

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

1. Liem Ek Bien & Dita Helna, 2007, dengan judul Studi Penyetelan Relai Differensial Pada Transformator PT CHEVRON PACIFIC INDONESIA, ditulis dalam jurnal JETri, volume 6, Nomor 2, Februari 2007, Halaman 41-68, ISSN 1412-0372, penelitian membahas kesalahan pengaturan dan ketidakcocokan rele differensial di gardu induk Central duri di switchgear PT Chevron Pacific Indonesia.
2. Badaruddin & Ridwan Kurnia, 2012, dengan judul Setting Pada Transformator Daya 150/20kv Di Gardu Induk Menes, ditulis dalam jurnal Prosiding SNPPTI 2012 ISBN: 2086-2156, penelitian membahas tentang penyetelan rele differensial yang akan digunakan pada pengaman transformator dengan beberapa tahap perhitungan setting untuk mendapatkan nilai setting.
3. Muhammad irsyam, 2016, dengan judul analisis trouble differensial rela terhadap trip cb 150 kv transformator 30MVA PLTGU panaran, dalam jurnal dimensi 3(2), 2016 [journal.unrika.ac.id](http://journal.unrika.ac.id), penelitian membahas tentang waktu kerja rele dan batas gangguan dalam area pengaman dan pemasangan rele yang sesuai dengan standar.

#### **2.2 Landasan Teori**

##### **2.2.1 Pengertian dan klasifikasi Gardu Induk**



Gambar 2.1 Gardu Induk

Gardu induk merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa sejumlah peralatan pemutus/penghubung aliran arus dan transformator penaik/penurun tegangan yang dipasang di antara dua komponen sistem tenaga listrik lainnya. Gardu induk berfungsi untuk memutus/menghubungkan aliran arus listrik dan menyesuaikan level tegangan sistem-sistem yang dihubungkan. Secara garis besar gardu induk pada sistem tenaga listrik dapat dibedakan berdasar penggunaannya, yaitu gardu induk pembangkit dan gardu induk distribusi.

1. Gardu induk tegangan ekstra tinggi yaitu gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan saluran transmisi dari tegangan extra tinggi ke tegangan tinggi.
2. Gardu induk tegangan tinggi yaitu gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi dari tegangan tinggi pada saluran transmisi ke tegangan tegangan menengah untuk jaringan distribusi.

a. Klasifikasi Gardu Induk berdasar letak peralatannya:

- 1) Gardu Induk pasangan luar:

Gardu Induk jenis pasang luar adalah Gardu Induk yang terdiri dari peralatan tinggi pasang luar, misalnya Transformator, peralatan penghubung (switch gear) yang mempunyai peralatan control pasang dalam seperti meja penghubung (switch board).



Gambar 2.2 Gardu Induk pasangan luar

Pada umumnya, gardu induk untuk transmisi yang mempunyai kondensator pasangan dalam dan sisi tersier transformator utama dan

transformator pasangan dalam disebut juga sebagai pasangan luar. Jenis gardu ini memerlukan tanah yang luas akan tetapi biaya konstruksinya murah dan pendinginnya mudah. Oleh karena itu biasanya gardu induk jenis ini dipasang dipinggiran kota.

2) Gardu Induk pasangan dalam

Gardu Induk jenis pasang dalam adalah semua komponen yang berada pada gardu induk terpasang didalam, meskipun ada beberapa sejumlah kecil peralatan terpasang diluar.



Gambar 2.3 Gardu Induk pasangan dalam

Gardu induk ini dipakai dipusat kota, dimana harga suatu lokasi sangat tidak relevan (mahal) dan biasa digunakan untuk menghindari kebakaran dan gangguan suara

3) Gardu Induk setengah pasangan luar: dengan pertimbangan di antara 2 di atas Gardu Induk pasangan bawah tanah

Gardu Induk jenis pasang setengah pasang luar adalah gardu induk yang sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang didalam gedung. Gardu ini juga dapat dikatakan sebagai jenis setengah pasang dalam. Biasanya jenis gardu ini bermacam-macam bentuknya dengan berbagai pertimbangan yang sangat ekonomis serta pencegahan kontaminasi garam.

#### 4) Gardu Induk mobile

Gardu induk jenis mobil yaitu dimana gardu jenis ini dilengkapi dengan peralatan diatas kereta hela (trailer). Gardu ini biasa digunakan jika ada gangguan disuatu gardu lain maka digunakan gardu jenis ini guna pencegahan beban lebih berkala dan juga biasa digunakan pada pemakaian sementara dilokasi pembangunan tenaga listrik. Maka dapat dikatakan bahwa gardu ini tidak dijadikan sebagai gardu utama melainkan sebagai gardu induk cadangan (sebagai penghubung yang dapat berpindah-pindah)

#### b. Klasifikasi Gardu Induk berdasar Isolasi Busbar:

- 1) Gardu Induk Konvensional adalah Gardu Induk yang peralatan instalasinya berisolasi udara bebas karena sebagian besar peralatannya terpasang di luar gedung (switch yard) dan sebagian kecil di dalam gedung (HV cell, dll) dan memerlukan areal tanah yang relatif luas
- 2) Gardu Induk GIS (Gas Insulated Switchgear) adalah suatu gardu induk yang semua peralatan switch-gearnya berisolasi gas SF-6, karena sebagian besar peralatannya terpasang di dalam gedung dan dikemas dalam tabung.



Gambar 2.4 Gardu Induk GIS (Gas Insulated Switchgear)

#### c. Klasifikasi Gardu Induk berdasar Peralatan:

- 1) Transformator utama: untuk menaikkan/menurunkan tegangan
- 2) Peralatan penghubung: pemutus arus dan pemisah

- 3) Panel hubung dan transformator pengukuran: transformator arus dan transformator tegangan
- 4) Peralatan perlindungan: arester dan pentanahan
- 5) Bangunan Sipil: tower, ruang kontrol dan ruang staf

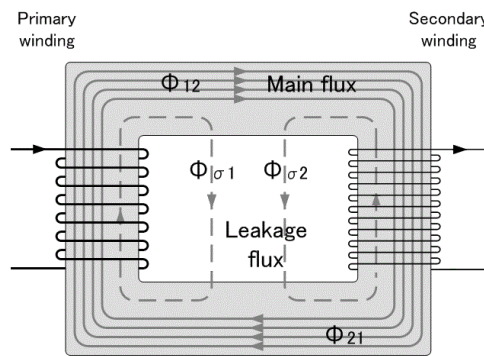
Peralatan penghubung dan pemutus tenaga atau Circuit Breaker (PMT/CB) digunakan untuk memutus rangkaian baik dalam keadaan normal maupun gangguan. Kapasitas peralatan penghubung dan pemutus tenaga harus mampu beroperasi pada saat terjadi gangguan, baik gangguan arus lebih, tegangan lebih maupun hubung singkat. Untuk menghindari panas berlebihan yang timbul akibat loncatan bunga api yang berasal dari arus pemutusan atau ketika penutupan, diperlukan pendingin, ada yang menggunakan minyak, semburan gas atau yang lainnya.

