

## 2.1 Sistem Transmisi, Distribusi dan Gardu Induk

Sistem Tenaga Listrik terdiri atas sistem pembangkitan, transmisi, subtransmisi dan distribusi. Secara umum sistem pembangkitan dan sistem transmisi termasuk *bulk power supply* sedangkan sistem subtransmisi dan sistem distribusi adalah bagian akhir yang artinya mentransferkan energi ke pelanggan listrik. Sistem tenaga listrik terfokuskan pada interkoneksi konduktor, transformator dan beban (Turan Gonen 2009).

Jaringan tenaga listrik PLTA Djuanda memakai level Tegangan 150kV pada sistem pembangkitan, 70kV pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), 20kV dan 3,6kV pada bagian Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dan 380V pada bagian Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR). Sebelum masuk ke pelanggan energi tersebut akan masuk kedalam gardu-gardu distribusi dan gardu induk sebagai peralihan antara SUTT ke SUTM ataupun SUTR. Jaringan ini disebut juga Jaringan Distribusi Primer yang memiliki karakteristik yaitu konsumen pabrik dan industri besar sedangkan sistem Distribusi Sekunder memiliki karakteristik tegangan rendah dan konsumen kota dan perumahan dengan sifat pelayanan yang sangat luas (Suhadi 2008). Pada perencanaan sistem distribusi harus menentukan besar beban dan lokasi dari sisi geografisnya. Dengan memaksimalkan efisiensi biaya dengan meminimalkan rugi-rugi *feeder* dan biaya konstruksi sambil mempertimbangkan kendala dalam keandalan pelayanan (Turan Gonen 2009).

## 2.2 Transformator Daya

Transformator daya adalah suatu perangkat utama dalam proses mentransmisikan tenaga listrik. Transformator daya berfungsi untuk menyalurkan daya listrik tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah atau sebaliknya dengan frekuensi yang sama. Pada sistem transmisi tegangan tinggi pada umumnya transformator ditanahkan pada titik netral yang akan disesuaikan berdasarkan sistem

www.itk.ac.id

pengaman atau proteksi. Pada jaringan 150kV transformator akan ditanahkan pada titik netralnya. Selain transformator daya terdapat Current Transformer (CT) dan Voltage Transformer (VT) yang berfungsi untuk pengukuran arus dan tegangan yang terdapat di saluran (Sulasono. 2001). Bagian konstruksi transformator terdiri atas beberapa bagian berikut:

1. Inti Besi

Inti besi berfungsi membangkitkan fluks yang timbul timbul karena kumparan yang dialiri oleh arus listrik, dan bahan penyusun inti besi terdiri atas lempengan-lempengan baja tipis, dengan maksud untuk mengurangi kalor yang muncul akibat *Eddy Current*.

2. Kumparan Primer dan Kumparan Sekunder

Kumparan kawat yang berfungsi ketika diberi tegangan dan akan menginduksi kumparan lain dan membangkitkan fluks pada inti besi. Kumparan primer dan kumparan sekunder dibedakan berdasarkan jumlah lilitan antar keduanya.

3. Minyak Transformator

Minyak transformator berfungsi sebagai isolasi pada kumparan dan inti besi serta meredam panas yang terjadi pada kedua kumparan dan inti transformator. Dimana kumparan primer dan kumparan sekunder pada inti besi dalam transformator terendam minyak transformator.

4. Isolator *Bushing*, Tangki dan konservator

Isolator *bushing* terdapat pada ujung kedua kumparan transformator sebagai terminal penyekat antara kumparan dengan badan transformator sebagai isolator. Tanki dan konservator berfungsi sebagai tempat penampung pemuaiian minyak dalam transformator akibat perubahan temperatur.

5. Katup Pembuangan, Pengisian, *Oil Level* dan Indikator Suhu Transformator

Katup pembuangan pada transformator berfungsi untuk menguras minyak transformator ketika terdapat pemeliharaan, dan katup pengisian berfungsi untuk menambahkan atau mengambil sample minyak pada transformator. *Oil Level* sendiri berfungsi untuk mengukur minyak pada

www.itk.ac.id

tangki transformator. Sedangkan indikator suhu transformator berfungsi untuk mengetahui serta memantau *temperature* pada minyak transformator pada saat beroperasi.

