

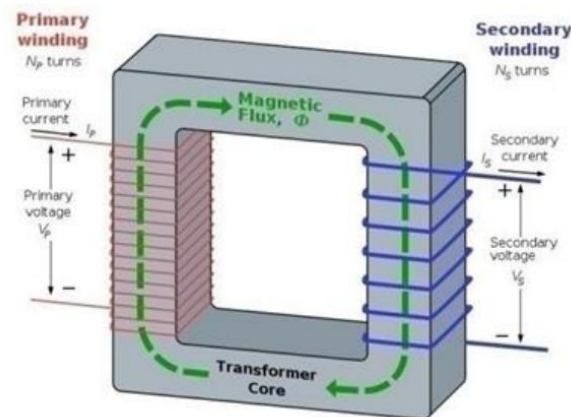
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Transformator Daya

Transformator adalah alat listrik yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi bentuk energi listrik lainnya. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh transformator disesuaikan dengan kebutuhan energi yang diperlukan. Alat ini terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada inti besi. Terdapat dua jenis kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer terletak pada salah satu sisi inti besi dan berfungsi sebagai tempat masuknya arus listrik. Sedangkan kumparan sekunder terletak di sisi inti besi yang lain dan berfungsi sebagai tempat keluarnya arus listrik (Badruzzaman et al., 2014).

Dasar fisik kerja transformator adalah induktansi mutual (timbal balik) antara kedua rangkaian, yang diperlukan untuk menghasilkan fluks magnetik bersama yang melewati jalur dengan reluktansi rendah. Kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi. Ketika salah satu kumparan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, fluks bolak-balik akan terbentuk di dalam inti berlaminasi, sebagian besar akan menghubungkan dengan kumparan lainnya, dan di dalamnya akan terinduksi gaya gerak listrik (ggl) bisa dilihat pada gambar 2.1 merupakan elektromagnetik pada transformator.



Gambar 2.1 Elektromagnetik Pada Transformator
(Sumber : Yusnan Badruzzaman, 2014)

2.2 Pengertian Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah suatu sistem yang digunakan untuk memberikan proteksi terhadap peralatan listrik jika terdapat kondisi abnormal pada sistem ataupun terjadi gangguan sistem. Sistem proteksi harus bekerja dalam waktu yang cepat untuk melokalisir gangguan pada sistem tenaga listrik. Saat pengamanan sistem tenaga listrik, seluruh peralatan harus diamankan dengan tetap menekankan selektivitas kerja sistem proteksi (Darus Salam and Wiyono, 2023).

2.2.1 Fungsi Sistem Proteksi

Proteksi pada transformator dirancang untuk mendeteksi gangguan atau kondisi abnormal dalam sebuah transformator dan kemudian merespon dengan melakukan tindakan proteksi untuk melindungi transformator dari kerusakan yang lebih serius. Fungsi utama sistem proteksi adalah (Farid Maulana et al., 2022) :

a. Deteksi Gangguan

Mendeteksi gangguan seperti arus lebih, tegangan lebih, hubung singkat, beban lebih atau kondisi tidak normal lainnya dalam jaringan listrik.

b. Perlindungan Peralatan

Melindungi peralatan atau komponen-komponen penting dalam sistem tenaga listrik dari kerusakan akibat gangguan atau kondisi yang tidak diinginkan.

c. Isolasi atau pemutus sirkuit

Mengambil tindakan seperti memutuskan sirkuit atau mengisolasi bagian yang terganggu dari sisa sistem untuk mencegah perambatan gangguan atau kerusakan lebih lanjut.

d. Pengawasan parameter listrik

Mengukur dan memantau parameter listrik seperti arus, tegangan, frekuensi dan lainnya untuk memastikan bahwa sistem beroperasi dalam batas yang aman.

2.2.2 Syarat Syarat Relay Proteksi

Dalam perencanaan sistem proteksi, maka untuk mendapatkan suatu sistem proteksi yang baik diperlukan persyaratan-persyaratan sebagai berikut (Farid Maulana et al., 2022) :

a. Keterandalan (*Reliability*)

Dalam kondisi normal atau tanpa gangguan, *relay* mungkin tidak beroperasi selama beberapa bulan atau lebih. Jika sewaktu-waktu terjadi gangguan, *relay* harus selalu mengatasi gangguan tersebut. Kegagalan *relay* dapat

menyebabkan kerusakan signifikan pada sistem yang dilindungi, dan kegagalan tersebut dapat merambat ke area yang semakin luas sehingga menyebabkan pemadaman listrik. *Relay* tidak boleh rusak. Artinya, *relay* seharusnya tidak berfungsi, tetapi seharusnya berfungsi. Hal ini menyebabkan kegagalan yang tidak perlu dan mempersulit analisis gangguan yang terjadi. Keandalan *relay* pengamanan ditentukan oleh desain, manufaktur, beban, dan pemeliharaannya.

b. Selektivitas (*selectivity*)

Selektivitas berarti *relay* harus memiliki kemampuan untuk membedakan (*discrimination*) bagian sistem yang terganggu, sehingga dapat memilih dengan tepat bagian dari sistem tenaga listrik yang terpengaruh gangguan. *Relay* kemudian bertugas untuk melindungi peralatan atau bagian sistem dalam jangkauan pengamanannya. Tugas *relay* adalah mendeteksi gangguan yang terjadi dalam area perlindungannya dan memberikan perintah untuk membuka pemutus tenaga, sehingga memisahkan bagian sistem yang terganggu. Pemutus tenaga dipasang sedemikian rupa sehingga setiap bagian sistem dapat dipisahkan. Dengan demikian, bagian sistem yang tidak terganggu tetap dapat beroperasi normal tanpa gangguan, sehingga pemutusan atau pemadaman hanya akan terjadi pada area yang terkena gangguan.

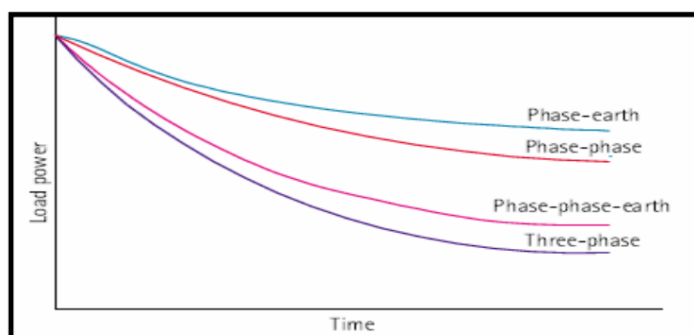
c. Sensitivitas (*sensitivity*)

Relay seharusnya memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap besaran minimal (kritis) yang telah direncanakan. *Relay* harus mampu berfungsi

segera setelah gangguan terjadi. Dengan demikian, gangguan dapat ditangani lebih cepat pada tahap awal kejadian, yang mengurangi potensi kerusakan pada peralatan yang perlu dilindungi.

d. Kecepatan Kerja

Relay pengamanan harus dapat bekerja dengan cepat jika ada gangguan, misalnya isolasi bocor akibat adanya gangguan tegangan lebih terlalu lama sehingga peralatan listrik yang diamankan dapat mengalami kerusakan. Pada sistem yang besar atau luas, kecepatan kerja *relay* pengamanan mutlak diperlukan karena untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu.



