

## **BAB II**

### **SISTEM PROTEKSI PADA TRAFOTENAGA**

#### **2.1. Sistem Pengaman**

Sistem pengaman adalah sistem pengaman yang dilakukan terhadap peralatan peralatan listrik, yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut. Misalnya generator, Transformator, jaringan transmisi / distribusi dan lain lain terhadap kondisi operasi abnormal dari sistem itu sendiri. Yang dimaksud dengan kondisi abnormal tersebut antara lain dapat berupa :

- Hubung singkat
- Tegangan lebih/kurang
- Beban lebih
- Frekuensi sistem turun / naik
- Dan lain lain

Adapun fungsi dari sistem pengaman adalah

1. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan (kondisi abnormal). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan, maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan terhadap kemungkinan kerusakan alat.

2. Untuk mempercepat melokalisasi luas / zone daerah yang terganggu, sehingga daerah yang terganggu sekecil mungkin.
3. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen, dan juga mutu listriknya baik.
4. Untuk mengamankan manusia terutama terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Agar sistem proteksi dapat dikatakan baik dan benar (dapat bereaksi dengan cepat, tepat dan murah), maka perlu diadakan pemilihan dengan seksama dan dengan memperhatikan faktor faktor sebagai berikut :

1. Macam saluran yang diamankan
2. Pentingnya saluran yang dilindungi
3. Kemungkinan banyaknya terjadi gangguan
4. Tekno ekonomis sistem yang digunakan.

Karena pentingnya sistem proteksi. Sistem proteksi harus dapat bekerja jika terjadi gangguan. Apabila relai tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya. Sistem harus mempunyai proteksi cadangan. Oleh karena sebab di atas sistem proteksi dapat di bagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Pengaman utama (main protection)

Pengaman utama ini bertanggung jawab untuk menghilangkan gangguan yang terjadi secepat mungkin sementara pemutusan daya pada sebagian

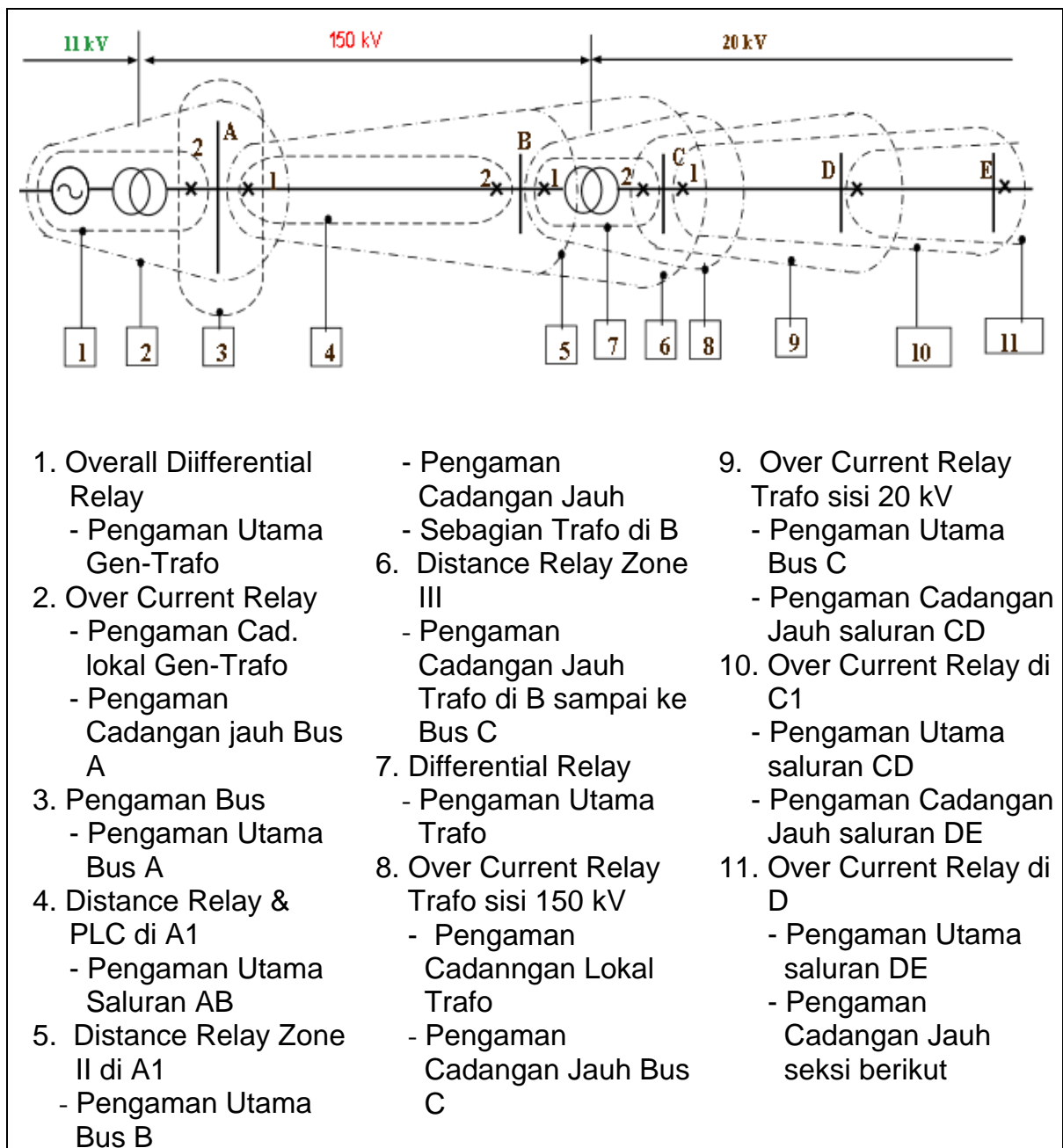
sistem diusahakan sekecil mungkin. Pengaman utama ini mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

