

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian akhir dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk menuju konsumen. Pada sistem distribusi tegangan menengah 20 kV, energi listrik disalurkan melalui Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) menuju gardu distribusi, kemudian diturunkan menjadi tegangan rendah untuk digunakan oleh pelanggan.

Keandalan sistem distribusi sangat penting karena berhubungan langsung dengan kontinuitas pelayanan kepada pelanggan. Gangguan kecil pada sistem distribusi dapat menyebabkan pemadaman luas apabila tidak segera diatasi. Oleh karena itu, sistem distribusi harus dilengkapi dengan peralatan proteksi yang mampu mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara cepat dan selektif.

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan tahapan penyaluran tenaga listrik dari sumber hingga ke pengguna / pelanggan. Pada sistem tenaga listrik dengan sumber yang besar memerlukan jaringan transmisi (SUTT dan SUTET) dan Gardu Induk (GI) pada tegangan 70 kV hingga 500 kV, sedangkan pada sistem tenaga listrik yang lebih kecil hanya memerlukan Jaringan Tegangan Menengah (JTM) pada tegangan 20 kV untuk menyalurkan listrik dari sumber.

Dalam sistem distribusi yang menggunakan pembangkit diesel terpisah (*isolated system*), kestabilan sistem sangat dipengaruhi oleh kapasitas pembangkit dan karakteristik beban. Tidak seperti sistem interkoneksi besar, sistem diesel memiliki kemampuan suplai arus gangguan yang lebih terbatas. Hal ini berpengaruh terhadap setting dan koordinasi sistem proteksi yang digunakan.

Dalam definisi secara umum, sistem distribusi adalah bagian dari sistem perlengkapan elektrik antara sumber daya besar (*bulk power source*, BPS) dan peralatan hubung pelanggan (*customers service switches*), (Dr. Ramadoni Syahputra, 2021). Jaringan distribusi tenaga listrik secara umum terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Distribusi primer merupakan jaringan distribusi yang beroperasi pada tegangan menengah sekitar 20 kV. Jaringan ini berfungsi sebagai penyulang utama yang mengalirkan daya listrik dari sisi sekunder trafo daya di gardu induk hingga ke sisi primer trafo distribusi yang biasanya terpasang pada tiang saluran. Sementara itu, distribusi sekunder adalah jaringan listrik dengan tegangan rendah, yaitu 380/220 volt, yang berperan dalam menyalurkan energi listrik dari sisi sekunder trafo distribusi hingga mencapai alat ukur listrik (KWh meter) di tempat pelanggan. Pembagian ini bertujuan untuk memastikan aliran daya listrik dapat didistribusikan secara efisien dan aman hingga ke pengguna akhir (Paminto & Kiswantono, 2021).

Penyaluran tenaga listrik sebagai fungsi utama sistem jaringan distribusi juga tidak terlepas dari berbagai masalah. Masalah utama dalam menjalankan fungsi jaringan distribusi tersebut adalah mengatasi gangguan dengan cepat mengingat gangguan yang terbanyak dalam sistem tenaga listrik terdapat dalam jaringan distribusi, khususnya jaringan tegangan menengah (Frederikus Funan dkk, 2020). Dengan mengatasi gangguan secara cepat dan efektif, keandalan sistem distribusi tetap terjaga. Dalam pelaksanaannya, sistem distribusi di daerah kepulauan memiliki tantangan tersendiri dibandingkan sistem yang terhubung ke jaringan besar. Keterbatasan sumber daya dan kondisi geografis membuat penanganan gangguan harus dilakukan dengan lebih cermat agar tidak berdampak luas terhadap pelanggan.

Dalam praktik di lapangan, sistem distribusi tegangan menengah sering menghadapi gangguan yang bersifat tidak tetap dan sulit diprediksi. Oleh karena itu, keberadaan sistem proteksi yang mampu bekerja secara otomatis dan cepat menjadi sangat penting untuk menjaga kontinuitas pelayanan kepada pelanggan.

2.1.2 Sistem Distribusi Radial

Sistem distribusi radial adalah sistem penyaluran energi listrik dengan satu sumber utama dan satu jalur aliran daya menuju beban. Sistem ini merupakan sistem yang paling umum digunakan karena konstruksinya sederhana dan biaya pembangunannya relatif lebih rendah dibanding sistem loop atau ring.

Karakteristik sistem radial antara lain:

- a) Aliran daya satu arah
- b) Sumber tunggal
- c) Koordinasi proteksi lebih sederhana
- d) Mudah dalam pengoperasian

Namun demikian, sistem radial memiliki kelemahan utama, yaitu apabila terjadi gangguan pada satu titik jaringan, maka seluruh beban di belakang titik gangguan akan mengalami pemadaman. Oleh karena itu, pemasangan recloser pada sistem radial sangat penting untuk memperkecil daerah padam dan mempercepat proses penormalan.

2.1.3 Gangguan pada Sistem Distribusi

Gangguan pada sistem distribusi merupakan kondisi abnormal yang menyebabkan terjadinya perubahan arus dan tegangan secara signifikan. Gangguan dapat terjadi akibat faktor internal maupun eksternal, seperti sambaran petir, pohon tumbang, isolator rusak, hewan, maupun kesalahan instalasi.

Secara umum, gangguan pada sistem distribusi dapat dibedakan menjadi:

2.1.3.1 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat terjadi ketika dua atau lebih penghantar listrik saling bersentuhan secara langsung atau melalui impedansi yang sangat kecil. Gangguan ini menyebabkan arus yang sangat besar mengalir dalam waktu singkat.

Gangguan hubung singkat pada sistem distribusi dapat terjadi dalam beberapa bentuk, seperti hubung singkat tiga fasa, dua fasa, maupun dua fasa ke tanah. Gangguan tiga fasa merupakan gangguan dengan arus terbesar karena melibatkan seluruh fasa sistem secara langsung.

Contoh Gangguan Hubung Singkat:

a) Hubung singkat dua fasa (L–L)

Terjadi ketika dua penghantar fasa saling bersentuhan akibat isolator pecah atau konduktor kendur. Pada kondisi ini arus gangguan meningkat signifikan dan menyebabkan proteksi arus lebih bekerja.

b) Hubung singkat tiga fasa (L–L–L)

Gangguan ini jarang terjadi namun memiliki arus gangguan paling besar. Misalnya akibat kegagalan isolasi total pada peralatan atau kerusakan mekanis berat. Gangguan ini sangat berbahaya karena dapat merusak peralatan jika tidak segera diputus.

