

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator Daya

Transformator 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 induksi mutual. Kumparan primer adalah yang menerima daya dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada satu inti yang terdiri atas material magnetic berlaminasi.



Gambar 2.1 Transformator daya

(Abdul Kadir. Transmisi Tenaga Listrik. Hal: 43-44)

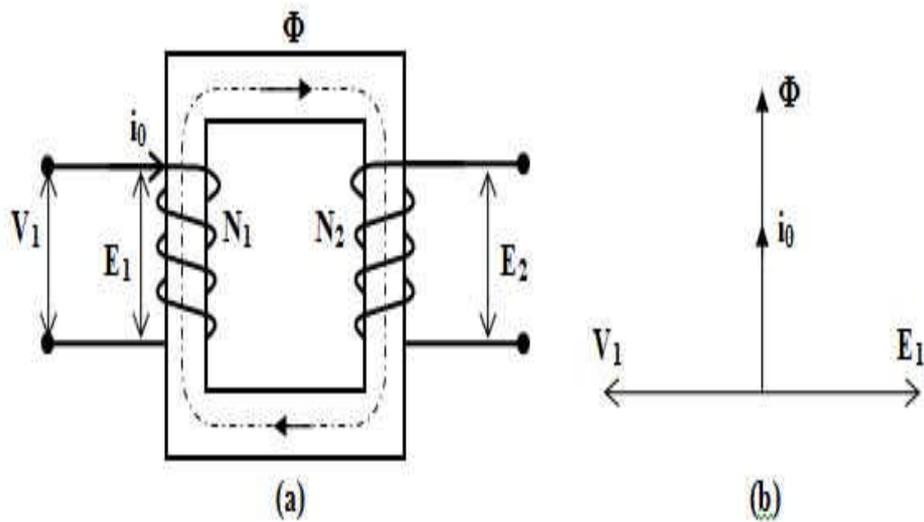
2.1.1 Keadaan transformator tanpa beban

Bila kumparan primer transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoid, akan mengalirlah arus primer I_0 yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 . Arus primer I_0 menimbulkan fluks (Φ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoid.

$$\Phi = \Phi_{\text{maks}} \sin \omega t$$

Fluks yang sinusoid ini akan menghasilkan tegangan induksi e_1 .

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \dots \dots \dots (2.1)$$



Gambar 2.2 Transformator tanpa beban

$$e = - \frac{d(\Phi_{\text{maks}} \sin \omega t)}{dt} = - \omega \Phi_{\text{maks}} \cos \omega t \text{ (tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \Phi)$$

Harga efektifnya adalah $E_1 = \frac{\omega \cdot \Phi_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_{\text{maks}}$

Pada rangkaian sekunder, fluks (Φ) bersama tadi menimbulkan :

$$e_2 = - \frac{d\Phi}{dt} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$e_2 = - \omega \Phi_{\text{maks}} \cos \omega t \dots \dots \dots (2.3)$$

$$= 4,44 \quad f \quad \Phi_{maks}, \text{ sehingga} \\ \text{---} = \text{---} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor

$$\text{---} = \text{---} = \text{---} = a \dots \dots \dots (2.5)$$

a= Perbandingan transformasi

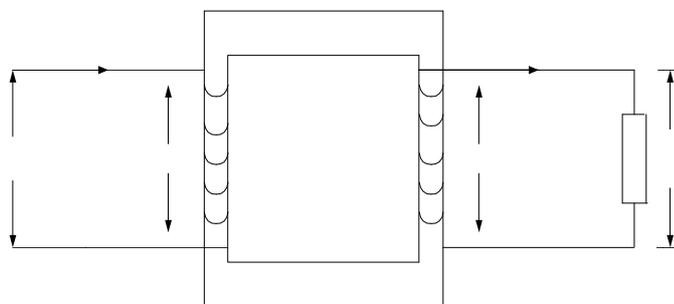
berlawanan arah dengan tegangan sumber .

(Zuhal. Dasar Tenaga Listrik. Hal: 17-18)

2.1.2 Keadaan berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban , mengalir

pada kumparan sekunder, $I_2 = \frac{V_2}{Z_L}$ dengan $\theta_2 = \text{factor kerja beban}$.