- a.Cepat
- b.Punya daerah pengaman

## 2. Pengaman cadangan / bantu (back up protection)

Pengaman cadangan ini harus berfungsi jika pengaman utamanya gagal dalam memberikan perlindungan atau mengamankan terhadap peralatan dalam sistem. Pengaman cadangan ini mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Lebih lambat dari pengaman utama.
- b. Biasanya untuk pengaman hubung singkat.



Sumber : proteksi sistem tenaga listrik ( PT PLN jasa pendidikan dan pelatihan) ir Komari

**Gambar 2.1.** Daerah Proteksi Utama dan Cadangan

## 2.2. Relai Proteksi

Relai proteksi adalah susunan peralatan pengaman yang dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau ketidakstabilan sistem yang kemudian secara otomatis dapat memberikan respon berupa sinyal untuk menggerakkan system mekanis pemutus tenaga agar dapat terpisahkan bagian yang terganggu. Relai proteksi biasanya digunakan untuk mendeteksi adanya gangguan pada system tenaga listrik terutama untuk :

- a. Memberikan tanda bahaya atau membuka circuit breaker (CB) sehingga memisahkan sebagian dari system tersebut selama terjadinya kondisi yang tidak normal
- b. Memutuskan bagian sistem yang tidak normal sehingga mencegah kesalahan berikutnya.
- c. Melepas pemutus tenaga apabila gangguan dianggap membahayakan peralatan peralatan listrik seperti : generator; motor, trafo dan sebagainya. Gangguan dalam sistem tenaga listrik tidak dapat dihindarkan akan tetapi dapat dilakukan dengan mengurangi atau membatasi (melokalisir) akibat gangguan tersebut sekecil mungkin dengan menggunakan relai proteksi.

Secara garis besar bagian dari relai proteksi terdiri dari tiga bagian utama

- Elemen penginderaan

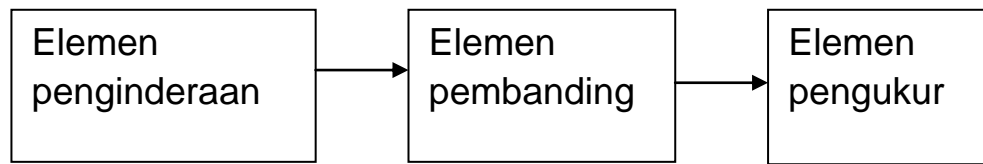
Elemen ini berfungsi untuk merasakan besaran besaran listrik, seperti arus, tegangan frekuensi dan sebagainya tergantung dari relai yang dipergunakan. Pada bagian ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaanya.

