

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Mutakhir

Trafo merupakan komponen terpenting dalam sebuah instalasi kelistrikan yang berfungsi sebagai penaik maupun penurun tegangan, semakin berkembangnya zaman maka kebutuhan akan listrik juga semakin bertambah, yang berdampak pada kelebihan beban dengan arus yang berlebih pula, yang dapat merusak komponen kelistrikan khususnya pada transformator, untuk mengatasi hal tersebut maka dibutuhkan sebuah sistem proteksi, dimana sistem ini berfungsi sebagai pengaman dan pemutus jika terdapat gangguan pada jaringan, baik itu gangguan pada jaringan distribusi ataupun pada jaringan transmisi, sehingga tidak merusak transformator yang merupakan komponen utama dalam kelistrikan.

Jurnal yang berjudul “Perhitungan Koordinasi OCR/GFR dengan Menggunakan *Software Matched* pada Trafo Daya Unit II 20 MVA GI Salak”, membahas tentang OCR dan GFR pada transformator di Gardu Induk Salak yang nantinya dianalisis menggunakan *software matched* untuk melihat perhitungan pada *reley* agar lebih mudah dipahami. (Zulkarnaini dan Mohammad Iqbal, FTI ITP Padang, 2015).

Jurnal yang berjudul “Frekuensi Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi di Gardu Induk 150 KV Jepara”, jurnal ini menjelaskan tentang beberapa jenis gangguan yang sering terjadi dan dapat merusak komponen kelistrikan, serta

menjelaskan tentang fungsi dari sistem proteksi. (Tofan Aryanto, Sutarno, Said Sunardio, Univeritas Negri Semarang, 2013).

Jurnal yang berjudul “Koordinasi Sistem Proteksi Trafo 30 MVA di Gardu Induk 150 KV Krapyak”, jurnal ini membahas tentang perhitungan dan nilai *setting relay* proteksi OCR dan juga GFR pada trafo di Gardu Induk Krapyak, serta menjelaskan tentang beberapa jenis *relay* yang ada di trafo secara umum. (sugeng Priyono).

Jurnal yang berjudul “Gangguan Hubung Singkat dan Proteksi Sistem Tenaga Listrik”, membahas tentang berbagai jenis gangguan yang sering terjadi pada jaringan distribusi dan sistem proteksi yang bekerja sebagai pengaman setiap komponen kelistrikan. (Adrial Mardensyah, Universitas Indonesia,2008)

Rezky Fajrian (2015) telah melakukan penelitian dengan judul “Analisa Koordinasi Proteksi *Overcurrent Relay* pada Jaringan Distribusi SUTM 20 kV dengan Menggunakan *Software* ETAP”, menganalisis bahwa OCR akan memerintah CB untuk trip jika terjadi nilai arus yang melebihi dari arus nominal pada *setting* alat, dan GFR juga akan memerintah CB untuk trip jika terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah (*grounding*).

Amien Harist Hardiansyah (2016), melakukan analisis pada jaringan distribusi dengan judul “Analisis Koordinasi Proteksi pada Jaringan Distribusi Radial”, dimana pada penelitian ini, penelitian membahas tentang perhitungan nilai *setting* arus secara manual yang terdapat di Gardu Induk Bantul pada penyulang BNL 10 tegangan 20 kV.

Dalam penelitian ini, penulis menganalisis sistem koordinasi kerja *relay* OCR dan GFR dengan menggunakan *software* ETAP 12.60, dengan melihat waktu kerja *relay* sesuai atau tidaknya nilai pada aplikasi dan nilai yang ada di lapangan, serta beberapa nilai perhitungan arus hubung singkat yang mungkin saja terjadi.

2.2. Tinjauan Pustaka

2.2.1 Pengertian Gardu Induk

Gardu Induk merupakan suatu instalasi kelistrikan yang dibangun sebagai titik awal untuk mensuplai tenaga listrik dengan memiliki beberapa fungsi, diantaranya adalah sebagai berikut:

- Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi lainnya atau ketegangan menengah.
- Sebagai tempat pengawasan operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik yang bekerja.
- Pengaturan daya ke Gardu Induk lainnya melalui tegangan tinggi, dan gardu distribusi melalui *feeder* tegangan menengah.

2.2.2 Gardu Induk Menurut Tegangannya

Gardu Induk menurut tegangannya dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis.

- Gardu Induk Transmisi : yaitu Gardu Induk yang mendapatkan daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban seperti industri, kota dan lainnya. Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi dengan besar tegangan 150 kV dan tegangan tinggi 30 kV.

- Gardu Induk Distribusi : merupakan Gardu Induk yang menerima tenaga dari Gardu Induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 kV, 12 kV, 6 kV) yang kemudian tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V atau 220/380 V) sesuai kebutuhan konsumen di daerah tersebut.