Gambar 2.3 Transformator keadaan berbeban

Arus ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) yang cenderung menentang fluks bersama yang telah ada akibat pemagnetan I_m . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalirkan arus , yang menentang fluks yang mengakibatkan oleh arus berbeban , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi:

$$= I_o + \dots \dots \dots (2.6)$$

Bila rugi besi diakibatkan (I_c diabaikan) $I_o = I_m$

$$= I_m + \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah sebesar ggl yang oleh arus pemagnetan I_m saja, berlaku hubungan :

$$I_m = \dots\dots\dots(2.8)$$

$$I_m = (I_m + \dots) - \dots\dots\dots(2.9)$$

Hingga

$$= \dots\dots\dots(2.10)$$

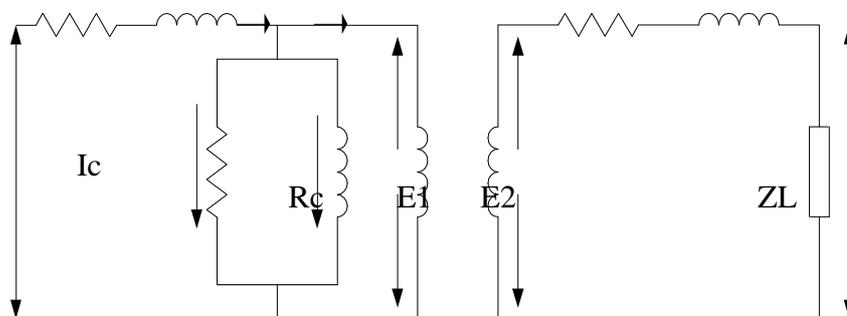
Karena nilai I_m dianggap kecil maka $\dots = \dots$

$$\text{Jadi, } \dots = \dots \text{ atau } \dots = \dots\dots\dots(2.11)$$

(Zuhal.Dasar Tenaga Listrik. Hal:21-22)

2.2 Rangkaian Ekuivalen Trafo

Fluks magnet bersama yang dihasilkan oleh arus pemagnet I_m , tidak seluruhnya tercakup oleh kumparan primer maupun kumparan sekunder. Dengan kata lain, terjadi fluks magnet bocor baik pada kumparan primer maupun kumparan sekunder. Adanya magnet bocor pada kumparan primer dinyatakan oleh hambatan primer dan reaktansi primer, sedangkan pada kumparan sekunder dinyatakan oleh hambatan sekunder dan reaktansi sekunder. Dengan demikian rangkaian ekuivalen trafo dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 2.4 Rangkaian Ekuivalen Transformator

Keterangan :

= Hambatan primer

= Reaktansi primer

= Hambatan sekunder

= Reaktansi sekunder

Rc = Hambatan inti

Xm = Reaktansi magnet

Jika ditinjau pada bagian primer dari gambar 2.4, maka:

$$= \dots + \dots J. + \dots \dots \dots (2.12)$$

Atau dalam bentuk amplitudo ditulis:

$$= \dots + \dots + \dots \dots \dots (2.13)$$

(Drs. Yon Rijono. Dasar Teknik Listrik. Hal: 22-23)

2.3 Gangguan Pada Transformator Daya

Gangguan yang berpengaruh terhadap kerusakan transformator tidak hanya karena adanya gangguan di dalam transformator atau di dalam daerah pengaman transformator, tetapi juga adanya gangguan diluar daerah pengaman.

Justru kerusakan transformator cenderung karena terlalu seringnya terjadi gangguan di luar daerah pengaman.

2.3.1 Gangguan Di Luar Derah Pengamannya

Gangguan di luar daerah pengamannya transformator daya ini sering terjadi dan dapat merupakan beban lebih, hubungan singkat satu fasa ke tanah maupun gangguan antara fasa. Gangguan ini mempunyai pengaruh terhadap transformator ini, sehingga transformator harus dilepaskan / dipisahkan bila gangguan tersebut terjadi setelah waktu tertentu untuk memberi kesempatan pengaman daerah yang terganggu bekerja. Kondisi beban lebih yang berlanjut dapat dideteksi dengan rele termal atau termometer yang memberi sinyal sehingga dapat mengatur maupun mengadakan manipulasi jaringan sehingga beban berkurang, tetapi bila perlu di putuskan suplainya. Untuk kondisi gangguan di luar

daerahnya misalnya gangguan hubung singkat pada rel atau pengaman hubung singkat di salurkan keluarannya, maka rele arus lebih dengan perlambatan waktu atau sering digunakan sebagai pengamannya. Koordinasi yang baik untuk pengaman cadangan yang terkait. Pengaman utama sehingga tidak boleh bekerja terhadap gangguan tersebut.

