

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Berdasarkan topik pembahasan penelitian yang berjudul Simulasi dan Analisis *Differential Relay Main Transformer* (87 GT) pada PLTP Unit 5 (lima) PT Pertamina Geothermal Energy area Kamojang dengan *Software* ETAP 12.6, terdapat beberapa referensi untuk mempertimbangkan permasalahan untuk menjadi acuan tugas akhir ini, diantaranya:

1. Turner (2009) melakukan penelitian yang berjudul *Testing Numerical Transformer Differential Relay*. Dalam penelitian tersebut didapat kesimpulan bahwa, praktik *commissioning* yang umum adalah menguji semua pengaturan rele numerik untuk memastikan inputan akurat. Untuk menjalankan serangkaian tes, menggunakan *software* pada sebuah komputer dan dilakukan secara otomatis karena keseluruhan praktik *commissioning* dapat terdiri dari beberapa ratus pengujian *numerical relay*. Meskipun *test* pada sebuah transformator ini adalah pemeriksaan yang bagus, masih penting untuk memastikan bahwa transformator benar-benar terlindungi dari segala jenis gangguan baik internal maupun eksternal.
2. Badaruddin dan Kurniawan (2012) melakukan penelitian yang berjudul *Setting Rele Diferensial pada Transformator Daya 150/20 kV di Gardu Induk Menes*. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi mengenai jenis gangguan yang terdapat dalam sistem tiga fasa, gangguan hubung singkat, gangguan di luar dan di dalam daerah yang dilindungi, dan *setting* rele diferensial. Pada penelitian ini juga dilakukan pengujian terhadap perhitungan penyetelan rele diferensial, maka dapat di ambil kesimpulan dari penelitian tersebut bahwa dalam perhitungan untuk penyetelan rele diferensial pada tranformator daya perlu diperhatikan beberapa faktor, diantaranya faktor pemilihan perbandingan rasio transformator arus (CT) dan perhitungan besar arus sekunder transformator arus utama.

3. Badruzzaman dan Himawati (2014) melakukan penelitian mengenai Keandalan Rele Differential sebagai Pengaman Utama Transformator terhadap Gangguan Arus Hubung Singkat di GIS Randugarut. Pada penelitian ini didapat kesimpulan bahwa *differential relay* bekerja sesuai dengan *setting*-nya yaitu sebesar 0.3 A dan *setting* waktu *instant*. Keandalan *differential relay* sebagai pengaman utama transformator dapat ditambah dengan mengaktifkan pengaturan *high set* sebesar 8 kali I_{dif} yang mengerjakan rele pada arus gangguan yang besar.
4. Febriyanty, dkk (2016) melakukan penelitian tentang Analisa Kerja Proteksi Gardu Induk Garuda Sakti menggunakan *Software* Berbasis Visual Basic 6.0. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa pada satu tahun transformator di gardu induk mengalami gangguan 20 kali gangguan diantaranya 4 kali gangguan pada saluran transmisi, 150 kv, 16 kali gangguan pada transformator. Dari gangguan tersebut sistem proteksi di gardu induk menggunakan 5 macam jenis rele yaitu: rele UVLS, rele OVR/UVR, rele DF/DT, rele PMT 150 kV, rele REF/SBEF dari kelima rele tersebut memiliki nilai keandalan yang cukup baik yaitu dengan nilai 100%.
5. Fitriani (2017) melakukan penelitian tentang Analisis Penggunaan Rele Diferensial sebagai Proteksi pada Transformator Daya 16 MVA di Gardu Induk Jajar. Dari hasil penulisan tersebut didapat kesimpulan bahwa, arus *setting* (I_{set}) yang diperoleh sebesar 0.3 A dan diharapkan dapat bekerja dengan optimal sebagai proteksi utama pada transformator daya 16 MVA di Gardu Induk Jajar.
6. Yuniarto, Subari, dan Kusumastuti (2017) melakukan penelitian tentang *Setting Differential Relay* pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi. Dari penulisan tersebut diperoleh kesimpulan bahwa, *setting differential relay* sangat diperlukan guna mencegah adanya arus gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik yang lebih stabil.
7. Altama (2017) melakukan penelitian tentang Analisis Proteksi *Differential Relay* Transformator daya (87 GT) pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas

Bumi (PLTP) Kamojang Unit 4 di PT Pertamina Geothermal Energi. Pada penelitian tersebut dilakukan analisis mengenai *setting differential relay* pada transformator daya di PLTP Kamojang unit 4 untuk mengetahui faktor keandalan sistem proteksi dan melakukan simulasi *differential relay* pada transformator daya dengan *software* ETAP 12.6. Dari hasil penelitian tersebut didapat kesimpulan bahwa, hasil perhitungan *setting differential relay* transformator daya (87 GT) PLTP Kamojang unit 4 sudah memenuhi syarat andal terhadap gangguan yang akan terjadi baik gangguan internal maupun gangguan eksternal.