2.2.3 Gardu Induk Menurut Penempatannya

Berdasarkan penempatan lokasi Gardu Induk, maka Gardu Induk dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis pula, yaitu:

a. *Indoor Substation* (Gardu Induk pasangan dalam)

Adalah Gardu Induk yang dimana peralatannya dipasang di dalam gedung atau ruang tertutup, bertujuan untuk keselarasan dengan daerah sekitarnya, serta menghindari bahaya kebakaran dan gangguan suara.

b. *Outdoor Substation* (Gardu Induk pasangan luar)

Merupakan Gardu Induk yang peralatannya berada diluar gedung atau di tempat terbuka, namun sebagian instrument berada di dalam gedung seperti alat kontrol dan juga alat ukur, Gardu Induk ini memerlukan tanah yang luas dan biaya konstruksinya lebih murah serta sistem pendinginannya mudah.

c. *Combine Outdoor Substantion* (Gardu Induk sebagian pasang luar)

Adalah Gardu Induk, dimana sebagian peralatan Gardu Induk jenis ini dipasang di dalam ruang tertutup dan yang lainnya dipasang diluar dengan mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan.

d. *Under Ground Substantion* (Gardu Induk pasangan bawah tanah)

Gardu Induk jenis ini, umumnya berada di pusat kota, biasanya Gardu Induk ini dibangun dikarenakan tanah yang tidak memadai, maka komponen kelistikannya dipasang dibawah bangunan tanah kecuali komponen sistem pendingin.

e. *Semi Under Ground Substantion* (Gardu Induk sebagian pasang dibawah tanah).

Yaitu Gardu Induk yang menempatkan peralatnnya dibawah tanah, dan biasanya transformator daya dipasang bawah tanah sedangkan peralatan lainnya dipasang di atas tanah.

f. *Mobile Substantion* (Gardu Induk mobil)

Adalah Gardu Induk yang peralatannya ditempatkan diatas *triller* dengan tujuan agar mudah dipindahkan, sehingga dapat dioperasikan dan dibawa ke tempat yang membutuhkan, biasanya dipakai dalam keadaan darurat dan sementara waktu, guna pencegahan beban lebih dan digunakan di tempat pembangunan sampai pembangunan selesai.

2.2.4 Komponen Utama pada Gardu Induk disisi Penyulang

- Transformator Daya
- *Instrument Transformator*

- *Disconnecting Switch*
- *Circuit Breaker (CB)*
- *Arrester*
- Panel kontrol
- Busbar
- Sistem pentanahan titik netral

2.2.5 Transformator Daya



Gambar 2.1 Transformator Daya pada Gardu Induk Godean

Adalah komponen utama dalam kelistrikan yang berfungsi untuk menaikkan ataupun menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan tinggi lainnya atau ke tegangan menengah, dimana fungsi transformator ini menjadi komponen inti dalam dunia kelistrikan. Trafo juga berfungsi mentransformasikan daya listrik dengan merubah besaran tegangannya tanpa merubah frekuensinya dan juga memiliki fungsi sebagai pengaturan tegangan. Pada transformator daya

terdapat trafo pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik netral dari trafo daya, peralatan ini disebut juga sebagai *Neutral Current Transformer* (NCT), ada juga NGR yaitu *Neutral Grounding Resistance* yaitu pentanahan pada trafo.

Dalam menentukan besaran transformator maka dibutuhkan rumus seperti berikut:

$$\text{Daya Nyata} = \frac{\text{Daya Aktif (P)}}{\text{Cos phi } (\varphi)} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\text{Kapasitas Trafo} = \frac{\text{Daya Nyata (S)}}{\text{Efisiensi Trafo}} \times \text{demand factor} \dots\dots\dots(2.2)$$

Pada inti besi dan kumparan-kumparan pada trafo akan mengalami panas yang disebabkan oleh rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga, bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, maka dapat merusak isolasi yang terdapat pada trafo.

Maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebih tersebut, trafo membutuhkan alat atau sebuah sistem pendingin yang berfungsi untuk menyalurkan panas keluar dari trafo tersebut.

Media yang bisa dipakai pada sistem pendingin pada trafo berupa:

- Udara / Gas
- Minyak
- Air

Dan cara pengalirannya (sirkulasi) dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu:

- Alamiah (Natural)
- Tekanan / Paksaan

Tabel 2.1 Macam-Macam Sistem Pendingin pada Trafo Daya

(Sumber : Ujangaja 2009)

No	Macam-macam sistem pendingin	Media			
		Di dalam trafo		Di luar trafo	
		sirkulasi alamiah	sirkulasi paksa	sirkulasi alamiah	sirkulasi paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	udara
5	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	udara
7	AFWF	-	Minyak	-	air
8	ONAN/ONAF	kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	kombinasi 3 dan 7			

2.2.6 Instrumen Transformator

Merupakan transformator yang memiliki fungsi sebagai alat pengukuran, biasa disebut juga sebagai transformator ukur, *didesign* secara khusus untuk pengukuran dalam sistem tenaga listrik. Keandalan lain dari instrumen transformator ini adalah:

- a. Memberikan isolasi elektrik bagi sistem tenaga listrik
- b. Tahan terhadap beban untuk berbagai tingkatan
- c. Tingkat keandalannya tinggi
- d. Secara fisik bentuk lebih sederhana

Dibawah ini merupakan bentuk gambar *Current Transformer (CT)* pada transformator daya.



Gambar 2.2 *Current Transformer*

(Sumber : www.schneider-electric.co.id)

Trtransformator ini terdapat 2 jenis, yaitu transformator arus dan transformator tegangan, dengan fungsi merubah arus atau tegangan ke tingkat yang lebih rendah untuk pengoperasian *relay* atau metering.