Pada sistem dengan pembangkit diesel kecil, arus hubung singkat biasanya tidak sebesar sistem interkoneksi. Namun demikian, tetap diperlukan setting proteksi yang tepat agar gangguan dapat terdeteksi dan diisolasi dengan cepat.

2.1.3.2 Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Gangguan satu fasa ke tanah merupakan jenis gangguan yang paling sering terjadi pada jaringan distribusi. Gangguan ini terjadi ketika salah satu penghantar menyentuh tanah atau bagian yang terhubung ke tanah.

Besarnya arus gangguan tanah dipengaruhi oleh:

- a) Sistem pembumian
- b) Impedansi jalur gangguan
- c) Kapasitas pembangkit

Pada sistem diesel dengan kapasitas kecil, arus gangguan tanah cenderung lebih kecil dibanding sistem besar, sehingga setting *Ground Fault Relay* harus dibuat lebih sensitif namun tetap selektif.

Gangguan satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada jaringan distribusi 20 kV. Gangguan ini biasanya disebabkan oleh kondisi lingkungan atau kerusakan isolasi pada material distribusi.

Contoh Gangguan Satu Fasa ke Tanah:

a) Konduktor menyentuh pohon atau tanah

Pada jaringan SUTM, konduktor yang terlalu dekat dengan pohon dapat menyebabkan arus bocor ke tanah terutama saat kondisi lembab.

b) Isolator retak atau pecah

Kerusakan isolator dapat menyebabkan kebocoran arus menuju struktur tiang yang terhubung ke tanah.

c) Hewan menyentuh satu fasa dan bagian grounding

Hal ini dapat menimbulkan arus gangguan sementara bahkan gangguan permanen jika hewan tersebut masih menempel pada jaringan listrik.

Arus gangguan tanah biasanya lebih kecil dibanding arus hubung singkat antar fasa. Oleh karena itu diperlukan *Ground Fault Relay* (GFR) dengan sensitivitas yang memadai agar gangguan tersebut tetap dapat terdeteksi.

2.1.4 Recloser

Recloser adalah peralatan proteksi otomatis yang dapat membuka dan menutup kembali jaringan setelah terjadi gangguan. Recloser banyak digunakan pada sistem distribusi radial untuk meningkatkan keandalan sistem. Recloser merupakan suatu perangkat listrik yang terdiri dari pemutus daya yang terintegrasi dengan kotak kontrol elektronik (Electronic Control Box). Kotak kontrol ini adalah perangkat elektronik yang menjadi bagian dari sistem recloser namun tidak terhubung langsung dengan tegangan menengah. Melalui kotak kontrol ini, proses pelepasan recloser dapat dikendalikan, dan pengaturan (setting) operasional recloser dapat diatur sesuai kebutuhan (Kusuma et al., 2021).



Gambar 2.1 Recloser.

Pemasangan recloser sangat membantu dalam meningkatkan keandalan maupun factor ekonomis pada jaringan sistem distribusi, karena penggunaan recloser dapat mengurangi atau mempercepat durasi gangguan. Karena dengan adanya recloser pada sistem distribusi, dapat mengurangi waktu pemadaman untuk gangguan sementara, dan meningkatkan efisiensi operasional dengan mengurangi kebutuhan intervensi teknisi untuk gangguan kecil. Hal ini recloser dikarenakan recloser dapat diseting autoreclose jika terjadi gangguan hubung singkat sehingga recloser dapat mencoba masuk sendiri secara otomatis. Namun demikian, kinerja recloser sangat bergantung pada keakuratan pembacaan sistem proteksi di dalamnya. Apabila sistem proteksi tidak bekerja dengan baik, recloser dapat mengalami kegagalan operasi, seperti gagal masuk kembali meskipun kondisi jaringan sebenarnya telah normal. Oleh sebab itu, recloser tidak hanya berfungsi sebagai alat pemutus otomatis, tetapi juga menjadi indikator awal adanya permasalahan pada sistem proteksi jaringan distribusi.

Cara kerja recloser secara umum adalah:

- a) Mendeteksi gangguan melalui relay
- b) Membuka rangkaian (trip)
- c) Menunggu waktu tertentu
- d) Menutup kembali (close) jika autoreclose aktif

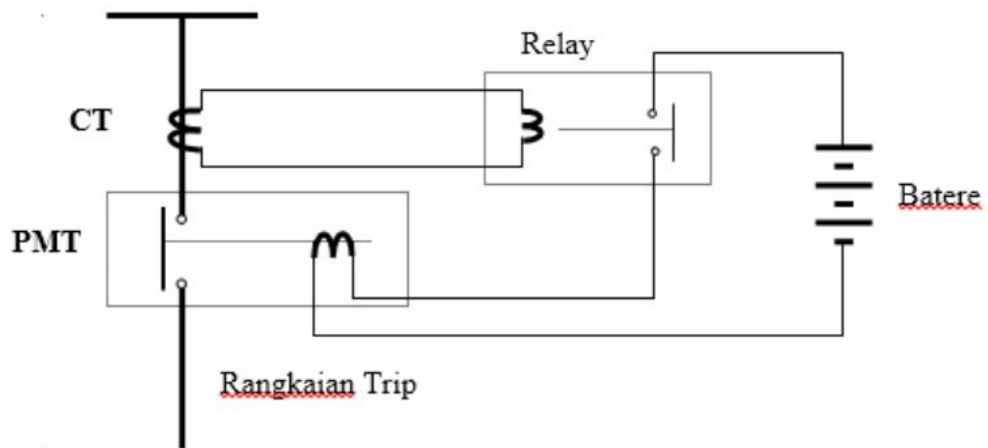
Namun pada sistem dengan pembangkit diesel kecil, penggunaan autoreclose dapat menimbulkan ketidakstabilan sistem. Oleh karena itu, dalam beberapa kondisi, fitur autoreclose dinonaktifkan sebagai keputusan teknis.

2.1.5 Relay Proteksi

Relay adalah perangkat penting dalam sistem proteksi tenaga listrik yang berfungsi mendeteksi kondisi abnormal dan memberikan perintah untuk memutus rangkaian listrik bila terjadi gangguan. Relay proteksi merupakan komponen utama dalam sistem proteksi. Relay berfungsi sebagai “otak” yang menerima sinyal dari transformator arus (CT) dan transformator tegangan (VT), kemudian menganalisis kondisi sistem dan memberikan perintah trip jika terdeteksi gangguan. Relay, sebagai alat pembanding sekaligus alat pengukur yang bekerja setelah mendapatkan besaran dari alat pengindra dan membandingkan dengan besar arus penyetelan dari kerja relay. Apabila besaran tersebut tidak setimbang atau melebihi besar arus penyetelannya, maka kumparan relai akan bekerja menarik kontak dengan cepat atau dengan waktu tunda dan memberikan perintah pada kumparan penjatuh (trip-coil) untuk bekerja melepas PMT, (Rhema, 2021). Pada sistem distribusi modern, relay tidak hanya berfungsi sebagai alat pengaman, tetapi juga sebagai alat analisis karena mampu merekam data gangguan dan kejadian operasi. Data tersebut sangat membantu dalam proses evaluasi gangguan dan perbaikan setting proteksi di lapangan. Dalam praktik operasional, relay sering dijadikan acuan utama dalam pengambilan keputusan saat terjadi gangguan. Ketepatan kerja relay sangat menentukan apakah gangguan dapat ditangani secara otomatis atau memerlukan penanganan manual oleh petugas di lapangan.