2.3.2 Gangguan Di Daerah Pengamannya

Pengaman utama transformator daya ditunjukkan sebagai pengman di daerah pengamannya. Gangguan di dalam sangat serius dan selalu ada resiko terjadi kebakaran. Gangguan dalam dapat digolongkan menjadi dua kelompok, yaitu :

1. Kelompok (A)

Gangguan kelistikan kemungkinan akan segera menyebabkan kerusakan yang serius tetapi umumnya dapat dideteksi oleh adanya arus dan tegangan yang tidak seimbang di antaranya, yaitu:

- a. Gangguan satu fasa atau antara fasa pada sisi tegangan tinggi atau tegangan menengah pada terminal luar.
- b. Gangguan satu fasa atau antara fasa pada lilitan sisi tegangan tinggi atau tegangan menengah.
- c. Gangguan hubung singkat antara belitan sisi tegangan tinggi atau tegangan menengah.
- d. Gangguan tanah pada lilitan tersier, atau hubung singkat antara belitan di lilitan tersier.

2. Kelompok (B)

Pada gangguan ini dinamakan “incipien” yaitu suatu gangguan yang dimulai dari gangguan yang kecil, akan tetapi dengan secara lambatan menimbulkan kerusakan. Dengan adanya gangguan ini maka ketidak seimbangan tegangan atau bertambahnya besar arus tidak dapat dideteksi pada ujung lilitan. Yang termasuk gangguan di dalam daerah ini adalah :

- a. Pada sambungan secara elektrik dari konduktor dan inti. Misalnya, lapisan isolasi inti serta baut atau ring, klem kurang kencang /kuat, hal

demikian timbul busur terbatas pada minyak transformator.

- b. Gangguan sistem pendingin, yang akan menyebabkan panas yang lebih meskipun bebannya belum mencapai nominal.
- c. Sehubungan dengan butir b (gangguan sistem pendingin) adalah kemungkinan kurang minyak atau tersumbatnya aliran minyak sehingga menimbulkan pemanasan setempat pada lilitan.
- d. Gangguan dari pengatur tegangan dan pembagian beban yang tidak baik (tidak seimbang) pada transformator, yang akan menyebabkan pemanasan lebih, karena adanya arus sirkulasi.

2.3.3 Rumus-rumus untuk perhitungan Tegangan dan Arus Hubung Singkat

- Arus dasar pada sisi sekunder

$$I_{base} = \frac{S}{\sqrt{3} V} \dots\dots\dots(2.14)$$

- Rumus trafo untuk menentukan arus impedansi

$$Z_{base} = \frac{V^2}{S} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$Z(\%) = \frac{(\%)^2 (Z_{base})}{(S)} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\dots\dots\dots(2.17)$$

$$Z_{total} = Z_r + \dots\dots\dots(2.18)$$

$$= \dots\dots\dots(2.19)$$

- Gangguan hubung singkat

$$\alpha \dots\dots\dots(2.20)$$

- Gangguan hubung singkat dua fasa

$$\dots\dots\dots(\dots)$$

Dimana : V_f : Tegangan sebelum gangguan

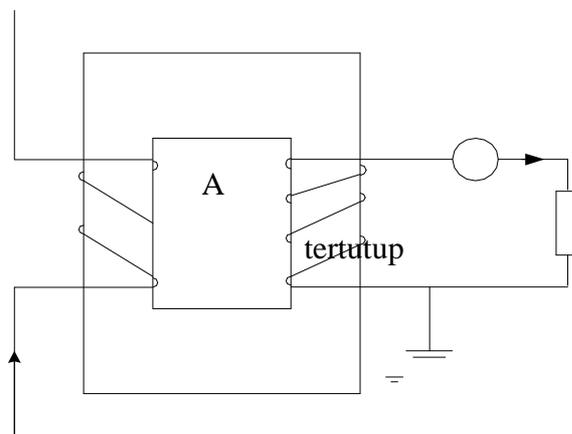
KVs : Tegangan sistem

KVb : Tegangan base

(DR.A.Arismunandar dan DR.S.Kuwahara. Teknik Tenaga Listrik Jilid II. Hal: 71-73)

2.4 Transformator Arus

Transformator arus digunakan untuk mengukur arus beban suatu rangkaian. Dengan menggunakan transformator arus maka arus beban dapat diukur hanya dengan menggunakan alat ukur (ammeter) yang tidak terlalu besar.



