



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandengan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis, di mana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya.

Transformator merupakan suatu komponen yang sangat penting peranannya dalam sistem ketenagaan listrik. Keberadaan Transformator merupakan suatu langkah maju dan penemuan besar bagi kemajuan dunia ketenagaan listrik.

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif, yang terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti (*core*) yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup, maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer, maka di kumparan primer terjadi induksi (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, serta arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energy listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetis).

Perlu diingat hanya tegangan listrik bolak-balik yang dapat ditransformasikan oleh transformator, sedangkan dalam bidang elektronik, transformator digunakan sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban



untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkain.

Tujuan utama menggunakan inti (*core*) padaa transformator adalah untuk mengurangi reluktansi (tahanan magnetis) dari rangkain magnetis.¹

2.2 Transformator Daya

Transformator ini merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain dengan mengubah tegangan tanpa mengubah frekuensi.

Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi.

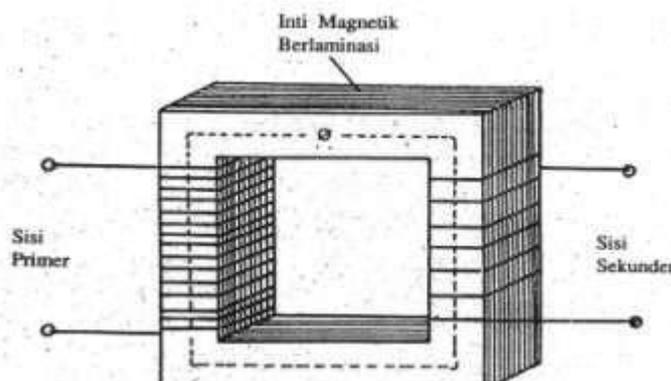
Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual (timabal balik) antara kedua rangkaian yang dihubungkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah. Kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi. Jika satu kumparan disambung pada suatu sumber tegangan bolak balik, suatu fluks bolak balik, suatu fluks bolak balik terjadi di dalam inti bereliminasi ,yang sebagian besar akan mengait pada kumparan lainnya, dan di dalamnya akan terinduksi suatu gaya-gerak-listrik(ggl) sesuai dengan hukum-hukum induksi elektromagnetik Faraday, yaitu :

$$E = M \frac{di}{dt} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

E = gaya gerak listrik [volt]

M = induksi bersama [Henry]



¹ Wijaya



Gambar 2.1. Inti Magnetik Transformator

Transformator dibuat dengan sebuah kumparan primer kumparan primer dan satu atau lebih kumparan sekunder. Kumparan sekunder yang kedua dapat dinamakan lilitan tertier(berarti”ketiga”), dan sekunder ketiga dapat dinamakan lilitan kuartener(berarti”keempat”). Tetapi lebih biasa menamakan lilitan tersebut sesuai fungsi atau tegangannya jadi, sebuah transformator dapat dikatakan mempunyai sebuah primer, sebuah sekunder tegangan tinggi.

Untuk menghasilkan sebuah Transformator yang mempunyai efisiensi tinggi dan jumlah lilitan minimum, maka kumparan primer dan sekundernya dililitkan pada suatu inti besi atau bahan lainnya yang mempunyai permeabilitas yang tinggi. Hasilnya, jika transformator bekerja, maka pada inti besi tersebut akan dihasilkan medan magnetik yang bergerak secara rapat.²

2.3 Pengaturan Tegangan

Pengaturan tegangan suatu transformator adalah perubahan tegangan sekunder pada transformator antara beban nol dan beban penuh (akibat jatuh tegangan pada tahanan dalam dan reaktansi bocornya) pada suatu faktor daya tertentu, dengan tegangan primer tetap.

Pengaturan tegangan tersebut didefinisikan sebagai :

$$V_R(\%) = \frac{V_{2bn} - V_{2bp}}{V_{2bn}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

² Abdul Kadir, “Transformator Daya”, *Transmisi Tenaga Listrik*, 1996, hal.43 dan 44.



Dimana : V_{2bn} = tegangan sekunder transformator tanpa beban (beban nol).

V_{2bp} = tegangan sekunder transformator beban penuh.³

2.4 Proteksi Transformator Daya

Relay pengaman transformator daya harus dapat mendeteksi adanya sumber gangguan yang berada di dalam maupun di luar transformator yang berada di daerah pengamannya. Di samping itu adanya gangguan di luar daerah pengamannya bila relay yang terkait tidak bekerja salah satu relay pada transformator harus bekerja. Pengaman transformator daya pada umumnya meliputi :

2.4.1 Relay Buchholz

Digunakan sebagai pengaman bukan listrik, tetapi berfungsi mendeteksi adanya gas yang ditimbulkan oleh loncatan bunga api dan pemanasan setempat dalam minyak trafo.