Gambar 2.2 Tipikal Besar Daya Sebagai Fungsi Dari Waktu Pemulihan
(Sumber : Elvy Sahnur Nasution, 2021)

Pada Gambar 2.2 diperlihatkan tipikal relasi antara pembebanan sistem dan waktu pemutusan gangguan untuk berbagai tipe gangguan. Dapat dilihat bahwa, gangguan phasa memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap stabilitas sistem bila dibanding dengan gangguan tanah. Oleh karena itu diperlukan waktu pemutusan yang lebih cepat. Tidak cukup hanya menjaga stabilitas sistem, tetapi juga penting untuk menghindari kerusakan yang tidak diinginkan. Arus gangguan yang sangat besar dapat menyebabkan

kerusakan parah, seperti pembakaran konduktor tembaga atau pelelehan laminasi inti transformator atau mesin-mesin listrik dalam waktu singkat. Meskipun jauh dari sumber gangguan, arus besar ini tetap dapat merusak pembangkit jika dibiarkan lebih dari beberapa menit. Oleh karena itu, peralatan proteksi harus segera beroperasi. Kecepatan respon sangat penting, namun pertimbangan ekonomis juga harus diperhatikan. Sebagai akibatnya, sistem distribusi yang kurang terpengaruh oleh kecepatan proteksi sering menggunakan metode perbedaan waktu pada sistem proteksinya, sementara sistem transmisi memerlukan peralatan proteksi dengan kecepatan operasi tinggi, dengan penentuan kecepatan operasi yang hanya dipengaruhi oleh faktor ketepatan operasi *relay*.

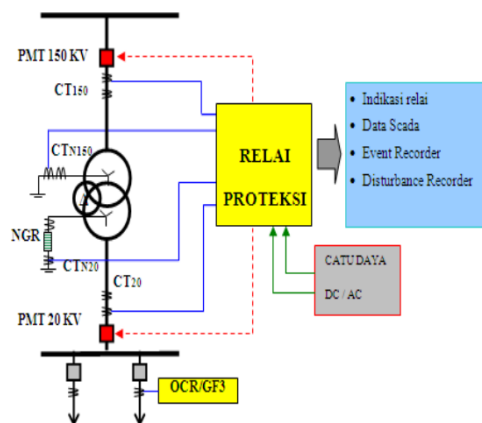
e. Ekonomis

Satu hal penting yang harus diperhatikan sebagai persyaratan *relay* pengaman adalah masalah harga atau biaya. *Relay* tidak akan diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik jika harganya mahal. Persyaratan reabilitas, sensitivitas, selektivitas, dan kecepatan kerja *relay* hendaknya tidak menyebabkan harga *relay* menjadi mahal. Pada dasarnya sistem perlindungan arus lebih yang digunakan pada saluran distribusi maupun pada saluran transmisi tidak berdiri sendiri artinya dalam pengoperasiannya, dibantu oleh *relay* lain.

2.2.3 Pembagian Zona Proteksi

Pembagian daerah proteksi atau zona proteksi bertujuan untuk memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi pada sebuah jaringan listrik yang mengalami

gangguan. Zona ini biasanya dibatasi oleh pemutus tenaga (*circuit breaker*) yang dapat memutuskan dan menghubungkan antar zona proteksi yang mengalami gangguan (Badruzzaman et al., 2014).



Gambar 2.3 Peralatan Sistem Proteksi pada Transformator
(Sumber : Yusnan Badruzzaman, 2014)

Pada gambar 2.3 diatas menunjukkan sistem tenaga listrik dibagi menjadi beberapa zona proteksi. Setiap zona proteksi mencakup satu atau dua elemen dari sistem tenaga. Zona proteksi dirancang untuk melindungi elemen-elemen sistem tenaga yang saling berdekatan, sehingga mencegah terjadinya kerusakan atau kerugian yang lebih besar.

2.2.4 Komponen Sistem Proteksi

Sistem proteksi tenaga listrik terdiri atas beberapa komponen yang memiliki fungsi sebagai berikut (Darus Salam and Wiyono, 2023) :

a. *Relay* Proteksi

Relay Proteksi berfungsi untuk menerima besaran arus, tegangan, frekuensi, dan lain-lain. Ketika input listrik yang signifikan melebihi batas setting *relay* yang ditetapkan, alarm akan dibunyikan dan *relay* akan melepas PMT

untuk mengatasi gangguan (Darus Salam and Wiyono, 2023). Berikut ini adalah klasifikasi *relay* berdasarkan fungsi atau kegunaannya :

1. *Over Current Relay*

Relay yang bekerja apabila arus yang dirasakan oleh *relay* lebih besar dari setelan nilai ambang batas arusnya.

2. *Differential Relay*

Relay yang dirancang khusus untuk mendeteksi perbedaan antara arus yang masuk dan arus yang keluar dari daerah atau zona yang dilindunginya. *Relay* ini akan aktif jika arus yang masuk tidak sesuai atau tidak sinkron dengan arus yang keluar.

3. *Directional Relay*

Relay yang dirancang untuk mendeteksi perbedaan *phase* antara arus yang satu dengan arus lainnya, atau perbedaan *phase* antara tegangan. *Relay* ini mampu membedakan apakah gangguan yang terjadi berada di arah belakang (*reverse fault*) atau di arah depan (*forward fault*).

4. *Distance Relay*

Relay ini umumnya digunakan untuk proteksi pada saluran transmisi karena *relay* jarak dapat mengukur impedansi hingga mencapai titik tertentu. *Distance Relay* berfungsi untuk mendeteksi gangguan hubung singkat yang terjadi antara lokasi *relay* dan batas jangkauan yang telah ditetapkan.

5. *Ground Fault Relay*

Relay ini bekerja untuk mendeteksi gangguan ke tanah atau lebih tepatnya dengan mengukur besarnya arus residu yang mengalir ke tanah.

b. *Current Transformer (CT)*

Current Transformer (CT) adalah suatu alat pada peralatan sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai (Prabowo and Warsito, 2018) :

1. Memperkecil besaran arus listrik (ampere) untuk sistem pengukuran.
2. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, yaitu memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi dari tegangan tinggi.
3. Memungkinkan standarisasi rating arus untuk peralatan sisi sekunder.