8. Reimert, Donald (2006) dalam buku yang berjudul *Protective Relaying-Principles and Application* yang diterjemahkan oleh Kunto W. (2012) dalam buku ini dapat memberikan wawasan bahwasanya buku ini dapat memberikan gambaran secara umum mengenai prinsip kerja dan pengaplikasian rele proteksi. Dalam buku ini dapat diambil kesimpulan bahwa “mengacu pada situasi di mana satu atau lebih rele harus atau tampak telah beroperasi, seperti (*tripping*) *circuit breaker* (CB), namun tidak ada penyebab dapat ditemukan. Hal ini diduga bahwa banyak dari peristiwa ini adalah hasil dari keterlibatan personil yang tidak dilaporkan, atau masalah intermiten yang tidak terlihat jelas selama pengujian investigasi.”
9. Yudha (2008) dalam buku yang berjudul *Proteksi Rele: Prinsip dan Aplikasi*. Dalam buku ini dapat memberikan gambaran umum mengenai sistem proteksi bagi *power plant system*, dalam materinya menerangkan bahwa “Sangat penting untuk disadari bahwa *time window* dalam mengambil keputusan pada suatu sistem proteksi sangat sempit, dan apabila terjadi gangguan, pemeriksaan untuk verifikasi atau prosedur pengambilan keputusan yang memerlukan tambahan waktu tidak diperkenankan”. Sangat vital bila:
 - a. Bahwa sistem proteksi harus melakukan keputusan secara benar baik pada saat gangguan berlangsung maka *trip* jaringan harus dilaksanakan, sehingga dapat melakukan keputusan seketika dan tidak dapat ditolerir,

- b. Bahwa sistem proteksi hanya akan bekerja bila dibutuhkan untuk mencegah terjadinya kerusakan alat, guna mengisolir zona yang mengalami gangguan secepat mungkin dengan tetap melayani zona yang mengalami gangguan semaksimal mungkin.
10. Pandjaitan (2012) dalam buku yang berjudul Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik. Pada buku tersebut ia mengutip bahwa “Proteksi dan kendali sistem tenaga merupakan subjek yang sangat kompleks dan memerlukan pemahaman yang baik tentang komponen sistem tenaga listrik dan berbagai kondisi abnormal yang dapat terjadi sebagai akibat hubung singkat maupun kegagalan peralatan.”

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Definisi Sistem Proteksi

Pada dasarnya suatu sistem tenaga listrik terdiri dari susunan pembangkit, transmisi dan distribusi yang dihubungkan oleh satu sama lain guna membangkitkan, mentransmisikan dan mendistribusikan tenaga listrik hingga dapat dimanfaatkan oleh pelanggan. Sistem proteksi merupakan isolasi atau perlindungan pada zona yang memungkinkan terjadinya bahaya atau gangguan pada sebuah komponen sistem tenaga listrik baik dalam zona pembangkitan, transmisi ataupun distribusi yang dalam penggunaannya mempunyai kekhususan dan bahkan seringkali jauh berbeda.

Hal yang lebih mendasar ialah pembangkit listrik haruslah dioperasikan secara aman tanpa menimbulkan kerugian bagi manusia ataupun pada perangkat pembangkit, yaitu dengan mengoptimalkan sumber daya primer yang ada, efisiensi, faktor keandalan dan keamanan. Namun pada kenyataannya sebaik dan seideal apapun disain dari *power plant system* dilakukan, sistem tersebut dalam kenyataannya tidak pernah terbebas dari sebuah gangguan. Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat terjadi pada tingkat destruksi dan level yang berbeda-beda, namun pada masing-masing pembangkit mempunyai risiko baik terhadap manusia maupun terhadap peralatan sistem tenaga listrik itu sendiri (Pandjaitan, 2012:3).

Kebanyakan gangguan dalam sistem tenaga listrik dengan jaringan saluran udara adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (*single phase-to-ground*) gangguan yang dihasilkan terutama dari transmisi saluran tegangan tinggi yaitu dari petir, pohon yang tumbang dan ranting pohon. Dalam sistem distribusi saluran udara (*overhead distribution*), hubung singkat dengan pohon disebabkan oleh angin yang merupakan penyebab utama dari gangguan. Hujan, petir, pohon tumbang, dan angin selama badai parah dapat menjadi penyebab banyaknya gangguan pada jaringan. Presentase di bawah merupakan peristiwa hubung singkat yang sering terjadi, hal ini meliputi:

- a) *Single phase-to-ground* : 70%–80%
- b) *Phase-to-phase-to ground* : 17%–10%
- c) *Phase-to-phase* : 10%–8%
- d) *Three-phase* : 3%–2%

Berbagai alat proteksi (rele) haruslah dikoordinasikan dengan baik, sehingga rele utama bertugas untuk beroperasi dan melindungi pada tanda pertama dari masalah yang terjadi pada zona internal. Sistem *backup* harus tersedia dan dapat beroperasi untuk menyelesaikan gangguan apabila kemampuan dari rele utama berkurang. Untuk mengoptimalkan faktor keamanan, keseimbangan haruslah meningkatkan probabilitas hasil dari operasi, serta bergantung pada karakteristik dan tujuan dari setiap aplikasi tertentu. Gangguan dapat dibedakan berdasarkan lamanya gangguan tersebut terjadi, diantaranya:

- A. Gangguan temporer (*transient*), gangguan jenis ini hanya bersifat sementara dan dapat hilang dengan sendirinya ketika pemutus tegangan dalam posisi terbuka (*open*) atau terbebas dari saluran transmisi dalam waktu yang sementara. Setelah itu dihubungkan kembali (*close*) dengan jaringan.
- B. Gangguan permanen, berbeda dengan gangguan transient yang dapat hilang dengan sendirinya, gangguan ini tidak. Jenis gangguan ini akan tetap ada apabila pemutus tenaga pada posisi terbuka (*open*) pada saluran transmisi pada waktu yang sementara dan setelah itu terhubung kembali (*close*)

Pada kasus diatas, akibat dari terbukanya (*open*) pemutus tenaga listrik (PMT) tidak selalu diakibatkan karena gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik itu sendiri, melainkan karena adanya pengaruh dari luar berupa interfensi atau induksi jaringan yang menyebabkan gangguan pada sistem. Dapat juga diakibatkan oleh kerusakan pada rele akibat keandalan dari rele tersebut berkurang ataupun akibat dari kabel kontrol. Gangguan diatas disebut dengan gangguan non-sistem.

Berdasarkan uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa sistem proteksi tenaga listrik ialah pengaman pada komponen yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti pada generator, transformator, busbar, saluran kabel bawah tanah, saluran udara tegangan tinggi, dan sebagainya terhadap suatu kondisi gangguan atau abnormal sistem tenaga listrik.

1. Persyaratan Sistem Proteksi

Sistem proteksi utama merupakan pengaman yang memprioritaskan alat untuk bekerja mengamankan saat terjadi gangguan dalam kondisi kurang normal pada transformator daya, pengaman utama dimaksudkan sebagai yang memperkarsainya saat terjadi gangguan pada kawasan yang akan di lindungi. Adapun ciri-ciri pengaman utama sebagai berikut:

- a. Waktu kerja rele sangat cepat,
- b. Tidak bisa dikoordinasikan dengan rele proteksi lainnya,
- c. Tidak bergantung pada proteksi lainnya, dan
- d. Daerah pengamanannya diapit oleh dua buah transformator arus, dimana rele diferensial dipasangkan.

Hutauruk (1991) menjelaskan bahwa sistem proteksi bertujuan untuk menerlakan gangguan. Cara kerja sistem proteksi adalah dengan cara mengisolir komponen atau bagian tempat terjadinya gangguan. Dengan demikian sistem proteksi harus memiliki hal-hal berikut ini:

1) Kepekaan (sensitifitas)

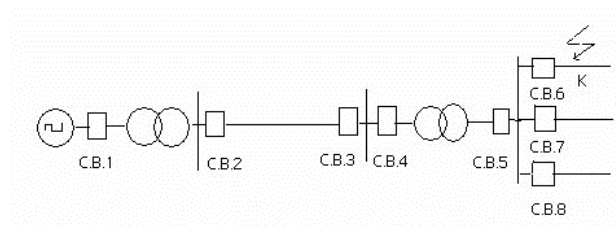
Syarat ini terkait dengan tingkat sensitifitas yang dimiliki oleh sistem proteksi. Sensitifitas atau kepekaan dalam sistem proteksi ditentukan oleh *minimum values* yang terdapat dalam komponen saat sistem proteksi mulai bekerja.

2) Kecepatan

Tingkat kecepatan merupakan salah satu syarat vital yang harus dimiliki oleh sistem proteksi, karena syarat ini memiliki multifungsi diantaranya, untuk menjaga kualitas dan kuantitas pelayanan, keamanan, serta keseimbangan saat mesin bekerja. Sistem proteksi harus memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan sehingga dapat meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia, komponen, dan stabilitas operasi. Mengingat dalam suatu sistem tenaga listrik mempunyai batas-batas stabilitas serta sering terjadinya gangguan sistem yang bersifat hanya sementara, maka rele yang semestinya bereaksi dengan cepat kerjanya perlu diperlambat (*time delay*).

3) Selektifitas dan diskriminatif

Sistem proteksi memiliki kemampuan untuk mengelompokkan atau mengidentifikasi sedini mungkin kemungkinan terjadinya gangguan. Pada sebuah rele proteksi akan melakukan tripping sesuai *setting* yang telah ditentukan pada waktu mendisain sistem proteksi, mulai dari penyetulan hingga pemasangan. Dalam hal ini sistem proteksi memiliki fungsi utama untuk menjadi media atau alat yang memisahkan bagian-bagian yang terganggu dengan alat-alat yang tidak terganggu (normal).



Gambar 2.1 Contoh Gangguan Sistem Tenaga Listrik

(Sumber: Taqiyyudin, 2006:6)

Gambar di atas menerangkan titik yang terkena gangguan tidak dapat berfungsi secara maksimal dan hanya titik normal saja yang dapat beroperasi. Misalnya, dalam gambar di atas gangguan terjadi pada titik X, sehingga titik X menjadi bagian yang tidak bekerja.