Relay bekerja karena :

1. Adanya gas H_2 dan $C_2 H_2$ disebabkan adanya arcing dalam minyak trafo
2. Adanya gas H_2 , $C_2 H_2$, dan CH_4 disebabkan adanya arcing karena keburukan isolasi missal gangguan pada tap changer.
3. Adanya gas H_2 , CH_4 , dan $C_2 H_4$ disebabkan pemanasan pada sambungan inti besi.
4. Adanya gas H_2 , $C_2 H_4$, CO_2 , dan $C_3 H$ karena pemanasan pada belitan.

2.4.2 Relay Differensial

³ Wijaya Mochtar, ST, 2001 "Dasar – Dasar Mesin Listrik" Penerbit Djambatan, Jakarta hal. 91-93



Digunakan sebagai pengaman listrik, pada trafo dengan daya besar > 10 MVA. Gangguan ini dapat terjadi antara belitan primer atau sekunder yang disebabkan adanya :

1. Gangguan hubung singkat di jaringan dengan arus besar, arus ini dapat menyebabkan gaya mekanis yang besar pada konduktor sehingga belitan atau konduktor menjadi panas, naiknya temperature.
2. Pada konduktor dapat merusak kertas isolasi pembungkus konduktor belitan tersebut.
3. Pembentukan karbon dari minyak yang terurai menjadi lebih cepat menjadi jembatan gangguan antar lilitan.⁴

2.4.3 Relay Arus Lebih

Bilamana terjadi gangguan, pada umumnya terjadi arus-arus listrik yang lebih besar dari normal, yang dapat merusak peralatan dan mesin listrik. Untuk pengamanan dipergunakan relay arus lebih, sebagaimana terlihat pada gambar 2.3. L adalah kumparan yang akan diamankan, sedangkan TA adalah transformator arus dan M kumparan relay. Bilamana arus I melampaui suatu nilai tertentu, kumparan M akan memicu terjadinya trip, dan saklar akan bekerja.

Dilihat dari segi fungsi arus-waktu, terdapat dua karakteristik, yaitu jenis tak tergantung (Gambar 2.3a), dan jenis tergantung (gambar 2.3b). Pada karakteristik tak tergantung, hubungan arus waktu dapat diatur sedemikian rupa, hingga misalnya, bilamana arus mencapai titik i_1 , maka relai akan bekerja dalam waktu t_1 . Atau proteksi diatur sedemikian rupa, sehingga akan bekerja dalam waktu t_2 detik, bilamana arus mencapai i_2 ampere. Lain halnya dengan karakteristik tergantung. Pada jenis ini relai akan bekerja lebih cepat bilamana arus gangguan memiliki nilai yang lebih besar. Pada arus gangguan i_1 misalnya, proteksi akan bekerja dalam waktu t_1 detik. Akan tetapi, bilamana arus gangguan

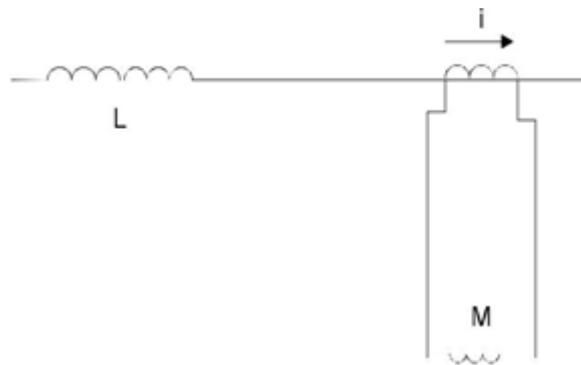
⁴ Samaulah, Hazairin. 2004. Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik. Hal : 103 – 109



akan mencapai nilai i_2 , yang lebih besar dari i_1 , maka relai akan bekerja lebih cepat, yaitu dalam

Penyebab arus lebih adalah :

1. Beban Lebih.
2. Arus Hubung Singkat..



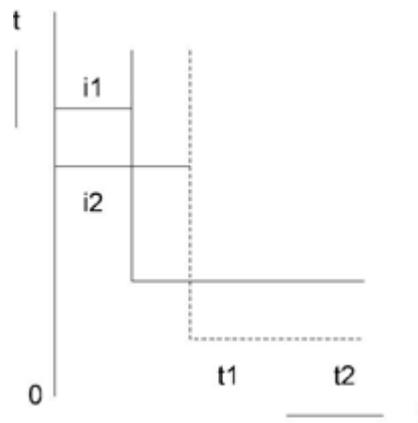
Gambar 2.2. Skema Prinsip Proteksi Arus Lebih