Pada gambar 2.4 merupakan *current transformer* di PLTP Area Karaha Pada dasarnya, prinsip kerja trafo arus mirip dengan prinsip kerja trafo daya. Ketika arus I_1 mengalir pada kumparan primer, gaya gerak magnet sebesar $N_1 I_1$ akan muncul pada kumparan tersebut. Gaya gerak magnet ini menghasilkan fluks pada inti, yang kemudian menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) pada kumparan sekunder. Jika terminal kumparan sekunder terhubung, arus I_2 akan mengalir pada kumparan sekunder, yang menghasilkan gaya gerak magnet sebesar $N_2 I_2$ di kumparan sekunder. Bila trafo dianggap ideal tanpa kerugian, maka berlaku persamaan berikut :

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \text{ Atau } \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.1)$$

dimana:

N_1 : Jumlah belitan kumparan primer

N_2 : Jumlah belitan kumparan sekunder

I_1 : Arus kumparan primer

I_2 : Arus kumparan sekunder

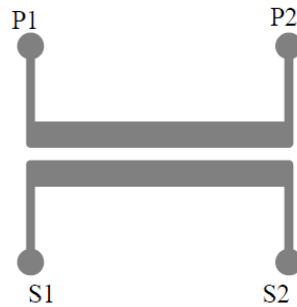


Gambar 2.4 *Current Transformer* Di PLTP PGE Area Karaha

Umumnya hubungan dari trafo arus terdiri dari tiga hubungan, yaitu :

a) Hubungan Transformator Arus Biasa

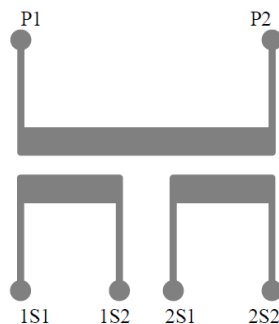
Pada gambar 2.5 merupakan hubungan transformator arus biasa dimana hubungan ini terdiri dari sebuah lilitan primer dan sebuah lilitan sekunder, yang mempunyai rasio, misalnya 1000/1 A, dimana 1000 A adalah nilai arus primer sedangkan 1 A adalah nilai arus sekunder yang masuk ke alat pengukuran (metering) dan ke alat proteksi. Untuk terminal primer $P_1 - P_2 = 1000$ A, sedangkan terminal sekunder $S_1 - S_2 = 1$ A.



Gambar 2.5 Hubungan Transformator Arus Biasa
(Sumber : Aditya Teguh Prabowo, 2018)

b) Hubungan Transformator Arus Dengan Dua Buah Lilitan Sekunder

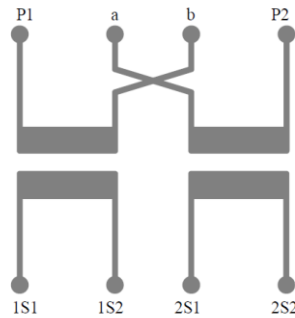
Pada gambar 2.6 merupakan hubungan transformator arus dengan dua buah lilitan sekunder dimana hubungan ini terdiri dari sebuah lilitan primer dan dua buah lilitan sekunder yang bekerja masing-masing lilitannya dengan inti ganda (*double core*). Satu lilitan sekundernya untuk alat pengaman dan satu sisi lagi untuk alat-alat pengukur, misalnya transformator arus dengan rasio 300/5-5 A, dimana 300 A adalah nilai arus primer, sedangkan terminal primer $P1 - P2 = 300 \text{ A}$, terminal sekunder $1S1 - 1S2 = 5 \text{ A}$ (nilai arus sekunder yang masuk ke alat proteksi) dan terminal sekunder $2S1 - 2S2 = 5 \text{ A}$ (nilai arus sekunder yang masuk ke alat pengukuran).



Gambar 2.6 Hubungan Dua Buah Lilitan Sekunder
(Sumber : Aditya Teguh Prabowo, 2018)

c) Hubungan Transformator Arus Dengan Dua Buah Lilitan Primer Dan Dua Buah Lilitan Sekunder

Pada gambar 2.7 Hubungan ini terdiri dari dua buah lilitan primer yang sama dan dapat dihubungkan seri atau paralel sedangkan masing-masing lilitan sekundernya terpisah. Bilamana lilitan primernya dihubungkan seri (klem a dan b dihubungkan) sehingga didapat batas ukur yang besar. Sistem ini lebih menguntungkan, karena jika diadakan perluasan elektrifikasi maka tidak perlu mengganti transformator arus lagi, misalnya : trafo arus dengan rasio 1000-2000/1-1 A untuk penyambungan / pemilihan rasio adalah 1000/1-1 A = terminal a disambung dengan b, 1000 A adalah nilai arus primer, terminal primer $P1 - P2 = 1000 \text{ A}$, terminal sekunder $1S1 - 1S2 = 1 \text{ A}$ (nilai arus sekunder yang masuk ke alat proteksi), terminal sekunder $2S1 - 2S2 = 1 \text{ A}$ (nilai arus sekunder yang masuk ke alat pengukuran), 2000/1-1 A = terminal P1 disambung dengan a dan terminal P2 disambung dengan b. Untuk 2000 A adalah nilai arus primer terminal primer $P1 - P2 = 2000 \text{ A}$, terminal sekunder $1S1 - 1S2 = 1 \text{ A}$ (nilai arus sekunder yang masuk ke alat proteksi), terminal sekunder $2S1 - 2S2 = 1 \text{ A}$ (nilai arus sekunder yang masuk ke alat pengukuran).

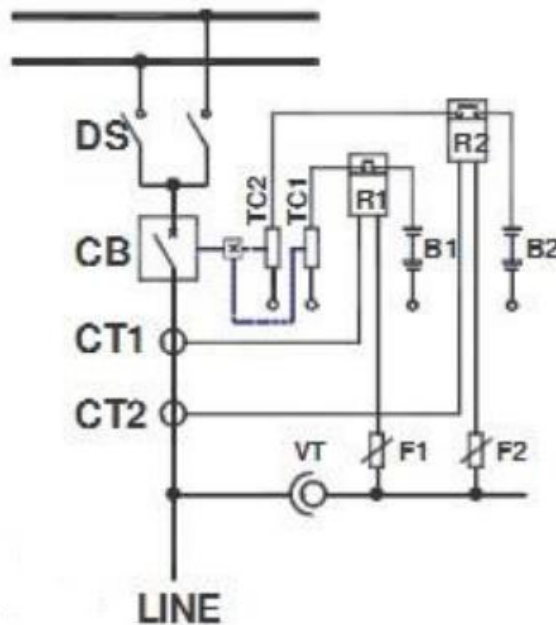


Gambar 2.7 Hubungan Dua Buah Lilitan Primer Dan Dua Buah Lilitan Sekunder
(Sumber : Aditya Teguh Prabowo, 2018)

c. Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) adalah peralatan saklar mekanis yang dapat menutup, mengalirkan, dan memutus arus beban baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan, seperti hubung singkat. Sebuah pemutus tenaga harus memenuhi beberapa persyaratan, di antaranya (Hermanto and Sukmadi, 2016) :

1. Mampu mengalirkan arus maksimum sistem secara berkelanjutan sesuai dengan kapasitas nominalnya.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan baik dalam keadaan berbeban maupun saat terjadi hubung singkat tanpa merusak pemutus tenaga itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan cepat, sehingga arus tersebut tidak merusak peralatan sistem, mengganggu kestabilan sistem, atau merusak pemutus tenaga.



Gambar 2.8 Diagram Pemutus Tenaga
(Sumber : Ihsan Arippin, 2022)

Pada dasarnya, PMT terdiri dari satu atau lebih ruang pemutus yang masing-masing dilengkapi dengan satu unit kontak tetap. Ketika pemutusan atau penghubungan arus daya listrik terjadi, busur api akan muncul di antara kontak-kontak dalam ruang pemutus. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.8 yang menunjukkan rangkaian sederhana *relay* dan pemutus tenaga. Klasifikasi PMT dapat dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain berdasarkan tegangan rating/ nominal, jumlah mekanik penggerak, media isolasi (Hermanto and Sukmadi, 2016).

a) Berdasarkan Besar Tegangan

1) PMT Tegangan Rendah

Dengan range tegangan 0,1 s/d 1KV (SPLN 1.1995-3-4).