#### 6. Pernapasan Transformator dan Pendingin Transformator

Suhu minyak akan berubah ketika terjadi perubahan pada beban transformator maupun suhu udara luar. Kristal zat Hygrokopsis (*Cilicagel*) digunakan pada ujung pernapasan transformator yang berfungsi untuk menyerap kelembaban udara luar. Pendingin Transformator berfungsi untuk mengurangi panas pada transformator ketika terjadi perubahan beban yang signifikan. Maka terdapat beberapa jenis pendingin transformator.

#### 7. *Tap Changer* Transformator

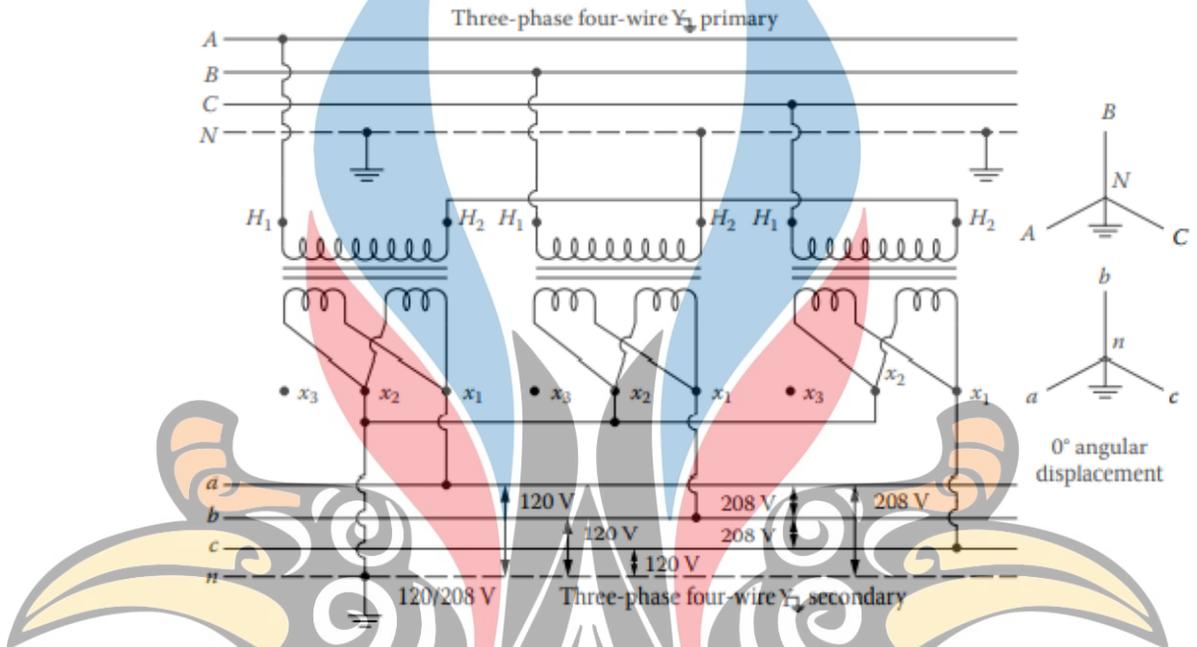
*Tap Changer* berfungsi sebagai alat perubah pembeding transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang sesuai ketika tegangan primer berubah-ubah.

Secara matematis perhitungan arus dan tegangan pada transformator dihitung berdasarkan Hukum Induksi Faraday dan Hukum pertama Maxwell (Sumanto, 1991). Untuk menaikkan dan menurunkan tegangan pada sistem distribusi tiga fasa dengan cara menyatukan 3 *single-phase transformer* yang dikoneksikan menjadi *three-phase transformer* dalam satu tanki yang sama. Terdapat metode umum untuk mengkonfigurasi 3 transformator 1 fasa menjadi 1 transformator 3 fasa yaitu koneksi *delta-delta* ( $\Delta$ - $\Delta$ ), koneksi *wye-wye* (Y-Y), koneksi *wye-delta* (Y- $\Delta$ ) dan koneksi *delta-wye* ( $\Delta$ -Y). Tipe koneksi transformator distribusi dengan *level* tegangan 20kV dan 6kV menggunakan sistem umum yaitu koneksi *wye-closed – wye-closed* (Y-ground-Y-ground). Tipe 3 fasa 4 kawat memiliki keuntungan ketika sistem berubah dari delta ke 4 kawat *wye* (Y) untuk meningkatkan kapasitas sistem. Sebagai contoh sistem distribusi lama 2,5kV *delta* dan sistem distribusi yang baru adalah 2,4/4,16Y kV maka transformator bisa direkonfigurasi dengan koneksi *wye* (Turan Gonen, 2014).