Relay proteksi modern umumnya berbasis mikroprosesor (digital relay) yang mampu melakukan pengukuran arus, tegangan, frekuensi, serta parameter lainnya secara simultan. Relay ini bekerja dengan membandingkan nilai pengukuran terhadap nilai setting yang telah ditentukan. Apabila nilai yang terukur melebihi batas setting dalam waktu tertentu, maka relay akan memberikan perintah trip ke circuit breaker atau recloser.

Keunggulan relay digital adalah kemampuannya dalam menyimpan data gangguan (event record) serta menyediakan fitur analisis gangguan, sehingga memudahkan evaluasi apabila terjadi salah operasi.



Gambar 2.2 Rangkaian Kerja Relay Proteksi

Relay bekerja dengan cara memonitor besaran listrik seperti arus, tegangan, atau frekuensi, kemudian membandingkannya dengan nilai ambang batas (setting) yang telah ditentukan. Bila besaran tersebut melebihi nilai batasnya, relay akan menilai bahwa sedang terjadi gangguan dan mengirimkan sinyal trip ke pemutus tenaga (circuit breaker atau recloser). Secara fungsi, relay merupakan “otak” dari sistem proteksi. Keandalan relay langsung berkaitan dengan tingkat keselamatan jaringan distribusi.

Fungsi utama relay adalah untuk mendeteksi adanya kondisi abnormal (gangguan) seperti arus lebih (*overcurrent*), hubung singkat antar fasa, gangguan tanah (*earth fault*), tegangan lebih/kurang, dan frekuensi lebih/kurang, kemudian melokalisir gangguan tersebut dengan mengirim sinyal trip ke PMT atau recloser untuk memutus arus gangguan guna melindungi peralatan dari kerusakan akibat gangguan. Pada sistem modern, relay proteksi menggunakan teknologi digital atau numerical relay. Relay jenis ini memiliki kemampuan lebih akurat dalam membaca arus, merekam kejadian gangguan, serta menyimpan data historis.

1) *Over Current Relay (OCR)*

Over Current Relay bekerja berdasarkan besarnya arus yang mengalir pada sistem. Jika arus melebihi nilai pickup yang telah ditentukan, relay akan memberikan perintah trip setelah melewati waktu tunda tertentu.

Penentuan nilai pickup OCR umumnya menggunakan faktor pengali antara 1,2 hingga 1,25 dari arus beban maksimum. Faktor ini digunakan untuk menghindari trip pada kondisi beban normal atau lonjakan arus sementara.

2) *Ground Fault Relay (GFR)*

Ground Fault Relay bekerja dengan mendeteksi arus sisa yang timbul akibat gangguan tanah. Relay ini sangat penting pada jaringan distribusi karena gangguan satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang paling sering terjadi.

Setting GFR harus mempertimbangkan sensitivitas yang cukup untuk mendeteksi gangguan tanah dengan arus kecil, namun tidak terlalu sensitif sehingga mudah terjadi pembacaan gangguan palsu.

2.1.6 Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi tenaga listrik merupakan sistem pengamanan yang dirancang untuk melindungi peralatan dan jaringan dari kerusakan akibat gangguan. Sistem proteksi bekerja dengan cara mendeteksi kondisi abnormal, kemudian memisahkan bagian sistem yang terganggu dari bagian yang sehat. Sistem proteksi adalah seperangkat peralatan yang berfungsi untuk menjaga keandalan dan keamanan sistem tenaga listrik dengan cara mendeteksi, mengidentifikasi, dan memutus bagian jaringan yang mengalami gangguan secara cepat, tepat, dan selektif.

Sistem proteksi bekerja dengan mengidentifikasi dan memisahkan bagian jaringan yang terjadi gangguan. Agar sistem proteksi bekerja secara selektif, koordinasi antar relay perlu diperhatikan. Relay yang paling dekat dengan titik gangguan harus bekerja terlebih dahulu, sedangkan relay di sisi hulu bertugas sebagai proteksi cadangan (*backup*). Tanpa koordinasi yang tepat, relay dapat bekerja tidak sesuai urutan, menyebabkan pemutusan yang tidak perlu dan memperluas area pemadaman (Matthew dan Rizky , 2025). Dalam kondisi tertentu, sistem proteksi dapat mengalami kesalahan pembacaan sehingga bekerja tidak sesuai dengan kondisi aktual jaringan. Kesalahan ini dapat berupa pembacaan arus gangguan palsu yang menyebabkan pemutusan atau kegagalan penormalan sistem. Pada kondisi tertentu, sistem proteksi dapat bekerja terlalu sensitif sehingga merespons perubahan arus yang sebenarnya masih dalam batas operasi normal.

Kegagalan sistem proteksi menyebabkan kerusakan pada sistem tenaga listrik, (N. B. Dharmawan, 2020). Secara umum sistem proteksi yaitu cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan, (Faisal Irsan Pasaribu dkk, 2021).

Sistem proteksi terdiri dari beberapa bagian, yaitu sensor, relay proteksi, pemutus tegangan (circuit breaker, recloser), dan ada juga yang dilengkapi dengan sistem komunikasi dan kontrol (SCADA). Tujuan utama sistem proteksi adalah:

- a) Melokalisir gangguan agar gangguan tidak menyebar.
- b) Melindungi peralatan dari arus gangguan yang berlebihan.
- c) Menjamin kontinuitas suplai listrik pada area yang tidak terganggu.
- d) Mengurangi risiko kerusakan dan biaya pemeliharaan.
- e) Meningkatkan keandalan sistem distribusi.

Dalam perencanaan dan penggunaan komponen sistem proteksi, untuk mendapatkan suatu sistem proteksi yang baik diperlukan persyaratan-persyaratan sebagai berikut: kepekaan (*sensitivity*), keandalan (*Reability*), kecepatan (*Speed*), selektif (*Selective*), Ekonomis, (Abdul Muti dkk, 2022).