Saklar Pemisah atau Disconnecting Switch (PMS/DS) yang dipasang seri dengan pemutus tenaga digunakan untuk memisahkan rangkaian gardu induk dari sistem saluran transmisi maupun sistem distribusi. Perbedaannya dengan pemutus tenaga adalah kontak pemisah berada di tempat terbuka sehingga nampak jelas posisi kontakannya terputus atau terhubung, sedang pemutus tenaga biasanya berada pada tabung tertutup. Dari kemampuan memutus arus, pemisah hanya dioperasikan bila pemutus tenaga pada posisi terbuka sehingga diharapkan tidak terjadi loncatan bunga api ketika terjadi pemutusan atau penutupan, sebagaimana yang terjadi pada pemutus tenaga.

### **2.2.2 Transformator**

Sesuai dengan fungsi transformator yaitu untuk menaikkan atau menurunkan tegangan, maka transformator pada sistem tenaga listrik dipasang di antara dua sistem yang mempunyai level tegangan yang berbeda. Sebagai contoh pada kedua ujung saluran transmisi. Pada ujung pengiriman atau sisi pembangkit dipasang transformator penaik tegangan, sedang pada sisi penerima dipasang transformator penurun tegangan.

## 1. Prinsip kerja transformator



Gambar 2.5 Rangkaian Fluks Magnet

Seperti tampak pada gambar di atas, pada prinsipnya transformator tersusun dari dua buah lilitan yang dipasang pada sebuah inti besi. Salah satu kumparan, biasanya digambarkan di sebelah kiri, dihubungkan dengan tegangan masukan kemudian disebut lilitan primer atau lilitan pada sisi sumber. Sedang lilitan yang lain yang disebelah kanan yang prinsip kerja transformator memanfaatkan gejala elektromagnetik dan induksi elektromagnetik, dan dapat diceritakan sebagai berikut:

- Bila kumparan primer diberi tegangan bolak-balik, maka pada kumparan tersebut akan timbul medan magnet yang berubah-ubah. Kekuatan medan magnet yang timbul ini dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada kumparan itu.
- Flux magnet yang terjadi akan mengalir melalui inti besi sampai ke kumparan sekunder.
- Selanjutnya pada kumparan sekunder konduktor akan terkena medan magnet yang berubah-ubah yang berasal dari kumparan primer yang mengakibatkan terjadi tegangan induksi antara kedua ujung kumparan sekunder.
- Bila kumparan sekunder dirangkai dengan beban maka pada rangkaian sekunder akan mengalir arus dan tentu juga ada tegangan sekunder. Perbandingan tegangan pada rangkaian primer dengan tegangan pada rangkaian sekunder sesuai dengan perbandingan jumlah lilitannya masing.

## 2. Pertimbangan tentang proteksi transformator

Proteksi transformator yang diatur dalam standar SPLN T5\_003-1:2010 No. 5 Pola proteksi Transformator Tenaga adalah proteksi transformator tenaga bertegangan primer 66 kV, 150 Kv, 275 Kv dan 500 Kv. Dengan mengingat kemungkinan terjadinya gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan transformator, maka perlu disusun kebutuhan rele proteksi transformator.

Beberapa factor pertimbangan dalam menentukan pola proteksi transformator antara lain:

### a. Peranan dalam system

Transformator tenaga 500 kV dan 275 Kv memiliki peranan sangat penting dalam sistem tenaga listrik, maka diperlukan keandalan dan kesiapan operasi sehingga dibutuhkan sistem proteksi utama yang berlapis (redundent)

### b. Potensi gangguan pada transformator

Proteksi transformator dimaksudkan untuk mencegah kerusakan transformator yang lebih parah akibat gangguan di dalam maupun di luar bay transformator. Proteksi gangguan pada transformator (SPLN T5.003-1 : 2010):

- 1) Beban lebih
- 2) Penurunan unjuk kerja transformator yang disebabkan umur
- 3) Hubung singkat di dalam bay transformator akibat kerusakan peralatan seperti penangkap petir (lightning arrester), transformator arus, pemutus tenaga (PMT), pemisah (PMS), kabel dan terminasinya.
- 4) Arus hubung singkat yang benar akibat gangguan disisi sekunder atau diluar bay transformator
- 5) Kerusakan belitan transformator
- 6) Kegagalan isolasi pada bushing transformator
- 7) Gangguan pada kontak-kontak geser pengubah sadapan (OLTC)

## 3. Jenis gangguan transformator

### a. Gangguan internal

Gangguan Internal, merupakan gangguan yang disebabkan oleh transformator itu sendiri

- 1) Gangguan Hubung Singkat
  - a) Gangguan antar Fasa
  - b) Gangguan Fasa ke Tanah
- 2) Bushing TM/TR dan packing body yang kurang kencang / kendur
- 3) Gangguan Sistem Pendingin
- 4) Penyambungan Kumparan yang kurang baik
- 5) Kerusakan isolasi
- b. Gangguan eksternal
  - 1) Gangguan Hubung Singkat pada penyulang (feeder), rel, dan incoming feeder
  - 2) Pembebanan transformator yang tidak seimbang, melebihi dari kapasitas 80% kapasitas daya transformator
  - 3) Semakin besarnya kebutuhan listrik pada konsumen dan semakin bertambahnya juga beban / konsumen, menyebabkan transformator sebagai pemasok energi listrik pada suatu jaringan tegangan rendah mengalami Over Load atau beban lebih. Beban lebih yang terjadi seringkali secara perlahan dalam periode waktu tertentu menimbulkan kerusakan pada transformator
  - 4) Sistem pemeliharaan yang kurang tepat
  - 5) Pemeliharaan yang tidak rutin dan tidak terencana, metode yang salah dapat mengurangi keandalan transformator
  - 6) Cuaca dan lokasi penempatan transformator
  - 7) Cuaca yang buruk dapat mengakibatkan berkurangnya keandalan transformator.