1. Trafo Arus : adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur arus beban pada suatu rangkaian, dengan menggunkn trafo arus maka arus beban yang besar dapat diukur dengan menggunakan *amperemeter*.

2. Trafo tegangan : biasa disebut juga dengan potensial trafo yang memiliki fungsi:

- a. Mentransformasikan nilai tegangan yang tinggi pada sisi primer ke nilai tegangan yang lebih rendah di sisi sekunder yang digunakan untuk pengukuran dan proteksi.
- b. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, yaitu memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi dari tegangan tinggi.

2.2.7 *Disconetting Switch*

Biasa disebut juga sebagai pemisah, pada dasarnya pemisah memiliki fungsi yang hampir sama dengan *Circuit Breaker* (CB), namun perbedaannya adalah, pemisah tidak dapat memutus jaringan jika terjadi arus gangguan. Pemisah pada gardu induk memiliki fungsi untuk memastikan jika sistem pada jaringan tidak dalam keadaan bertegangan. Untuk kapasitas pada pemisah sama dengan kapasitas yang terdapat pada CB,

2.2.8 *Circuit Breaker (CB)*



Gambar 2.3 Circuit Breaker

(Sumber : <http://electrical-engineering-portal.com>)

Adalah sebuah instrumen pemutus yang memiliki fungsi sebagai pemutus ataupun penyambung arus beban nominal untuk kepentingan operasi. Selain itu juga pemutus beban juga harus dapat memutuskan arus hubung singkat dan arus gangguan lain, apabila terjadi ganggun pada saluran atau jaringan pada daerah yang diproteksinya.

Untuk memilih pemutus yang baik, maka hendaknya menentukan nilai kapasitas pemutus arus yang memiliki nilai kapasitas tinggi, Karena pada jaringan 150 kV arus hubung singkat yang mungkin terjadi bernilai besar. Dalam menentukan pemutus biasanya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{\text{Nominal}} = \frac{\text{Daya}}{\sqrt{3} \times v} \dots\dots\dots(2.3)$$

2.2.9 *Arrester*



Gambar 2.4 Beberapa Bentuk Lightning Arrester

(Sumber : www.ecvv.com)

Arrester merupakan suatu komponen yang juga penting dalam sistem tenaga listrikan, bila surja datang ke Gardu Induk, *arrester* akan melepaskan

muatan listrik yang mengenainya serta mengurangi tegangan abnormal pada Gardu Induk tersebut. Syarat dalam pemilihan *arrester* :

- Tegangan percikan dan tegangan pelepasan yaitu tegangan pada terminalnya pada waktu pelepasan, harus cukup rendah sehingga dapat mengamankan isolasi peralatan. Terkadang tegangan percikan disebut juga tegangan gagal sela atau jatuh tegangan.
- *Arrester* harus mampu memutuskan arus dinamik dan dapat bekerja terus seperti semula. Batas dari tegangan sistem dimana pemutusan arus susulan ini masih mungkin disebut dengan tegangan dasar dari *arrester*.

Jangkauan perlindungan *arrester* : untuk mengamankan terhadap surja hubung, maka *arrester* dipasang di antara transformator, yang memang menjadi tujuan utama perlindungan ini dan pemutus bebannya. Sedangkan pertimbangan lainnya, *arrester* dapat menyerap surja dari pemutus arus pembangkit. Dalam menentukan jarak aman antara transformator dan *lightning arrester* maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$E_p = E_a + \frac{2 A S}{v} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

E_p : puncak surja yang datang

E_a : tegangan pelepasan arrester (kA)

A : kecuraman gelombang datang

S : jarak (meter)

v : Kecepatan rambat cahaya (m/s)

Jika pemasangan *arrester* dengan peralatan yang dilindungi terlalu jauh maka tegangan lebih yang sampai pada terminal peralatan akan lebih tinggi dari tegangan pelepasan pada *arrester* tersebut.

2.2.10 *Grounding*

Grounding biasa disebut juga sebagai pentanahan, merupakan suatu faktor penting dalam suatu sistem tenaga kelistrikan, untuk membuat sistem pentanahan yang baik, maka *grounding* harus memiliki syarat-syarat sebagai berikut:

- Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan
- Menggunakan bahan tahan korosi terhadap kondisi kimiawi tanah untuk menjaga sistem selama peralatan masih berfungsi
- Sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan
- Mampu mengatasi gangguan berulang akibat surja hubung

Pada jaringan *transmisi substation* tahanan pentanahan tidak melebihi 5 ohm, pada saluran tegangan tinggi tahanan yang diperbolehkan maksiml 15 ohm sedangkan pada saluran tegangan menengah tahanan yang digunakan maksimal 25 ohm.

Tahanan pentanahan berkaitan dengan kandungan air dan suhu, maka tahanan pentanahan suatu sistem dapat saja berubah sesuai dengan perubahan iklim disetiap tahunnya.