Sistem proteksi yang baik harus memenuhi beberapa prinsip dasar, yaitu:

- a) Selektivitas, yaitu kemampuan sistem untuk hanya memutus bagian yang terganggu.
- b) Kecepatan, yaitu kemampuan untuk bekerja secepat mungkin dalam mengisolasi gangguan.
- c) Sensitivitas, yaitu kemampuan untuk mendeteksi gangguan dengan arus yang relatif kecil.
- d) Keandalan, yaitu sistem harus bekerja ketika dibutuhkan.
- e) Stabilitas, yaitu tidak bekerja pada kondisi normal.

Selektivitas bertujuan agar hanya bagian yang terganggu saja yang diputus, tanpa memadamkan seluruh sistem. Kecepatan diperlukan untuk meminimalkan kerusakan peralatan akibat arus gangguan yang besar. Sensitivitas memastikan gangguan kecil sekalipun tetap terdeteksi. Sedangkan keandalan berarti sistem proteksi harus bekerja saat diperlukan dan tidak bekerja saat kondisi normal.

Jika salah satu prinsip tersebut tidak terpenuhi, maka dapat terjadi kesalahan operasi seperti trip palsu atau gagal close.

2.1.7 Prinsip Kerja Relay Proteksi

Relay proteksi merupakan perangkat yang berfungsi mendeteksi adanya kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik seperti arus lebih (*overcurrent*), tegangan lebih (*overvoltage*), gangguan tanah (*earth fault*), atau frekuensi tidak normal. Relay arus lebih *Over Current Relay* (OCR) merupakan suatu relay yang bekerja berdasarkan adanya arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu di jangka waktu tertentu, (Irwanto dkk, 2022). Relay arus lebih (*Over Current Relay/OCR*) beroperasi ketika terjadi gangguan hubung singkat yang menyebabkan peningkatan arus melebihi batas normal. Karena bekerja berdasarkan besarnya arus gangguan tersebut, perangkat ini disebut sebagai relai arus lebih.

Pada sistem proteksi modern, OCR umumnya dilengkapi dengan dua fungsi utama, yaitu proteksi arus lebih dan proteksi gangguan tanah (*Ground Fault Relay*). Dalam penerapannya, OCR dapat dikonfigurasi agar terkoordinasi dengan relay lain maupun dengan GFR melalui pengaturan waktu tunda. Pengaturan waktu ini, bersama dengan penentuan arus pickup, menjadi komponen penting dalam penetapan setelan relay untuk memastikan operasi yang selektif dan andal (Hasan dkk, 2025). Arus lebih didasarkan pada setingan pickup relay. Arus pickup digunakan sebagai batasan memberikan perintah kepada pemutus (*circuit breaker*). Berikut adalah beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan batasan pickup:

1) Setingan Minimum

Nilai arus pickup harus lebih besar dari arus beban normal untuk mencegah relay bekerja pada kondisi operasi normal:

$$I_{pickup} \geq I_{beban\ normal} + \text{margin} \quad (2.1)$$

Nilai margin biasanya ditetapkan antara 1,05 - 1,25 kali arus beban normal.

2) Setingan maksimum

Nilai arus pickup harus lebih kecil dari arus gangguan minimum yang ingin dideteksi:

$$I_{pickup} < I_{gangguan\ minimu} \quad (2.2)$$

Formula umum untuk menghitung arus pickup relay arus lebih (OCR):

$$I_{pickup} = I_{nominal} \times \left(\frac{\frac{CT\ sek}{CT\ prim} \times 1,2}{CT\ sek} \right) \quad (2.3)$$

Setelah mendapatkan nilai arus pickup primer, nilai tersebut harus dikonversi ke nilai sekunder dengan mempertimbangkan rasio Current Transformer (CT):

$$\text{Rasio CT} = I_{\text{nominal}} \times 1,2 \quad (\text{Mhd Fajar dkk, 2025}) \quad (2.4)$$

Selain perhitungan teknis, pengalaman operasi jaringan juga menjadi pertimbangan penting dalam menentukan nilai setting relay. Kondisi beban harian, karakteristik penyulang, dan riwayat gangguan sebelumnya sering dijadikan referensi tambahan oleh petugas proteksi. Prinsip kerjanya didasarkan pada perbandingan antara besaran listrik yang terukur (arus, tegangan, atau frekuensi) dengan nilai ambang batas (*setting*) yang telah ditentukan. Perhitungan nilai setting *Relay Distance* diperlukan pada pengoperasiannya sehingga dapat meminimalisir kegagalan proteksi, (Moh. Wahyu Aminullah dkk, 2022).

Ketika besaran listrik yang terukur melebihi nilai setting, relay akan mengeluarkan sinyal trip ke pemutus tenaga (circuit breaker atau recloser) untuk memutus aliran listrik pada bagian jaringan yang terganggu. Setelah gangguan hilang, sistem dapat melakukan proses penormalan, baik secara otomatis (melalui recloser) maupun manual.

Pada recloser, relay proteksi biasanya terintegrasi secara digital, sehingga dapat mengatur karakteristik waktu, kurva kerja (*inverse*, *very inverse*, atau *definite time*), dan jumlah percobaan reclose sesuai kebutuhan sistem distribusi. Oleh karena itu, penentuan nilai setting relay tidak hanya didasarkan pada perhitungan teoritis, tetapi juga harus mempertimbangkan kondisi aktual sistem dan pengalaman operasi di lapangan. Setting yang tidak sesuai dapat menyebabkan relay bekerja terlalu sensitif atau justru terlambat dalam merespons gangguan.

2.1.8 Setting Proteksi pada Sistem Distribusi Diesel

Sistem distribusi dengan pembangkit diesel memiliki karakteristik yang berbeda dengan sistem interkoneksi besar. Kapasitas pembangkit yang terbatas menyebabkan arus gangguan yang tersedia juga lebih kecil.

Hal ini berdampak pada:

- a) Penentuan nilai pickup OCR
- b) Penentuan nilai pickup GFR
- c) Pengaturan time dial
- d) Penggunaan atau penonaktifan autoreclose

Pada sistem distribusi dengan pembangkit diesel, setting proteksi tidak dapat disamakan dengan sistem interkoneksi besar. Hal ini karena kapasitas pembangkit yang terbatas menyebabkan kemampuan suplai arus gangguan juga terbatas. Setting proteksi harus disesuaikan dengan kondisi sistem agar tidak terjadi kesalahan operasi seperti gagal close akibat pembacaan arus yang tidak sesuai.