4) Keandalan

Sistem proteksi dapat disebut andal jika, pada saat dibutuhkan akan selalu berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Sistem proteksi dapat dikatakan tidak andal jika dalam keadaan tidak dibutuhkan akan beroperasi dan dalam keadaan *standby* rele akan bekerja tanpa melakukan pembacaan, sebagai contoh dalam keadaan normal tidak terjadi gangguan rele akan memutuskan untuk melakukan *trip* jaringan, serta masih banyak kasus dimana rele dapat dikatakan tidak andal. Keandalan suatu rele dikatakan cukup baik bila mempunyai *range* 90-99 %. Keandalan dapat dibagi 2 macam, yaitu:

- a. *Dependability*: rele harus dapat diandalkan setiap saat.
- b. *Security*: rele tidak boleh salah kerja/tidak boleh bekerja ketika tidak dibutuhkan.

5) Ekonomis.

Nilai ekonomis menjadi sesuatu yang tidak boleh dikesampingkan dalam membuat *planning* sistem proteksi yang baik. Akan tetapi, nilai ekonomis ini juga harus disesuaikan dengan faktor keandalan yang sudah ditetapkan.

2. Faktor Penyebab Terjadinya Gangguan

Dalam bukunya, Mardesnsyah (2008:10) berpendapat jika sistem tenaga listrik merupakan sistem yang hanya melibatkan sebuah komponen dan sangat teratur. Oleh karenanya, terbagi menjadi beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya *short circuit* pada sistem tenaga listrik tersebut, diantaranya:

a. Faktor manusia.

Faktor manusia menyangkut kesalahan atau kelalaian dalam Memberikan perlakuan pada sistem. Misalnya saja salah dalam melakukan penyambungan rangkaian, keliru dalam melakukan mengkalibrasi suatu piranti pengaman, dan sebagainya.

b. Faktor *internal*.

Faktor *internal* ini menyangkut gangguan-gangguan yang berasal dari dalam sistem itu sendiri. Misalnya usia pakai (ketuaan), keausan, dan lain sebagainya. Hal ini bisa mengurangi sensitifitas rele pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya.

c. Faktor *external*.

Faktor *external* ini meliputi gangguan-gangguan yang bersal dari luar atau lingkungan di sekitar sistem. Misalnya kadaan cuaca, gempa bumi, banjir bandang, serta sambaran petir. Di samping itu ada kemungkinan gangguan yang di sebabkan oleh binatang, misalnya gigitan tikus, burung, kelelawar, tupai, dan sebagainya.

2.2.2 Sistem Proteksi pada Transformator Daya

Transformator merupakan komponen utama dalam sistem tenaga listrik pada saluran distribusi dan transmisi baik di pembangkit (*power plant*) atau gardu induk (*switch yard*). Transformator daya (transformator daya) adalah suatu alat berupa motor listrik statis yang berfungsi untuk menghantarkan arus, tegangan, daya, dan frekuensi. Sebuah transformator dapat mengubah nilai arus dan tegangan itu sendiri, artinya dalam transformator terdapat kumparan untuk menaikkan tegangan (*step up*) dan menurunkan tegangan (*step down*) dengan nilai frekuensi yang tetap sama. Berikut adalah tampilan transformator daya milik PT Pertamina Geothermal Energi area Kamojang di PLTP KMJ Unit 5



Gambar 2.2 Transformator Daya 50 MVA Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Kamojang Unit 5

Dalam sistem tenaga listrikan dikenal dengan istilah sistem proteksi dimana sistem ini merupakan hal yang sangat penting di dalam suatu sistem instansi listrik itu sendiri. Sistem ini merupakan pelindung peralatan utama saat terjadi gangguan hubung singkat, dimana sistem ini harus mampu memisahkan daerah yang sedang mengalami gangguan dengan daerah yang tidak mengalami terjadi gangguan, sistem ini diharapkan mampu mengamankan sehingga gangguan tidak menyebar luas dan kerusakan dapat di minimalisir. Biasanya peralatan pengaman pada transformator daya terdiri dari berapa komponen, diantaranya rele proteksi, transformator arus (CT), transformator tegangan (PT/ CVT), PMT, catu daya AC/ DC yang digabung dalam suatu rangkaian, yang mengakibatkan satu sama lain saling berkaitan.

1. Gangguan pada Transformator Daya

Gangguan pada transformator daya dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, diantaranya:

A. Gangguan *Internal*.

Gangguan *internal* ialah gangguan yang terjadi di dalam daerah proteksi transformator baik itu di dalam transformator maupun di luar transformator atau sebatas lokasi CT. Gangguan *internal* ini memiliki penyebab di antaranya ialah:

1. Kebocoran minyak,
2. Gangguan pada *tap changer*,
3. Ketidaktahanan terhadap arus gangguan,
4. Gangguan pada *bushing*,
5. Gangguan pada sistem pendingin, dan
6. Kegagalan isolasi.

Gangguan internal dapat dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu:

a) *Incipient fault*

Gangguan ini terjadi dengan proses yang lambat, gangguan ini akan berkembang menjadi lebih besar jika gangguan tidak dibatasi ataupun tidak terdeteksi. Gangguan jenis ini memiliki beberapa jenis, yaitu:

1) *Overheating*.

Adapun penyebab terjadinya gangguan *Overheating* adalah sebagai berikut:

- (a) Ketidak sempurnaan sambungan,
- (b) Kebocoran minyak,
- (c) Tersumbatnya aliran sistem pendingin, dan
- (d) Kegagalan *fan* atau pompa sistem pendingin.

2) *Overfluxing*.