Catatan :

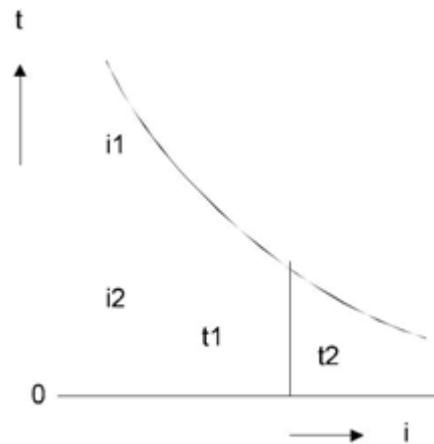
TA = Transformator Arus

L = Kumparan yang diamankan

M = Kumparan relay



a. Karakteristik Tak Tergantung



b. Karakteristik Tergantung

Gambar 2.3. Karakteristik Proteksi Arus lebih

Waktu t_2 detik, lebih cepat dari t_1 .

Pengaturan arus waktu yang berbeda-beda pada pengaman arus lebih diperlukan guna memperoleh suatu koordinasi proteksi pada suatu saluran listrik, agar bagian saluran yang dikeluarkan dari jaringan terbatas pada bagian yang terganggu saja.⁵

2.4.4. Proteksi Termal

⁵ Abdul Kadir, "Transformator Daya", *Transmisi Tenaga Listrik*, 1996, hal. 75 -76



Dapat terjadi bahwa sebuah transformator mengalami beban lebih yang tidak begitu besar selama suatu jangka waktu yang agak lama. Karena beban lebihnya tidak banyak, proteksi arus lebih tidak akan bekerja. Tetapi karena beban lebih itu berlangsung untuk jangka waktu yang cukup lama, transformator menjadi panas, dan suhunya perlahan-lahan akan naik. Kenaikkan suhu itu secara lambat-laun akan merusak keadaan isolasi transformator. Untuk menjaga kemungkinan demikian, sebuah transformator daya sering dilengkapi dengan termometer atau alat ukur panas yang lain, yang dapat dibaca dari luar. Alat ukur itu secara berkala dicatat sehingga diketahui bila suhu transformator menunjukkan kecenderungan naik secara mengkhawatirkan. Termometer ini biasanya mengukur suhu minyak transformator. Cara penjagaan suhu dengan alat pengukur panas saja tidak akan mencukupi bagi transformator besar dan penting. Pengaman harus dilakukan dengan lebih baik, apalagi bila gardu tidak dijaga. Untuk transformator demikian proteksi dilakukan dengan mempergunakan rele termal yang dilengkapi dengan sebuah elemen suhu (*thermal element*). Elemen suhu ini memiliki konstanta waktu termal yang sama dengan transformator yang diamankan, dan dialiri arus sekunder dari transformator arus. Elemen suhu ini dengan demikian mengikuti perkembangan suhu sebagaimana terjadi di dalam transformator itu sendiri. Dan jika suhu mencapai suatu nilai tertentu yang membahayakan, relai akan bekerja dan alarm akan berbunyi atau saklar melepaskan beban.⁶

2.4.5. Relay Jarak

Jarak antara suatu tempat gangguan dan awal saluran berbanding lurus dengan impedansi atau rasio antara tegangan dan arus, yaitu $Z = V/I$, atau berbanding terbalik dengan admintasi mho. Oleh karena itu proteksi jarak sering juga disebut proteksi impedansi. Dengan demikian proteksi jarak mempergunakan relay yang responsive terhadap arus I: lebih kecil arus gangguan I berarti lebih jauh letak gangguan itu terhadap awal saluran listrik.