Beberapa pertimbangan penting dalam setting proteksi pada sistem diesel antara lain:

- a) Nilai pickup tidak boleh terlalu tinggi karena arus gangguan yang tersedia relatif kecil.
- b) Time delay harus cukup cepat agar gangguan segera terisolasi dan tidak mengganggu kestabilan frekuensi.

- c) Penggunaan fitur autoreclose harus dipertimbangkan secara teknis, karena penutupan kembali secara otomatis pada sistem kecil dapat menyebabkan fluktuasi frekuensi yang signifikan.

Selain itu, sistem diesel memiliki karakteristik perubahan frekuensi yang lebih cepat ketika terjadi perubahan beban mendadak. Oleh sebab itu, koordinasi antara proteksi arus lebih dan proteksi frekuensi harus diperhatikan agar tidak terjadi salah operasi.

2.1.9 Faktor yang Memengaruhi Pembacaan Arus Gangguan

Gangguan merupakan kondisi yang tidak normal yang terjadi pada sistem jaringan listrik. Gangguan yang bersifat sementara (temporer) akan hilang secara alami dengan memutus sementara bagian tempat terjadinya gangguan dari catu daya. Sedangkan gangguan yang bersifat permanen untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan atau menyingkirkan penyebab tersebut (Agung Prastyo, Trisna Wati (2024). Gangguan yang tidak segera ditangani dapat menyebabkan kerusakan peralatan, menurunkan kestabilan sistem, bahkan menimbulkan pemadaman yang meluas.

Relay proteksi akan membaca kondisi tidak normal tersebut sehingga memutus saluran tenaga listrik. Pembacaan arus gangguan oleh relay proteksi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, baik teknis maupun kondisi sistem operasi. Faktor-faktor tersebut antara lain:

1) Rasio dan Kondisi CT (*Current Transformer*):

CT yang tidak sesuai dengan kapasitas arus sistem atau mengalami saturasi dapat menyebabkan pembacaan arus tidak akurat. Hal ini dapat membuat relay salah mendeteksi adanya arus gangguan padahal sistem dalam kondisi normal. Pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV, transformator arus (CT) memegang peran penting dalam memastikan arus gangguan ditransformasikan secara tepat untuk keperluan pengukuran dan aktivasi relay proteksi. Akan tetapi, dalam kondisi gangguan hubung singkat, CT berpotensi mengalami saturasi magnetik yang menyebabkan distorsi arus sekunder dan berisiko mengganggu kinerja proteksi (Yogi dan Budi, 2025).

2) Kualitas Sistem Pentanahan (*Grounding*):

Sistem grounding yang tidak baik dapat menyebabkan arus bocor atau arus balik tidak seimbang, sehingga relay mendeteksi adanya arus gangguan semu (*false fault current*).

3) Fluktuasi Frekuensi pada Sistem Pembangkit Diesel:

Pada sistem yang menggunakan pembangkit diesel, sering terjadi kondisi under frequency akibat perubahan beban mendadak. Fluktuasi ini dapat memengaruhi kinerja sensor arus dan menyebabkan relay salah membaca kondisi sistem.

4) Distorsi Harmonisa dan Noise Listrik:

Adanya harmonisa akibat beban non-linear (misalnya inverter, charger, atau peralatan elektronik) dapat menyebabkan pembacaan arus tidak stabil sehingga relay mengira terjadi gangguan.

5) Kesalahan Pengaturan (*Setting*) Relay:

Setting pickup arus yang terlalu rendah atau tidak sesuai dengan karakteristik beban menyebabkan relay cepat bereaksi terhadap lonjakan arus normal seperti saat inrush current (penyalan motor atau transformator).

6) Masalah Pada Koneksi dan Pengawatan Sekunder:

Pengawatan yang longgar, adanya induksi dari kabel lain, atau sambungan tidak sempurna pada terminal CT juga dapat menyebabkan sinyal arus yang diterima relay tidak benar.

Faktor-faktor tersebut seringkali saling berkaitan dan tidak berdiri sendiri, sehingga analisis gangguan perlu dilakukan secara menyeluruh dan tidak hanya berfokus pada satu penyebab saja. Berdasarkan faktor-faktor tersebut, dapat disimpulkan bahwa pembacaan arus gangguan oleh relay tidak selalu mencerminkan kondisi gangguan yang sebenarnya. Oleh karena itu, diperlukan analisis menyeluruh terhadap sistem proteksi untuk memastikan bahwa gangguan yang terdeteksi benar-benar berasal dari kondisi abnormal jaringan.

Pembacaan arus gangguan oleh relay dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kondisi transformator arus (CT), kualitas pengawatan (*wiring*), rasio CT yang digunakan, gangguan harmonisa, serta kestabilan sistem pembangkit. Kesalahan polaritas atau pertukaran kabel sekunder CT dapat menyebabkan relay membaca arus tidak sesuai kondisi sebenarnya.

Selain itu, fluktuasi frekuensi pada sistem kecil juga dapat mempengaruhi akurasi pengukuran relay, khususnya pada saat terjadi penurunan frekuensi akibat ketidakseimbangan daya antara pembangkit dan beban.

2.1.10 Kesalahan Pengawatan pada Sistem Proteksi

Kesalahan pengawatan (*wiring error*) merupakan salah satu penyebab umum terjadinya gangguan operasi sistem proteksi. Kesalahan pengawatan dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis, antara lain:

1) Kesalahan polaritas CT

Jika polaritas CT terbalik, maka arah arus yang terbaca oleh relay menjadi tidak sesuai dengan arah sebenarnya. Hal ini dapat menyebabkan relay membaca arus sebagai gangguan meskipun kondisi normal.

2) Salah sambung sisi source dan load

Pada recloser, sisi source adalah sisi yang terhubung ke sumber daya, sedangkan sisi load menuju beban. Jika kedua sisi ini tertukar, maka logika pembacaan arus dan tegangan pada relay dapat menjadi tidak akurat.

3) Kesalahan terminasi kabel kontrol

Sambungan kabel kontrol yang longgar atau salah terminal dapat menyebabkan pembacaan sinyal yang tidak stabil.

Jika sisi source dan load tertukar, maka arah pembacaan arus pada relay menjadi tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hal ini dapat menyebabkan relay membaca arus gangguan palsu dan menolak perintah close meskipun jaringan dalam keadaan normal.

Kesalahan pengawatan sering terjadi pada saat pemasangan awal atau penggantian peralatan baru, terutama jika tidak dilakukan pengujian akhir secara menyeluruh. Oleh karena itu, prosedur pemeriksaan dan commissioning sangat penting untuk mencegah gangguan operasional di kemudian hari.