### **2.2.3 Proteksi**

#### **1. Fungsi Proteksi**

Fungsi proteksi adalah memisahkan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi dengan cara mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya, melepaskan bagian sistem yang terganggu, dan memberitahu operator adanya gangguan serta lokasinya. Ada beberapa



kriteria yang perlu diketahui pada pemasangan suatu sistem proteksi dalam suatu rangkaian sistem tenaga listrik yaitu :

a. Perangkat proteksi

Terdapat beberapa cara yang dapat dan sering digunakan dalam mendefinisikan perangkat proteksi sistem tenaga listrik yang secara umum adalah sebagai berikut:

- 1) Sistem proteksi adalah susunan penrangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat-perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi tertentu berdasarkan pripsi-prinsip proteksi sesuai dengan definisi yang terdapat pada standar IEC 6255-20
- 2) Perangkat proteksi adalah kumpulan atau koleksi perangkat proteksi seperti sekring, rele, dan lain-lainnya di luar perangkat transformator arus perangkat pemutus tenaga yang biasa dingkat PMT, kontakto, dan lainnya.
- 3) Skema proteksi adalah kumpulan darfi perangkat protekteksi yang berfungsi untuk melakukan proteksi dimkana semua perangkat yang termasuk dalam untuk proteksi dimna semua perangkat yang termasuk dalam sistem proteksi didalamnya seperti rele, transformator arus, transformator tegangan, PMT, baterai, lain sebagainya.

Namun dalam rangka memenuhi keperluan proteksi efektif yang memenuhi kriteria cepat, selektif dan stabil yang dapat disetel sesuai dengan konfigurasi jaringan, kondisi operasi yang berbeda-beda dan factor lain seperti konstruksi dan ukuran sistem tenaga yang juga berbeda-beda, maka satu rele proteksi sayangnya dapat dibuat untuk berespon terhadap berbagai perubahan besaran listrik. Sedangkan simbol-simbol standar yang digunakan untuk menggambarkan berbagai fungsi rele dalam diagram sistem proteksi sesuai dengan standar IEC dan IEEE/ANSI diringkas dan disajikan.

b. Zona Proteksi

Untuk membatasi luasnya daerah sistem tenaga yang harus diisolasi bila terjadi gangguan maka sistem proteksi tenaga listrik dibuat secara selektif berdasarkan daerah atau zona proteksi. Idealnya zona proteksi harus

saling tumpang-tindih (*overlap*) sedemikian sehingga tidak ada bagian jaringan yang tidak teramankan. Kebutuhan ini misalnya dapat diimplementasikan dengan meletakkan dua transformator arus yang mengapit PMT. Dalam praktiknya pemasangan transformator arus dilakukan hanya pada satu sisi PMT, yaitu dengan menggunakan satu transformator arus dengan dua atau lebih kumparan sekunder.

c. Faktor keandalan

1) Perancangan

Desain atau perancangan sistem proteksi adalah tahapan atau proses yang sangat penting yang dapat menentukan baik tidaknya suatu sistem proteksi. Sistem proteksi tersebut harus senantiasa berada pada posisi siaga (*standby*) pada waktu kondisi normal, tidak ada gangguan yang harus ditanggulangi.

2) Setelan

Setelan rele (arus dan waktu) juga merupakan salah satu factor yang sangat penting dalam aplikasi proteksi sistem tenaga listrik. Perlu juga dipertimbangkan bahwa jaringan sistem tenaga bias berubah seiring dengan perubahan waktu mengikuti perubahan beban, jenis dan meningkatnya jumlah pembangkit baru yang terhubung dengan jaringan, perkembangan perkotaan, dan lain sebagainya sebagai factor yang diperlukan pula diperhatikan pada waktu penyetelan rele. Oleh karena itu secara periodik setelan rele proteksi harus ditinjau secara berkala dan kalau perlu ditala ulang mengikuti perkembangan sistem sehingga alat proteksi tersebut senantiasa siap kerja sesuai realnya.

3) Instalasi

Instalasi sistem proteksi juga merupakan factor yang sangat penting dan harus dilakukan secara benar dan rapi mengikuti prosedur instalasi sesuai standar instalasi yang berlaku.

d. Pengetesan

Pengetesan rele proteksi merupakan suatu tahapan yang juga sangat penting dan harus dilakukan secara lengkap, mencakup semua aspek skema proteksi, khususnya sebelum jaringan sistem tenaga dioperasikan.

Sebelum pengetesan di lakukan, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan kesesuaian wiring instalasi dengan gambar-gambar yang tersedia.

e. Pemburukan

Meskipun pada awal pengoprasian instalasi sistem semua berjalan dengan baik, namun seiring perjalanan waktu maka factor penuaan peralatan dapat mengambil peranan dalam menentukan kesalahan operasi. Agar pengetesan dapat dilakukan tanpa gangguan sistem koneksi atau dalam keadaan operasi (on load test) maka dalam instalasi selalu disediakan terminal-terminal atau test block yang diperlukan untuk pengetesan. Test block tersebut dapat digunakan sebagai terminal test dimana para teknisi tidak pernah mencabut satu atau lebih wiring dari tempatnya. Rangkaian penting yang rawan perlu diperlengkapi dengan perangkat supervise secara terus-menerus sebagaimana banyak dilakukan pada rangkaian trip cicuit breaker atau saluran kabel pilot. Rele numerik umumnya sudah dilengkapi dengan fasilitas pengujian diri atau self test yang bias membantu teknisi melakukan perbaikan yang diperlukan. Pada jenis rele ini, kegagalan atau indikasi gangguan dapat dikirimkan secara remot ke pusat pengendalian sistem tenaga listrik sehingga dengan demikian dapat dilakukan perbaikan secara tepat.

f. Kinerja Proteksi

Keandalan lengkap tidak mungkin tercapai hanya dengan melakukan perbaikan konstruksi rele proteksi. Bila level keandalan suatu perangkat suatu perangkat proteksi tersebut. Idealnya, proteksi utama dibuat secara independen dan dirancang dapat bekerja mandiri untuk melakukan fungsi tertentu sesuai kebutuhan.