2.2.11 Kabel

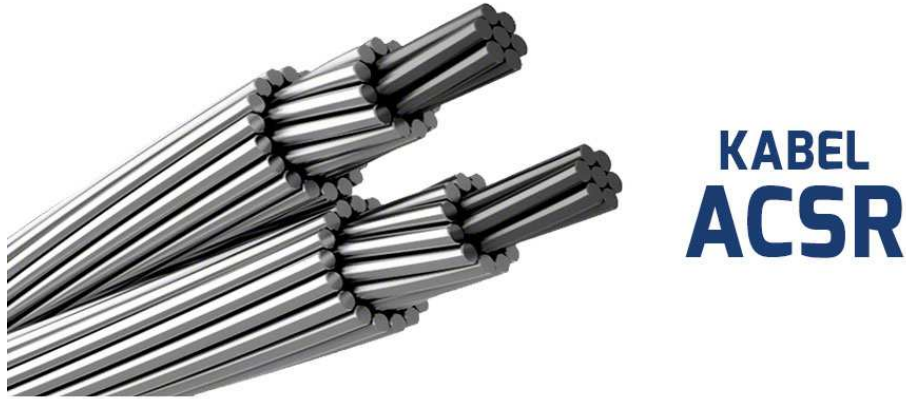
Kabel listrik adalah media untuk menghantarkan arus listrik ataupun informasi, kabel listrik biasanya terbentuk dari bermacam aneka bahan yang dapat menghantarkan listrik, biasanya terbuat dari tembaga, namun ada juga dari serat optik, baja dll.

Tabel 2.2 Beberapa Jenis Konduktor yang Digunakan pada SUTT dan SUTET

(Sumber : Dokument Gardu Induk Godean)

NO.	TYPE KONDUKTOR	JENIS KONDUKTOR	NEGARA ASAL	STANDARD YG. DIGUNAKAN	DATA KONDUKTOR				CURRENT CARRYING CAPACITY (CCC) (Amp)	KETERANGAN
					LUAS PENAMPANG (mm ²)	DIAMETER (mm)	R DC 20° C (Ohm/ Km)	BERAT (kg/ Km)		
1.	ACSR	HAWK	USA	ASTM B 232 - 64, T ASTM B 232 - 69	281,03	21,79	0,1199	455	455	150 KV
2.	ACSR	HEN	USA	ASTM B 232 - 64, T ASTM B 232 - 69	298,07	22,40	0,1202	1.112	457	150 KV
3.	ACSR	DOVE	CANADA	CSA C.49 - 1965	327,77	23,55	0,1024	1.137	495	150 KV & 500 KV
4.	ACSR	GANNET	USA	ASTM B 232 - 64, T ASTM B 232 - 69	392,84	25,76	0,0858	1.365	618	150 KV & 500 KV
5.	ACSR	ZEBRA	BRITISH	BS. 215 P.2 - 1956 BS. 215 P.2 - 1970	484,50	28,62	0,0674	1.621	835	150 KV
6.	ACSR	DRAKE	CANADA	CSA C.49 - 1965	468,45	28,11	0,0715	1.624	611	150 KV
7.	ACSR	PEGION	CANADA	CSA C.49-1965	99,22	12,75	0,3366	343	241	70 KV
8.	ACSR	OSTRICH	CANADA	CSA C.49-1965	176,71	17,28	0,1900	613	343	70 KV
9.	ACSR	LINNET	USA CANADA	ASTM B232-69 CSA C49-1965	198,19 198,26	18,31 18,31	0,1699 0,1696	689 687	371 368	70 KV 70 KV
10.	ACSR	ACSR 240/40	GERMANY	DIN 48204	282,50	21,90	0,1188	987	457	150 KV
11.	ACSR	ACSR 340/ 30	INDONESIA	SII 1134 - 1981 SPLN 41 - 7 : 1981	369,10	25	0,0851	1.180	790	150 KV
12.	THERMAL	TACSR 240	JEPANG	JEC 74 - 1964 JIS C 3110 - 1968 JEC A 234 - 1977	297,60	22,40	0,112	1.024	819	150 KV
13.	THERMAL	TACSR 410	JEPANG	sda	480,80	28,50	0,0671	1.578	1.149	150 KV
14.	THERMAL	TACSR 330	JEPANG	sda	379,60	25,30	0,085	1.239	986	150 KV
15.	THERMAL	TACSR 520	JEPANG	sda	586,85	31,50	0,0588	1.962	1.304	150 KV
1.		CU	GERMANY	DIN 48201 & DIN 4313	16	4,51	-	-	140	
2.		CU	GERMANY	DIN 48201 & DIN 4313	25	5,64	-	-	180	
3.		CU	GERMANY	DIN 48201 & DIN 4313	35	6,68	-	-	220	
4.		CU	GERMANY	DIN 48201 & DIN 4313	50	7,99	-	-	280	

2.2.12 ACSR



Gambar 2.5 Aluminium Conduct Steel Reinforced (ACSR)

(Sumber : www.alkonusa.com)

Kabel ACSR merupakan kawat penghantar yang terbuat dari aluminium berinti kawat baja, kabel ini digunakan untuk saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara menara atau tiang berjauhan mencapai ratusan meter, maka dibutuhkan kemampuan kuat tarik penghantar yang lebih tinggi, untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.