Gambar 2.5 Transformator Arus

Dengan mengetahui perbandingan transformasi $1/2$ dan pembacaan ammeter (I_2), arus beban dapat dihitung.

Bila transformator dianggap ideal maka arus beban $I_2 = 1/2 \times I_1$.

Untuk menjaga agar fluks (Φ) tetap tidak berubah, perlu diperhatikan agar rangkaian sekunder selalu tertutup.

Dalam keadaan rangkaian sekunder terbuka I_2 akan sama dengan nol (karena $I_2 = 0$) sedangkan I_1 tetap ada, sehingga fluks normal (Φ) akan terganggu.

Operasi sebuah transformator disebut dalam keadaan ideal, yaitu jika rangkaian sekunder tersebut mempunyai impedansi yang rendah pada saat digunakan sebagai pengukuran atau dalam keadaan dihubungkan singkat.

Tetapi jika sisi sekunder digunakan untuk rel pengaman, biasanya

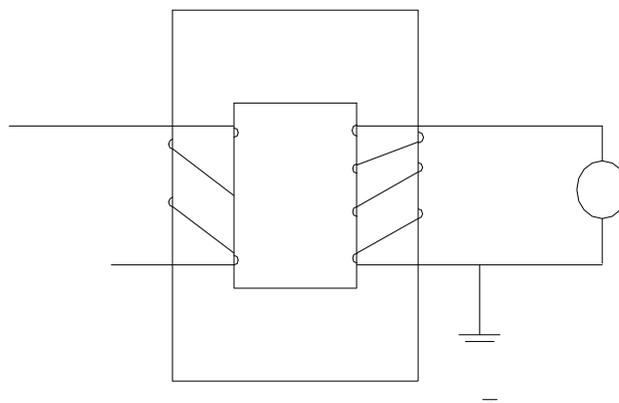
rangkaian tersebut mempunyai harga reaktif yang cukup besar dan dapat menyebabkan transformator arus tersebut mempunyai burder volt-ampere. Adanya burder dapat menyebabkan kesalahan harga perbandingan kesalahan sudut (Zuhal. Dasar Tenaga Listrik. Hal: 50-51)

2.5 Transformator Tegangan

Transformator tegangan digunakan untuk mengukur tegangan. Dengan mengetahui V_1 dan V_2 , membaca tegangan V_2 , serta menganggap transformator ideal maka tegangan V_1 adalah:

$$V_1 = \frac{1}{k} V_2 \dots\dots\dots(2.22)$$

Pentanahan rangkaian sekunder diperlukan untuk mencegah adanya beda potensial yang besar antara kumparan primer dan sekunder (antara lilitan a dan b) Pada saat isolasi kumparan primer rusak.



Gambar 2.6 Transformator Tegangan

2.6 Circuit Breaker (PMT)

Circuit breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk memutuskan hubungan antara sisi

sumber tenaga listrik dan sisi beban yang dapat bekerja secara otomatis ketika terjadi gangguan atau secara manual ketika dilakukan perawatan atau perbaikan. Ketika kontak PMT dipisahkan, beda potensial di antara kontak tersebut menimbulkan medan elektrik di antara kontak tersebut. Medan elektrik ini akan menimbulkan ionisasi yang mengakibatkan terjadinya perpindahan elektron bebas ke sisi beban sehingga muatan akan terus berpindah ke sisi beban dan arus tetap mengalir. Karena hal ini menimbulkan emisi termis yang cukup besar, maka timbul busur api (arc) di antara kontak PMT tersebut. Agar tidak mengganggu kestabilan sistem, maka arc tersebut harus segera dipadamkan. Berdasarkan metode dalam pemadaman arc tersebut, PMT dibagi menjadi beberapa jenis yaitu:

1.6.1 Air circuit breaker (Pemutus daya udara)

PMT jenis ini menggunakan metode yang paling sederhana, yaitu memperpanjang lintasan arc. Karena efek pemanjangan lintasan ini diharapkan arc dapat segera dipadamkan.