g. Selektivitas

Selektivitas suatu sistem proteksi jaringan tenaga adalah kemampuan rele proteksi untuk melakukan tripping secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain sistem proteksi

1) Waktu bertingkat

2) Sistem unit proteksi

Unit proteksi adalah sistem yang dirancang untuk mengamankan satu segmen jaringan berdasarkan daerah proteksinya

h. Stabilitas

Stabilitas sistem proteksi biasanya terkait dengan skema unit proteksi yang dimaksudkan untuk menggambarkan kemampuan sistem proteksi tertentu untuk tetap bertahan pada karakteristik kerjanya dan tidak terpengaruh faktor luar di luar daerah proteksinya, misalnya pada arus beban lebih dan arus gangguan lebih. Dengan kata lain, stabilitas dapat juga didefinisikan sebagai kemampuan untuk tetap konsisten hanya bekerja pada daerah proteksi dimana dia dirancang tanpa terpengaruh oleh berbagai parameter luar yang tidak merupakan besaran yang tidak perlu dihitung.

i. Kecepatan

Fungsi sistem proteksi adalah untuk mengisolasi gangguan secepat dan sesegera mungkin. Tujuan utamanya adalah mengamankan kontinuitas pasokan daya dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut. Dengan demikian proteksi harus bekerja secepat mungkin. Di sini kecepatan kerja rele proteksi hanya dibatasi kemampuan untuk tetap dapat bekerja secara tepat dan teliti. Bila hanya mengandalkan waktu kerja secara bertingkat maka akan ada bagian saluran yang seharusnya perlu diamankan secara cepat namun tidak mendapatkan perlindungan sebagaimana mestinya.

j. Sensitivitas

Sensitivitas adalah istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, seperti level arus minimum tegangan, daya dan besaran lain, dimana rele dan skema proteksi masih dapat bekerja dengan baik. Semakin kecil VA yang dibutuhkan maka rele elektromekanik tersebut semakin sensitif. Pada rele numerik, sensitivitas tidak dikaitkan lagi dengan perangkat kerasnya tetapi lebih pada aplikasi dan parameter transformator arus (*CT-current transformer*) atau transformator tegangan (*CV-current voltage*) yang digunakan.

k. Keluaran perangkat rele

Berbagai jenis kontak yang biasanya terdapat pada rele proteksi adalah sebagaimana dibahas dibawah ini :

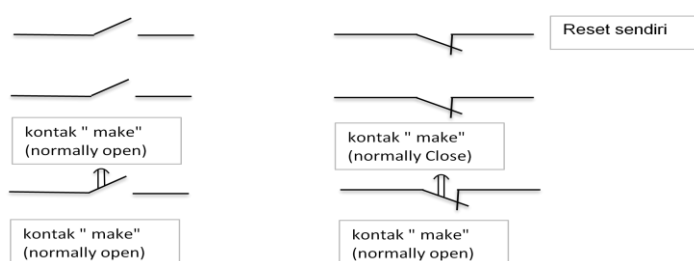
1) Sistem kontak

Rele ini dilengkapi dengan berbagai sistem kontak yang akan menghasilkan keluaran tripping dan untuk keperluan indikasi, baik remote maupun untuk keperluan lokal. Terdapat berbagai jenis kontak yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut, yaitu sebagai berikut :

a) Reset otomatis (*self reset*)

b) Reset manual atau secara elektrik

Sebuah kontak *make* adalah kontak yang akan tertutup pada waktu rele sedang keadaan *pick up*, sementara itu *break contact* adalah keadaan tertutup bila rele kehilangan catu daya (*de-energise*) dan terbuka bila rele *pick up*, contoh konversi ini dapat diperlihatkan pada gambar dibawah.



Gambar 2.6 Jenis-Jenis Kontak

2) Indikator-indikator kerja

Rele proteksi biasanya dilengkapi dengan indicator yang berguna untuk menunjukkan status kerja rele tersebut. Indicator tersebut disebut flag namun tidak setiap rele perlu dilengkapi dengan flag. Biasanya flag hanya muncul pada waktu terjadi tripping. Indicator, dengan beberapa pengecualian, biasanya terdiri dari *bistable* rele dsan bisa digerakkan secara mekanis ataupun secara elektrik.

3) Tripping circuit

Rangkaian tripping adalah salah satu komponen yang sangat penting dalam proteksi sebab walaupun sederhana namun kelalaian pada

waktu perancangan dapat mengakibatkan kegagalan yang pada akhirnya bias berakibat fatal atas sistem tenaga listrik. Dalam praktiknya konak rel;e sering dilindungi dari kerusakan akibat salah kerja. Terdapat tiga jenis rangkaian pelindung yang umum digunakan, yaitu perlindungan seri, penguatan paralel, dan penguatan paralel dengan perlindungan seri yang masing-masing dapat digambarkan sebagai berikut pada gambar.

#### 4) Pemantauan rangkaian trip

Rangkaian trip sistem-sistem tenaga listrik adalah rangkaian kendali yang sangat penting yang setiap saat kalau diperlukan harus siap untuk melakukan tripping terhadap gangguan yang setiap saat bisa terjadi. Berbeda dengan \_rangkaian kendali untuk menutup PMT, rangkaian trip pemutus tenaga sistem tenaga listrik adalah rangkaian yang dirancang tidak boleh gagal bila sewaktu-waktu diperlukan untuk melaksanakan perintah trip, khususnya yang disebabkan oleh gangguan. Oleh karena itu untuk menjamin rangkaian tersebut tersedia setiap saat, kondisi dan integritas rangkaian tersebut perlu dipantau sehingga kalau ada gangguan pada rangkaian akan dapat segera diberitahukan kepada operator sehingga dapat langsung diperbaiki seperlunya.

#### 2. Waktu Kerja Rele

Rentang waktu sejak gangguan muncul sampai dengan saat kontak keluaran rele terhubung (mengeluarkan perintah trip) (SPLN T5.002-1:2010)

#### 3. Zona Proteksi

Bagian dari jaringan sistem tenaga, dimana telah diaplikasikan proteksi tertentu.(IEV 448-11-05) Setiap Zona Proteksi Dibatasi Oleh PMT.