2.2.13 Faktor-faktor Penyebab Gangguan

Adapun penyebab dari banyaknya gangguan pada sistem tenaga listrik biasanya disebabkan oleh beberapa factor, diantaranya:

a. Faktor manusia

Faktor ini terjadi dikarenakan kelalaian ataupun kesalahan dalam memberikan perlakuan terhadap sistem, contoh yang sering terjadi antar lain adalah salah penyambungan dalam rangkaian, keliru dalam mengkalibrasi suatu piranti pengaman dan lain sebagainya.

b. Faktor internal

Faktor ini terjadi karena adanya beberapa gangguan pada sistem itu sendiri, contoh dari gangguannya adalah faktor usia pakai, keausan dan lain sebagainya, hal ini dapat menjadi penyebab kurangnya sensitivitas *relay* pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya.

c. Faktor eksternal

Faktor ini merupakan gangguan yang berasal dari lingkungan sekitar, misalnya adanya saluran transmisi bawah tanah yang terkena *bulldozer*, saluran udara yang terkena sambaran petir ataupun pohon yang tumbang.

2.2.14 Jenis-Jenis Gangguan Internal

- Busur api

Merupakan gangguan internal yang dipicu oleh penyambungan konduktor yang tidak sesuai atau tidak baik, Kontak-kontak listrik yang tidak baik, Kerusakan isolasi antara inti baut.

- Gangguan pada sistem pendingin

Umumnya pendingin pada transformator adalah minyak transformator sendiri yang berfungsi sebagai isolasi sekaligus bahan pendingin. Namun ketika terjadi suatu gangguan didalam transformator maka minyak tersebut menimbulkan sejumlah gas yang dapat mengganggu sistem kerja transformator.

- Arus sirkulasi pada transformator

2.2.15 Jenis-Jenis Gangguan Eksternal

Dalam sistem tenaga listrik biasanya gangguan eksternal yang terjadi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain, gangguan tegangan lebih (*Over voltage*) dan juga gangguan hubung singkat (*Short circuit fault*).

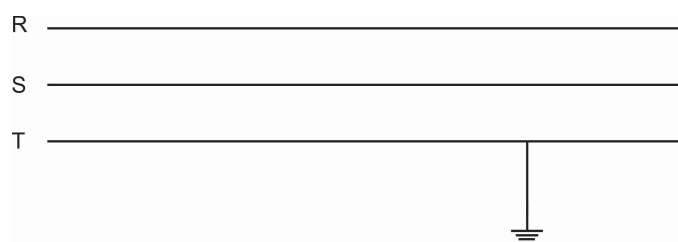
- *Over Voltage* atau Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih adalah gangguan yang disebabkan adanya tegangan pada sistem tenaga listrik yang lebih besar dari keadaan normalnya. Gangguan ini dapat terjadi karena beberapa faktor, diantaranya faktor internal dan eksternal. Gangguan yang disebabkan oleh faktor internal biasanya mencakup perubahan beban yang mendadak, operasi pelepasan dan pemutusan yang mendadak dikarenakan adanya gangguan hubung singkat pada jaringan, serta kegagalan isolasi. Sedangkan dari faktor eksternal biasanya terjadi akibat adanya petir yang menyambar ke saluran atau kerebahan pohon akibat angin kencang.

- *Short Circuit Fault* atau Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat pada sistem jaringan kelistrikan dapat diklasifikasi menjadi 4 jenis:

1. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah



Gambar 2.6 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Adalah gangguan yang disebabkan adanya salah satu fasa yang terhubung dengan tanah sehingga menimbulkan hubung arus singkat.

Dengan rumus: $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$ (2.5)

Dimana:

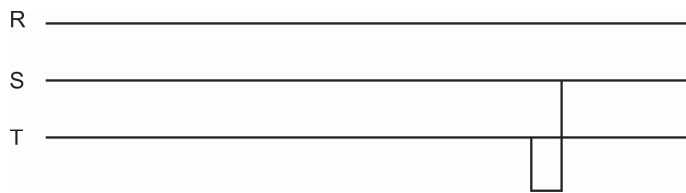
V_f : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_0 : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

Z_1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

Z_2 : Impedansi urutan negatif dilihat dri titik gangguan

2. Gangguan Hubung Singkat 2 fasa



Gambar 2.7 Gangguan Hubung Singkat antar 2 Fasa

Gangguan yang terjadi Karena adanya 2 buah jaringan yang saling terhubung, bianya disebabkan oleh hewan seperti ular, monyet dan ranting pohon.

Dengan rumus : $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1}$ (2.6)

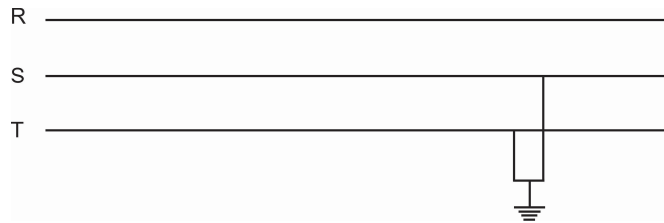
Dimana :

V_f : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

Z_2 : Impedansi urutan negatif dilihat dri titik gangguan

3. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah



Gambar 2.8 Gangguan Hubung Singkat yang Terjadi antara 2 Fasa ke Tanah

Gangguan yang terjadi karena adanya keterhubungan antara 2 saluran fasa ke tanah.

