fasa dengan beban atau tempat yang terhubung dengan tanah sehingga beban atau tempat tersebut bertegangan dan mengalirkan arus ke tanah. Gangguan ini merupakan gangguan terbesar dari semua jenis gangguan sistem daya listrik. Oleh karena itu pengaman terhadap gangguan tanah ini merupakan suatu hal yang terpenting.



ar 10 Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Tanah

Sumber: <https://repo.unsrat.ac.id/e8c8b94ab20942caf58238b9058f85d43281d883.pdf>

1.7.4.2 Gangguan Berdasarkan Durasi

1. Gangguan Permanen

Gangguan permanen adalah jenis gangguan yang dapat terjadi akibat adanya kerusakan pada peralatan listrik, sehingga gangguan yang bersifat permanen akan hilang ketika kerusakan yang terjadi telah diperbaiki atau penyebab gangguannya dihilangkan (Syafar, 2018).

2. Gangguan Temporer

Gangguan temporer merupakan gangguan yang apabila terjadi, gangguan itu tidak akan lama dan dapat ke keadaan normal kembali dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangan dan akan kembali terhubung sesuai pengaturan peralatan hubungannya. Gangguan temporer jika sering terjadi tentu akan mengakibatkan kerusakan pada peralatan, dan pada akhirnya dapat menyebabkan gangguan yang permanen (Suswanto, 2009).

1.7.5 Komponen Proteksi Sistem Distribusi

Kualitas daya merupakan faktor yang sangat penting dalam upaya penyaluran daya listrik ke titik beban. Beberapa poin penting yang menjadi faktor kualitas daya antara lain stabilitas tegangan, kontinuitas pelayanan, keandalan pengaman, dan kapasitas daya yang tentu saja harus memenuhi kebutuhan. Agar semua poin tersebut dapat terpenuhi, diperlukan adanya komponen proteksi di dalam sistem distribusi. Beberapa komponen proteksi sistem distribusi tenaga listrik adalah sebagai berikut :

1.7.5.1 Fuse Cut Out (FCO)

Fuse cut out (pelebur) adalah sebuah peralatan proteksi yang terdapat di jaringan distribusi yang memiliki fungsi untuk menjaga dan mengamankan saluran dan peralatan yang tersambung padanya dari kerusakan dan bekerja dalam batas nilai nominalnya setiap saat. Harganya yang murah dan juga mudah dari sisi instalasinya membuat peralatan ini banyak digunakan pada JTM 20kV. Akan tetapi, kinerja alat ini dipengaruhi oleh ketepatan pengguna serta perlunya perawatan secara berkala (Sofwan, 2022).

Alat ini bekerja sebagai *fuse* (sekering) khususnya untuk jaringan tegangan menengah dan juga sebagai alat pemutus (*switch*) yang bekerja sesuai dengan arus nominalnya. *Fuse cut out* di dalam jaringan biasanya terletak di antara jaringan tegangan menengah (JTM) dan transformator distribusi tegangan menengah (Syafar, 2018).



Gambar 11 Fuse Cut Out (FCO)
Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

1.7.5.2 *Disconnecting Switch (DS)*

Disconnecting switch adalah peralatan hubung yang memiliki fungsi sebagai pemisah antara satu rangkaian dengan rangkaian lain di dalam jaringan dan hanya dapat bekerja ketika pada kondisi tidak berbeban karena peralatan ini tidak memiliki kemampuan untuk melakukan peredaman busur api listrik yang ditimbulkan. Umumnya, alat ini dioperasikan secara manual oleh operator sehingga harus dilihat secara visual apakah dalam kondisi tertutup atau terbuka (Sofwan, 2022).



Gambar 12 *Disconnecting Switch (DS)*

Sumber: PT. Vale Indonesia Tbk

1.7.5.3 *Lightning Arrester (LA)*

Lightning arrester merupakan suatu alat proteksi yang berfungsi melindungi jaringan serta peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang terjadi akibat sambaran petir dan akibat *switching* pada suatu jaringan. Prinsip kerja alat ini adalah dengan melewatkan tegangan lebih abnormal ke tanah sebelum merusak peralatan pada jaringan khususnya transformator dan isolator yang terpasang (Suswanto, 2009).