1.6.2 Oil circuit breaker (Pemutus daya minyak)

Pada PMT jenis ini, ketika kontak terbuka, arc akan terjadi dengan media sekitar berupa minyak sehingga minyak menguap dan menimbulkan gelembung gas yang menyelubungi arc di antara kontak. Gelembung ini membuat minyak terdekomposisi sehingga menimbulkan gas hidrogen yang menghambat arc. Dengan adanya media minyak ini, diharapkan arc dapat segera dipadamkan. Kelemahan dari penggunaan PMT minyak ini adalah karena minyak mudah terbakar, kekentalan minyak menghambat pemisahan kontak, dan dimensi PMT yang terlalu besar, karena alasan inilah PMT jenis ini jarang dipergunakan untuk wilayah yang hanya menyediakan tempat yang tidak cukup besar.

1.6.2 Air Blast circuit breaker (Pemutus daya udara tekan)

PMT jenis ini dirancang untuk mengatasi kelemahan dari PMT minyak yaitu dengan menggunakan isolator kontak yang tidak mudah terbakar dan tidak

menghambat pergerakan kontak sehingga pemadaman arc dapat dilakukan lebih cepat. Saat kontak terbuka dan arc muncul, udara bertekanan tinggi ditiupkan di antara kontak untuk menyingkirkan partikel bermuatan dari sela antara kedua kontak sehingga membuat arc semakin cepat padam. PMT jenis ini mampu bekerja hingga tegangan 765kV dan arus 40kA. Karena memiliki ukuran yang cukup kecil, maka PMT jenis ini lebih dipilih daripada PMT minyak untuk dipergunakan pada wilayah yang menyediakan tempat yang tidak terlalu besar.

1.6.4 SF6 circuit breaker (Pemutus daya SF6)

PMT jenis ini memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan PMT udara tekan. Perbedaannya terletak pada penggantian penggunaan udara dengan gas SF6 dan sistem yang tertutup dari udara luar. Saat kontak terbuka dan arc muncul, gas SF6 bertekanan tinggi ditiupkan di antara kontak untuk menyingkirkan partikel bermuatan dari sela antara kedua kontak sehingga membuat arc semakin cepat padam. Gas SF6 dipilih karena sifat gas ini yang merupakan bahan isolasi dan pendingin yang baik. Gas ini tidak boleh bocor dan bercampur dengan udara luar, sehingga sistem dibuat tertutup dan gas SF6 yang telah ditiupkan ditampung pada penampung tersendiri. Seperti halnya PMT udara tekan, ukuran PMT SF6 ini juga mendukung PMT ini untuk dapat ditempatkan pada wilayah yang menyediakan tempat yang tidak terlalu besar

2.6.5 Vacum circuit breaker (Pemutus daya vakum)

Pada PMT jenis ini kontak ditempatkan pada suatu bilik yang vakum. Tidak boleh terjadi kebocoran sedikitpun pada bilik ini. PMT vakum. Tidak boleh terjadi kebocoran sedikitpun pada bilik ini. PMT mekanik seperti kontak yang lain. Kontak mekanik akan menyebabkan pergeseran kontak yang memungkinkan terjadinya kebocoran.

Untuk mencegah kebocoran tersebut maka digunakan logam fleksibel berbentuk gelombang yang dapat diperpanjang dan diperpendek. Pada PMT vakum, pemadaman arc dilakukan dengan memperpanjang lintasan serta menghilangkan

molekul udara yang dapat mengalami ionisasi. Untuk saat ini PMT jenis ini mempunyai batas kerja hingga tegangan 38kV saja karena kendala dalam pemakaian logam fleksibel yang digunakan. Pemakaian logam fleksibel menyebabkan jarak antar kontak ketika lepas tidak terlalu jauh, sehingga tegangan kerjanya pun tidak dapat terlalu tinggi. Umumnya ukuran PMT jenis ini sedikit lebih kecil dari PMT udara tekan dan PMT SF6.