2.1.11 False Fault Current pada Sistem Proteksi

False fault current atau arus gangguan palsu merupakan kondisi di mana sistem proteksi mendeteksi adanya arus gangguan meskipun secara fisik tidak terjadi gangguan pada jaringan distribusi. Kondisi ini bukan disebabkan oleh hubung singkat atau gangguan tanah yang nyata, melainkan akibat kesalahan pembacaan atau kesalahan konfigurasi sistem proteksi. False fault current dapat terjadi karena beberapa faktor, antara lain:

1) Kesalahan pengawatan (*wiring error*)

Tertukarnya sisi source dan load atau kesalahan polaritas CT dapat menyebabkan arah pembacaan arus menjadi tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya.

2) Kesalahan rasio atau konfigurasi CT

Jika rasio CT yang digunakan tidak sesuai dengan arus sistem, maka relay dapat membaca nilai arus yang lebih besar atau lebih kecil dari kondisi aktual.

3) Gangguan pada sinyal sekunder CT

Kabel kontrol yang longgar atau sambungan yang tidak baik dapat menghasilkan pembacaan arus yang tidak stabil.

4) Fluktuasi sistem pada pembangkit kecil

Pada sistem pembangkit diesel, perubahan beban secara tiba-tiba dapat menyebabkan lonjakan arus sementara yang dapat terbaca sebagai gangguan jika setting proteksi terlalu sensitif.

Secara teknis, *false fault current* tidak menunjukkan adanya gangguan nyata pada jaringan, namun sistem proteksi tetap menolak perintah close atau bahkan melakukan trip. Kondisi ini dapat menurunkan keandalan sistem distribusi karena menyebabkan pemadaman yang tidak perlu.

Untuk mencegah terjadinya *false fault current*, perlu dilakukan hal-hal berikut:

- a) Pemeriksaan polaritas CT
- b) Verifikasi wiring source dan load
- c) Pengujian injeksi arus sekunder

d) Evaluasi setting pickup relay

Pemahaman terhadap fenomena false fault current sangat penting terutama pada sistem distribusi dengan pembangkit terisolasi, di mana kestabilan sistem sangat dipengaruhi oleh karakteristik pembangkit dan konfigurasi proteksi.

2.1.12 Transformator Arus (*Current Transformer* / CT)

Transformator arus (CT) merupakan peralatan yang digunakan untuk menurunkan arus besar pada sistem tenaga listrik menjadi arus kecil yang dapat dibaca oleh relay proteksi dan alat ukur.

CT bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Arus primer yang besar pada jaringan akan menghasilkan arus sekunder yang proporsional sesuai rasio CT.

Kesalahan pada CT, seperti polaritas terbalik atau kesalahan rasio, dapat menyebabkan pembacaan arus oleh relay menjadi tidak akurat. Hal ini dapat mengakibatkan kesalahan operasi seperti trip palsu atau gagal close.

Selain itu, CT dapat mengalami kondisi yang disebut saturasi. CT yang mengalami saturasi tidak mampu mereproduksi bentuk gelombang arus secara akurat, sehingga relay dapat menerima sinyal yang terdistorsi. Pada sistem pembangkit kecil, pemilihan rasio CT harus disesuaikan dengan arus beban dan arus gangguan yang tersedia.

2.1.13 Koordinasi Proteksi pada Sistem Distribusi

Koordinasi proteksi adalah pengaturan sistem proteksi agar peralatan yang paling dekat dengan titik gangguan bekerja terlebih dahulu. Tujuan koordinasi proteksi adalah untuk menjaga selektivitas dan membatasi daerah padam.

Dalam sistem distribusi radial, koordinasi proteksi biasanya dilakukan antara:

- a) Recloser
- b) Fuse
- c) Circuit Breaker di sisi gardu induk

Prinsip koordinasi proteksi menyatakan bahwa peralatan proteksi di sisi hilir harus memiliki waktu kerja lebih cepat dibanding proteksi di sisi hulu. Dengan demikian, jika terjadi gangguan di suatu titik, hanya bagian tersebut yang terisolasi.

Jika koordinasi tidak tepat, maka dapat terjadi:

- a) Trip yang tidak selektif
- b) Area padam yang luas
- c) Gangguan berulang

2.1.14 *Under Frequency Relay (UFR)*

Under Frequency Relay adalah sistem proteksi yang bekerja ketika frekuensi sistem turun di bawah batas tertentu. *Under Frequency Relay* (UFR) merupakan perangkat proteksi yang bekerja ketika frekuensi sistem turun di bawah batas yang telah ditentukan. Penurunan frekuensi biasanya terjadi akibat kekurangan daya pembangkit dibandingkan dengan beban yang terpasang. Pada sistem pembangkit diesel yang kapasitasnya terbatas, perubahan beban yang tiba-tiba dapat menyebabkan frekuensi turun secara signifikan dalam waktu singkat. Pada sistem pembangkit diesel, frekuensi sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara daya pembangkit dan beban.

Jika beban lebih besar dari kapasitas pembangkit, frekuensi akan turun. Apabila frekuensi mencapai batas setting UFR, maka sistem akan melakukan pelepasan beban (*load shedding*) atau bahkan menyebabkan black out.

Kondisi UFR dapat mempengaruhi sistem proteksi lainnya, termasuk recloser, terutama jika terjadi perubahan arus secara tiba-tiba akibat pemadaman sistem. UFR bekerja dengan melakukan pelepasan beban secara bertahap (*load shedding*) untuk mengembalikan keseimbangan sistem. Apabila tidak dikendalikan dengan baik, kondisi ini dapat memicu pemadaman sistem (*blackout*).

2.1.15 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi adalah kemampuan sistem dalam mempertahankan kontinuitas penyaluran energi listrik kepada pelanggan. Keandalan sistem distribusi tenaga listrik merupakan kemampuan sistem dalam menyalurkan energi listrik secara kontinu dengan tingkat gangguan yang minimal. Indikator keandalan biasanya diukur menggunakan parameter seperti SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*).

Gangguan berulang akibat salah operasi sistem proteksi dapat meningkatkan nilai indeks tersebut, sehingga menurunkan kualitas pelayanan kepada pelanggan. Oleh karena itu, evaluasi dan penyesuaian setting proteksi menjadi bagian penting dalam upaya peningkatan keandalan sistem distribusi.

Keandalan dapat diukur melalui beberapa indikator seperti:

- a) Frekuensi gangguan
- b) Lama gangguan
- c) Jumlah pelanggan terdampak

Sistem proteksi yang tidak bekerja dengan baik akan meningkatkan durasi padam dan menurunkan tingkat keandalan sistem.