Gambar 13 *Lightning Arrester (LA)*

[//www.conwell.cc/products/metal-oxide-surge-arrester.html](http://www.conwell.cc/products/metal-oxide-surge-arrester.html)



1.7.5.4 Recloser

Recloser merupakan peralatan proteksi yang bekerja secara otomatis membuka dan menutup kembali dan membuka terus menerus (*lock out*) untuk menghilangkan gangguan temporer dan juga permanen. Apabila terjadi gangguan temporer, *recloser* akan bekerja (buka-tutup) sesuai dengan *setting* yang telah ditentukan dan akhirnya akan masuk ke mode *lockout* apabila gangguan tidak hilang.

Pengoperasian *recloser* terbagi menjadi dua yaitu *fast operation* yang dimana *recloser* akan segera membuka sebelum terjadi kerusakan pada *fuse* yang ada pada jaringan. Dan mode operasi kedua yaitu *delayed operation*, yang dimana *recloser* akan memberi kesempatan kepada *fuse* untuk bekerja terlebih dahulu sehingga gangguan yang bersifat permanen akan langsung dapat dibatasi di area yang lebih kecil. Berdasarkan jumlah fasanya, *recloser* dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. *Recloser* Fasa Tunggal

Recloser fasa tunggal digunakan untuk mengamankan jaringan satu fasa saja. Namun, *recloser* jenis ini dapat dikombinasikan dengan *recloser* yang sama untuk jaringan tiga fasa. Sehingga, bila terjadi gangguan pada salah satu fasa, *recloser* akan bekerja. Sementara dua fasa lainnya akan tetap berjalan normal.

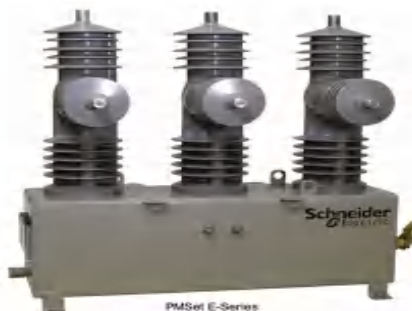


Gambar 14 Recloser Fasa Tunggal

Sumber: <https://www.hubbell.com/hubbellpowersystems/en/products/versa-tech-lt-single-phase-recloser/p/12138057>

2. *Recloser* Tiga Fasa

Recloser tiga fasa digunakan untuk mengamankan jaringan tiga fasa dan biasanya digunakan pada saluran utama. *Recloser* ini akan bekerja bila terjadi gangguan dan langsung membuka tiga fasa sekaligus tanpa memperhatikan fasa mana yang mengalami gangguan (Sofwan, 2022).



Gambar 15 Recloser Tiga Fasa

Sumber: Schneider Electric

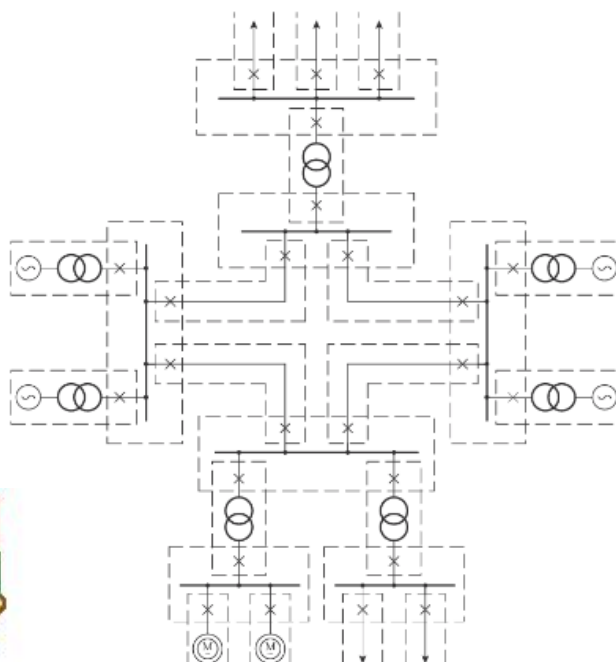


1.7.6 Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi merupakan sebuah sistem yang bertujuan untuk mengamankan peralatan listrik yang diakibatkan oleh gangguan pada jaringan. Prinsip kerja dari sistem proteksi adalah dengan memisahkan bagian atau jaringan sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan, dan bagian dari sistem kelistrikan yang tidak mengalami gangguan dapat tetap bekerja dalam upaya menyalurkan listrik ke pusat beban sehingga keandalan dapat tetap terjaga (Azis & Febrianti, 2019).