Overfluxing biasanya terjadi saat mengalami gangguan *overvoltage* maupun *undervoltage*, sehingga gangguan ini dapat mengakibatkan pertambahan rugi-rugi besi yang mengakibatkan pemanasan, dimana pemanasan bisa mengakibatkan kerusakan isolasi lempengan.

3) *Over pressure*.

Gangguan *Over pressure* biasanya disebabkan oleh banyak faktor di antaranya adalah:

- (a) Pelepasan gas akibat *over heating*.
- (b) Hubungan singkat belitan-belitan sefasa.
- (c) Pelepasan gas akibat proses kimia.

b) *Active fault*.

Gangguan *active fault* merupakan gangguan yang di akibatkan kegagalan isolasi atau ke gagalan komponen lain untuk bekerja yang terjadi begitu cepat dan akan menimbulkan kerusakan yang sangat parah. Gangguan *active fault* biasanya di akibatkan oleh hubung singkat, *core fault*, *tank faults*, *Bushing flashovers*.

B. Gangguan *External*

Gangguan *External* merupakan gangguan yang terjadi diluar area proteksi transformator itu sendiri. Secara umum gangguan *external* ini biasanya terjadi di jaringan yang akan dirasakan dan berdampak terhadap ketahanan tersier transformator. Biasanya gangguan external ini biasanya berupa:

1. Pembebanan lebih
2. *Over voltage* yang di akibatkan surja .
3. *Over* atau *under frequency* (UF) yang terjadi karena gangguan dari sistem.
4. *External system short circuit* (SC).
5. Hubung singkat yang terjadi pada jaringan sekunder maupun jaringan tersier yang mengakibatkan berkurangnya umur operasi transformator (SCF).

2. Fungsi Proteksi pada Transformator Daya

Proteksi terhadap gangguan transformator daya memiliki fungsi guna mendapatkan efektifitas dan efisien dalam pemiihan sistem pengaman transformator daya, oleh karena itu setiap komponen proteksi yang akan di gunakan harus terlebih dahulu disesuaikan dengan kebutuhan dan peramalan gangguan yang akan terjadi yang sekiranya membahayakan dari ketahanan transformator tersebut. Jenis rele proteksi yang dibutuhkan seperti tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Kebutuhan Rele Proteksi Terhadap Berbagai Jenis Gangguan

No.	Jenis gangguan	Proteksi		Akibat
		Utama	<i>Back-up</i>	
1.	Hubung singkat di transformator daerah pengaman transformator	- Diferensial - REF - Bucholz - Tek. Lebih	- OCR - GFR	- Kerusakan pada isolasi atau inti - Tangki mengembang
2.	Hubung singkat diluar daerah pengaman transformator	- OCR - GFR - SBEF	- OCR - GFR	- Kerusakan [ada isolasi] dan NGR
3.	Beban lebih	- Rele suhu	- OCR	- Kerusakan isolasi
4.	Gangguan sistem pendingin	- Rele suhu	-	- Kerusakan isolasi
5.	Gangguan pada OLTC	- Tekanan Lebih	-	- Kerusakan OLTC
6.	Tegangan lebih	- OVR - LA	-	- Kerusakan isolasi

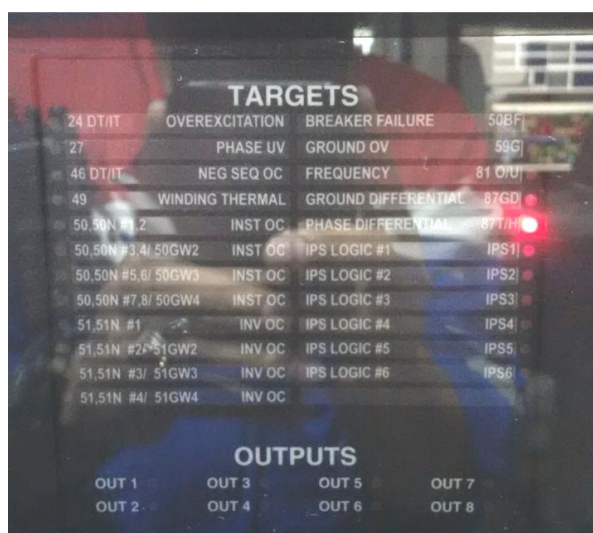
Dari tabel di atas dijelaskan bahwa setiap gangguan memiliki pengaman masing-masing. Sebagai contoh, ketika terjadi gangguan hubung singkat di transformator maka yang akan bekerja seketika adalah rele diferensial (87 T), rele hubung tanah terbatas, rele bucholz dan rele tekanan lebih sebagai pengaman utama di transformator dengan bantuan rele *overcurrent relay* (OCR) dan rele hubung tanah (GFR) sebagai *back-up* rele di transformator daya. Kebutuhan komponen pengaman transformator yang disesuaikan berdasarkan kapasitas transformator sesuai dengan SPLN dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah.