- Elemen Pembanding.

Elemen ini berfungsi menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran itu diterima oleh elemen pengindra untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran arus kerja relai.

- Elemen pengukur/ penentu.

Elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara tepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka PMT atau memberikan sinyal.



**Gambar 2.2** Diagram Blok Prinsip Kerja Relai Proteksi

### 2.3. Syarat-Syarat Relai Proteksi

Untuk menunjang kinerja relai proteksi, syarat syarat diperlukan agar relai bekerja optimal.

#### 2.3.1. Cepat Bereaksi

Relai harus cepat bereaksi/bekerja bila sistem mengalami gangguan atau kerja abnormal. Kecepatan bereaksi dari relai adalah saat relai mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan circuit breaker (CB) karena komando relai tersebut. Waktu bereaksi relai ini harus secepat mungkin sehingga dapat menghindari kerusakan pada alat serta membatasi daerah yang mengalami gangguan / kerja abnormal.

Mengingat suatu sistem tenaga mempunyai batas-batas stabilitas serta kadang-kadang gangguan sistem bersifat sementara, maka relai yang semestinya bereaksi dengan cepat kerjanya perlu diperlambat (time delay), seperti yang ditunjukkan persamaan 2.1

$$T_{op} = t_p + t_{cb} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :  $T_{op}$  = total waktu yang dipergunakan untuk memutuskan hubungan.

$t_p$  = waktu beroperasi nya unit relai.

$t_{CB}$  = waktu yang dipergunakan untuk pelepasan CB.

pada umumnya untuk  $t_{op}$  sekitar 0,1 detik kerja peralatan proteksi sudah dianggap bekerja cukup baik.

### 2.3.2. Selektif

Yang dimaksud dengan selektif disini adalah kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan, dimana hal ini menyangkut koordinasi pengamanan dari sistem secara keseluruhan. Untuk mendapatkan keandalan yang tinggi, maka relai pengaman harus



mempunyai kemampuan selektif yang baik. Dengan demikian, segala tindakannya akan tepat dan akibatnya gangguan dapat dieliminir menjadi sekecil mungkin.

### **2.3.3. Peka / Sensitif**

Relai harus dapat bekerja dengan kepekaan yang tinggi artinya harus cukup sensitif terhadap gangguan didaerahnya meskipun gangguan tersebut minimum, selanjutnya memberikan jawaban / response.

### **2.3.4. Andal / Reliability**

Keandalan relai dihitung dengan jumlah relai bekerja / mengamankan daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan relai dikatakan cukup baik bila mempunyai harga : 90 % - 99 %.

Keandalan dapat di bagi 2 :

- 1) Dependability : relai harus dapat diandalkan setiap saat
- 2) Security : tidak boleh salah kerja / tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja.

### **2.3.5. Sederhana / Simplicity**

Semakin sederhana sistem relai semakin baik, mengingat setiap peralatan / komponen relai memungkinkan mengalami kerusakan. Jadi sederhana maksudnya kemungkinan terjadinya kerusakan kecil ( tidak sering mengalami kerusakan ).

## **2.4. Klasifikasi Relai Proteksi Berdasarkan Prinsip Kerjanya**

Dari beberapa macam relai proteksi yang ada, dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

### **2.4.1. Relai Thermis (Thermal Relai)**

Relai thermis bekerja berdasarkan panas yang ditimbulkan akibat arus listrik yang melewati nya. Relai jenis ini juga dapat bekerja akibat ketidakseimbangan arus listrik yang menyebabkan kenaikan suhu yang di sebabkan oleh komponen negatif. Relai jenis ini sering di pakai untuk memproteksi peralatan dari kenaikan suhu yang berasal dari arus lebih.

### 2.4.2. Relai Elektromagnetik

Relai jenis ini bekerja berdasarkan arus induksi yang berasal dari sumber arus bolak balik. Relai elektromagnetik dapat dibedakan berdasarkan cara menginduksikan nya

- **relai tipe torak (plunger )**

relai tipe torak mempunyai kumparan yang berbentuk silinder, dimana pada bagian luarnya dilengkapi dengan rangkaian magnetik. Torak (plunger) nya terletak ditengah tengah kumparan dan dapat bergerak bebas ke atas bawah.