Dalam upaya melakukan pengaturan terhadap sistem proteksi dalam sistem tenaga, terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi, antara lain :

1. Andal
Kemampuan sistem proteksi agar dapat beroperasi dengan benar dan tentunya agar sistem proteksi harus dapat menghindari operasi yang tidak benar ketika terjadi gangguan pada sistem kelistrikan.
2. Cepat Bereaksi
Sistem proteksi dapat bekerja dengan waktu operasi minimum untuk memisahkan gangguan agar tidak terjadi kerusakan pada peralatan listrik.
3. Selektif
Kemampuan sistem agar dapat memutuskan atau membuka jaringan seminimal mungkin yang hanya diperlukan untuk memisahkan daerah gangguan dari sistem yang normal.
4. Biaya
Dapat melakukan fungsi utamanya dengan maksimal dengan biaya seminimal mungkin.



Gambar 16 Zona Proteksi
Sumber: Gers & Holmes, 2011



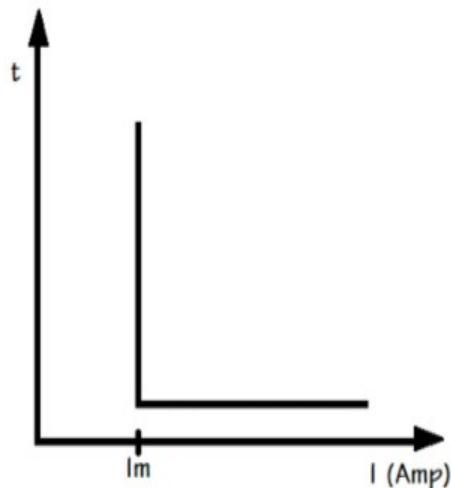
Sistem proteksi bekerja dengan membagi sistem menjadi beberapa zona proteksi terpisah yang dapat dilindungi ketika terjadi gangguan, sehingga bagian yang lain dapat tetap bekerja dengan optimal. Secara umum, sistem tenaga dapat dibagi ke dalam beberapa zona proteksi, seperti generator, motor, busbar, transformator, dan sebagainya (Gers & Holmes, 2011).

1.7.7 Overcurrent Relay (OCR)

Overcurrent relay adalah *relay* yang memiliki fungsi untuk mendeteksi adanya kenaikan arus listrik yang naik melebihi batas arus *setting* atau nilai batasnya, kenaikan arus tersebut dapat disebabkan oleh gangguan *short circuit* atau *over current*. *Relay* ini juga dapat berfungsi sebagai alat pendeteksi kenaikan arus atau *overload* yang dapat merusak peralatan yang berada di zona proteksinya. OCR mendeteksi gangguan kenaikan arus antar fasa (Andriyan, et al, 2022). *Overcurrent relay* memiliki beberapa tipe karakteristik yaitu :

1. *Instantaneous Relay*

Relay tipe ini akan bekerja seketika saat terjadi gangguan bila besar arus gangguan melampaui nilai *setting relay* dan lama *relay* bekerja sangat singkat dalam waktu beberapa milidetik.



Gambar 17 Karakteristik *Instantaneous Relay*

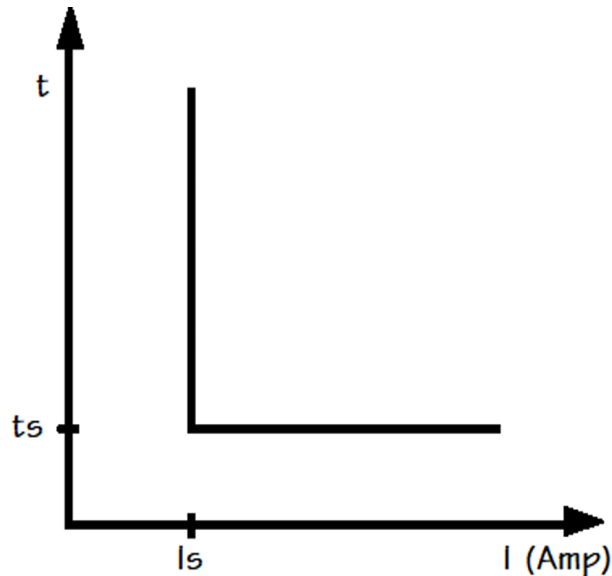
Sumber: <https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/>