⁶ Abdul Kadir, "Transformator Daya", *Transmisi Tenaga Listrik*, 1996, hal.74



Misalkan saluran transmisi sebagaimana terdiri atas beberapa bagian saluran I, II, III dan seterusnya. Saluran itu terbagi oleh gardu-gardu induk GI-I, GI-II, GI-III, dan seterusnya. Umpamakan saklar- saklar daya 1a dan 2a dilengkapi dengan proteksi jarak. Pengaturan waktu pada proteksi jarak yang terkait dengan saklar daya 1a dilakukan secara bertahap. Bilamana misalnya terjadi gangguan di tempat G-1, yaitu pada saluran I, dan masih bekerja dalam jarak 80 persen dari panjang saluran itu, proteksi 1a akan dalam waktu t_1 detik. Nilai t_1 biasanya sangat kecil, bahkan sering $t_1=0$ detik. Bilamana gangguan itu terjadi berdekatan dengan GI-II, maka proteksi 1a akan bekerja dalam waktu $t_2 = 1$ detik. Dan bilamana gangguan itu terjadi ditempat G2 pada saluran II, maka proteksi jarak akan bekerja dalam waktu t_3 detik, dimana umpamanya t_3 lebih besar dari t_2 , misalnya sebesar 2 detik. Tetapi sebelum saklar 1a dapat bekerja, proteksi gangguan 2a akan member respons, dan saklar daya 1a akan bekerja dalam waktu t_1 detik, lebih cepat dari t_2 maupun t_3 . Dengan demikian terdapat satu koordinasi proteksi, dan bagian saluran yang dilepas dari jaringan akan menjadi yang paling kecil, dan terbatas pada bagian yang terganggu. Proteksi jarak pada saklar-saklarnya daya 3b dan 2b adalah untuk pengaman bilamana arus energy listrik memiliki arah yang berlawanan.

Perlu dicatat, tahapan pengaman sebesar 80 persen itu dilakukan karena keterbatasan kecermatan bekerjanya proteksi jarak, yang dapat memiliki kekeliruan 10 hingga 20 persen. Demikian pula untuk tahap 2, waktu pengamanan t_2 memasuki wilayah saluran II sedalam 30 persen, untuk dapat bekerja sebagai pengaman candangan, bilamana kecermatan proteksi saklar berikutnya kurang baik.⁷

2.5 Gangguan Pada Transformator

Gangguan yang berpengaruh terhadap kerusakan transformator tidak hanya karena adanya gangguan di dalam transformator atau di dalam daerah

⁷ Abdul Kadir, "Transformator Daya", *Transmisi Tenaga Listrik*, 1996, hal. 76 -77



pengaman transformator, tetapi juga adanya gangguan di luar daerah pengamanan. Justru kerusakan transformator cenderung karena terlalu seringnya terjadi gangguan di luar daerah pengaman.

2.5.1 Gangguan Di Luar Daerah Pengamannya

Gangguan di luar daerah pengaman transformator daya ini sering terjadi dan dapat merupakan beban lebih, hubung singkat satu fasa ke tanah maupun gangguan antar fasa. Gangguan ini mempunyai pengaruh terhadap transformator ini, sehingga transformator harus dilepaskan/dipisahkan bila gangguan tersebut terjadi setelah waktu tertentu untuk member kesempatan pengamanan daerah yang terganggu bekerja. Kondisi beban lebih yang berlanjut dapat dideteksi dengan rele termal atau thermometer yang member sinyal sehingga dapat mengatur ataupun mengadakan manipulasi jaringan sehingga beban berkurang, tetapi bila perlu diputuskan suplainya. Untuk kondisi di luar gangguan daerahnya misalnya gangguan hubung singkat pada rel atau gangguan hubung singkat di saluran keluarnya, maka rele arus lebih dengan perlambatan waktu atau sekring digunakan sebagai pengamannya. Koordinasi yang baik untuk pengaman cadangan transformator ini perlu diciptakan terhadap pengamanan daerah berikutnya yang terkait. Pengamanan utama dari transformator ini dibuat sedemikian rupa sehingga tidak boleh bekerja terhadap gangguan tersebut di atas.

2.5.2 Gangguan Di Daerah Pengamannya

Daerah pengaman, dibagidalam seksi-seksi yang diatasi pemutus (PMT), dimana tiap seksi ada Relay Pengaman dan punya daerah pengaman.

Pengaman cadangan lokal terletak di tempat yang sama dengan pengaman utamanya. Sedangkan pengaman cadangan jauh terletak pada seksi ebelah hulunya. Sudah barang tentu terjadi tumpang tindih (over lapping) antara kawasan pengaman utama dan kawasan pengaman cadangannya, baik cadangan lokal maupun cadangan jauh. Ini berarti gangguan yang terjadi pada kawasan pengaman utama maupun pengamna cadangan jauhnya. Untuk menghindari terlepasnya dua seksi sekaligus (seksi kawasan pengaman utama oleh relay



pengaman utama dan seksi sebelah hulunya oleh relay pengaman cadangan jauh), maka relai pengaman cadangan jauh diberi waktu tunda.