#### 4. Sistem Proteksi

##### a. Proteksi Utama (Main)

- 1) Bekerja tanpa tunda waktu (instantenous)
- 2) Bekerja tanpa berkoordinasi dengan proteksi lain
- 3) Bekerja akibat gangguan internal transformator

4) Unit proteksi biasanya adalah proteksi utama, contoh:

- a) Differensial generator
- b) Differensial transformator
- c) Differensial busbar
- d) Differensial penghantar

5) Contoh lain: Zone-1 Distance Relay

b. Proteksi Cadangan

- 1) Cadangan lokal (dicadangkan bekerja apabila proteksi utama gagal bekerja), Contoh : OCR/GFR tidak berarah
- 2) Cadangan jauh (dicadangkan bekerja apabila proteksi utama GI dihadapannya gagal bekerja), contoh : Zone-2,3 Distance Rele
- 3) Setting waktu cadangan lokal dan jauh harus dikoordinasikan dengan proteksi utama
- 4) Cadangan jauh bekerja lebih dulu dari cadangan lokal
- 5) Cadangan lokal juga berfungsi sebagai cadangan akhir demi keselamatan peralatan
- 6) Cadangan jauh juga diaplikasikan pada TET

5. Rele Proteksi

Perlengkapan untuk mendeteksi gangguan atau kondisi ketidaknormalan pada sistem tenaga listrik, dalam rangka untuk membebaskan/mengisolasi gangguan, menghilangkan kondisi tidak normal, dan untuk menghasilkan sinyal atau indikasi (SPLN T5.002-1:2010)

6. Klasifikasi Rele

Rele Berasal dari teknik telegrafi, dimana sebuah coil di-energize oleh arus lemah, dan coil ini menarik armature untuk menutup kontak. Rele merupakan jantung dari proteksi sistem TL, dan telah berkembang menjadi peralatan yang rumit. Rele dibedakan dalam dua kelompok :

- a. Komparator : Mendeteksi dan mengukur kondisi abnormal, dan membuka / menutup kontak (trip).
- b. Auxiliary relays : Dirancang untuk dipakai di auxiliary circuit yang dikontrol oleh rele komparator serta dapat

membuka dan menutup kontak-kontak lain (yang umumnya berarus kuat).

Klasifikasi Rele berdasarkan fungsinya yaitu:

- a. Overcurrent relay Rele ini berfungsi mendeteksi kelebihan arus yang mengalir pada zona proteksinya.
- b. Differential relay Rele ini bekerja dengan membandingkan arus sekunder transformator arus (CT) yang terpasang pada terminal-terminal peralatan listrik dan rele ini aktif jika terdapat perbedaan pada arus sirkulasi.
- c. Directional relay Rele ini berfungsi mengidentifikasi perbedaan fasa antara arus yang satu dengan yang lain atau perbedaan fasa antar tegangan. Rele ini dapat membedakan apakah gangguan yang terjadi berada di belakang (reverse fault) atau di depan (forward fault).
- d. Distance relay Rele ini berfungsi membaca impedansi yang dilakukan dengan cara mengukur arus dan tegangan pada suatu zona apakah sesuai atau tidak dengan batas setting-nya
- e. Ground fault relay Rele ini digunakan untuk mendeteksi gangguan ke tanah atau lebih tepatnya mengukur besarnya arus residu yang mengalir ke tanah.

Keadaan Operasi Rele Operate: Kondisi dimana relay tersebut memerintahkan peralatan proteksi untuk bekerja Pick-up: Kondisi saat relay mulai mendeteksi adanya kenaikan arus atau tegangan pada sistem Drop-out: Kondisi dimana relay tidak merasakan gangguan lagi. Pada kondisi ini, relay membuka normally open contact Reset: Kondisi dimana relay dikembalikan ke keadaan semula (reset relay flag). Pada kondisi ini Rele menutup kontak dari rele closed contact.

## 7. Skema proteksi utama

Dalam penerapan pola proteksi transformator (SPLN T5.003-1:2010), Jenis proteksi dibagi atas 2 bagian yaitu:

- a. Proteksi mekanik dan deteksi panas (Thermal Detection)

Metode proteksi rele ini adalah deteksi gangguan transformator yang tidak dapat terukur oleh rele elektrik (IEEE Std C37.91-2000). Untuk mendeteksi nilai-nilai yang tidak terukur tersebut bias dilakukan dengan



dua metode deteksi kondisi gangguan/ ketidak normalan transformator. Yaitu metode deteksi mekanis dan metoda deteksi termal.

Metode deteksi mekanis mencakup pendeteksian gangguan / ketidak normalan kondisi transformator melalui:

- 1) Akumulasi gas selama terjadi dekomposisi insulasi transformator atau minyak yang lambat
- 2) Kenaikan minyak tangki atau tekanan gas akibat gangguan di internal transformator

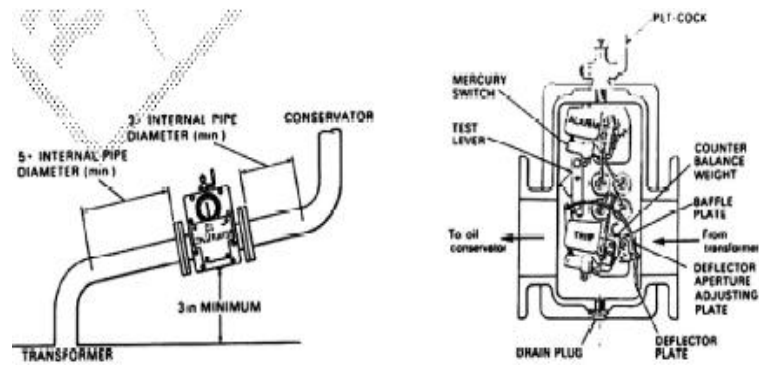
Sementara untuk deteksi termal didefinisikan sebagai pendeteksian kondisi transformator dalam kondisi overheat. Beberapa factor yang menyebabkan transformator overheat adalah sebagai berikut:

- 1) Ambien temperature tinggi
- 2) Kegagalan sistem pendingin transformator
- 3) Gangguan luar yang tidak segera diisolasi
- 4) Beban lebih
- 5) Kondisi ketidak normalan sistem seperti frekuensi rendah, tegangan tinggi, beban nonsinusoidal atau ketidakseimbangan tegangan fasa akibat overheat.