C41A/2017/C.431.17.0102/C.431.17.0102-05-BAB-II-20240502013159.pdf

2. *Definite Time Relay*



Relay tipe ini akan bekerja sesuai arus *setting* dan waktu yang telah tersebut penting dalam proses koordinasi proteksi agar *relay* pada jaringan dapat bekerja secara selektif.



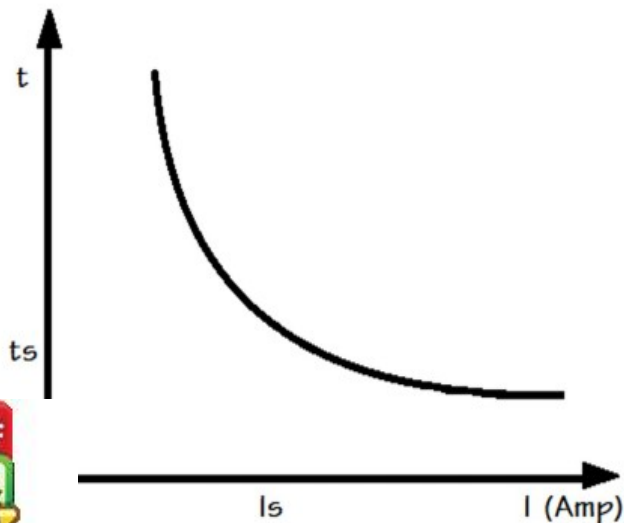
Gambar 18 Karakteristik Definite Time Relay

Sumber: <https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/>

C41A/2017/C.431.17.0102/C.431.17.0102-05-BAB-II-20240502013159.pdf

3. Inverse Time Relay

Relay ini akan bekerja dengan waktu lebih cepat untuk gangguan di dekat *relay* tersebut dibandingkan dengan jika terjadi gangguan di ujung saluran lainnya, sehingga keuntungan *relay* tipe ini adalah lebih selektif dibandingkan dengan *definite time relay* (Sofwan, 2022).



Gambar 19 Karakteristik Inverse Time Relay

Sumber: <https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/>

31.17.0102/C.431.17.0102-05-BAB-II-20240502013159.pdf



Berdasarkan standar IEC 60255-3 1989, karakteristik *inverse time relay* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$t = \frac{\beta}{\left(\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)} \times tms$$

Atau dapat juga di cari menggunakan persamaan berikut:

$$tms = \frac{\left(\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)}{\beta} \times t$$

Dimana,

t = Waktu kerja *relay* (detik)

I = Arus (A)

I_{set} = Arus *setting* (A)

α dan β = Indeks karakteristik fungsi aljabar

tms = Time Multiplier Setting

Konstanta α dan β berbeda-beda tergantung jenis kurva yang ditetapkan oleh standar IEC 60255-3 1989. Secara umum, nilai konstanta tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1 Jenis Kurva *Inverse* (IEC 60255-3 1989)

Jenis Kurva IEC 60255	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0.14	0.02
<i>Very Inverse</i>	13.5	1.0
<i>Extremely Inverse</i>	80	2.0
<i>Long Time Inverse</i>	120	1.0

Sumber: IEC std. 255-3 : 1989

1.7.8 Ground Fault Relay (GFR)

Ground fault relay pada dasarnya memiliki prinsip kerja yang mirip dengan *overcurrent relay*. Namun, memiliki perbedaan dari segi fungsionalitas. *Overcurrent relay* akan mendeteksi gangguan *short circuit* antar fasa, sedangkan *ground fault relay* mendeteksi gangguan yang terjadi akibat *short circuit* dengan tanah (Azis & Febrianti, 2019).