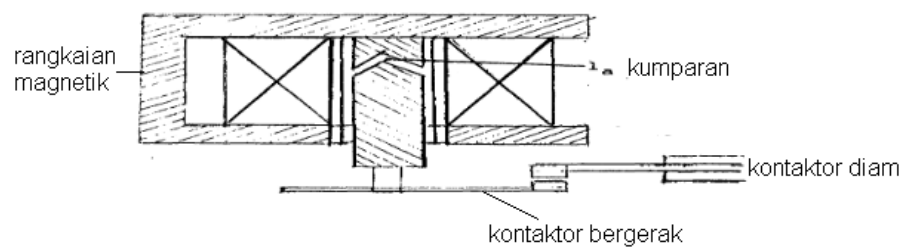
Bila kumparan tersebut mendapatkan tegangan yang harganya melebihi harga pick upnya, maka torak akan bergerak ke atas selanjutnya menggerakkan kontaktor gerak dan akan menempel pada kontaktor diam.

Bergeraknya torak tersebut disebabkan adanya gaya tarik elektro magnet pada elemen yang bergerak dan besarnya sebanding dengan kuadrat fluksi ( $\phi^2$ ).

$$F = k (\phi^2) \dots \dots \dots (2.2)$$

Selain gaya tarik yang disebabkan oleh besaran input, ada gaya lawan yang disebabkan oleh gesekan atau berat toraknya sendiri dan dinyatakan dalam  $k_s$  sehingga :

$$F = K \cdot I^2 - K_s \dots \dots \dots (2.3)$$



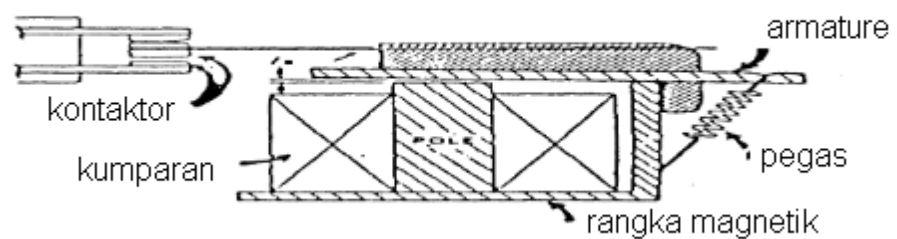
**Gambar 2.3.** Relai Elektromagnetik Tipe Plunger

- **Relai tipe armatur yang di gantung (hinged Armature)**

Relai ini mempunyai plat datar sebagai armature yang salah sisinya diikat oleh engsel pada suatu titik yang tetap, sedangkan

sisi yang lain dapat bergerak ke kutub kumparan akibat gaya tarik elektromagnetis

Pada armature tersebut terdapat kontaktor gerak yang juga akan mengenai kontaktor tetap bilamana armature tersebut pick up.

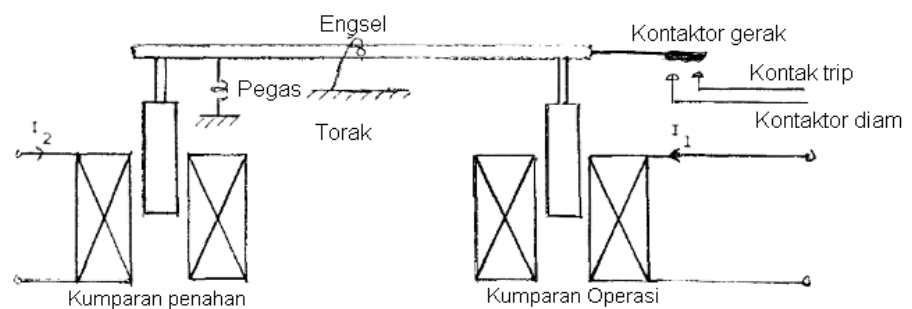


**Gambar 2.4.** Relai Elektromagnetik Tipe Armature yang di Gantung

- **relai tipe batang seimbang (balanced beam relay)**

Relai jenis ini mempunyai 2 kumparan yaitu kumparan penahan (restraining coil) dan kumparan operasi (operating coil). Batang seimbang dipasang horisontal dimana pada bagian tengahnya diberi engsel. Pada keadaan awal posisi batang horisontal dalam keadaan terbuka. Pada posisi ini maka antara bagian kiri (gaya

gaya yang ada adalah pegas/spring dan torak/plunger) dan bagian kanan (gaya gayanya adalah berat torak dan kontak trip) apabila momen sebelah kanan melebihi sebelah kiri, maka kontak akan tertutup. Sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.5