Dengan rumus : :
$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

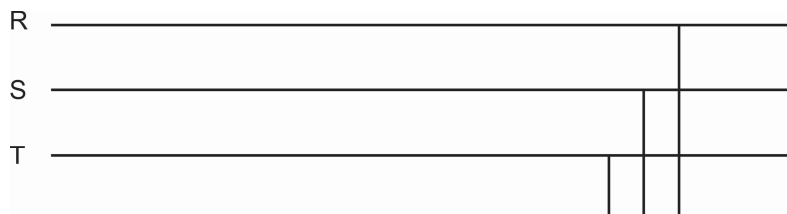
V_f : Tegangan dititik ganggaun sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_0 : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

Z_1 : Impedansi uturan positif dilihat dari titik gangguan

Z_2 : Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

4. Gangguan Hubung Singkat 3 fasa



Gambar 2.9 Ganggaun Hubung Singkat 3 Fasa

Gangguan yang terjadi dikarenakan ke 3 buah saluran atau jaringan saling menyatu.

Dengan rumus

$$I_a = I_{a1} \dots\dots\dots(2.8)$$

atau

$$I_a = \frac{V_f}{Z_1} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

V_f : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

I_a : Arus pada Fasa R

2.2.16 Sifat-Sifat Gangguan

Berdasarkan sifatnya gangguan dibedakan menjadi 2 bagian yaitu:

- Gangguan permanen, gangguan ini ditandai dengan bekerjanya kembali PMT untuk memutus daya listrik, gangguan permanen baru dapat diatasi setelah penyebab gangguannya hilang.
- Gangguan sementara (temporer), gangguan yang ditandai dengan normalnya kerja PMT setelah dimasukkannya kembali, pada gangguan ini dapat diatasi setelah sebab gangguan hilang dengan sendirinya setelah PMT trip.

2.2.17 Pengertian Proteksi Tenaga Listrik

Proteksi merupakan suatu sistem kelistrikan yang memiliki fungsi sebagai pengisolasi, pemisah dan pemutus jika terdapat suatu gangguan dari suatu keadaan abnormal. Sistem Proteksi juga biasa disebut sebagai sistem pengaman, pengaman dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu:

1. Pengaman utama

Merupakan pengaman yang sangat berperan penting dalam menjaga instrumen yang akan dilindungi, dan dia merupakan sistem proteksi utama, maka cara kerja sistem pengaman utama harus cepat sehingga apabila terjadi suatu gangguan dalam sistem, komponen yang mendapat gangguan cepat diputus dan tidak mengalami kerusakan secara luas.

2. Pengaman cadangan

Adalah pengaman yang disiapkan setelah pengaman utama, pengaman ini bekerja apabila terjadi kegagalan dalam sistem pengaman utama, pengaman cadangan juga dapat dibagi menjadi 2 lagi yaitu:

- *Local back up* (pengaman cadangan terletak di satu lokasi yang sama dengan pengaman utama)
- *Remote back up* (pengaman cadangan terletak di tempat yang berbeda dari pengaman utama)

Sistem Proteksi pada suatu jaringan kelistrikan sangat berperan penting, terkhusus ketika terjadinya keadaan abnormal yang mendadak pada sistem jaringan, gangguan pada jaringan sistem kelistrikan dapat terjadi di pembangkit, baik itu pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Saat gangguan itu

terjadi, maka peran sistem proteksi harus dapat mengidentifikasi gangguan tersebut dan menjadi pemutus bagian yang mendapat gangguan dengan secepat mungkin.



Gambar 2.10 *Relay* Proteksi

(Sumber : www.schneider-electric.co.id)

Relay proteksi yang terdapat pada sistem proteksi merupakan komponen utama yang harus mengidentifikasi gangguan yang terjadi pada suatu sistem, *relay* proteksi akan bekerja secara otomatis dengan memerintah atau memberikan sinyal kepada CB untuk memisahkan peralatan dari gangguan sebelum terjadi. *relay* juga harus memiliki beberapa standar keandalan sehingga dapat menjadi pemutus yang benar-benar baik, diantara syarat standar keandalannya sebagai berikut:

a. Sensitivitas

Yaitu kemampuan sistem proteksi untuk mengidentifikasi ketidaknormalan yang terjadi pada suatu jaringan dimana *relay* tersebut bekerja.

b. Selektivitas

Pengkoordinasian pada sistem proteksi, jika terdapat gangguan maka relay hanya memutus bagian yang diperlukan saja, tidak memutus jaringan yang luas.

c. Keamanan

Kemampuan sistem proteksi saat bekerja, sistem ini akan bekerja saat terjadi gangguan saja dan tidak akan bekerja jika tidak terjadi gangguan.

d. Kecepatan

Jika terjadi suatu gangguan pada jaringan maka sistem proteksi harus bisa bekerja dengan baik dengan waktu secepat mungkin agar tidak menyebabkan kerusakan pada komponen yang terdapat pada jaringan tersebut.