2.7 Dasar-Dasar Sistem Proteksi

Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidaknormalan padaperalatan atau bagian sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis member perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian sistem terganggu dan member sinyal berupa lampu dan rel.

Tugas rele proteksi juga berfungsi menunjukkan lokasi dan macam gangguan. Dengan data tersebut memudahkan analisa dari gangguan atau kerusakan, jika dipandang gangguan atau kerusakan tersebut tidak segera membahayakan. Dari uraian diatas maka rele proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk:

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu didalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

Untuk melaksanakan fungsi diatas rele pengaman harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Dapat diandalkan (reliable)
- b. Selektif

- c. Waktu kerja rele cepat
- d. Peka (sensitive)
- e. Ekonomis dan sederhana

Karena adanya kemungkinan kegagalan pada sistem pengaman maka harus dapat di atasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (back protection). Dengan demikian pengaman menurut fungsinya dapat dikelompokkan menjadi:

- a. Pengaman utama yang ada pada umumnya selektif dan cepat, dan malah jenis tertentu mempunyai sifat selektif mutlak misalnya rele differensial.
- b. Pengaman cadangan, umumnya mempunyai perlambatan waktu hal ini untuk memberiakan kesempatan kepada pengaman utama bekerja lebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal, baru pengaman cadangan bekerja dan rele ini tidak selektif pengamn utama.

(Ir.H.Hazairin samaulah, M.Eg.,Ph.D. Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik. Hal : 2-5)

2.8 Proteksi Transformator

Pengaman dengan proteksi atau selisih landasan prinsip bahwa, dengan beberapa asumsi, arus primer dan arus sekunder transformator harus “sama”. Perkataan “sama” ditulis dengan tanda kutip, karena salah satu asumsi adalah bahwa tidak ada rugi-rugi transformator dan juga bahwa rasio perbandingan antara primer dan sekunder adalah satu.

(Abdul Kadir. Transmisi Tenaga Listrik. Hal : 68)

2.8.1 Rele Differensial

System proteksi rele differensial secara universal dipergunakan untuk proteksi pada generator, transformator daya, busbar, dan saluran transmisi. Kesemua system proteksi differensial tersebut berdasarkan pada prinsip “keseimbangan (balance)” atau membandingkan arus-arus sekunder transformator arus yang terpasang pada terminal-terminal peralatan/instalasi listrik yang

diproteksi. Khusus system proteksi rele differensial pada saluran transmisi (kabel tanah ataupun saluran udara tegangan tinggi), dikarenakan problem jarak antara kedua ujung/terminal saluran transmisi tersebut maka, teknik/cara membandingkan arus sekunder transformator arus yang terpasang di kedua ujung/terminal saluran transmisi tidak dapat dilakukan secara langsung. Oleh karena itu system proteksi rele differensial pada saluran transmisi ini merupakan tipe system proteksi rele differensial yang berbeda pada system proteksi rele differensial pada transformator daya. Ciri lain rele differensial ini adalah tidak dapat merubah setting, atau dengan kata lain besar arus yang dapat mengerjakan rele tidak dapat diubah. Ini merupakan kerugian, karena pengaruh arus magnetisasi dari trafo arus pada sisi pertama dan sisi kedua kenyataannya ada dan bila diamankan trafo tenaga, pada saat pemasukan tenaga untuk beban nol timbul arus inrush pada sisi sumber tegangan. Sehingga arus tersebut dapat mengerjakan rele.

Rele differensial mempunyai bentuk yang bermacam-macam tergantung dari peralatan yang diamankan. Pengertian differensial itu sendiri mengandung unsur membedakan satu dengan lainnya. Semua besaran yang masuk ke rele. Batasan rele differensial menurut Mason adalah:

a. Rele arus differensial

Rele arus differensial menggunakan besaran-besaran arus yang masuk dan yang keluar dari peralatan yang diamankan untuk dibandingkan di dalam sirkuit differensial. Setiap perbedaan arus digunakan untuk mengerjakan rele tersebut. Dengan demikian masing-masing fasa dibandingkan.