Dalam koneksi Y-Y transformator hanya memiliki 57,7% atau (1/1,73) dari tegangan *line* yang dipengaruhi dari setiap belitan, tetapi memiliki *line* dengan aliran

www.itk.ac.id

arus penuh di setiap. Sistem distribusi tipe ini, kadang menghasilkan turbulensi pada sirkuit komunikasi disekitarnya. Pada sisi primer poin netral harus di *solid ground*-kan apabila tidak di *ground*-kan maka tegangan berlebih akan terjadi di sisi sekunder. Gambar 2.1 menjelaskan konfigurasi Y-Y transformator sebagai berikut.



Gambar 2.1 Koneksi Y-Y Transformator 120/208 V Grounded-wye 3 Phase Four Wire Multitiered Service (Turan Gonen, 2014).

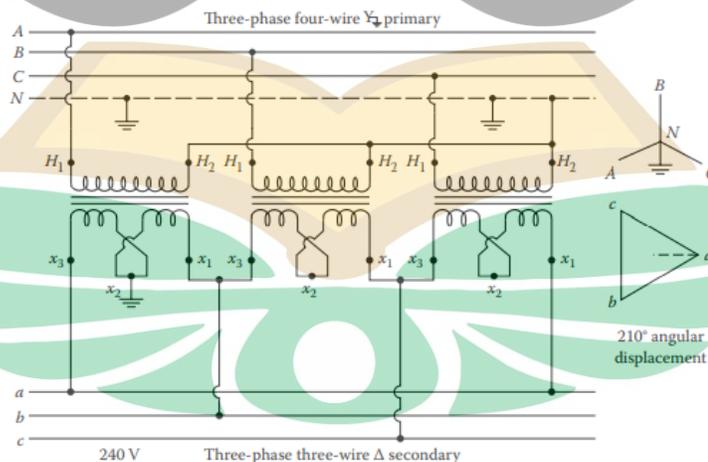
### 2.3 Ungrounded Power System

Sistem Distribusi Tegangan Menengah di Indonesia berdasarkan standar PLN No. 1:1978, diantaranya adalah 20kV dan 6,3kV. Dalam jangka panjang sistem pendistribusian tegangan 6,3kV akan diubah menjadi 20kV namun pada sistem 6,3kV masih banyak tersebar di Indonesia salah satunya adalah sistem distribusi Gardu Induk Ciganea. Berdasarkan SPLN 12:1978 dan SPLN 26:1980 pentanahan sistem 20kV, ditanahkan langsung dan ditanahkan melalui tanahan. Untuk sistem 6,3kV belum dibakukan, dan hampir keseluruhannya dengan sistem pertanahan mengambang (*ungrounded*). Dalam hal ini bila terjadi gangguan satu fasa ke tanah, arus maupun tegangannya mempunyai ciri-ciri khusus dibandingkan dengan sistem

20kV tiga fasa 3-kawat yang ditanahkan melalui tanah. Karakteristik sistem pertanahan mengambang adalah tegangan dalam keadaan normal/tidak ada gangguan sebagai berikut (SPLN 1978).

- Ketiga tegangan fasa ketanah ( $V_f$ ) sama.
- Ketiga tegangan antar fasa besarnya sama dengan  $V_f\sqrt{3}$ .
- Bila pada sistem terdapat titik netral maka tegangan titik netral ketanah sama dengan nol.