**Gambar 2.5.** Relai Elektromagnetik Tipe Batang Seimbang

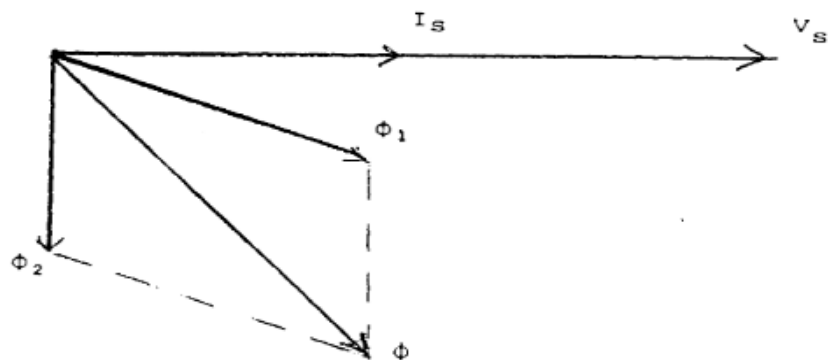
- **Relai Tipe Cakram Induksi**

elemen relai tipe ini mempunyai cakram/piringan (disk) yang terbuat dari tembaga atau aluminium yang dapat berputar diantara celah celah elektromagnet.

Ada dua metode yang umum digunakan untuk menggerakkan relai tipe cakram induksi ini, yaitu

### 1. Shaded pole methode

Dalam metode ini sebagian dari muka kutub electromagnet dihubungkan singkatkan dengan menggunakan cincin tembaga ataupun kumparan, sehingga mengakibatkan selisih sudut fasa antara fluksi yang melalui cincin ( $\phi_2$ ) dengan fluksi yang tidak melalui cincin ( $\phi_1$ ).

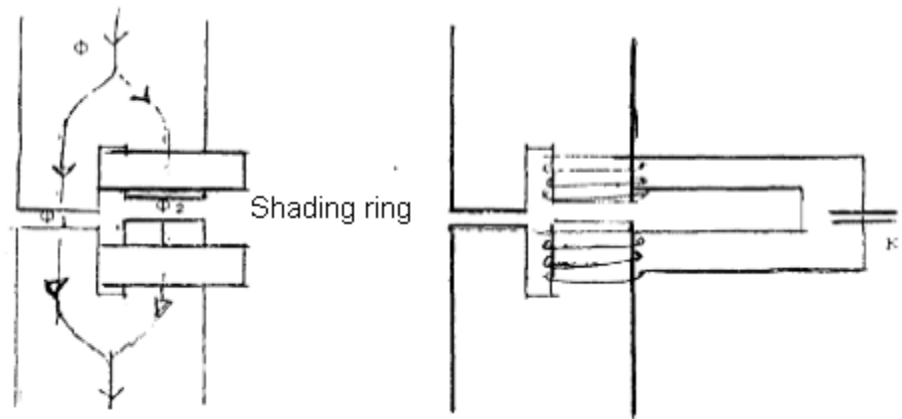


**Gambar 2.6.** Diagram Fasa Cakram Induksi

Fluksi total yang dibangkitkan oleh kumparan utama pada magnet yang berbentuk u seperti gambar 2.6. adalah sebesar  $\phi$  jadi :

$$\phi = \phi_1 + \phi_2$$

Fluksi  $\phi_2$  adalah lagging (terbelakang) terhadap  $\phi_1$  dan  $\phi$



**Gambar 2.7.** Relai Induksi Menggunakan Metode Shaded Pole

Bila kontaktor terbuka, maka sirkit kumparan terbuka dan berarti tidak akan terjadi selisih sudut fasa pada fluksi fluksi tersebut. hal inilah yang mengakibatkan relai ini dapat digunakan sebagai relai arah (directional relai)

Arus eddy tersebut memberikan induksi lawan, sehingga selanjutnya interaksi antar kedua fluksi itu akan menimbulkan torsi yang dapat menggerakkan piringan tersebut.