Tabel 2.2 Jenis Sistem Proteksi Sesuai SPLN 52-1

No.	Jenis Proteksi	Kapasitas (MVA)		
		≤ 10	$10 < \div < 30$	≥ 30
1.	Rele Suhu	+	+	+
2.	Rele Bucholz	+	+	+
3.	Rele Jansen	+	+	+
4.	Rele Tekanan Lebih	+	+	+
5.	Rele Difrensial	-	-	+
6.	Rele Tangki Tanah	-	+	-
7.	Rele Hubung Tanah Terbatas (REF)	-	-	+
8.	Rele Beban Lebih (OLR)	-	+	+
9.	Rele Arus Lebih (OCR)	+	+	+
10.	Rele Hubung Tanah (GFR)	+	+	+
11.	Pelebur (fuse)	+	-	-

2.2.3 Rele Diferensial

Sebuah institusi bernama *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) mendefinisikan bahwa rele ialah sebuah alat elektronik yang didisain untuk merespon kondisi gangguan atau malfungsi dengan cara *scanning* data masukan pada sebuah komponen listrik dan setelah kondisi terpenuhi, menyebabkan terjadinya kontak atau perubahan secara mendadak pada komponen pengendali listrik. Masukan pada umumnya berupa arus serta tegangan listrik, tetapi bisa juga mekanik, panas atau kuantitas yang lain IEEE C37.90 (Blackburn, dkk, 2007 yang diterjemahkan oleh Kunto W., 2012:1). Rele diferensial adalah rele jenis pengaman utama dalam sistem tenaga listrik, rele jenis ini dapat bekerja seketika (*instantaneous*) dan dapat bekerja tanpa koordinasi dari rele sekitarnya. Sehingga waktu *time delay* dari rele ini dapat dibuat secepat mungkin, zona perlindungannya pun dibatasi oleh dua buah *current transformer* sehingga menjadikannya sebagai rele utama. Rele diferensial tidak dapat dijadikan sebagai pengaman rele cadangan karena pada proses instalasinya diapit oleh kedua CT (*incoming* dan *outgoing*). Proteksi rele diferensial bekerja dengan cara keseimbangan arus.



Gambar 2.3 Rele Diferensial PLTP KMJ Unit 5 dalam Keadaan Aktif

Differential relay merupakan suatu rele yang prinsip kerjanya berdasarkan keseimbangan (*balance*), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus (CT) terpasang pada terminal-terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan. Penggunaan rele diferensial sebagai rele pengaman, diantaranya seperti pada generator, transformator daya, busbar, hingga ke saluran transmisi. Sebagaimana disebutkan di atas rele ini memiliki prinsip kerja seperti hukum *kirchhoff* yaitu dengan membandingkan jumlah arus yang masuk (I_p) dengan jumlah arus yang keluar (I_s) (Kadarisman, No Year:8-20).

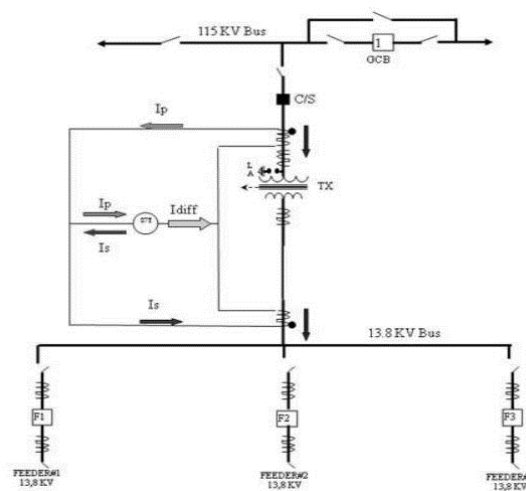
Di mana:

$$I_{diferensial} = I_d = \vec{I}_p + \vec{I}_s \dots\dots\dots (2.1)$$

I_d = Arus Diferensial (A)

I_p = Arus Sisi Masuk (A)

I_s = Arus Sisi Keluar (A)



Gambar 2.4 Rele Diferensial dalam Keadaan Arus Normal

(Sumber: Biem dan Helna, 2007)

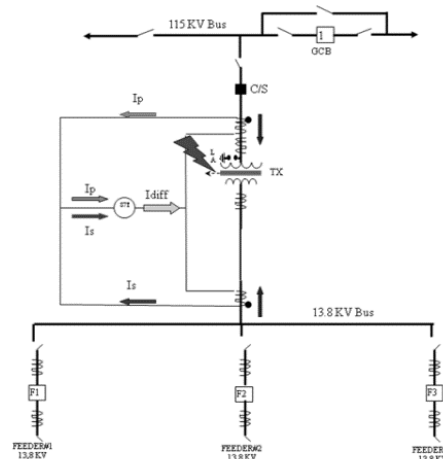
$$I_{dif} = \vec{I}_p + \vec{I}_s = 0 \text{ Ampere}$$

Dalam gambar diatas dijelaskan bahwa dalam keadaan arus normal rele pun berjalan mengikuti alur, dimana I_p dan I_s sama besar dan melawan arus. Maka tidak ada tegangan yang melintasi *coil relay* dan tidak ada arus yang

mengalir pada rele tersebut, sehingga rele diferensial tidak bekerja (J. Lewis dan Blackburn, 2004: 10).

1. Gangguan di Dalam Daerah yang Dilindungi

Ketika terjadi gangguan arus yang mengalir di dalam zona yang dilindungi oleh rele diferensial, rele tersebut akan memberikan sinyal kepada *circuit breaker* (CB) untuk memutuskan jaringan ketika arus melebihi dengan arus yang telah ditetapkan (*Iset*), sehingga transformator daya terbebas dari gangguan yang terjadi.