Pada koneksi Y- $\Delta$ , rasio tegangan pada transformasinya adalah 1,73 kali tegangan /rasio dari 1 transformator. Ketika transformator dengan kapasitas berbeda digunakan, peringkat kapasitas aman maksimum adalah tiga kali kapasitas transformator terkecil. Pada sisi primer, biasanya sirkuit wye yang di *ground*-kan, dapat berupa tiga kabel atau empat kabel termasuk kabel netral. Kabel netral, berjalan dari netral poin transformator gardu induk terhubung-w yang menyuplai rangkaian primer, dapat sepenuhnya independen dari sekunder atau dapat disatukan dengan netral sistem sekunder. Dalam kasus memiliki netral primer yang independen dari sistem sekunder, itu digunakan sebagai diisolasi netral dan dibumikan hanya di gardu induk. Dalam hal kabel yang sama berfungsi baik sebagai netral primer dan sekunder netral, itu didasarkan pada banyak titik, termasuk setiap layanan pelanggan dan *multigrounded*. Gambar 2.2 menjelaskan konfigurasi Y- $\Delta$  transformator sebagai berikut.



Gambar 2.2 *Three Phase Three Wire  $\Delta$  Secondary* (Turan Gonen, 2014).

## 2.4 Aliran Daya Listrik

Analisis aliran daya listrik (*load flow*) adalah sebuah analisis yang bertujuan untuk mendapatkan informasi kinerja sistem tenaga listrik. Analisis aliran daya nyata dan daya reaktif saat sistem berjalan dan dalam kondisi normal maupun darurat. Pemodelan sistem diperlukan dalam menganalisis aliran daya listrik untuk menentukan perhitungan arus, tegangan, daya aktif dan daya reaktif pada setiap bus/saluran pada sistem kelistrikan. Hasil dari analisis aliran daya dapat digunakan untuk mengetahui nilai *losses* (rugi-rugi daya), *drop voltage* (tegangan jatuh), alokasi daya reaktif dan kemampuan pemenuhan beban oleh sistem (Cekdin, 2007).

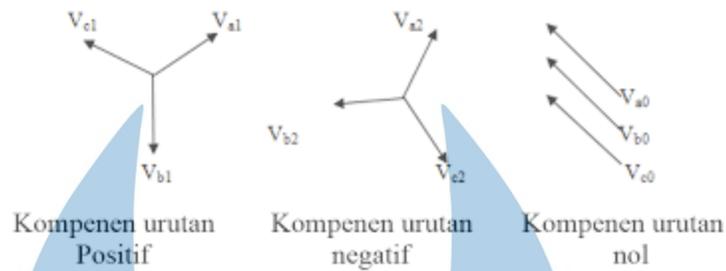
Salah satu teknik dalam menganalisis aliran daya listrik pada sistem adalah metode *Newton Raphson*, dengan dasar perhitungan dari fungsi dua variabel atau lebih pada deret *taylor*. Metode tersebut menggunakan suatu persamaan non linear dan juga merupakan perluasan dari metode *Gauss Siedel*. Dimana waktu komputasi dan jumlah iterasi dari metode *Newton Raphson* jauh lebih cepat dibandingkan metode *Gauss Siedel*. Metode *Newton Raphson* memiliki kekurangan pada sistem dengan sistem skala besar dan komponen dengan nilai yang besar, maka dengan pengembangan lebih lanjut dicapai metode *Adaptive Newton Raphson* yang memiliki hasil konvergen dan lebih akurat pada sistem tenaga listrik radial (tanpa adanya *loop*/saluran tertutup) (Y.Zhu 2002).

## 2.5 Gangguan Hubung Singkat

Komponen Sitemris yang dibuktikan oleh karya Fortescue bahwa fasor pada sistem yang tidak seimbang dapat diuraikan menjadi  $n$  buah sistem sesuai dengan fasor seimbang kemudian dinamakan komponen simetris dari fasor tersebut. Dimana  $n$  buah fasor pada setiap vektor komponennya sama panjang dan sudut diantara fasor tersebut sama besar. Berdasarkan teorema tersebut tiga fasa tidak seimbang pada suatu sistem dapat diturunkan menjadi tiga fasor seimbang yaitu komponen urutan positif (*positive squence components*), komponen urutan negatif (*negative sequence components*) dan komponen urutan nol (*zero sequence components*) (Stevenson,

1990).

www.itk.ac.id



Gambar 2.3 Vektor Komponen Simetris

Pada sistem tenaga listrik, gangguan yang sering terjadi adalah gangguan tidak simetris yang terdiri dari hubung singkat tidak simetris melalui penghantar yang terjadi akibat kegagalan isolasi. Salah satu gangguan simetris antara lain adalah gangguan satu fasa ke tanah, gangguan antar fasa, dan gangguan antar fasa ketanah. Dengan probabilitas 70% gangguan satu fasa ketanah, 15% gangguan antar fasa, 10% gangguan antar fasa ketanah dan 5% gangguan 3 fasa. Gangguan ini sering disebabkan karena kesalahan pekerja (*human error*), kondisi cuaca, seperti angin, hujan petir dan kondisi lingkungan, seperti hewan dan pohon tumbang. Sementara gangguan dari dalam sistem biasanya disebabkan karena terjadinya fluktuasi arus dan tegangan, beban berlebih atau *overload* kondisi peralatan yang kurang baik dan *derating* atau penuaan (Turan Gonen, 2009).