b. Rele persentase differensial

Telah diuraikan cara kerja arus differensial, maka untuk rele persentase differensial mempunyai ciri kerja yang hampir sama dengan rele arus differensial, hanya saja rangkaian differensialnya melalui kumparan penahan (restining coil). Arus differensial yang diperlukan untuk mengerjakan rele mempunyai besaran yang bervariasi, dengan perkataan lain dimungkinkan adanya setting rele. Arus differensial yang mengalir masuk ke rele sebanding dengan (I_2-12) dan arus yang mengalir dalam

restrain coil sebanding dengan $(I_1 - I_2)/2$ karena kumparan kerja dihubungkan ditengah kumparan penahan (restraining coil)

A. Prinsip kerja rele differensial

Prinsip kerja rele differensial ini adalah dengan membandingkan dua besaran arus pada sisi primer dan arus pada sisi sekunder pada transformator arus (CT) serta arus yang masuk ke rele.

Kerja rele differensial ini dibantu oleh dua buah transformator arus (CT), dimana dalam keadaan normal, transformator arus yang pertama dan transformator arus yang kedua dibuat suatu ratio yang sedemikian rupa, sehingga arus kedua transformator arus tersebut sama besar.

Adapun prinsip kerja rele differensial ini terjadi dalam 3 keadaan, yaitu dalam keadaan normal, keadaan gangguan diluar daerah proteksi dan gangguan didalam daerah proteksi.

B. Pemasangan rele differensial

Didalam pemasangan rele differensial pada transformator daya, sering mengalami kesulitan dalam ketepatan kerja rele, sehingga pada akhirnya rele akan mengalami salah kerja.

Salah kerja pada rele differensial disebabkan oleh hubungan transformator daya sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah sering berbeda, sehingga terjadi pergeseran fasa dan perbandingan transformasi dari transformator, transformator arusnya menjadi tidak sesuai lagi.

Sehubungan dengan pemasangan rele differensial ke transformator daya, maka perlu sekali untuk mengetahui persyaratan pemasangan rele differensial, yaitu :

1. Besar arus yang masuk ke rele sama besar
2. Fasa-fasa arus tersebut harus berlawanan

Untuk terpenuhinya pemasangan rele pada transformator daya, maka diperlukan transformator arus bantu yang berfungsi untuk mencocokkan arus yang masuk ke rele dari masing-masing pihak dan mencocokkan pergeseran fasa dari arus-arus yang masuk ke rele.

C. Fungsi rele differensial

Pengaman rele differensial merupakan alat pengaman utama untuk mengamankan transformator daya terhadap arus hubung singkat yang terjadi didalam kumparan fasa. Terjadi gangguan hubung singkat biasanya disebabkan oleh adanya kerusakan isolasi kawat tersebut, akibat kerusakan yang mungkin terjadi adalah :

1. Hubung singkat antara kumparan fasa satu dengan fasa yang lainnya.
2. Hubung singkat antara masing-masing lilitan dalam satu kumparan.
3. Hubung singkat antara satu fasa ke tanah
4. Hubung singkat antara kumparan sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah.

Dari masing-masing jenis hubung singkat tersebut diatas, rele differensial mempunyai system rangkaian sendiri-sendiri. Diantara nya adalah pengaman rele differensial longitudinal yang digunakan untuk mengamankan transformator daya terhadap arus hubung singkat antara kumparan yang satu dengan kumparan yang lainnya. Pengaman rele differensial transverse untuk mengamankan generator terhadap gangguan antara masing-masing lilitan dalam kumparan fasa. Dari kedua system tersebut pengaman rele differensial longitudinal adalah system yang paling banyak dijumpai pemakaiannya dilapangan. Karena sulitnya pengaman rele differensial ini hanya dipasang pada transformator daya dengan kapasitas yang besar saja.