Dalam kasus recloser Boksa, kejadian gagal close menyebabkan durasi penormalan menjadi lebih lama karena petugas harus menuju lokasi dan di-close secara manual. Setelah perbaikan dilakukan, tidak ditemukan kembali kejadian gagal close, sehingga tingkat keandalan sistem meningkat.

2.1.16 Pengujian dan Commissioning Recloser

Sebelum recloser dioperasikan, harus dilakukan pengujian (testing) dan commissioning untuk memastikan bahwa seluruh sistem bekerja sesuai spesifikasi.

Pengujian meliputi:

- a) Pemeriksaan wiring
- b) Uji polaritas CT
- c) Pengujian fungsi trip dan close
- d) Verifikasi setting relay

Kesalahan pada tahap commissioning dapat menyebabkan gangguan operasional di kemudian hari. Oleh karena itu, pemeriksaan menyeluruh sangat penting terutama pada saat penggantian unit baru.

2.2 Penelitian yang Relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut :

- 1) Menurut Dendi Agustian dkk. 2025, dalam jurnal yang berjudul “Peran Keandalan Sistem Proteksi Sebagai Strategi Optimalisasi Distribusi Listrik Pada Jaringan Tegangan Menengah” menyatakan bahwa Sistem proteksi memiliki peran yang sangat vital dalam menjaga keandalan dan stabilitas jaringan distribusi tenaga listrik. Keandalan sistem ini secara langsung memengaruhi kontinuitas pasokan listrik kepada konsumen, di mana kemampuan mendeteksi, mengisolasi, dan memulihkan gangguan secara cepat merupakan kunci utama dalam meningkatkan kinerja distribusi. Strategi optimalisasi proteksi, seperti koordinasi setting antara recloser dan circuit breaker, pemanfaatan teknologi proteksi berbasis digital (IED), serta evaluasi dan pemeliharaan berkala, terbukti mampu meningkatkan selektivitas dan responsivitas sistem.

- 2) Menurut Frederikus Funan dkk, 2020, dalam jurnalnya yang berjudul “Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI pada PT PLN (PERSERO) Rayon Kefamenanu”, menyatakan bahwa Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (bulk power source) sampai ke konsumen. Jadi Fungsi utama sistem distribusi ialah menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Indukdistribusi (distribution substation) kepada pelanggan listrik dengan mutu pelayanan yang memadai. Salah satu unsur dari mutu pelayanan adalah kontinuitas pelayanan yang tergantung pada topologi dan konstruksi jaringan serta peralatan tegangan menengah. Masalah utama dalam menjalankan fungsi jaringan distribusi tersebut adalah mengatasi gangguan dengan cepat mengingat gangguan yang terbanyak dalam sistem tenaga listrik terdapat dalam jaringan distribusi, khususnya jaringan tegangan menengah.

- 3) Menurut Muhammad Asdi Febrianto. 2025, dalam jurnal yang berjudul “Analisa Sistem Proteksi Recloser Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Menggunakan Etap” menyatakan bahwa penggunaan recloser memungkinkan adanya auto-reclosing, yaitu tindakan untuk memulihkan jaringan listrik secara otomatis setelah gangguan terjadi. Jika gangguan bersifat sementara, recloser dapat segera memulihkan pasokan listrik tanpa intervensi manual. Namun, jika gangguan masih ada setelah beberapa kali percobaan penutupan, maka recloser akan membuka secara permanen, yang mengindikasikan bahwa diperlukan penanganan lebih lanjut oleh tim teknisi. Fungsi ini memberikan dua manfaat utama: mengurangi waktu pemadaman untuk gangguan sementara, dan meningkatkan efisiensi operasional dengan mengurangi kebutuhan intervensi teknisi untuk gangguan kecil.

- 4) Menurut Mhd Fajar Dwiandra Tanjung dkk, 2025, dalam jurnalnya yang berjudul “Analisis dan Koordinasi Relay Proteksi terhadap Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan ETAP” menyatakan bahwa Sistem proteksi adalah seperangkat alat pengaman yang terdiri dari komponen utama dan komponen lainnya untuk menjalankan fungsi tertentu sesuai dengan prinsip proteksi. Sistem proteksi dirancang untuk melindungi dari gangguan dan menghilangkan kondisi abnormal pada sistem tenaga. Perlindungan berfungsi ketika terjadi kegagalan di area yang ingin dilindungi dengan cara mendeteksi gangguan dan menginstruksikan pemutus (circuit breaker/PMT) untuk memutus jaringan dan mengisolasi area yang terganggu.

- 5) Menurut Rhema Pragas Jatmiko, 2021, dalam skripsi yang berjudul “Implementasi Pemasangan Fitur Watchdog pada Relay Micom OCR/GFR P142 Untuk Mengatasi Gangguan Simpatetik Trip pada Penyulang 20 kV di PT PLN (Persero) Gardu Induk Sei Rotan” menyatakan bahwa relay sebagai alat pembanding sekaligus alat pengukur yang bekerja setelah mendapatkan besaran dari alat pengindra dan membandingkan dengan besar arus penyetelan dari kerja relay. Apabila besaran tersebut tidak setimbang atau melebihi besar arus penyetelannya, maka kumparan relai akan bekerja menarik kontak dengan cepat atau dengan waktu tunda dan memberikan perintah pada kumparan penjatuh (trip-coil) untuk bekerja melepas PMT. Sebagai sumber energi/penggerak adalah sumber arus searah atau batere.

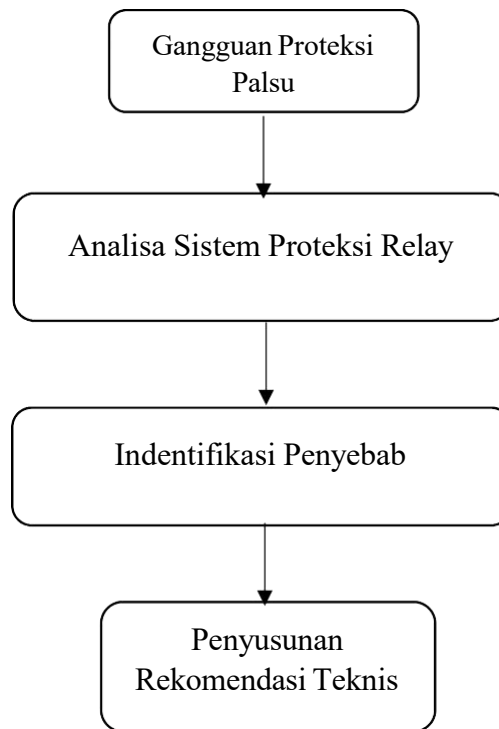
- 6) Menurut Agung Prastyo dan Trisna Wati, 2024, dalam jurnalnya yang berjudul “Analisa Koordinasi Relay Proteksi OCR dan Recloser Pada Sistem Distribusi 20kV”, menyatakan bahwa Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi pada sistem yang disebabkan karena adanya kesalahan pada bagian-bagian yang teraliri arus listrik. Gangguan hubung singkat dapat juga terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun berasal dari luar (akibat sambaran petir). Gangguan yang bersifat sementara akan hilang secara alami dengan memutus sementara bagian tempat terjadinya gangguan dari catu daya. Gangguan yang bersifat permanen untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan atau menyingkirkan penyebab tersebut