Untuk mendeteksi hal tersebut diatas maka transformator dengan rele mekanik dan termal, yaitu:

a) Rele Bucholz

Rele bucholz bekerja dengan cara mendeteksi akumulasi gas dan atau aliran minyak dari tangki utama menuju konsektor. Rele ini dipasang dalam pipa yang menghubungkan tangki utama dengan konsektor. Rele ini mempunyai pelampung ganda, pelampung atas bereaksi terhadap gas yang terakumulasi yang kemudian mengerjakan kontak alarm, pelampung bawah bereaksi terhadap aliran minyak yang kemudian mengerjakan kontak trip. Untuk lebih jelasnya mengenai rele bucholz dapat dilihat di gambar dibawah ini.



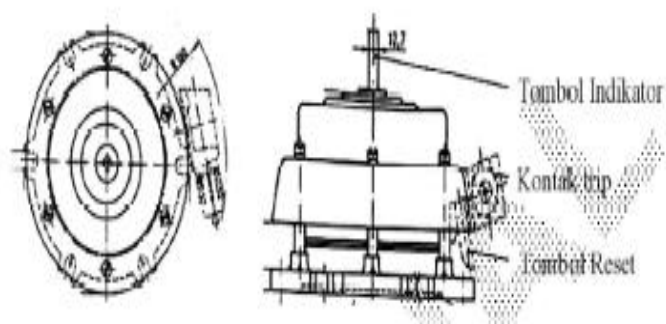
Gambar 2.7 Rele Bucholz

b) Rele tekanan lebih OLTC (jansen)

Prinsip kerja rele ini sama dengan rele bucholz tapi hanya mempunyai satu pelampung yang bereaksi terhadap aliran minyak (mengerjakan kontak trip). Rele ini dipasang antara tangki OLTC dengan konsevator OLTC.

c) Rele tekanan lebih

Rele ini berfungsi untuk mendeteksi kenaikan tekanan minyak yang terjadi mendadak di dalam tangki utama transformator dan langsung mengerjakan kontak trip. Pada gambar dibawah memperlihatkan rele tekanan lebih.

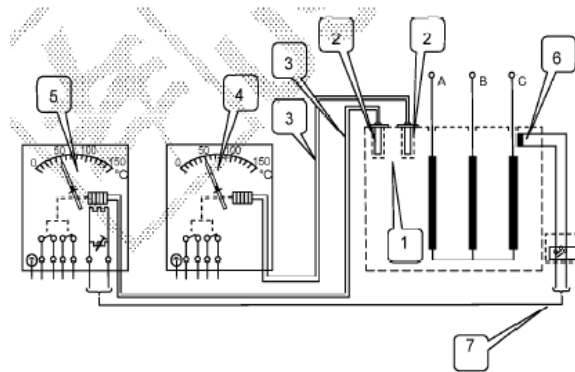


Gambar 2.8 Rele tekanan lebih

d) Rele suhu minyak

Rele ini berfungsi untuk mencegah / mengamankan transformator dari kerusakan isolasi belitan akibat adanya panas berlebih. Rele ini

bekerja dengan cara mendeteksi suhu minyak secara langsung, yaitu menggunakan sensor suhu yang di tempatkan top tank. Rele ini dilengkapi dengan dua setelan, yaitu setelan tap dan setelan alarm. Skema peralatan pengukuran yang dimaksud dapat dilihat pada gambar 1 SPLN T5.003-1:2010 seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 Skema peralatan rele suhu minyak & rele suhu belitan

Keterangan :

- 1) Bulb sensor suhu
- 2) Sensor suhu minysk
- 3) Pipa kapiler
- 4) Thermometer suhu minyak
- 5) Thermometer suhu belitan
- 6) Transformator arus untuk sensor suhu belitan
- 7) Kabel CT

CATATAN : Rele suhu minyak tidak dikompensasikan dengan CT

#### e) Rele suhu belitan

Rele suhu belitan berfungsi untuk mencegah/mengamankan transformator dari kerusakan isolasi belitan akibat adanya panas berlebih pada belitan. Rele ini bekerja dengan cara mendeteksi suhu belitan secara tidak langsung, yaitu menggunakan sensor suhu seperti pada butir 6.1.1 SPLN T5.003-1:2010 atau pada butir pertama diatas yang dilengkapi dengan kompensasi arus beban. Rele dilengkapi dengan dua setelan, yaitu setelan trip dan setelan alarm. Skema peralatan pengukuran dimaksud dapat dilihat pada gambar diatas.

### b. Proteksi Elektrik

Proteksi elektrik adalah rele yang mengambil parameter pengukuran besaran analog listrik yaitu tegangan dan arus.

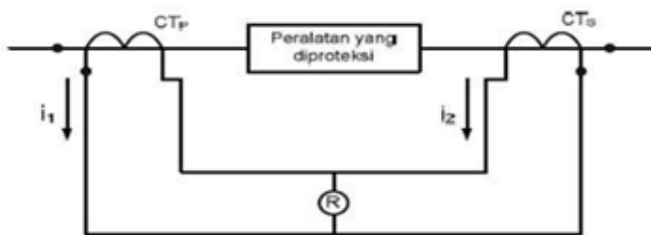
## 1) Rele Differensial

## Pengertian Relai Differensial

Relay differensial merupakan suatu relay yang prinsip kerjanya berdasarkan kesimbangan (*balance*), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus (CT) terpasang pada terminal-terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan. Penggunaan relay differensial sebagai relay pengaman, antara lain pada generator, transformator daya, bus bar, dan saluran transmisi. Relay differensial digunakan sebagai pengaman utama (*main protection*) pada transformator daya yang berguna untuk mengamankan belitan transformator bila terjadi suatu gangguan. Relay ini sangat selektif dan sistem kerjanya sangat cepat.