1.7.9 Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Keandalan adalah sebuah tingkat keberhasilan dari kinerja suatu sistem tenaga memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan kondisi tertentu. Untuk menentukan tingkat keandalan dari sebuah sistem, perlu diketahui tingkat keberhasilan operasi dari sistem sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Keandalan sistem tenaga listrik berarti bagaimana menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke pusat beban atau konsumen terutama yang membutuhkan tenaga listrik yang membutuhkan daya besar. Apabila terjadi gangguan dalam proses

penyaluran tenaga listrik, tentu akan mengakibatkan proses produksi akan terganggu. Kontinuitas pelayanan yang merupakan salah satu aspek penting dalam kualitas pelayan dipengaruhi oleh bagaimana sarana penyalur dan pengamanan atau proteksi pada sistem (Funan & Sutarna, 2020).

Ketika membahas keandalan, berdasarkan SPLN 59 : 1985 terdapat beberapa definisi dasar sebagai berikut :

1. Pemadaman (*Interruption of Supply*).
Terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen, yang diakibatkan dari satu atau lebih komponen yang terkena gangguan.
2. Keluar (*Outage*).
Suatu keadaan di mana komponen tidak dapat lagi berfungsi sebagaimana mestinya, yang diakibatkan oleh beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut. *Outage* tidak menentu akan menyebabkan pemadaman, tergantung pada konfigurasi dari sistem kelistrikan sendiri.
3. Lama Keluar (*Outage Duration*).
Merupakan periode saat permulaan komponen mengalami *outage* sampai komponen dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
4. Lama Keluar Paksa Transien (*Transient Forced Outage Duration*).
Waktu singkat yang dibutuhkan oleh alat pemutus untuk bekerja menutup kembali tanpa menyebabkan komponen mengalami kerusakan.
5. Lama Keluar Paksa Permanen (*Permanent Forced Outage Duration*).
Waktu yang diperlukan untuk saat permulaan komponen mengalami *outage* sampai mendapatkan perbaikan.
6. Lama Keluar Terencana (*Scheduled Outage Duration*).
Waktu yang diperlukan untuk melakukan *maintenance* yang telah direncanakan.
7. Lama Pemadaman (*Interruption Duration*).
Durasi waktu yang dimulai saat pemadaman terjadi hingga dapat menyala kembali.
8. Kegagalan Parsial (*Partial Failure*).
Sebuah kondisi di mana komponen yang bekerja mengalami kegagalan dan dapat bekerja dengan kemampuan yang menurun (bukan dengan kemampuan aslinya).
9. Kegagalan Total (*Complete Failure*).
Sebuah kondisi di mana komponen yang benar-benar tidak bisa bekerja.
10. Keluar Paksa Transien (*Transient Forced Outage*).
Outage yang penyebabnya dapat hilang dengan sendirinya, sehingga komponen dapat pulih sendiri setelah *circuit breaker* telah bekerja. Contohnya adalah sambaran petir.
11. Keluar Paksa Permanen (*Permanent Forced Outage*).
Outage yang penyebabnya tidak bisa hilang dengan sendirinya dan harus diperbaiki agar komponen dapat digunakan kembali. Contohnya menyebabkan pecahnya isolator, sehingga harus diganti agar bekerja.



Pemadaman sementara yang diperlukan hanya untuk mengembalikan suplai tenaga listrik secara otomatis dan berlangsung tidak lebih dari 5 menit.

15. Pemadaman Temporer (*Temporary Interruption*).

Pemadaman sementara yang diperlukan untuk mengembalikan suplai tenaga listrik secara manual yang dikerjakan oleh operator dan berlangsung selama 1-2 jam.

Indeks keandalan adalah indikator keandalan yang dinyatakan dalam besaran atau satuan dan distandarkan ke dalam standar internasional yaitu IEEE. Adapun indikator atau indeks keandalan antara lain :

1. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

SAIFI menggambarkan informasi frekuensi rata-rata pemadaman yang dialami oleh pelanggan dalam jangka waktu setahun. Besarnya nilai SAIFI dapat menjadi gambaran besarnya frekuensi pemadaman dalam sistem distribusi.

2. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

SAIDI menggambarkan durasi pemadaman rata-rata yang dialami oleh pelanggan dalam jangka waktu setahun (Suripto, 2017).

1.7.10 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) merupakan nilai rata-rata dari total jumlah kegagalan per satuan waktu pada selang waktu tertentu (T). Laju kegagalan ini dapat dihitung dengan satuan kegagalan per tahun. Secara matematis dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\lambda = \frac{d}{T}$$

Dimana,

λ = Laju kegagalan konstan (kegagalan/tahun)

d = Banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu

T = Jumlah selang waktu pengamatan (tahun)

Nilai laju kegagalan dapat berubah sesuai dengan umur dari sistem jaringan distribusi ataupun berdasarkan umur dari peralatan listrik selama beroperasi (Wicaksono, et al, 2012).

1.7.11 Metode Section Technique

Metode *section technique* adalah sebuah metode yang terstruktur untuk menganalisis suatu sistem. Metode ini berguna dalam mengevaluasi keandalan dari suatu sistem distribusi dan didasarkan pada bagaimana suatu gangguan suatu peralatan dapat mempengaruhi operasi sistem dengan membagi jaringan menjadi kemudian, masing-masing gangguan pada peralatan dianalisis (titik beban) (Manoppo, et al, 2021).

Hal yang akan dihitung adalah indeks yang berada pada titik beban dan indeks pada sistem baik secara *section* maupun keseluruhan. Hal ini dilakukan pada *load point* antara lain :



1. Frekuensi Gangguan (failure rate) untuk setiap load point λ_{LP} , adalah penjumlahan laju kegagalan pada semua peralatan yang berpengaruh terhadap load point. Dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda_{LP} = \sum_{i=K} \lambda_i$$

Dimana,

λ_i = laju kegagalan untuk peralatan K

K = semua peralatan yang berpengaruh terhadap *load point*

2. Durasi gangguan tahunan rata-rata load point ULP secara matematis dapat dihitung dengan persamaan :

$$U_{LP} = \sum_{i=K} U_i = \sum_{i=K} \lambda_i \times r_j$$

Dimana,

r_j = waktu perbaikan (*repairing time* atau *switching time*)

Berdasarkan indeks *load point* tersebut, dapat diperoleh sejumlah indeks keandalan untuk dapat mencari indeks keandalan secara keseluruhan (Wicaksono, et al, 2012).

Indeks keandalan yang dihitung ketika menggunakan metode *section technique* antara lain :

1. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)
Persamaan matematis :

$$SAIFI = \frac{\sum N_{LP} \times \lambda_{LP}}{\sum N}$$

Dimana,

N_{LP} = jumlah konsumen pada *load point*

N = jumlah konsumen pada *section*

λ_{LP} = frekuensi gangguan peralatan pada *load point*

2. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)
Persamaan matematis :