Untuk menghitung setting rele pada transformator digunakan rumus sebagai berikut:

$$= \frac{I_{kv}}{K_{fk} \times K_d} \times I_b \text{ max} \dots \dots \dots (2.23)$$

Dimana : I_{kv} : Arus kerja primer

K_{fk} : Faktor kemanan (1,1-1,6)

K_d : Faktor arus kembali (0,8-0,85)

$$I_{n \text{ rele}} = I_{kp} \times \text{Ratio CT} \dots \dots \dots (2.24)$$

$$I_{set \text{ rele}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \times I_n \dots \dots \dots (2.25)$$

D. Arus nominal primer dan sekunder

Arus nominal pada transformator daya dapat ditentukan dengan persamaan berikut.:

Arus nominal pada sisi primer:

$$I_{N1} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p} \dots \dots \dots (2.26)$$

Ar us nominal pada sisi sekunder:

$$I_{N2} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_s} \dots \dots \dots (2.27)$$

Dimana:

- I_{N1} = Arus nominal pada sisi primer
- I_{N2} = Arus nominal pada sisi sekunder
- S = Tegangan pada tranformator daya
- V_p = Tegangan pada sisi primer
- V_s = Tegangan pada sisi sekunder

Carlos RS S.T.,M.T. *labolaturium teknik listrik*

2.8.2 Rele Buchholz

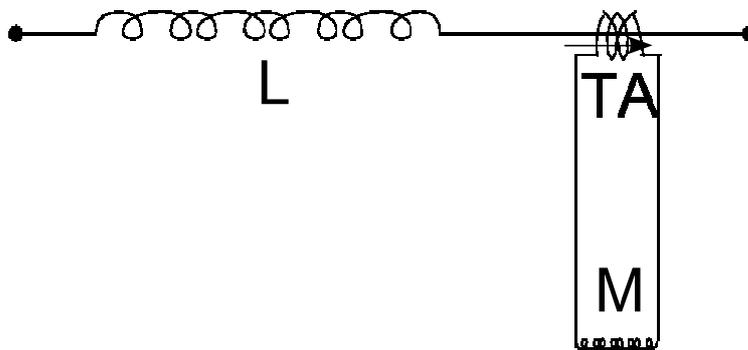
Rele buchholz merupakn sistem proteksi yang khas untuk transformator, khususnya untuk transformator minyak. Bilamana di dalam transformator terjadisuatu gangguan dan minyak akan mengalami pemanasan lebih maka gas akan terbentuk di dalam minyak itu. Terbentuknya gas dapat terjadi secara perlahan-lahan ataupun secara cepat sekali, tergantung dari yang terjadi ataupun secar cepat sekali, tergantung dari gangguan yang terjadi, apakah merupakan gangguan kecil, atau suatu hubungan singkat yang mengakibatkan mengalirnya

suatu arus hubung singkat yang besar. Pembentukan gas itu merupakan alat untuk mendeteksi terjadinya gangguan di dalam bejana transformator.

(Abdul Kadir. *Tranmisi Tenaga Listrik*. Hal :71)

2.8.3 Proteksi Arus Lebih

Bilamana terjadi gangguan, pada umumnya terjadi arus-arus listrik yang lebih besar dari normal, yang dapat merusak peralatan dan mesin listrik. Untuk pengaman, dipergunakan rele arus lebih, sebagaimana terlihat pada gambar dibawah. L adalah kumparan yang diamankan, sedangkan TA transformator arus dan M kumparan rele. Bilamana arus I melampaui suatu nilai tertentu, kumparan M akan memicu terjadinya trip dengan saklar akan bekerja. Pada gambar dibawah proteksi arus lebih digabung dengan proteksi hubungan tanah.



Gambar 2.7 Skema Prinsip Proteksi Arus Lebih

(Abdul Kadir. *Transmisi Tenaga Listrik*. Hal: 75)

2.8.4 Proteksi tegangan lebih

Gangguan dapat terjadi karena suatu bagian sistem tenaga listrik terkena gelombang-gelombang surya. Gelombang surya dapat terbentuk karena cuaca, yaitu petir yang menyambar jaringan transmisi yang kemudian mengalirkannya ke gardu induk terdekat, maka antara lain dapat merusak isolasi transformator. Gelombang surya dapat juga terbentuk karena berbagai manipulasi

saklar yang dilakukan sehingga terjadi gelombang-gelombang tegangan yang diperkuat karena pantulan-pantulan.walaupun waktu kerja gelombang surya sangat singkat, yaitu hanya selama beberapa mikrodetik, akan tetapi karena memiliki tegangan yang sangat tinggi dan jumlah energi yang besar, dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada transformator atau peralatan listrik lainnya.

(Abdul Kadir. Tranmisi Tenaga Litrik. Hal : 77)