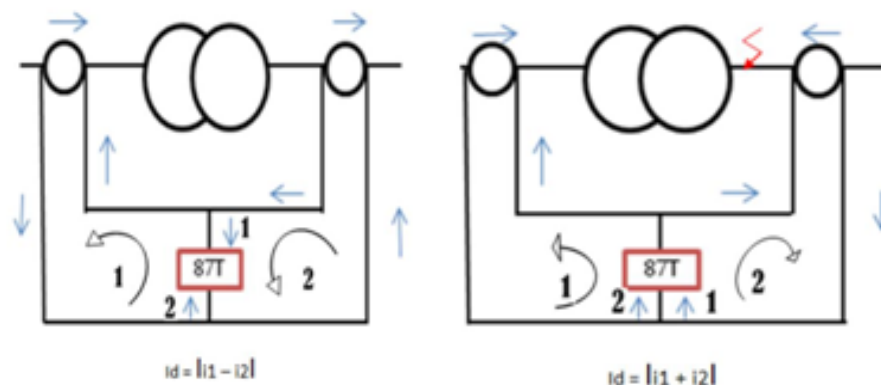
## Prinsip Kerja Relai Differensial

Sebagaimana disebutkan diatas, Relay differensial adalah suatu alat proteksi yang sangat cepat bekerjanya dan sangat selektif berdasarkan keseimbangan (*balance*) yaitu perbandingan arus yang mengalir pada kedua sisi trafo daya melalui suatu perantara yaitu trafo arus (CT). Dalam kondisi normal, arus mengalir melalui peralatan listrik yang diamankan (generator, transformator dan lain-lainnya). Arus-arus sekunder transformator arus, yaitu I1 dan I2 bersikulasi melalui jalur IA. Jika relay pengaman dipasang antara terminal 1 dan 2, maka dalam kondisi normal tidak akan ada arus yang mengalir melaluinya. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



*Gambar 2.10 Pengawatan Dasar Relay Differensial*

Jika terjadi gangguan diluar peralatan listrik peralatan listrik yang diamankan (*external fault*), maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan tetapi sirkulasinya akan tetap sama dengan pada kondisi normal, sehingga relay pengaman tidak akan bekerja untuk gangguan luar tersebut. Jika gangguan terjadi didalam (*internal fault*), maka arah sirkulasi arus disalah satu sisi akan terbalik, menyebabkan keseimbangan pada kondisi normal terganggu, akibatnya arus ID akan mengalir melalui relay pengaman dari terminal 1 menuju ke terminal 2. Selama arus-arus sekunder transformator arus sama besar, maka tidak akan ada arus yang mengalir melalui kumparan kerja (*operating coil*) relay pengaman, tetapi setiap gangguan (antar fasa atau ke tanah) yang mengakibatkan sistem keseimbangan terganggu, akan menyebabkan arus mengalir melalui *Operating Coil* relay pengaman, maka relai pengaman akan bekerja dan memberikan perintah putus (*tripping*) kepada *circuit breaker* (CB) sehingga peralatan atau instalasi listrik yang terganggu dapat diisolir dari sistem tenaga listrik. Seperti gambar dibawah ini :

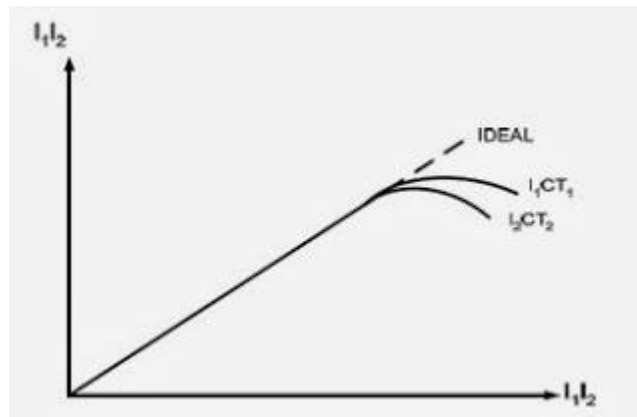


Gambar 2.11 Sistem Pengaman Relay Differensial

#### Tinjauan Beberapa Masalah Terhadap Relay Differensial

##### 1. Karakteristik CT

Relay differensial dalam operasinya bahwa dalam keadaan normal atau terjadi gangguan diluar daerah pengamanannya arus pada relay sama dengan nol. Karena itu kemungkinan salah kerja dari relay differensial dapat terjadi, arus yang dapat menyebabkan relay salah kerja tersebut dinamakan arus ketidakseimbangan. Bila suatu arus yang besar mengalir melalui suatu trafo arus maka arus pada terminal sekunder tidak lagi linear terhadap arus primer. Hal ini disebabkan kejenuhan pada intinya. Pada relay differensial trafo arusnya harus identik, namun kejenuhan intinya tidak dapat sama betul. Hal ini disebabkan perbedaan beban dari masing-masing trafo arus tersebut. Karakteristik Trafo Arus pada relay differensial, seperti gambar berikut ini :



Gambar 2.12 Karakteristik Trafo Arus (CT) Pada Relay Differensial

## 2. Perubahan Sadapan Berbeban

Pada saat ini umumnya transformator sudah dilengkapi dengan pengubah sadapan berbeban dimana tap input dapat dirubah untuk mendapatkan output yang dikehendaki. Penyetelan dari trafo-trafo arus pada transformator daya telah diset pada tegangan nominal dari transformator daya tersebut. Dengan demikian bila terjadi gangguan pada waktu operasi transformator tersebut, maka tegangan pada sisi primernya harus dirubah agar tegangan pada sisi sekundernya tetap. Oleh karena itu harga-harga tap trafo yang telah diset pada tegangan nominalnya tadi tidak akan tepat lagi. Hal tersebutlah yang menyebabkan terjadinya arus ketidak seimbangan yang dapat membuat relay salah kerja.

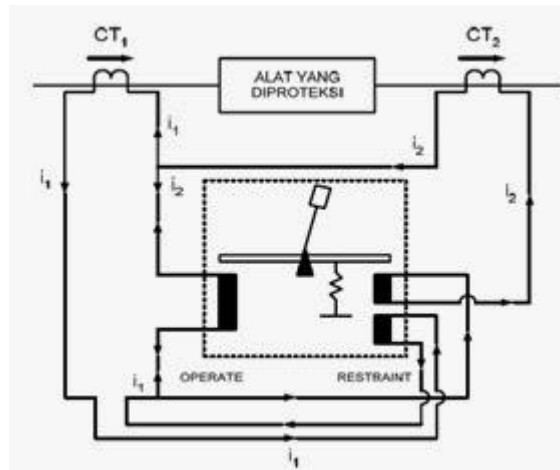
## 3. Adanya Arus Serbu Magnetisasi (Magnetising Inrush Current) Pada Trafo

Jika trafo daya dihubungkan kesuatu sumber tenaga (jaringan) maka pada sisi primernya akan terjadi proses transient yaitu meningkatnya arus yang dinamakan arus serbu magnetisasi (Magnetising Inrush Current) yang besarnya dapat mencapai 8 sampai 30 kali dari arus beban penuh yang terjadi dalam waktu relative cepat. Peristiwa ini dapat membawa pengaruh terhadap kerja suatu relay kendatipun pada daerah pengamanan tidak terjadi kesalahan.