2) PMT Tegangan Menengah

Dengan range tegangan 1 s/d 35KV (SPLN 1.1995-3-4).

3) PMT Tegangan Tinggi

Dengan range tegangan 35 s/d 245KV (SPLN 1.1995-3-5).

4) PMT Tegangan Ekstra Tinggi

Dengan range tegangan lebih besar dari 245KVAC (SPLN 1.1995-3-6).

b) Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak

1) PMT *Single Pole*

PMT type ini mempunyai mekanik penggerak pada masing- masing pole, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa *reclose* satu *phase*.

2) PMT *Three Pole One Drive*

Pada gambar 2.9 merupakan PMT *Three Pole* di PLTP Area Karaha PMT jenis ini mempunyai satu penggerak mekanik untuk tiga *phase*, guna menghubungkan satu *phase* dengan *phase* yang lain dilengkapi dengan kopel mekanik.



Gambar 2.9 PMT *Three Pole* Di PLTP PT.PGE Area Karaha

- c) Berdasarkan Media Isolasi
 - 1) PMT Gas SF₆
 - 2) PMT Minyak
 - 3) PMT Udara Hembus (*air blast*)
 - 4) PMT Hampa Udara (*vacuum*)

2.3 Faktor – Faktor Penyebab Gangguan

Sistem tenaga listrik adalah sistem yang sangat rumit dan melibatkan berbagai komponen. Oleh karena itu, terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan gangguan pada jaringan listrik, di antaranya (Wibowo Avip et al., 2015) :

- a. Faktor Kelalaian Manusia

Faktor kelalaian manusia merupakan kegagalan yang umum terjadi hal tersebut menyangkut pada standar keamanan yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Walaupun sudah terdapat standar yang jelas, akan tetapi kelalaian tetap dapat timbul akibat kurang adanya ketelitian. Beberapa masalah disebabkan kelalaian manusia seperti, kesalahan kalibrasi, kesalahan penyambungan suatu rangkaian, dan ketidak telitian dalam pemeriksaan kualitas suatu komponen.

- b. Faktor Internal

Faktor internal disini dimaksudkan ketika terjadi gangguan – gangguan pada daerah itu sendiri, antara lain :

- 1. Gangguan pada sistem pendingin dan kebocoran minyak.

2. Kegagalan isolasi akibat sambungan listrik yang buruk.
 3. Kondisi usia pakai.
- c. Faktor Eksternal

Faktor eksternal dimaksudkan ketika terjadi gangguan – gangguan sekitar daerah pengaman, antara lain :

1. Akibat keadaan cuaca, petir, bencana alam, genangan air disekeliling, dan juga kekuatan angin yang mungkin dapat berdampak langsung kepada komponen kelistrikan yang terpasang.
2. Oleh makhluk hidup seperti tikus, burung, dan juga tupai yang mungkin dapat merusak isolasi pada kabel pembangkit.

2.4 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Jika ditinjau dari sifat dan penyebabnya, jenis gangguan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

2.4.1 Gangguan Berdasarkan Lamanya Gangguan

- a. Gangguan Transient (*Temporer*)

Gangguan Transient adalah gangguan yang hilang dengan sendirinya apabila pengaman atau pemutus tenaga terbuka pada saluran waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali (Jeandy T. I. Kume et al. 2016).

- b. Gangguan Permanen

Gangguan Permanen adalah gangguan yang tetap ada apabila pengaman atau pemutus tenaga terbuka pada saluran waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali (Jeandy T. I. Kume et al. 2016).

2.4.2 Gangguan Berdasarkan Kesimetrisannya

a. Gangguan Asimetris

Gangguan Asimetris merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap phasanya menjadi tidak seimbang atau tidak simetri, antara lain (Badruzzaman et al., 2014) :

1. Hubung singkat *phase* ke tanah
2. Hubung singkat dua *phase* ke tanah
3. Hubung singkat dua *phase*

b. Gangguan Simetris

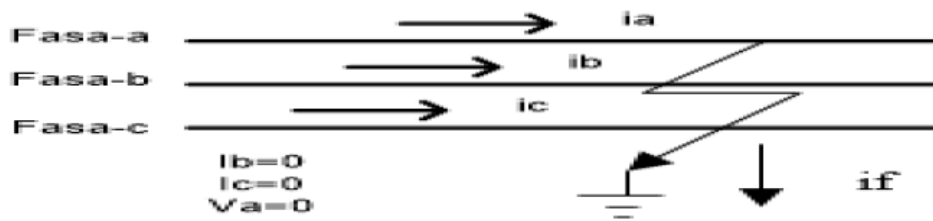
Gangguan Simetris adalah gangguan yang terjadi pada semua *phase* nya sehingga arus maupun tegangan setiap *phase* nya tetap seimbang setelah gangguan terjadi, yaitu hubung singkat tiga *phase* (Badruzzaman et al., 2014).

2.4.3 Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat adalah gangguan *transient* yang disebabkan oleh *phase* atau hubungan antara *phase* dengan netral. Oleh karena itu, mengakibatkan arus lebih pada *phase* yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada *phase* yang tidak terganggu. Hal ini sangat berbahaya mengingat arus yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat sangat besar. Gangguan hubung singkat dapat diklasifikasi menjadi empat jenis, antara lain (Badruzzaman et al., 2014) :

a. Gangguan Hubung Singkat Satu *phase* Ke Tanah

Pada gambar 2.10 merupakan gangguan yang disebabkan oleh penghantar *phase* dan *ground* terjadi *flashover* dan gangguan ini bersifat temporer.



Gambar 2.10 Gangguan Hubung Singkat Satu *Phase* Ke Tanah
(Sumber : Rachmad Hidayat Mastian Noor, 2017)

$$I_f = \frac{3 \times V_f}{\sqrt{3} \div Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (2.2)$$

Keterangan :

V_f = Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan.

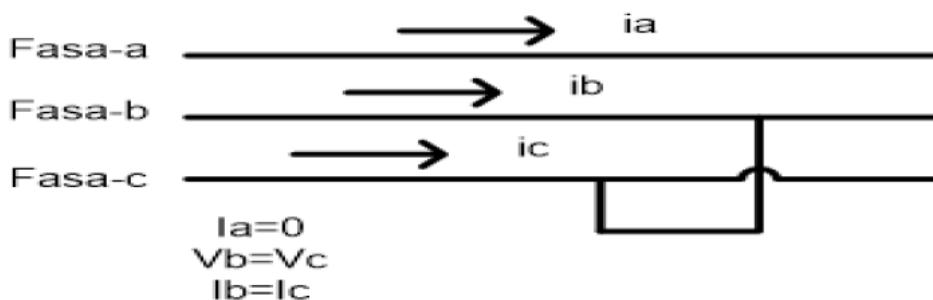
Z_0 = Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan.

Z_1 = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan.

Z_2 = Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan.

b. Gangguan Hubung Singkat Dua *Phase*

Pada gambar 2.11 merupakan gangguan yang terjadi akibat *phase* dan *phase* yang tersusun secara vertikal.



Gambar 2.11 Gangguan Hubung Singkat Dua *Phase*
(Sumber : Rachmad Hidayat Mastian Noor, 2017)

$$I_f = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \quad (2.3)$$

Keterangan :

V_f = Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan.