$$SAIDI = \frac{\sum N_{LP} \times U_{LP}}{\sum N}$$

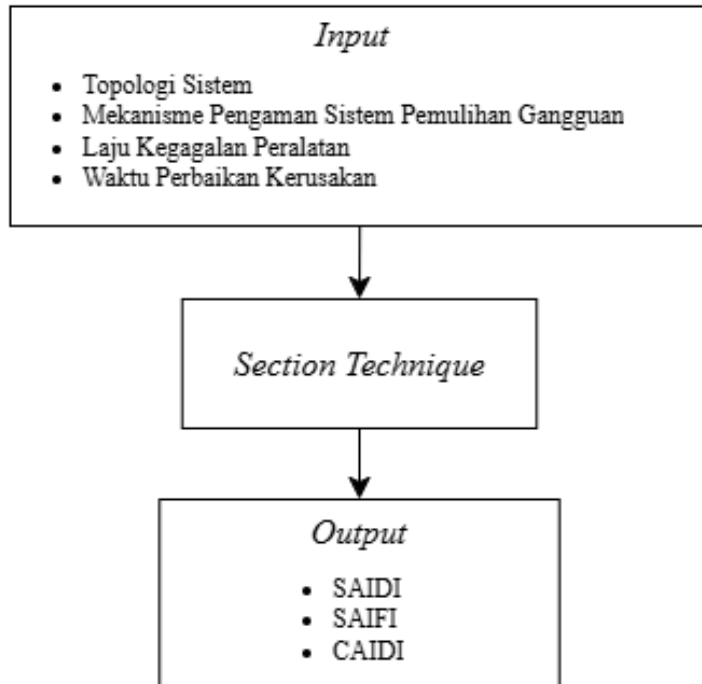


jumlah konsumen pada *load point*

jumlah konsumen pada *section*

durasi gangguan peralatan pada *load point*

Metode *section technique* secara singkat dapat dijelaskan secara singkat melalui gambar berikut :

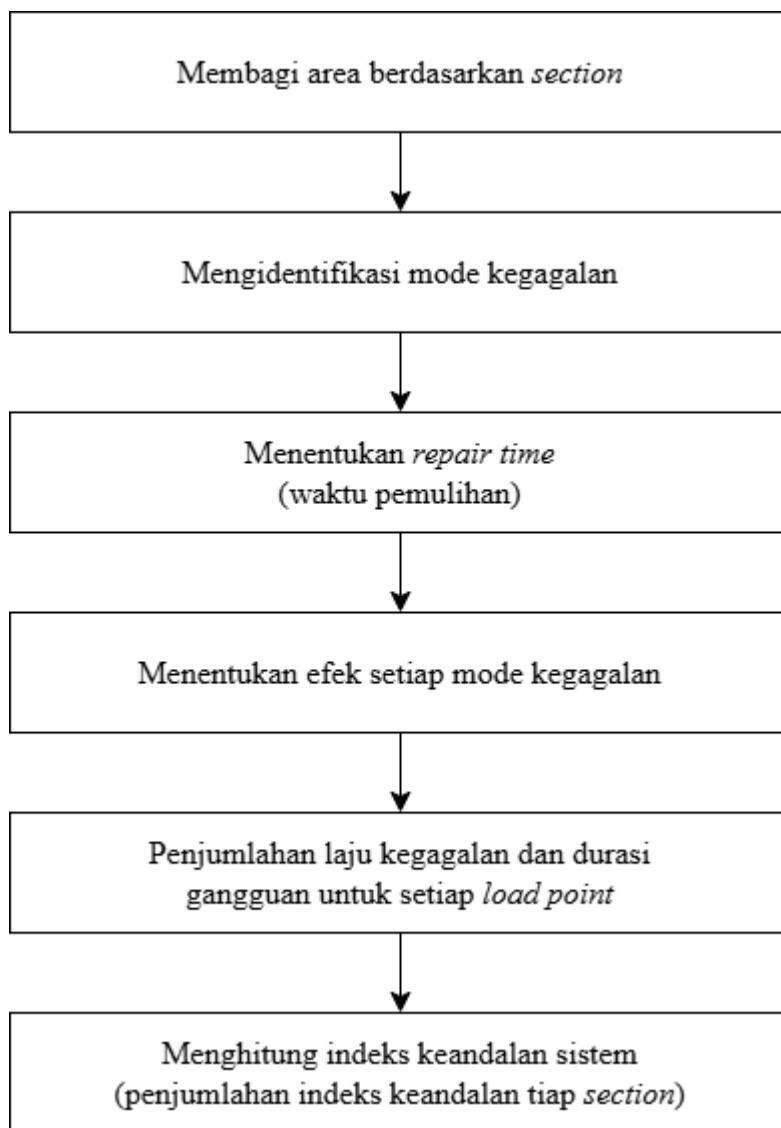


Gambar 20 Metode *Section Technique*

Sumber: Wicaksono, et al, 2012

Metode *section technique* dapat dikerjakan melalui alur sebagai berikut :





Gambar 21 Alur Pengerjaan Metode Section Technique
Sumber: Wicaksono, et al, 2012



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Departemen *Energy & Logistic* PT Vale Indonesia dan Laboratorium Distribusi Sistem Tenaga dan Instalasi Listrik, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penelitian dilakukan pada bulan April hingga Oktober 2025.