Kegagalan PMT dapat terjadi untuk mendeteksi arus gangguan yang seharusnya sudah terbuka tapi gagal, disebabkan karena lemahnya baterai, terputusnya rangkaian trip atau gangguan mekanis pada PMT, hal ini perlu adanya cadangan pengaman seperti yang telah dijelaskan.⁸

2.6 Persyaratan Syarat Relay Pengaman

Relay pengaman harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

2.6.1 Kepekaan (sensitivity)

Pada prinsipnya Relay harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan dikawasan pengamanannya meskipun dalam kondisi yang memberikan rangsangan yang minimum. Rangsangan minimum ini, biasanya terjadi saat penghantar udara tersentuh pohon (karena tahanan pohon besar). Bila 1 fasa (fasa R) tersentuh pohon, arus gangguan 1 fasa ketanah dapat menjadi kecil (lebih kecil dari penghantar udara langsung terkena tanah).

Untuk Relay arus lebih yang bertugas pula sebagai pengaman cadangan jauh untuk seksi berikutnya. Relay ini juga harus dapat juga mendeteksi arus gangguan hubung singkat 2 fasa yang terjadi di ujung akhir jaringan dalam kondisi pembangkit minimum.

2.6.2 Keandalan (reliability)

Pada keandalan pengaman ada 3 aspek pada sistem distribusi dengan tegangan menengah, yaitu :

2.6.2.1 Dependability

⁸ Samaulah, Hazairin. 2004. Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik. Hal : 104 - 106



Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan lain perkataan dependabilitynya harus tinggi.

2.6.2.2 Security

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan diluar kawasan pengamannya atau sama sekali tidak ada gangguan, atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat.

2.6.2.3 Availability

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan siap kerja (actually in service) dan waktu total operasinya.

2.6.2.4 Selektifitas (selectivity)

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya yang terganggu saja yang menjadi kawasan pengamanan utamanya. Pengaman sedemikian disebut pengamanan yang selektif.

Jadi relay harus dapat membedakan apakah gangguan terletak dikawasan pengamanan utamanya di mana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau harus tidak bekerja sama sekali karena gangguannya diluar daerah pengamannya atau sama sekali tidak ada gangguan.

2.6.3 Kecepatan (speed)

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, dengan arus besar, maka bagian yang terganggu, harus dipisahkan secepat mungkin dari sumbernya. Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (time delay). Antara pengaman yang terpasang



namun waktu tunda itu harus secepat mungkin, setelah waktu minimum yang disetkan untuk menghindari thermal stress.⁹

2.7 Relay Arus Lebih (OCR)

2.7.1 Pengertian Relay Arus Lebih (OCR)

Relay arus lebih adalah suatu rele yang bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya. Agar peralatan tidak rusak bila dilewati arus yang melebihi kemampuannya, selain peralatan tersebut diamankan terhadap kenaikan arusnya, maka peralatan pengamannya harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan.

Seperti yang telah disinggung di depan, maka relay jenis ini termasuk relai yang paling sederhana, murah dan mudah dalam penyetelannya. Relay jenis ini digunakan untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat satu fasa ke tanah dan beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih. Digunakan sebagai pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub transmisi sistem radial, sebagai pengaman cadangan untuk generator, transformator daya dan saluran transmisi.

2.7.2 Prinsip Kerja Dan Karakteristik Pengamannya

Ada 3 macam jenis relay arus lebih, yaitu :

1. Relay arus lebih seketika (moment-instantaneous)
2. Relay arus lebih waktu tertentu (definite time)
3. Relay arus lebih berbanding terbalik (inverse) :
 - a) Relay berbanding terbalik biasa.
 - b) Relay sangat berbanding terbalik.
 - c) Relay sangat berbanding terbalik sekali.

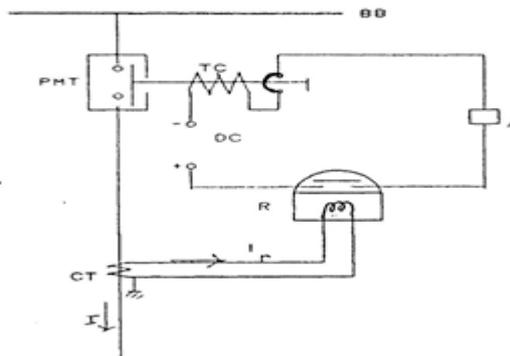
⁹ Sarimun, Wahyudi, Ir, N, MT, 2012, "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik" Penerbit Garamond, hal. 11 - 12



2.7.3 Jenis Relay Berdasarkan Karakteristik Waktu

2.7.3.1 Relay Arus Lebih Seketika

Relay arus lebih seketika adalah jenis relay arus lebih yang paling sederhana dimana jangka waktu kerja relay yaitu mulai saat relay mengalami pick-up sampai selesainya kerja relay sangat singkat yakni sekitar 20 ~ 100 mill detik tanpa adanya penundaan waktu.