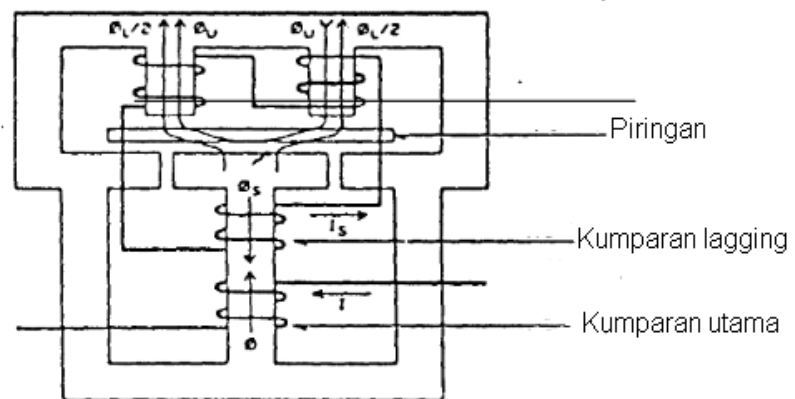
## 2. Watt Metric Method

Pada metode ini digunakan satu set kumparan diatas piringan dan satu set lagi berada dibawah piringan tersebut. Arus yang mengalir melalui piringan sebagai fluksi  $\phi_L$

$\phi_L$  terbagi dua pada kedua kutub yang berada di atas piringan tersebut. Arus  $I_s$  diperoleh sebagai reaksi tranformator (gaya gerak listrik pada sirkit tertutup) mengalir melalui kedua kutub yang di atas tersebut dan menghasilkan fluksi  $\phi_u$ .

$\Phi_u$  ini mengalir dari atas kebawah pada kutub atas yang sebelah kanan, dan dari bawah ke atas pada kutub atas yang sebelah kiri.

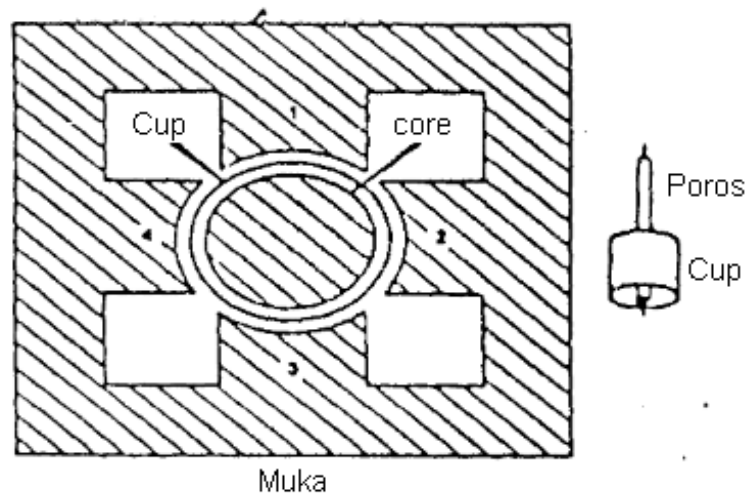
Selanjutnya interaksi antara fluksi  $\phi_u$  dan  $\phi_L$  terhadap fluksi yang diperoleh dari arus eddy yang diinduksikan pada piringan akan menggerakkan piringan tersebut untuk berputar sesuai arah jarum jam.



**Gambar 2.8.** Relai Induksi dengan Metode Watt Metric

- **Relai tipe kap induksi ( induction Cup)**

Prinsip kerjanya adalah mirip dengan motor induksi yang mempunyai kutub salient pada statornya. Pada relai itu terdapat suatu rotor aluminium tersebut dapat berputar bebas di antara kutub salient dan inti magnetis.