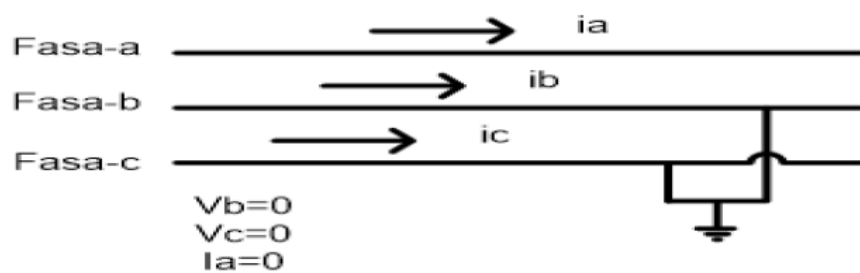
Z_1 = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan.

Z_2 = Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan.

Pada gangguan hubung singkat *phase* ke *phase*, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah.

c. Gangguan Hubung Singkat Dua *Phase* Ke Tanah

Pada gambar 2.12 merupakan gangguan yang terjadi saat dua penghantar mengalami gangguan dan terhubung ke tanah atau dua penghantar terhubung ke *neutral* dari sistem pentanahan tiga *phase*.



Gambar 2.12 Gangguan Hubung Singkat Dua *Phase* Ke Tanah
(Sumber : Rachmad Hidayat Mastian Noor, 2017)

$$I_f = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 + Z_0}{2}} \quad (2.4)$$

Keterangan :

V_f = Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan.

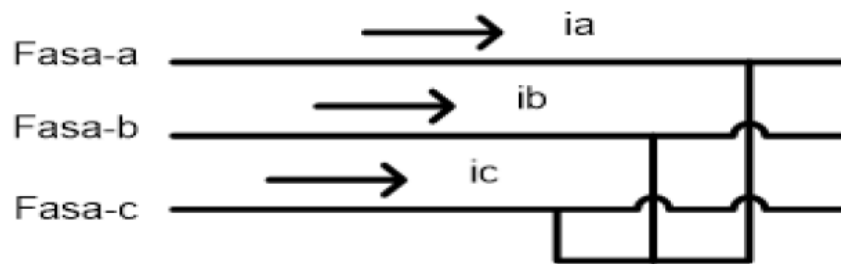
Z_0 = Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan.

Z_1 = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan.

Z_2 = Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan.

d. Gangguan Hubung Singkat Tiga *Phase*

Pada gambar 2.13 merupakan gangguan yang disebabkan oleh ketiga *phase* terhubung satu sama lain.



Gambar 2.13 Gangguan Hubung Singkat Tiga *Phase*
(Sumber : Rachmad Hidayat Mastian Noor, 2017)

$$I_f = V_f \div \sqrt{3} \div Z_1 \quad (2.5)$$

Keterangan :

V_f = Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan.

Z_1 = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan.

I_2 = Arus pada *phase* A.

2.4.4 Tegangan Lebih (*Over Voltage*)

Keadaan tegangan lebih merupakan gangguan yang terjadi ketika tegangan yang muncul dalam sistem tenaga listrik melebihi tegangan operasional normal sistem tersebut (Wibowo Avip et al. 2015).

a. *Kondisi Internal*

Kondisi *internal* ini disebabkan oleh perubahan mendadak dalam rangkaian atau bisa juga akibat terjadinya resonansi. Contohnya termasuk perubahan beban secara tiba-tiba, operasi pelepasan PMT yang mendadak akibat hubung singkat pada jaringan, dan faktor lainnya.

b. *Kondisi External*

Salah satu contoh kondisi ini terjadi ketika gangguan disebabkan oleh sambaran petir. Menara listrik seperti SUTT yang memiliki ketinggian cukup besar berisiko terkena sambaran petir. Jika arus petir yang datang sangat besar dan tahanan pentanahan menara listrik kurang memadai, hal ini dapat menyebabkan tegangan tinggi pada menara, SUTT, atau penghantar. Kondisi ini mengakibatkan terjadinya loncatan muatan dari menara ke penghantar *phase*. Pada penghantar *phase*, akan timbul gangguan tegangan dan gelombang tegangan tinggi dari petir yang dikenal sebagai surja petir. Surja petir ini kemudian mengalir menuju peralatan yang ada di pembangkit listrik.

2.4.5 Beban Lebih (*Over Load*)

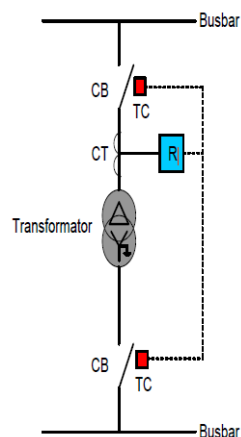
Gangguan beban lebih terjadi ketika konsumsi energi listrik melebihi kapasitas energi yang dapat dibangkitkan. Gangguan ini, yang juga dikenal sebagai *over load*, sering kali terjadi pada trafo daya dan generator. Beban lebih ini terlihat ketika arus yang berlebihan mengalir melalui komponen, menyebabkan panas yang berlebihan dan merusak isolasi sistem. Pada trafo distribusi sekunder yang memasok listrik ke konsumen, aliran listrik akan diputus jika konsumsi listrik oleh

konsumen melebihi kapasitas trafo. Pemutusan ini dilakukan oleh *relay* beban lebih (Wibowo Avip et al. 2015).

2.5 *Relay Arus Lebih / Over Current Relay (OCR)*

Relay arus lebih, yang sering disebut *Over Current Relay (OCR)*, adalah perangkat proteksi yang mendeteksi adanya arus lebih akibat gangguan hubung singkat atau arus berlebih. *Relay* ini dapat berfungsi sebagai pengaman utama maupun pengaman cadangan.

Pada trafo tenaga, OCR berfungsi sebagai proteksi cadangan (*back up protection*). OCR hanya aktif pada sisi bertegangan tinggi, sisi bertegangan menengah, atau kedua sisi tersebut sekaligus. Selanjutnya, OCR dapat mengoperasikan PMT pada sisi tempat *relay* terpasang atau memutuskan PMT di kedua sisi transformator tenaga. OCR dengan tipe *definite time* atau *inverse time* digunakan untuk melindungi transformator dari arus lebih bisa dilihat pada gambar 2.14 merupakan *one line diagram* pengaman *relay* arus lebih (Riskha Salsabila Sugiarto et al., 2021).



Gambar 2.14 *One Line Diagram* Pengaman *Relay* Arus Lebih
(Sumber : Riskha Salsabila Sugiarto, 2021)

Keterangan gambar :

CB : *Circuit breaker*

TC : *Tripping coil*

CT : *Current transformer*

R : *Relay arus lebih*

2.5.1 Jenis *Relay* Berdasarkan Karakteristik Waktu

Berdasarkan karakteristik waktu, *over current relay* dikategorikan menjadi tiga antara lain :

1. *Over Current Relay* Sesaat (*instantaneous*)

Pada gambar 2.15 merupakan karakteristik OCR tipe sesaat prinsip kerja *relay* jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, namun tetap beroperasi dengan sangat cepat. Pada pengaturan koordinasi pengaman di sistem distribusi tegangan menengah, pengaturan ini disebut dengan setelan instan. *Relay* ini bekerja berdasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang telah ditentukan dan akan membuka CB dalam waktu yang sangat singkat (80 ms).