Gambar 2.4. Rangkaian Relay Arus Lebih Seketika

Keterangan Gambar :

BB = Bus – bar

PMT = Pemutus (Circuit breaker)

TC = Kumparan pemutus

DC = Sumber arus searah

- = Polaritas negatif sumber arus searah

+ = Polaritas positif sumber arus searah

A = Tanda bahaya (Alarm)



Gambar 2.5. Karakteristik Relay Arus Lebih Seketika

R = Relay arus lebih seketika

CT = Transformator arus (Current transformer)

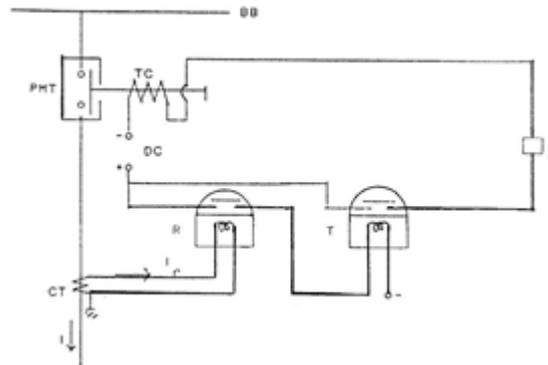
I_r = Arus yang melewati kumparan relay

I = Arus beban

Bila karena suatu hal sehingga harga arus beban I naik melebihi harga yang diijinkan, maka harga I juga akan naik. Bila naiknya harga arus ini melebihi harga operasi dari relay, maka relay arus r lebih seketika akan bekerja. Kerja dari relay ini ditandai dengan Bergeraknya kontaktor gerak relay untuk menutup kontak. Dengan demikian, rangkaian pemutus/trip akan tertutup. Mengingat pada rangkaian ini terdapat sumber arus searah, maka pada kumparan pemutus akan dialiri arus searah yang selanjutnya akan mengerjakan Kontak Pemutus sehingga bagian system yang harus diamankan terbuka. Untuk mengetahui bahwa relay harus bekerja, maka perlu dipasang suatu alarm.

2.7.3.2 Relay Arus Lebih Waktu Tertentu

Relay arus lebih waktu tertentu adalah jenis relay arus lebih dimana jangka waktu relay mulai pick-up sampai selesainya kerja relay dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya (tergantung dari besarnya arus setting, melebihi arus setting maka waktu kerja relay ditentukan oleh waktu settingnya).



Gambar 2.6. Rangkaian Relay Arus Lebih Tertentu

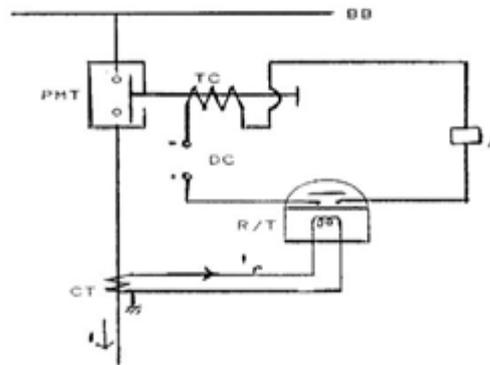


Gambar 2.7. Karakteristik Relay Arus Lebih Tertentu

Dengan memasang relay kelambatan waktu T (Time lag relay) seperti gambar 2.3, maka beroprasinya rangkaian relay akan tergantung pada penyetelan / setting waktu pada relay kelambatan waktunya. Sedangkan karakteristik kerjanya dapat dilihat pada gambar 2.4.

2.7.3.3 Relay Arus Lebih Berbanding Terbalik

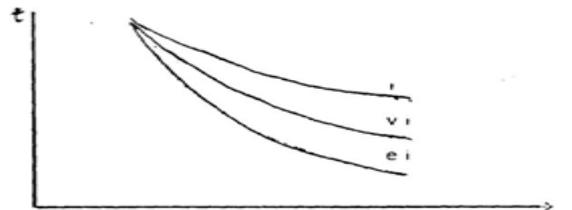
Relay arus lebih dengan karakteristik waktu-arus berbanding terbalik adalah jenis relay arus lebih dimana jangka waktu relay mulai pick-up sampai dengan selesainya kerja relay tergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan relaynya, maksudnya relay tersebut mempunyai sifat terbalik untuk nilai arus dan waktu bekerjanya. Adapun rangkaian dan karakteristiknya dapat dilihat pada gambar 2.5 dan 2.6 :



Gambar 2.8. Rangkaian Relay Arus Lebih Berbanding Terbalik

Bentuk sifat keterbalikan antara arus dan waktu kerja ini bermacam-macam, akan tetapi kesemuanya itu dapat digolongkan menjadi 3 golongan sebagai berikut :