**Gambar 2.9.** Relai Tipe Kap Induksi

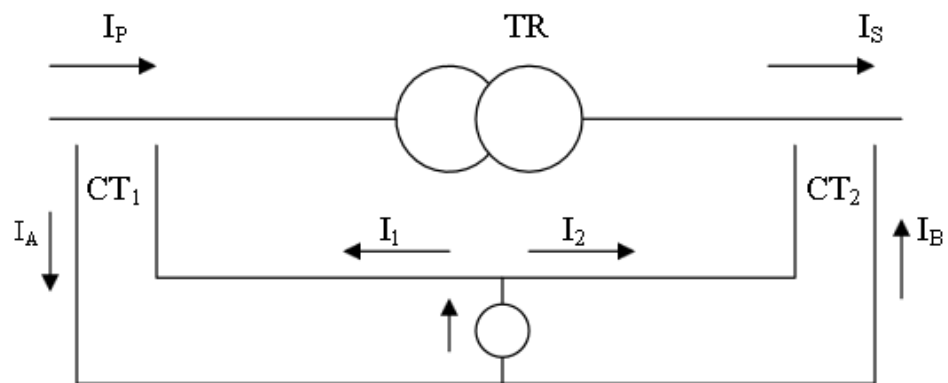
#### 2.4.3. Relai Numerical

Relai numerical adalah relai proteksi yang menggunakan rangkaian elektronik sebagai pendeteksi gangguan. Relai jenis ini merupakan teknologi baru pada abad ini. Relai jenis ini umum di gunakan di negara maju. Dan sudah mulai digunakan di negara berkembang. Relai jenis ini biasanya sudah mencakup semua relai proteksi seperti relai arus lebih, relai gangguan tanah, relai diferensial, relai impedansi dan lain lain.

## 2.5. Relai Relai Proteksi Tranformator

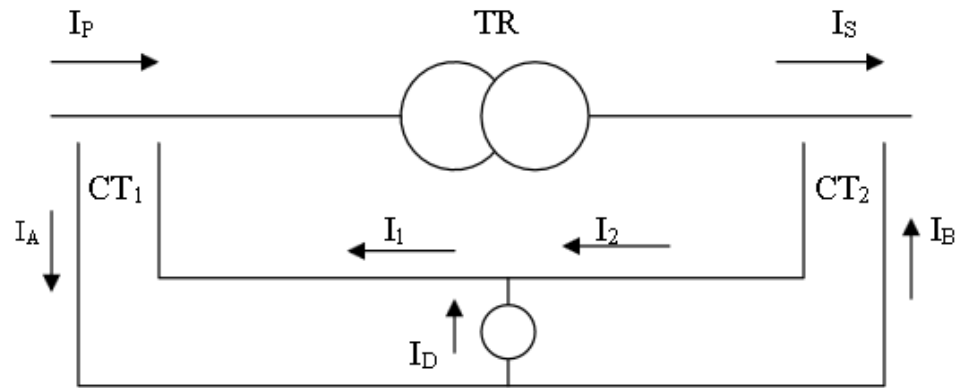
Terdapat berbagai macam relai proteksi pada transformator berikut ini merupakan relai relai yang dipakai pada transformator daya :

### 2.5.1. Relai Differensial

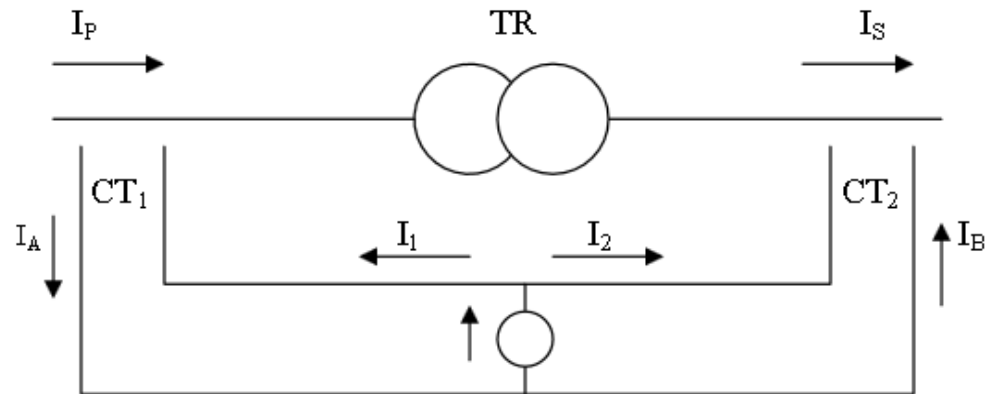


**Gambar 2.10.** Relai Diferensial Dalam Keadan Normal

Relai differensial pada sistem proteksi di gunakan untuk mengamankan tranformator terhadap gangguan hubung singkat yang tidak terdeteksi oleh relai lainnya. Prinsip kerja dari relai ini dengan membandingkan arus sekunder transformator arus (CT) yang terpasang pada terminal-terminal peralatan listrik dan relai ini aktif jika terdapat perbedaan pada arus sirkulasi.