Gambar 2.15 Karakteristik OCR Tipe Sesaat
(Sumber : Riska Salsabila Sugiarto, 2021)

2. *Over Current Relay Waktu Tertentu (Definite Time)*

Pada gambar 2.16 *Relay* ini memiliki waktu tunda yang tetap, tidak bergantung pada nilai arus hubung singkat. Jika arus hubung singkat melebihi batas yang telah ditentukan dalam pengaturan arusnya, *relay* akan beroperasi dalam waktu yang tetap, tanpa memperhatikan nilai arus hubung singkat tersebut.

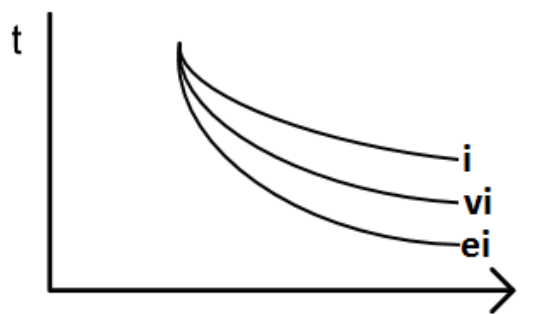


Gambar 2.16 Karakteristik OCR Tipe Waktu Tertentu
(Sumber : Riska Salsabila Sugiarto, 2021)

3. *Over Current Relay Berbanding Terbalik (inverse time)*

Pada gambar 2.17 *Relay* arus lebih dengan waktu *inverse* memiliki karakteristik di mana semakin besar arus gangguan, semakin cepat *relay* akan beroperasi. Sebaliknya, jika arus gangguan lebih kecil, waktu tunda operasi *relay* akan semakin lama. Karakteristik kerja *relay* arus lebih waktu *inverse* ini digambarkan melalui kurva arus-waktu, yang sering disebut sebagai *time-current characteristic* (TCC). Dalam standart IEEE std 242-2001 Karakteristik inverse pada *relay* proteksi arus lebih dibedakan menjadi tiga jenis utama, yaitu *standard inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse*. Masing-masing jenis memiliki kurva waktu operasi yang berbeda terhadap besar arus gangguan.

Standard inverse memiliki kurva waktu operasi moderat, di mana waktu trip menurun secara bertahap saat arus gangguan meningkat. *Very inverse* menunjukkan waktu operasi yang lebih cepat pada arus gangguan tinggi dibandingkan *standard inverse*, cocok untuk proteksi pada sistem dengan impedansi sedang. Sementara itu, *extremely inverse* memiliki waktu operasi tercepat pada arus gangguan tinggi, dirancang untuk sistem yang memerlukan respon cepat terhadap gangguan besar, seperti proteksi pada transformator atau peralatan penting. Pemilihan karakteristik ini disesuaikan dengan kebutuhan koordinasi dan keandalan sistem proteksi.



Gambar 2.17 Karakteristik OCR Tipe Berbanding Terbalik
(Sumber : Riska Salsabila Sugiarto, 2021)

2.5.2 *Setting Over Current Relay (OCR)*

1. Arus *Setting OCR*

Untuk pengaturan *relay* arus lebih dengan waktu *inverse*, terdapat dua bagian yang perlu disetel, yaitu setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Pada setelan *pickup*, batas penyetelan *relay* arus lebih adalah agar *relay* tidak bekerja saat arus beban maksimum. Oleh karena itu, pengaturan arusnya harus lebih besar daripada arus beban maksimum. Pada *relay* arus lebih,

nilai arus *pickup* ditentukan melalui pemilihan tap. Untuk menentukan nilai tap yang digunakan, dapat diterapkan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} \quad (2.6)$$

I_{set} adalah arus *pickup* dalam ampere. Batas penyetelannya yaitu :

$$1,05 \text{ FLA} < I_{set} < 1,4 \text{ FLA}$$

Keterangan :

I_{set} : Arus *setting pickup*

CT Primary : Arus primer CT

FLA : *Full load ampere*

2. *Setting Waktu* (TMS)

Sedangkan *setting time dial* untuk menentukan waktu operasi OCR dengan menggunakan koefisien *inverse time dial* pada tabel 2.1 digunakan persamaan :

$$T_d = \frac{\beta}{\left(\frac{I_f}{I_{set \text{ (primer)}}}\right)^{\alpha-1}} \times TMS \quad (2.7)$$

Keterangan :

T_d = Waktu operasi (*second*)

TMS = *Time Multiple Setting*

I_f = Nilai Arus Gangguan (Ampere)

$I_{set \text{ (primer)}}$ = Arus *Pick Up* (Ampere)

β = 80 (koefisien invers 1)

α = 2 (koefisien invers 2)

Tabel 2.1 Koefisien *Inverse Time Dial*

| Tipe Kurva | Koefisien | |
|--------------------------|-----------|----------|
| | β | α |
| <i>Standard Inverse</i> | 0,14 | 0,02 |
| <i>Very Inverse</i> | 13,5 | 1 |
| <i>Extremely Inverse</i> | 80 | 2 |
| <i>Ultra Inverse</i> | 315,2 | 2,5 |

3. *Instantaneous*

Relay waktu *instan* berfungsi sebagai pengaman sistem tenaga listrik dari gangguan hubung singkat yang paling kecil. Untuk melindungi sistem dari gangguan, pengaturan arus pada *relay* waktu *instan* dilakukan dengan cara tertentu. $I_{sc\ min}$ dari arus hubung singkat antar *phase*, sehingga *setting* ditetapkan :

$$I_{set} = 0,8 \times I_{sc\ min} \quad (2.8)$$

Nilai 0.8 adalah faktor keamanan dari sistem proteksi untuk estimasi apabila terjadi gangguan yang lebih kecil dari arus hubung singkat minimum.

2.6 *Relay* Hubung Tanah / *Ground Fault Relay* (GFR)

Relay gangguan tanah yang biasa disebut dengan *Ground Fault Relay* (GFR) mempunyai prinsip kerja yang sama dengan *relay* arus lebih namun berbeda dengan kegunaannya. Ketika OCR mendeteksi adanya hubung singkat antara *phase*, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat *phase* ke tanah (Riska Salsabila Sugiarto et al., 2021).

Pada kondisi normal beban seimbang I_r , I_s , I_t adalah sama besar, sehingga tidak ada arus yang mengalir dan *relay* hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidak seimbangan arus tau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral sehingga *relay* hubung tanah akan bekerja.