## Relay Differensial Persentase

Untuk mengatasi masalah (a) dan (b) diatas, maka relay differensial dilengkapi dengan kumparan kerja dan restraining coil (kumparan penahan) atau lebih dikenal dengan Relay Differensial Persentase (Relay Differensial Bias). Dengan melakukan pembaharuan relay differensial yang berdasarkan Prinsip Sirkulasi arusnya adalah untuk mengatasi gangguan yang timbul diluar dari pada perbedaan dalam hal ratio terhadap nilai arus hubung singkat External yang tinggi.

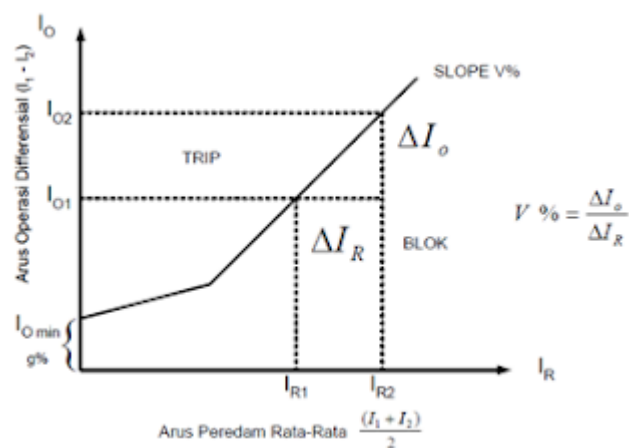
Relay differensial dengan persentase memiliki Coil (belitan) peredam tambahan yang dihubungkan dengan pilot wire seperti gambar berikut ini :



Gambar 2.13 Relay Differensial Persentase (Relay Differensial Bias).

Didalam relay ini kumparan kerjanya dihubungkan dengan titik tengah kumparan penahan (peredam), total jumlah impedansi belitan didalam kumparan peredam sama dengan jumlah ampere belitan yang ada pada kedua  $\frac{1}{2}$  bagian kumparan yaitu  $I_1N/2 + I_2N/2$  yang memberikan rata-rata arus peredam sebesar  $(I_1 + I_2)/2$  di dalam belitan N. Untuk gangguan luar  $I_1$  dan  $I_2$  semakin besar dan karenanya kopel peredam bertambah besar yang bisa mencegah kesalahan operasi.

Karakteristik operasi dari relay yang demikian diberikan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.14 Karakteristik Operasi Dari Sebuah Relay Differensial

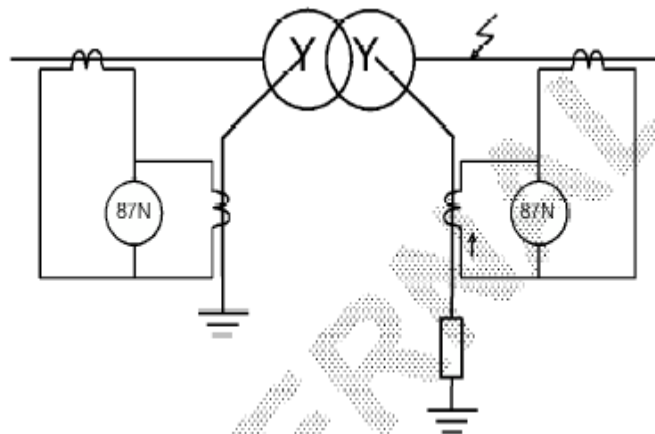
Ratio arus perendaman rata-rata dari arus operasi differensial persentasenya bisa ditetapkan, maka relay tersebut dinamakan relay differensial dengan persentase. Relay tersebut juga disebut relay differensial bias, sebab relay ini dilengkapi dengan flux tambahan.

Persentase relay differensial bias memiliki karakteristik pick-up yang semakin tinggi. Karena besarnya arus yang lewat semakin bertambah, maka arus peredamannya semakin bertambah.

## 2) Rele gangguan ke tanah terbatas (REF)

Rele gangguan ke tanah terbatas atau restricted Earth Fault (REF) berfungsi untuk mengamankan transformator bila ada gangguan satu fasa ke tanah di dekat titik netral transformator. Rele ini memiliki prinsip kerja seperti rele differensial.

Rele REF diperlukan di sisi primer dan skunder transformator yang mempunyai vector grup YNyn. Rangkaian proteksi seperti di tunjukkan pada gambar dibawah.



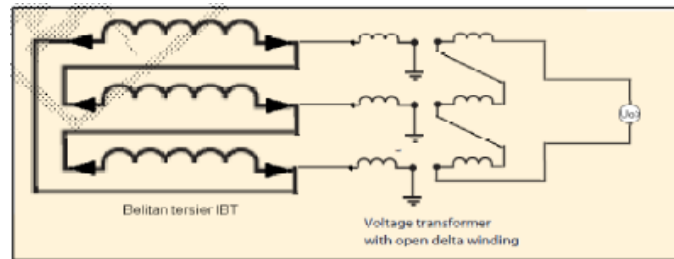
Gambar 2.15 Skema rele REF

## 3) Rele untuk belitan tertier

Belitan tertier pada transformator dapat berfungsi sebagai stabilisator dan menyalurkan daya. Belitan tertier yang berfungsi sebagai stabilisator bias di tanahkan atau tidak ditanahkan tergantung spesifikasi transformator untuk belitan tertier yang ditanahkan, di proteksi dengan rele gangguan tanah. Rele ini memiliki prinsip kerja yang sam adengan ERF/RGT

Untuk belitan tertier yang tidak ditanahkan. Diproteksi dengan rele pergeseran tegangan titik netral (*Neutral Displacement Voltage Relay (NDVR)*). Rele ini adalah rele tegangan yang mendeteksi tegangan urutan nol. Skema proteksinya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.





Gambar 2.16 Skema rele pergeseran tegangan titik netral

Adapun beberapa proteksi cadangan yaitu:

- a) Rele arus lebih
- b) Rele gangguan ke tanah (EFR/RGT)
- c) Rele standby Earth Fault (SBEF)

### 2.3 Kerangka Pemikiran

Untuk mempermudah pemahaman yang dilakukan di dalam penelitian, maka digunakan bagan seperti ditunjukkan oleh gambar 2.13 sebagai berikut :



Gambar 2.17 Kerangka pemikiran