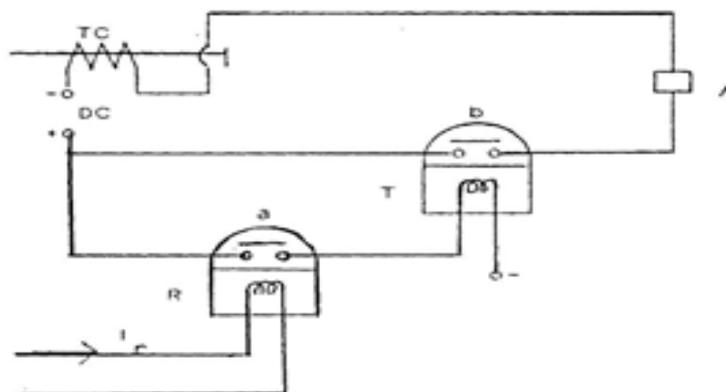
1. Berbanding terbalik biasa (inverse)
2. Sangat berbanding terbalik (very inverse)
3. Sangat berbanding terbalik sekali (extremely inverse)



Gambar 2.9. Karakteristik Relay Arus Lebih Berbanding Terbalik

2.8 Arus Kerja (pick-up) dan Arus Kembali (drop-off)

Guna menjelaskan apa yang dimaksudkan dengan arus pick-up dan arus drop-off pada relay arus lebih, dengan melihat gambar 2.8 dan gambar 2.9 akan lebih memperjelas permasalahannya.





Gambar 2.10. Rangkaian Relay Arus Lebih dan Relay Waktu

Keterangan gambar :

TC = Tripping Coil

A = Alarm

DC = Sumber Arus Searah

+ = Polaritas positif sumber arus searah

- = Polaritas negatif sumber arus searah

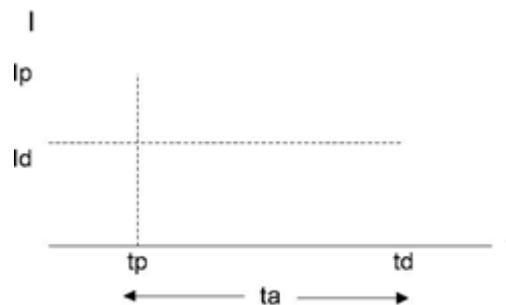
T = Relay defenitif time

O = Kontaktor relay defenitif time

R = Relay over current

A = Kontaktor relay over current

I_T = Arus sekunder transformator arus



Gambar 2.11. Karakteristik Operasi Arus Pick-Up dan Drop-Off

Keterangan gambar :

I_p = arus pick-up

I_d = arus drop-off

t_p = nilai waktu yang dibutuhkan untuk pick-up



t_d = nilai waktu yang dibutuhkan untuk drop-off

t_a = selisih waktu yang dibutuhkan untuk drop-off dan pick-up

t_s = nilai setting dari pengaman I_p adalah nilai arus dimana relay arus lebih

akan bekerja menutup kontak a, sehingga rangkaian kumparan relay definite tertutup (relay waktu bekerja).

Sedangkan I_d adalah nilai arus dimana relay arus lebih berhenti bekerja, yakni setelah pemutus bekerja memutuskan aliran listrik. Bila nilai t_a lebih kecil dari nilai t_s , maka relay tidak bekerja. Sedangkan bila t_a lebih besar dari pada t_s , maka relay dinyatakan bekerja. Suatu harga perbandingan antara nilai arus drop-off dan arus pick-up biasanya dinyatakan dengan huruf k_d , sehingga k_d dapat dituliskan dengan rumus :

$$k_d = \frac{I_d}{I_p} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

K_d mempunyai nilai 0,7 – 0,9 untuk relay definite dan 0,1 untuk relay inverse

2.9 Konstruksi Relay Arus Lebih

Umumnya system konstruksi relay arus lebih yang sering digunakan adalah :

1. Elektro Magnetik
2. Induksi

Relay ini sangat sederhana dan mudah dalam pengoperasiannya. Banyak dipakai dalam sistem tenaga listrik, baik untuk peralatan pengaman utama maupun pengaman back-up (cadangan), khususnya dalam sistem jaringan distribusi tenaga listrik tegangan menengah, yakni pada sistem distribusi radial



dan open loop. Atau juga kita dapatkan pada peralatan pengaman beban lebih pada motor listrik tegangan rendah.¹⁰

2.10 Cara Perhitungan Relay Arus Lebih

Perhitungan relay dalam menentukan besarnya arus setting dan waktu harus terlebih dahulu diketahui besar arus nominal saluran (I_N) yang ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