Dengan keandalan pada *relay*, maka *relay* harus bekerja secara baik sebagai pemutus, jika terjadi gangguan saja, *relay* yang baik akan bekerja saat terjadi gangguan dan tidak akan bekerja saat keadaan normal.

2.2.18 **Komponen Proteksi Jaringan**

a. Penutup Balik Otomatis (*Automatic Circuit Recloser*)

Adalah rangkaian listrik yang terdiri dari pemutus tenaga yang dilengkapi dengan kotak kontrol elektronik *recloser*, yaitu satu peralatan elektronik sebagai kelengkapan *recloser* dimana peralatan ini tidak berhubungan dengan tegangan menengah dan pada peralatan ini *recloser* dapat dikendalikan secara manual. Di dalam kotak kontrol inilah pengaman pada *recloser* dapat ditentukan nilai *setting*-nya.

Alat ini bekerja secara otomatis guna mengamankan suatu sistem arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat, adapun mengenai cara kerjanya, *recloser* ini akan menutup balik dan membuka secara otomatis dengan

pengaturan waktu yang dapat ditentukan sendiri, dimana pada gangguan temporer, *recloser* akan berada pada posisi *lock out*, *recloser* akan menutup kembali setelah gangguan hilang. Namun jika gangguan bersifat permanen maka *recloser* akan tetap berada pada posisi *lock out*.

b. Saklar Seksi Otomatis (*Sectionalizer*)

Saklar seksi otomatis merupakan sebuah alat pemutus yang secara otomatis membebaskan seksi-seksi yang terganggu dari suatu sistem jaringan distribusi, tetapi tidak memutus arus gangguan, karena biasanya dipakai dalam hubungannya dengan Penutup Balik Otomatis (PBO). Fungsi dari saklar seksi Otomatis adalah sebagai pemutus rangkaian untuk dapat memisah saluran utama dalam beberapa seksi, agar pada gangguan permanen, luas daerah ataupun jaringan yang harus dibebaskan disekitar lokasi gangguan menjadi seminimal mungkin.

c. Pengaman Lebur (*Fuse Cute Out*)

Pengaman lebur adalah suatu alat pemutus, dimana dengan meleburnya bagian dari komponen yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian, dimana pelebur tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut sudah melebihi suatu nilai dalam waktu tertentu, pengaman lebur memiliki tujuan untuk menghilangkan gangguan permanen, maka alat ini dirancang meleleh pada waktu tertentu pada nilai arus gangguan tertentu.

d. Relay Proteksi

Relay proteksi adalah suatu piranti, baik elektronik maupun magnetik yang dirancang untuk mendeteksi suatu kondisi ketika terjadi keabnormalan pada

peralatan listrik yang bisa membahayakan atau tidak diinginkan, jika bahaya itu muncul maka *relay* proteksi harus memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga agar bagian terganggu dapat dipisahkan dari sistem yang normal secepat mungkin.

Relay pengamanan dapat mengetahui adanya gangguan pada peralatan yang perlu diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran yang telah ditentukan besarnya, seperti arus, tegangan, daya, sudut fasa dan lain sebagainya sesuai besaran yang telah ditentukan.

Pada prinsipnya, *relay* proteksi memiliki 3 buah fungsi yaitu:

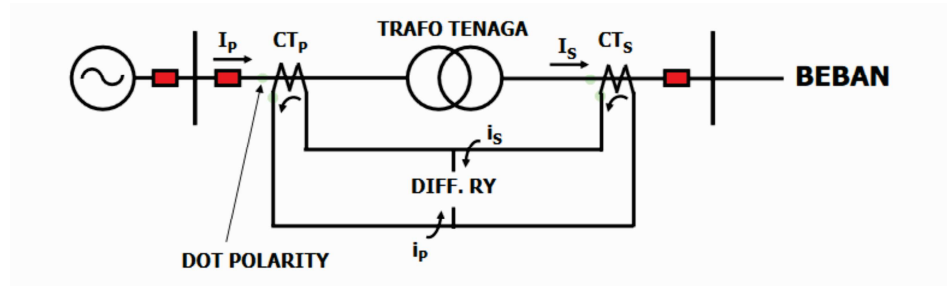
- Merasakan adanya gangguan pada sistem jaringan
- Mengukur besarnya gangguan yang terjadi pada sistem jaringan
- Memerintahkan pemutus tenaga untuk membuka agar gangguan tersebut tidak semakin meluas atau tetap menutup.

2.2.19 **Komponen-Komponen *Relay* Proteksi Trafo**

1. *Relay* Diferensial

Merupakan *Relay* yang dirancang untuk mendeteksi perbedaan antara arus yang masuk dengan daerah atau zona yang diproteksinya dengan arus yang keluar, *relay* ini akan bekerja apabila arus yang masuk tidak sama dengan arus yang keluar. *Relay* ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat yang terjadi didalam daerah pengamanan transformator. *Relay* ini memiliki cara kerja dengan membandingkan arus yang masuk ke peralatan dengan arus yang keluar dari peralatan tersebut.