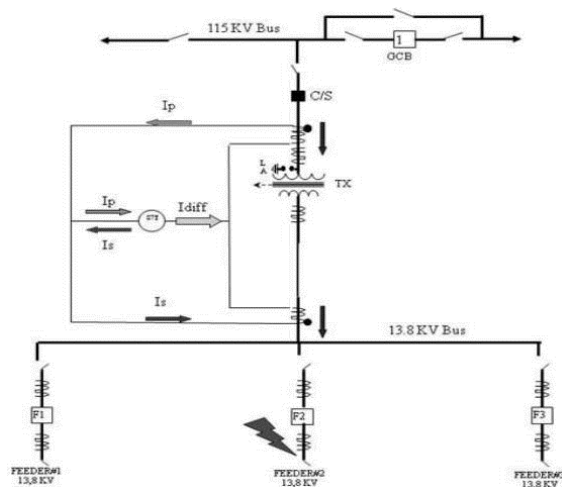


Gambar 2.5 Rele Diferensial saat Gangguan Internal

(Sumber: Biem dan Helna, 2007)

2. Gangguan di Luar Daerah yang Dilindungi

Pada gangguan eksternal daerah proteksi rele diferensial, maka rele diferensial tidak akan bekerja. Karena arus primer dan arus sekunder memiliki nilai yang sama (\geq) dan berlawanan arah ($I_d = I_p + I_s = 0$ Ampere, $I_{dif} = I_p + I_s = 0$ Ampere). Yang akan terjadi ialah rele diferensial pada transformator daya akan berjalan secara normal seperti tidak terjadi gangguan, karena prinsip kerja dari rele diferensial ialah bekerja di dalam daerah yang diproteksinya (J Lewis, 2003: 10).

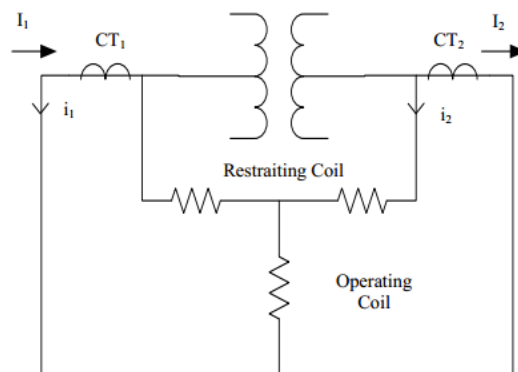


Gambar 2.6 Rele Diferensial saat Gangguan Eksternal

(Sumber: Biem dan Helna, 2007)

3. Karakteristik Rele Diferensial

Karakteristik rele diferensial dibuat dengan prinsip keseimbangan arus (*current ballance*) guna menghindari terjadinya kesalahan kerja. Kesalahan kerja disebabkan oleh *current transformer*, yaitu terjadi pergeseran antar fasa yang disebabkan karena adanya belitan pada transformator daya hubungan Y – Δ (*star - delta*).



Gambar 2.7 Prinsip Pengoperasian Rele Diferensial

(Sumber: Biem dan Helna, 2007)

Perubahan pada posisi tap tegangan (*tap changer*) pada transformator daya dan *auxiliary transformer* oleh *on load tap changer* (OLTC) dapat menyebabkan CT yang dalam kondisi *missmatch* dapat berubah. Kekeliruan

dalam hal akurasi pada sebuah CT, hingga perbedaan dari kekeliruan CT di daerah jenuh, dan arus masukkan pada saat transformator sedang menyalurkan daya sehingga menimbulkan arus yang tidak stabil ($I\mu$) atau yang biasa disebut *unbalance current* sehingga menyebabkan *transient*.

Dari permasalahan diatas, pada rele diferensial adalah dengan ditambahkan kumparan yang menahan kerjanya rele pada zona *unbalance current*. Kumparan tersebut disebut dengan *restrain coil*, sedangkan kumparan yang menjalankan kinerja rele tersebut disebut dengan *operating coil*. Arus yang masuk pada rele akan dijumlahkan oleh komponen arus sekunder perfasa pada kumparan primer (I_1) dan kumparan sekunder (I_2).

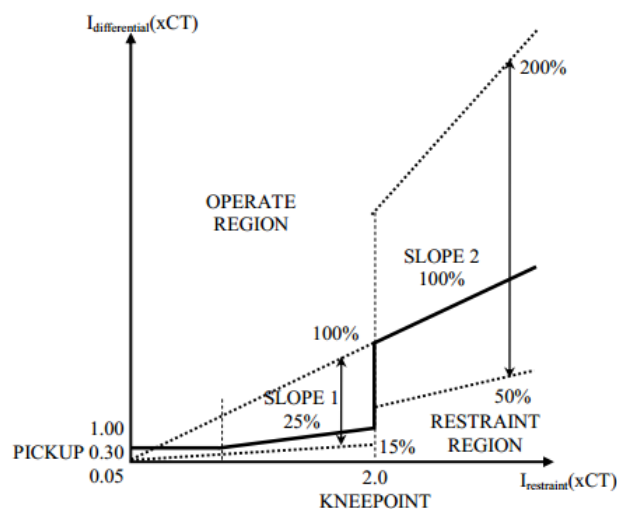
Jika terdapat kendala berupa arus (I) yang berlawanan arah dalam arti yang satu menuju rele dan yang lainnya meninggalkan rele, maka pada keadaan tersebut rele akan menjumlahkan nilai dari arus masukan dan yang akan terjadi ialah akan saling mengurangi, sebaliknya jika I searah berarti keduanya menuju atau meninggalkan rele. Arus penahan (*restrain*) didapat dengan menjumlahkan arus maksimum kumparan primer (I_1) dan arus maksimum pada kumparan sekunder (I_2).