P = Daya Nominal

V = Tegangan pada jaringan

Batas penyetelan minimum dinyatakan bahwa relay arus tidak boleh bekerja pada saat terjadi beban maksimum, sehingga

$$I_s = \frac{kfk}{k_d} \times \frac{1}{ratio\ CT} \times I_N \dots\dots\dots (2.5)$$

I_s = Penyetelan Arus

kfk = Faktor keamanan

k_d = Faktor arus kembali

I_{maks} = Arus maksimum yang diijinkan pada peralatan yang diamankan, dimana pada umumnya diambil nilai arus nominal Untuk arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (definite time) nilai K_{fk} sebesar 1,1 – 1,2 dan K_d 0,8.¹¹

1. Untuk arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik (definite time) nilai K_{fk} sebesar 1,1 – 1,2 dan K_d 0,9.
2. Untuk arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik (inverse time) nilai K_{fk} sebesar 1,1 – 1,2 dan K_d 1,0.

¹⁰ Taqiyuddin, Muhammad, Alawiy, 2006 “*Proteksi Sistem Tenaga Listrik Seri Relay*” hal. 20 - 25

¹¹ Taqiyuddin, Muhammad, Alawiy, 2006 “*Proteksi Sistem Tenaga Listrik Seri Reay*” hal. 27



Setelan waktu kerja standar inverse didapat dengan menggunakan kurva waktu dan arus. Secara matematis dapat ditentukan dengan rumus :

$$tms = \frac{t \left\{ \left(\frac{I_f}{I_s} \right)^a - 1 \right\}}{\epsilon} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

t = Waktu trip relay (detik)

I_f = Arus Gngguan (Ampere)

I_s = Arus Setting (Ampere)

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_f}{I_s} \right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

t = Waktu trip OCR (detik)

tms = Faktor penyetelan waktu

I_f = Arus gangguan singkat (Ampere)

2.10.1 Menentukan Nilai Avarage

Untuk menentukan nilai avarage dari beban trafo, maka harus mencari beban puncak dan beban terendah dari susatu trafo sehingga nilai average dapat di tetentukan. Dengan menggunakan rumus :

$$P\bar{x} = \sqrt{\frac{P1^2 \cdot t1 + P2^2 \cdot t2 + P3^2 \cdot t3 + \dots + Pn^2 \cdot tn}{\sum t}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

P \bar{x} = Average (Rata – Rata)

P1² = beban trafo (MW)



t_1 = Banyak Waktu beban trafo

$\sum t$ = Jumlah Waktu dalam sehari

2.10.2 Cara Perhitungan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem kelistrikan 3 fasa adalah :

1. Gangguan hubung singkat tiga fasa
2. Gangguan hubung singkat dua fasa
3. Gangguan hubung singkat satu fasa ¹²

Semua gangguan hubung singkat diatas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

I = Arus yang mengalir pada hambatan Z (A)

V = Tegangan sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (ohm)

Penyetelan Relay dapat mempergunakan karakteristik definite atau invers, dimana impedansi urutan setiap arus gangguan dibedakan impedansi urutannya seperti ditunjukkan berikut ini :

$$Z \text{ gangguan tiga fasa } Z = Z_1$$

$$Z \text{ gangguan dua fasa } Z = Z_1 + Z_2$$

$$Z \text{ gangguan satu fasa } Z = Z_1 + Z_2 + Z_0 \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

Z_1 = Impedansi urutan positif (ohm)

¹² Sarimun, Wahyudi, Ir, N, MT, 2012, "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik" Penerbit Garamond, hal. 155



Z_2 = Impedansi urutan negatif (ohm)

Z_0 = Impedansi urutan nol (ohm) ¹³

2.10.3 Perhitungan Impedansi

2.10.3.1 Impedansi Sumber

Impedansi sumber diambil dari arus beban puncak yang mengalir dari sistem interkoneksi ke pembangkit.

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

X_s = Impedansi sumber (ohm)

kV^2 = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Data hubung singkat ¹⁴

2.10.3.2 Impedansi Transformator

Pada perhitungan impedansi transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahanannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam ohm dihitung dengan cara berikut.

$$X_{T(pada\ 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

X_T = Impedansi trafo tenaga (ohm)

kV^2 = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)¹⁵

¹³ Sarimun, Wahyudi, Ir, N, MT, 2012, "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik" Penerbit Garamond, hal. 155 - 156

¹⁴ Sarimun, Wahyudi, Ir, N, MT, 2012, "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik" Penerbit Garamond, hal. 164 - 165

¹⁵ Sarimun, Wahyudi, Ir, N, MT, 2012, "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik" Penerbit Garamond, hal. 166