2.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu:

1. Data *single line diagram* pada sistem distribusi 33 kV penyulang B11S03.
2. Data spesifikasi transformator, *fuse cut out*, *recloser*, panjang dan tipe saluran pada penyulang.
3. Data pengaturan (*setting*) proteksi *overcurrent relay* dan *ground fault relay* yang terpasang pada penyulang.
4. Data historis gangguan beserta waktu pemulihan (*repair time*) pada penyulang B11S03.

2.3 Teknik Pengolahan Data

Setelah data yang diperlukan diperoleh, pengolahan data dilakukan menggunakan *software Electrical Transient Analysis Program* (ETAP) sebagai media simulasi, serta Microsoft Excel sebagai alat bantu perhitungan data.

2.4 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

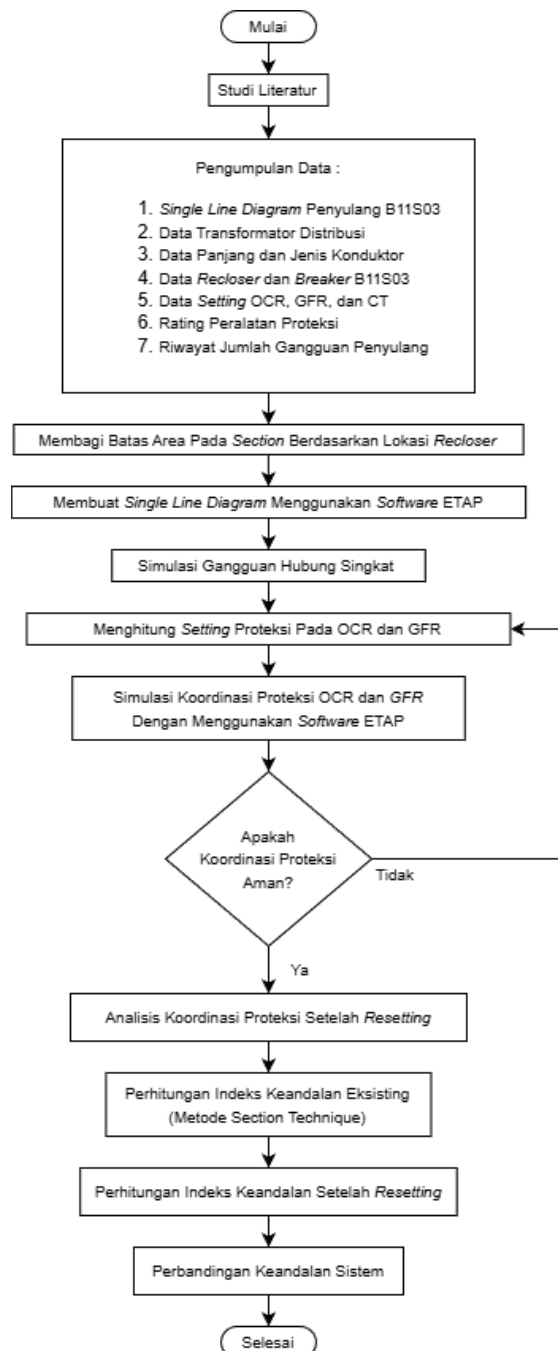
1. Studi Literatur
Dilakukan dengan mengumpulkan referensi yang relevan dengan topik penelitian dengan cara mencari buku, jurnal, dan sebagainya yang dapat membantu penulis dalam melakukan penyusunan dan diharapkan dapat menjadi penunjang dalam penulisan laporan penelitian ini.
2. Pengambilan Data
Pengambilan data dilakukan dengan cara deskriptif yaitu meneliti berbagai aspek pada objek penelitian yaitu sistem distribusi tenaga listrik penyulang B11S03 PT. Vale Indonesia Tbk.
3. Analisis Data
Berupa pengolahan data yang dilakukan setelah melakukan pengambilan data



distribusi penyulang B11S03 PT. Vale Indonesia Tbk. Data dianalisis menggunakan Microsoft Excel dan dilakukan simulasi menggunakan *software Electrical Transient Analysis Program*

Hasil akhir yang diperoleh setelah mengolah data yang telah dianalisis pada penelitian ini.

Berikut adalah diagram alur pada penelitian ini:



Gambar 22 Diagram Alur Penelitian