1. Arus *Setting Ground Fault Relay* (GFR)

Pengaturan *relay* GFR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga harus didasarkan pada perhitungan arus nominal transformator tersebut. Arus pengaturan untuk *relay* GFR, baik pada sisi primer maupun sekunder transformator tenaga, adalah sebagai berikut :

$$I_{set} (prim) = 0,2 I_{nominal} Trafo \quad (2.9)$$

Nilai tersebut merupakan nilai pada sisi primer. Untuk menentukan nilai pengaturan sekunder yang dapat diterapkan pada *relay* GFR, perhitungan harus dilakukan dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga. Metode yang sama juga digunakan untuk pengaturan GFR.

$$I_{gfr} = \frac{0,2 \times I_{nom}}{CT} \quad (2.10)$$

Keterangan :

I_{gfr} = Arus pada *relay* GFR

I_{nom} = Arus nominal pada transformator

CT = Rasio Transformator

2.7 Unjuk Kerja *Relay* Proteksi

Saat terjadi gangguan pada sistem tenaga, diharapkan *relay* utama akan berfungsi dengan baik dan mengisolasi gangguan tersebut. Namun, *relay-relay* lain yang berada di sekitar titik gangguan juga akan menerima sinyal gangguan dan mulai merespons. *Relay-relay* ini tidak akan mengaktifkan pembukaan PMT jika *relay* utama berfungsi dengan benar. Meskipun informasi tentang kinerja *relay* cadangan tidak akan tercatat jika *relay* tersebut tidak trip, peran *relay* cadangan tetap penting. Hampir semua sistem proteksi dapat merespons gangguan, namun hanya satu *relay* yang sebenarnya mengaktifkan tripping koil PMT, meskipun tidak ada bukti langsung tentang hal ini. Kinerja *relay* akan tercatat jika ada bukti yang menunjukkan hal tersebut. Kinerja *relay* dapat dikategorikan dalam tiga kategori utama, antara lain (Ir. Hendra Marta Yudha et al., 2023) :

1. Operasi Benar

Operasi yang benar diperlihatkan oleh:

- a. Paling sedikit terdapat 1 buah rele primer yang beroperasi dengan benar.
- b. Tidak satupun relai cadangan bekerja karena gangguan yang sama.
- c. Area gangguan dapat diisolir secepat yang diharapkan.

2. Operasi Yang Salah

Operasi yang salah dapat terjadi akibat kesalahan atau kegagalan fungsi dalam sistem proteksi yang tidak diinginkan. Kondisi ini dapat mengakibatkan pengisoliran yang tidak perlu. Beberapa penyebab

terjadinya operasi yang tidak benar antara lain dapat disebabkan oleh satu atau lebih faktor berikut ini :

- a. Aplikasi *relay* yang salah.
- b. *Setting* yang salah
- c. Kesalahan personal
- d. Masalah peralatan atau kegagalan (*relay, circuit breaker, CT, PT, batere, wiring, pilot channel, auxilliary*).

3. Tanpa Kesimpulan

Tanpa adanya kesimpulan, istilah ini merujuk pada situasi di mana satu atau lebih *relay* terlihat beroperasi yang dibuktikan dengan terbukanya PMT, namun tidak ada penyebab yang jelas. Tidak ditemukan bukti bahwa sistem mengalami masalah atau gangguan, dan tidak ada kerusakan pada peralatan (Ir. Hendra Marta Yudha et al., 2023).

2.8 Penelitian Terkait

Tabel 2.2 Penelitian Terkait

| No | Identitas Penelitian | Judul | Permasalahan | Pembahasan Jurnal |
|----|---|---|--|--|
| 1. | Fauzia Haz, Ichsan Aditya M N Program Studi Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI) | Analisis Setting Proteksi Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah Pada Trafo Daya 60 MVA di Gardu Induk 150 kV Cibatu | Menghitung setting proteksi relai arus lebih (OCR) dan gangguan tanah (GFR) | Berdasarkan analisis hasil setting rele OCR dan GFR menggunakan karakteristik <i>standard inverse</i> (SI). Untuk <i>setting</i> OCR sisi 20 kV didapat nilai TMS=0,11, sedangkan <i>setting</i> OCR sisi 150 kV didapat nilai TMS=0,17. Penyetelan GFR pada sisi 20 kV didapat nilai TMS=0,12, sedangkan <i>setting</i> GFR sisi 150 kV didapat nilai TMS=0,08. <i>Grading time</i> untuk waktu kerja relai sebesar 0,3 detik. Nilai tersebut masih memenuhi syarat <i>grading time</i> sesuai IEC 60255 sehingga, <i>setting</i> relai masih dalam keadaan baik dan andal. |
| 2. | Farid Maulana, Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT. Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT. Institut Teknologi Nasional, Malang | Analisis Koordinasi Proteksi Untuk Gangguan Antar Fasa Dan Gangguan Tanah Pada Sisi Pembangkit 150 KV Di PT. PGE Kamojang Unit IV | Membahas setting koordinasi <i>relay</i> OCR, GFR dan Differensial dengan memahami kondisi awal setting <i>relay</i> dan koordinasinya serta mengevaluasi setting <i>relay</i> dan koordinasinya pada sisi pembangkit 150kV. | Saat kondisi eksisting dengan data setting awal menggunakan ETAP, terlihat setting dan koordinasi proteksi pada gangguan fasa dan tanah ditipikal 1 dan 3 masih dalam keadaan normal, hanya saja pada tipikal 2 terdapat gangguan fasa dan tanah dengan setting awal pickup yaitu 1.9 pu dan time dial 0.9 sec untuk relay GPU 2000R dimana setting dan koordinasi tidak sesuai yang menyebabkan <i>relay backup</i> GE G30 bekerja terlebih dahulu dibandingkan <i>relay main</i> GPU 2000R yang |

| No | Identitas Penelitian | Judul | Permasalahan | Pembahasan Jurnal |
|----|--|--|--|--|
| | | | | <p>mengakibatkan koordinasi proteksi tidak sesuai dengan semestinya. Sedangkan, hasil resetting <i>relay</i> pada gangguan fasa dan tanah menunjukkan pada setiap tipikal <i>relay</i> sudah dalam koordinasi dengan baik yang dibuktikan dengan simulasi pada ETAP adapun perubahan setting <i>relay</i> terdapat pada tipikal 1, dimana waktu kerja relay yang diminta yaitu 3 detik yang diatur oleh <i>Grid Code</i> PLN. Adapun hasil resetting koordinasi proteksi pada tipikal 2 <i>relay</i> GPU 2000R yaitu dengan <i>pickup</i> 5.44 A, dan <i>time dial</i> 0.9 <i>second</i>. begitupun untuk rekomendasi <i>relay</i> GFR dengan <i>pickup</i> 6 A, <i>time dial</i> 0.8 <i>second</i>.</p> |
| 3. | Abd Rahim, Indar Chaerah Gunadin, Yustinus Upa Sombolayuk Teknik Elektro Universitas Hasanuddin Makassar, Sulawesi Selatan | Studi Koordinasi Relai Arus Lebih Pada Sistem Proteksi Generator Dan Transformator PLTA Bakaru | Menghitung settingan dan koordinasi relai arus lebih yang tepat pada sistem kelistrikan khususnya genarator dan transformator PLTA Bakaru. | Hasil kesimpulan dari pembahasan jurnal ini yaitu Hasil dari plotting kurva pertama berdasarkan setingan relai dengan <i>pickup</i> 0,9 dan <i>time dial</i> 0,25 s pada generator serta <i>pickup</i> 1 dan <i>time dial</i> 0,18 s pada transformator utama bahwa masih terdapat kekurangan, yaitu kurva pada relai arus lebih yang terdapat pada generator dan transformator utama pada unit 1 dan 2 mengalami overlap. Sehingga akan ada kondisi relai arus lebih pada generator dapat lebih dulu bekerja dari relai arus lebih pada |