- 7) Menurut Hasan Yanmar Lubis dkk, 2025, dalam jurnalnya yang berjudul “Analisis Sistem Proteksi dan Koordinasi Relay Overcurrent pada Jaringan Distribusi Menggunakan ETAP” menyatakan bahwa Relay arus lebih (*Over Current Relay/OCR*) beroperasi ketika terjadi gangguan hubung singkat yang menyebabkan peningkatan arus melebihi batas normal. Karena bekerja berdasarkan besarnya arus gangguan tersebut, perangkat ini disebut sebagai relai arus lebih. Pada sistem proteksi modern, OCR umumnya dilengkapi dengan dua fungsi utama, yaitu proteksi arus lebih dan proteksi gangguan tanah (*Ground Fault Relay*). Dalam penerapannya, OCR dapat dikonfigurasi agar terkoordinasi dengan relay lain maupun dengan GFR melalui pengaturan waktu tunda. Pengaturan waktu ini, bersama dengan penentuan arus pickup, menjadi komponen penting dalam penetapan setelan relay untuk memastikan operasi yang selektif dan andal.
- 8) Menurut Matthew Steven Tarigan dan Rizky Wiyugo, 2025, dalam jurnalnya yang berjudul “Koordinasi Relay Proteksi Gangguan Hubung Singkat Menggunakan ETAP” menyatakan bahwa Salah satu cara untuk menjaga keandalan sistem distribusi adalah dengan menerapkan sistem proteksi arus lebih (*Over Current Protection*) yang menggunakan relay arus lebih (*Over Current Relay/OCR*) sebagai alat pendeteksi gangguan. OCR berfungsi untuk merespons kenaikan arus yang melebihi batas nominal akibat adanya gangguan, baik antar fasa maupun ke tanah, dengan memberikan perintah pemutusan pada pemutus tenaga (*circuit breaker*) agar bagian jaringan yang terganggu dapat segera diisolasi. Agar sistem proteksi bekerja secara selektif, koordinasi antar relay perlu diperhatikan. Relay yang paling dekat dengan titik gangguan harus bekerja terlebih dahulu, sedangkan relay di sisi hulu bertugas sebagai proteksi cadangan (*backup*). Tanpa koordinasi yang tepat, relay dapat bekerja tidak sesuai urutan, menyebabkan pemutusan yang tidak perlu dan memperluas area pemadaman.

- 9) Menurut Faisal Irsan Pasaribu dkk, 2021, dalam jurnalnya yang berjudul “Analisa Proteksi Over Current Relay Pada Jaringan Tegangan Menengah 20KV di PELINDO 1 Cabang Belawan” menyatakan bahwa secara umum sistem proteksi yaitu cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan. Sistem proteksi penyulang tegangan menengah ialah pengamanan yang terdapat pada sel-sel tegangan menengah di Gardu Induk dan pengaman yang terdapat pada jaringan tegangan menengah, (N. P. Putra, H. Purnomo, and T. Utomo, 2015) Penyulang tegangan menengah ialah penyulang tenaga listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik tegangan menengah (3.3 kV – 20 kV), (I Roza, FI Pasaribu, MF Siregar, Syafriwel. 2019).
- 10) Menurut N. B. Dharmawan, 2020, dalam jurnalnya yang berjudul “Studi Sistem Proteksi Line Current Differential Relay pada Saluran Transmisi 150Kv” menyatakan bahwa Sistem proteksi adalah peralatan listrik yang memiliki fungsi untuk mengamankan sistem tenaga listrik, misalnya transformator, generator, saluran transmisi dan peralatan listrik lainnya. Sistem proteksi bekerja dengan mengidentifikasi dan memisahkan bagian jaringan yang terjadi gangguan. Kegagalan sistem proteksi menyebabkan kerusakan pada sistem tenaga listrik, maka untuk mencapai tujuan sistem proteksi yang baik dalam mengatasi gangguan maupun memberikan kestabilan saat kondisi normal, diperlukan komponen utama peralatan sistem proteksi, seperti CT, Potensial Transformator (PT), *Circuit Breaker* (CB), Catu daya, *Direct Current* (DC) / *Alternating Current* (AC), tele proteksi yang terkoneksi dengan sistem *recorder*, *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) dan indikasi *relay*.

- 11) Menurut Abdul Muti dkk, 2022, dalam jurnalnya yang berjudul “Analisa Proteksi Over Current Relay (OCR) Dan Ground Fault Relay (GFR) Pada Transformator Daya Gardu Induk” menyatakan bahwa dalam perencanaan dan penggunaan komponen-komponen sistem proteksi, untuk mendapatkan suatu sistem proteksi yang baik diperlukan persyaratan-persyaratan sebagai berikut: kepekaan (*sensitivity*), keandalan (*Reability*), kecepatan (*Speed*), selektif (*Selective*), Ekonomis.
- 12) Menurut Moh. Wahyu Aminullah dkk, 2022, dalam jurnalnya yang berjudul “Pengaruh Pengaturan Rele Jarak Terhadap Proteksi Utama pada Penghantar SUTET 500kV”, menyatakan bahwa rele Jarak merupakan sebagai proteksi pada penghantar. Perhitungan nilai *setting Relay Distance* diperlukan pada pengoperasiannya sehingga dapat meminimalisir kegagalan proteksi. Tujuan Penelitian ini adalah mengetahui pengaruh pengaturan rele jarak dan melakukan perhitungan nilai setting Relay Distance yang sangat diperlukan dalam pengoperasian sehingga dapat meminimalisir kegagalan proteksi pada penghantar.

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.3 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran pada penelitian ini menggambarkan alur analisis dari munculnya gangguan proteksi palsu hingga penyusunan rekomendasi teknis. Melalui tahapan analisis sistem proteksi relay dan identifikasi penyebab gangguan, diharapkan dapat diperoleh solusi yang sesuai dengan kondisi lapangan. Alur ini disusun berdasarkan kondisi aktual yang ditemukan di lapangan, sehingga diharapkan hasil penelitian dapat memberikan rekomendasi yang realistis dan mudah diterapkan.