✓ *Relay Dalam Keadaan Normal*

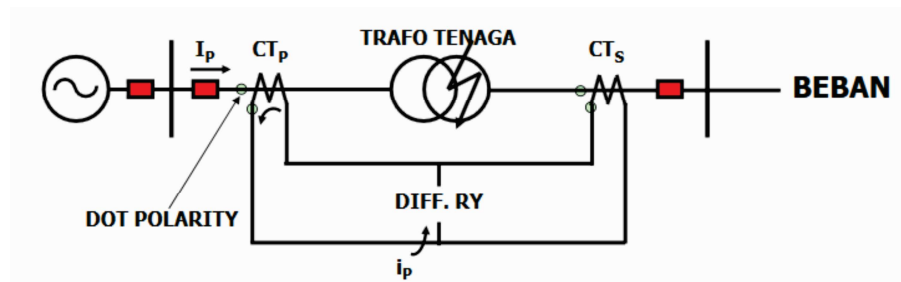


Gambar 2.11 Gambaran *Relay* yang Bekerja dalam Keadaan Normal

(Sumber : rakhman.net 2013)

Jika keadaan normal maka jumlah arus yang mengalir melalui peralatan listrik yang diproteksi bersirkulasi melalui loop pada kedua sisi di daerah kerja *relay* diferensial tersebut, maka nilainya adalah ($I_d = I_p - I_s = 0$)

✓ *Relay Dalam Keadaan Gangguan*



Gambar 2.12 Gambaran *Relay* Saat Terjadinya Gangguan

(Sumber : rakhman.net 2013)

Jika terjadi gangguan didalam daerah kerja relai diferensial maka arus dari kedua sisi akan saling menjumlah dan relai akan memberi perintah ke circuit breaker untuk memutuskan arus yang mengalir tersebut.

2. Relay Arus Lebih / Overcurrent Relay (OCR)

Relay ini bekerja apabila ada arus yang terdeteksi oleh *relay* melebihi setelan nilai ambang batas arusnya yang telah *disetting*.

Relay ini berfungsi untuk mengamankan *transformator* terhadap arus hubung singkat antar fasa didalam maupun diluar daerah pengaman *transformer*. *Relay* ini harus mempunyai sifat komplementer dengan *relay* beban lebih, dan *relay* ini berfungsi sebagai pengaman cadangan bagi sebagian instalasi lainnya.

Jenis dan karakteristik dari OCR:

- *Definite*, memiliki *setting* waktu yang pasti
- *Standart invers*, memiliki *setting* arus minimum dan waktu kerja yang tak tentu tergantung arus gangguan.
- Karakteristik *invers* yang lainnya adalah *very inverse* dan *extremely inverse*.

3. Relay Gangguan Tanah / Ground Fault Relay (GFR)

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

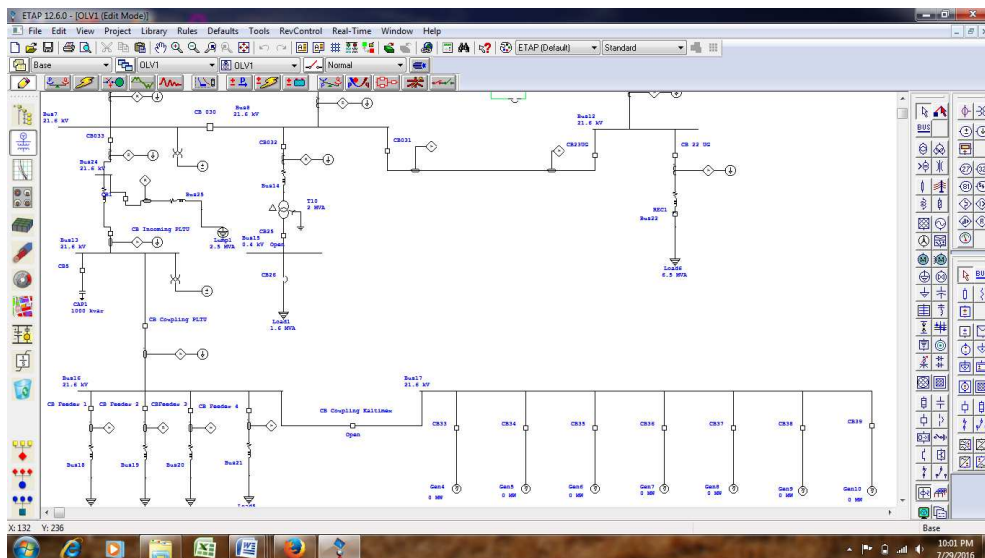
Relay ini bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai *setting* pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu, apabila terjadi gangguan arus hubung singkat fasa ke tanah.

4. Relay Gangguan Tanah Terbatas (REF)

Relay ini berfungsi sebagai pengamanan transformator bila ada gangguan satu fasa ke tanah didekat titik netral transformator yang tidak dirasakan oleh relay differensial.

2.2.20 Software ETAP 12.60

Merupakan sebuah software aplikasi yang memiliki fungsi dalam merancang dan melakukan analisis sebuah sistem tenaga listrik. Aplikasi ini banyak digunakan dalam mensimulasikan sistem tenaga listrik. Dengan menggambarkan *single diagram* dari satu sistem jaringan maka dapat diketahui bagaimana kondisi suatu jaringan itu bekerja.



Gambar 2.13 Contoh Simulasi pada Aplikasi Software ETAP 12.60.