$$\begin{aligned} I_{restrain} &= I_r \\ &= \max [\vec{I}_1], [\vec{I}_2] \dots\dots\dots (2.2) \end{aligned}$$

Slope diperoleh dengan membagi nilai arus diferensial dengan arus *restrain*. Nilai pada *slope1* akan menentukan arus diferensial dan arus *restrain* pada saat kondisi sedang normal dan memastikan akan sensitifitas sebuah rele pada saat gangguan internal dengan gangguan arus yang lebih kecil. Sedangkan pada *slope2* berguna agar rele tidak bekerja oleh gangguan luar yang memiliki arus yang lebih kuat. Sehingga salah satu *current transformer* akan mengalami saturasi.

$$\% Slope = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Gambar dibawah merupakan contoh karakteristik dari sebuah rele diferensial. Kurva paling atas ialah lingkup wilayah kerja *differential relay*, sedangkan kurva paling bawah merupakan *hibernate zone* dari sebuah *differential relay*. Sehingga pada keadaan *hibernate* rele akan tetap terjaga dan tetap melakukan *scanning* arus.



Gambar 2.8 Karakteristik Rele Diferensial

(Sumber: Biem dan Helna, 2007)

2.2.4 Teori Perhitungan Matematis *Pick Up Setting Differential Relay*

Untuk memilih transformator arus dan rele yang diperlukan untuk memproteksi tranformator daya, sebagai acuan untuk mempertimbangkan seberapa besar faktor keandalan suatu rele dan transformator. Hal yang perlu diperhatikan dalam memilih rasio masing-masing transformator arus yang diperlukan adalah perbedaan perbandingan rating daya (MVA) transformator tersebut, maka rating arus masing-masing kumparan dapat dihitung sebagai berikut:

1. Perhitungan Rasio CT

Arus nominal merupakan arus yang mengalir pada tegangan tinggi dan tegangan rendah. Rumus dari arus rating dan arus nominal adalah:

$$I_{rating} = 110\% \times I_{nominal} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

I_n = Arus Nominal (A)

S = Daya Tersalur (MVA)

V = Tegangan pada Sisi Primer dan Sekunder (Kv)

2. Perhitungan *Error Mismatch*

Error mismatch merupakan kesalahan dalam pembacaan arus disisi tegangan tinggi dan tegangan rendah.

$$Error\ Mismatch = \frac{CT\ Ideal}{CT\ Terpasang} \% \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

$CT\ Ideal$ = Transformator Arus Ideal

V_1 = Tegangan Sisi Tinggi

V_2 = Tegangan Sisi Rendah

3. Perhitungan Arus Sekunder pada CT

Arus sekunder pada CT merupakan arus yang terbaca oleh transformator arus (CT)

$$I_{sekunder} = \frac{1}{rasio\ CT} \times I_n \dots\dots\dots (2.8)$$

4. Perhitungan Arus Diferensial

Arus diferensial merupakan selisih arus pada sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah. Rumus arus diferensial adalah:

$$I_{dif} = I_2 - I_1 \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

I_{dif} = Arus Diferensial

I_1 = Arus Sekunder CT₁

I_2 = Arus Sekunder CT₂

5. Perhitungan Arus *Restrain* (Penahan)

Arus penahan (*restrain*) merupakan arus yang didapat dari arus sekunder transformator di sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah.

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

I_r = Arus Penahan (A)

I_1 = Arus Sekunder CT₁

I_2 = Arus Sekunder CT₂

6. Perhitungan *Slope* (%)

Slope 1 akan menentukan kesensitifan arus diferensial untuk bekerja men-*trip*-kan jaringan apabila terjadi gangguan internal. Sedangkan slope 2 yang menentukan rele diferensial tidak akan bekerja apabila terjadi gangguan eksternal, dengan rumus:

$$Slope_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\%$$

$$Slope_2 = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

$Slope_1 =$ Setting Kecuraman 1

$Slope_2 =$ Setting Kecuraman 2

$I_d =$ Arus Diferensial (A)

$I_r =$ Arus Restrain (A)

7. Perhitungan Arus Setting

Arus *setting* didapat dengan mengalikan antara *slope* dan arus *restrain*. Arus *setting* inilah yang nanti akan dibandingkan dengan arus diferensial, dengan rumus sebagai berikut:

$$I_{set} = \%Slope \times I_{restrain} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

$I_{set} =$ Arus Setting

$\%Slope =$ Setting Kecuraman (%)

$I_{restrain} =$ Arus Penahan.