| No | Identitas Penelitian | Judul | Permasalahan | Pembahasan Jurnal |
|----|--|--|---|--|
| | | | | transformator. untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan adanya resetting. Setelah dilakukan resetting diperoleh setinggan relai pickup 0,8 dan time dial 0,20 s pada transformator utama. Hasil dari plotting kurva kedua berdasarkan settingan relai dengan pickup 0,9 dan time dial 0,25 s pada generator serta pickup 0,4 dan time dial 0,33 s pada transformator PS juga masih terdapat kekurangan, dimana kurva relai arus lebih pada generator dan transformator pemakaian sendiri mengalami <i>overlap</i> sehingga untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan adanya resetting. Setelah dilakukan resetting diperoleh setinggan relai pickup 0,3 dan time dial 0,19 s pada transformator PS. |
| 4. | Firdaus, Fatma S, Syarifuddin Kasim, Andi Imran Teknik Elektro Universitas Negeri Makasar | Studi Koordinasi Rele Pengaman (Over Current Relay dan Ground Fault Relay) Pada Sistem Kelistrikan PLTU, PT. Rekind Daya Mamuju Dengan Menggunakan Program ETAP 12.6 | Menghitung hasil <i>setting</i> koordinasi rele pengaman (OCR dan GFR) dan urutan kerja dan waktu operasi rele pengaman saat terjadi gangguan pada sistem kelistrikan PT. Rekind Daya Mamuju. | Hasil pembahasan dari jurnal ini yaitu penelitian menunjukkan bahwa pada kurva <i>invers time</i> OCR sisi sekunder transformator 0,4 kV di- <i>setting</i> dengan arus 1.125 A dengan waktu <i>pickup</i> sebesar 0,45 s, <i>relay</i> sisi primer transformator 6,3 kV arus 150 A <i>pickup</i> 0,25 s dan <i>relay</i> yang terhubung antara unit I dan unit II dengan arus 1.050 A <i>pickup</i> pada 0,84 s. Nilai <i>seting</i> GFR untuk kurva <i>definite time</i> sisi sekunder arus 1.000 A <i>pickup</i> 0,4 s, dan <i>relay</i> pada sisi primer arus 120 A <i>pickup</i> 0,2 s. Koordinasi rele pengaman PLTU Mamuju unit I dan Unit II sudah bekerja dengan baik dengan nilai hasil plot kurva |

| No | Identitas Penelitian | Judul | Permasalahan | Pembahasan Jurnal |
|----|--|--|--|---|
| | | | | tidak ada yang <i>overlapping</i> ataupun <i>miss-coordination</i> satu sama lain. |
| 5. | Andri Laksono, Hermawan, Agung Nugroho Teknik Elektro, Universitas Diponegoro | Evaluasi Koordinasi Proteksi Relay Arus Lebih Dan Relay Gangguan Tanah Pada Penyulang Kedonganan Dan Gardenia GI Nusa Dua Menggunakan ETAP 12.6. | Evaluasi koordinasi proteksi Relay Arus Lebih dan Relay Gangguan Tanah dengan menggunakan kondisi relai kondisi eksisting dan <i>resetting</i> | Berdasarkan hasil evaluasi dan koordinasi <i>relay</i> proteksi arus lebih dan <i>relay</i> gangguan tanah memiliki nilai arus arus hubung singkat yang hampir sama dengan error rata-rata untuk semua gangguan dari hasil simulasi dan hasil perhitungan yaitu sebesar 0,912%. Perbedaan nilai arus <i>setting</i> (Iset) dan TMS pada kondisi <i>resetting</i> dikarenakan PT. PLN memiliki kebijakan dan pertimbangan sendiri dalam menentukan <i>setting</i> peralatan proteksi. Sehingga hasil <i>resetting</i> peralatan proteksi berdasarkan IEC 60255 memiliki nilai TMS yang berbeda dengan <i>setting</i> kondisi eksisting dan <i>resetting</i> . Waktu kerja proteksi pada kondisi eksisting pada penyulang Kedonganan dan Gardenia saat gangguan maksimum masih belum memenuhi <i>standart grading time antar</i> peralatan proteksi berdasarkan IEC 60255 yaitu sebesar 0,3 – 0,5 detik. Sedangkan waktu kerja masing-masing <i>relay</i> pada kondisi <i>resetting</i> telah memenuhi <i>standart</i> penentuan <i>grading time</i> berdasarkan IEC 60255 yaitu sebesar 0,3 – 0,5 detik. Waktu kerja <i>relay incoming</i> harus lebih cepat dari waktu ketahanan konduktor pada penyulang, sehingga kerusakan konduktor akibat arus yang mengalir pada penghantar bisa diminimalisir sehingga konduktor |

| No | Identitas Penelitian | Judul | Permasalahan | Pembahasan Jurnal |
|----|----------------------|-------|--------------|---|
| | | | | tidak mengalami kerusakan. <i>Setting</i> koordinasi proteksi hasil perhitungan (<i>resetting</i>) berdasarkan IEC 60255 dengan kondisi eksisting menunjukkan bahwa <i>setting</i> koordinasi proteksi <i>resetting</i> IEC 60255 dapat bekerja lebih baik dibanding dengan kondisi <i>existing</i> . |

Tabel 2.2 diatas merupakan beberapa penelitian terkait yang berfungsi sebagai referensi serta menganalisa dan menambah pembahasan dalam penelitian yang akan dilakukan pembahasan dari penelitian terkait diatas terdapat perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan, diantaranya yaitu sebagai berikut :

1. Pada tabel 2.2 nomor 1 perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah pada pembahasan yang akan dibawa di penelitian ini hanya membahas kinerja sistem proteksi dari *relay* OCR dan GFR dengan data yang sudah diperoleh dengan menambahkan simulasi gangguan hubung singkat untuk mengetahui waktu pemutusan *relay*, dan grafik kurva arus waktu agar dapat mengetahui dan melakukan evaluasi kinerja koordinasi *relay* proteksi.
2. Pada tabel 2.2 nomor 2 perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah pada komponen *relay* dimana pembahasan yang akan dibawa di penelitian ini hanya membahas *relay* OCR dan GFR dengan data yang sudah diperoleh dengan menambahkan simulasi gangguan hubung singkat.

3. Pada tabel 2.2 nomor 3 perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah pada pembahasan yang akan dibawa di penelitian ini hanya membahas cek peluang kegagalan kinerja sistem proteksi pada transformator PLTP.
4. Pada tabel 2.2 nomor 4 perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah pada pembahasan yang akan dibawa di penelitian ini hanya membahas cek peluang kegagalan kinerja sistem proteksi dari *relay* OCR dan GFR dengan data yang sudah diperoleh dengan menambahkan simulasi gangguan hubung singkat untuk mengetahui waktu pemutusan *relay*, dan grafik kurva arus waktu agar dapat mengetahui dan melakukan evaluasi kinerja koordinasi *relay* proteksi.
5. Pada tabel 2.2 nomor 5 perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah pada pembahasan yang akan dibawa di penelitian ini hanya membahas kinerja sistem proteksi dari *relay* OCR dan GFR dengan data yang sudah diperoleh dengan menambahkan simulasi gangguan hubung singkat untuk mengetahui waktu pemutusan *relay*, dan grafik kurva arus waktu agar dapat mengetahui dan melakukan evaluasi kinerja koordinasi *relay* proteksi.