**Gambar 2.11.** Keadaan Gangguan Eksternal



**Gambar 2.12** Keadaan Gangguan Internal

### 2.5.2. Relai Bucholz

Relai jenis ini berfungsi sebagai pengaman di dalam transformator. Relai bucholz bekerja dengan mendeteksi gangguan yang terjadi akibat timbulnya gas pada minyak transformator. Gas yang timbul pada minyak transformator terjadi akibat gangguan yang timbul di dalam tangki transformator. Gas tersebut dapat menunjukkan jenis gangguan yang terjadi.

Gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan kontak relai bucholz bekerja adalah :

- a. Pemanas setempat.
- b. Kontak kontak listrik yang terjadi di dalam lapisan inti
- c. Hubung singkat yang terjadi di dalam lapisan inti.
- d. Kemasukan udara di dalam bejana sehingga menimbulkan korosi atau pengkaratan sehingga dapat menyebabkan hubung singkat.
- e. Kehilangan minyak akibat kebocoran, sehingga transformator kekurangan minyak.

Sedangkan kerusakan – kerusakan yang lebih serius yang dapat menyebabkan relai bucholz bekerja adalah :

- a. Hubung singkat antar belitan,

- b. Hubung singkat antara belitan dengan tanah
- c. Hubung singkat antara fasa,
- d. Kerusakan isolator pada transformator.

Karena relai ini terdapat di pipa antara konservator dan tangki transformator. Kefektifan dari relai jenis ini dapat dilihat dari desain tangki transformator itu sendiri. Semakin lancar gas gas yang mengalir ke relai bucholz semakin baik kerja relai ini. Namun apabila gas gas tersebut banyak yang tersangkut di dalam tangki transformator maka kefektifan relai jenis akan menurun.



**Gambar 2.13.** Relai Bucholz

### **2.5.3. Relai Tangki Tanah**

Relai ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap hubung singkat antara kumparan dengan tangki transformator yang titik netralnya di tanahkan. Relai yang digunakan untuk mengatasi hal ini adalah relai tangki tanah yang berfungsi untuk mendeteksi arus hubung singkat, sehingga relai hanya dapat merasakan gangguan tanah dan efektif pada transformator yang titik netralnya di tanahkan. Agar lebih efektif lagi, maka antara tangki transformator dan tanah harus dibatasi dengan isolator.

Tujuan dibatasi isolator, agar bila terjadi hubung singkat antara kumparan dengan tangki transformator. Seluruh arus hubung singkat akan melalui relai ini lalu arus hubung singkat tersebut mengalir ke pembumian.

### **2.5.4. Relai Gangguan Tanah Terbatas**

Relai gangguan tanah terbatas ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan tanah di dekat titik netral yang tidak dapat terdeteksi oleh relai diferensial. Relai gangguan tanah terbatas hanya dipasang pada transformator netralnya dibumikan langsung atau pembumian melalui tahanan.



Relai gangguan tanah terbatas ini di pasang untuk mengimbangi relai differensial yang tingkat sensitifnya terbatas dibandingkan dengan relai gangguan tanah terbatas, terutama dalam mendeteksi terjadinya hubung singkat di dekat titik netral.

#### **2.5.5. Relai Arus Lebih**

Relai arus lebih adalah suatu relai dimana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewati arus nominalnya. Arus yang membuat relai arus lebih bekerja biasanya arus hubung singkat. Agar peralatan tidak rusak bila dilewati arus yang melebihi kemampuannya, selain peralatan tersebut diamankan terhadap kenaikan arusnya, maka peralatan pengamanannya harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah di tentukan. Penjelasan relai arus lebih secara rinci akan di jelaskan pada BAB IV.