Gangguan dibagi menjadi 2 jenis gangguan berdasarkan fasa gangguannya yaitu.

1. Gangguan asimetris adalah gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasa menjadi tidak seimbang jenis gangguan tersebut adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat dua fasa dan hubung singkat dua fasa ketanah.
2. Gangguan simetris adalah gangguan yang terjadi pada semua fasa sehingga tegangan dan arus setiap fasa tetap seimbang setelah gangguan terjadi, jenis gangguan tersebut adalah gangguan hubung singkat tiga fasa dan gangguan hubung singkat tiga fasa ketanah.

Arus gangguan dihitung berdasarkan tegangan dibagi dengan impedansi dengan

www.itk.ac.id

rumus sebagai berikut [www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

$$I_f = \frac{V}{Z} \quad (2.1)$$

Dimana  $I_f$  adalah arus gangguan yang mengalir pada hambatan  $Z$  (Ampere),  $V$  adalah tegangan sumber (Volt) dan  $Z$  adalah impedansi jaringan yang ekuivalen dengan seluruh impedansi didalam jaringan sumber tegangan sampai titik gangguan (Ohm). Impedansi yang terbentuk sesuai dengan jenis gangguannya dan tegangan yang menyuplai arus menuju titik gangguan. Impedansi yang terbentuk adalah sebagai berikut (A.Arismunandar, 2004).

$$Z \text{ untuk gangguan tiga fasa, } Z = Z_1 \quad (2.2)$$

$$Z \text{ untuk gangguan dua fasa, } Z = Z_1 + Z_2 \quad (2.3)$$

$$Z \text{ untuk gangguan satu fasa, } Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 \quad (2.4)$$

Dimana  $Z_1$  adalah impedansi urutan positif (Ohm),  $Z_2$  adalah impedansi urutan negatif (Ohm) dan  $Z_3$  adalah impedansi urutan nol (Ohm).

Pada *ungrounded power transfer* terjadi gangguan satu fasa ke tanah, arus maupun tegangannya mempunyai ciri-ciri khusus dibandingkan dengan sistem 20kV tiga fasa, 3-kawat yang ditanahkan melalui tanah. Dengan karakteristik sebagai berikut (SPLN 1983):

1. Tegangan pada saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah,
  - Tegangan fasa yang terganggu terhadap tanah sama dengan nol
  - Tegangan fasa yang tidak terganggu terhadap tanah mejadi  $V_f \times 1,732$
  - Tegangan antar fasa tetap dan tidak berubah yaitu  $V_f \times 1,732$
  - Bila pada sistem tersebut terdapat titik netral, maka tegangan titik netral ketanah menjadi  $V_f$ .
2. Arus Gangguan Hubung Singkat
  - Gangguan hubung singkat antar fasa dimana arus gangguan hubung singkat dua fasa ataupun 3 fasa mempunyai ciri sama dengan sistem ditanahkan (sistem 20kV) besarnya arus gangguan tergantung dari tegangan sistem. Arus gangguan tanah ini tidak dipengaruhi oleh impedansi sumber maupun

[www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

tanahan dan reaktansi jaringannya, tetapi hanya dipengaruhi oleh tegangan sistem dan kapasitansi ke tanah dari seluruh sistem jaring pada sistem tersebut. Besarnya arus gangguan tanah sangat dipengaruhi oleh sistem jaringannya yaitu SUTM dan panjang total dari saluran tersebut (SPLN, 1983).

## 2.6 Koordinasi Sistem Proteksi

Perancangan sistem proteksi tenaga listrik guna untuk mengamankan perangkat utama dalam sistem tenaga kemudian untuk memulihkan sistem dengan menghilangkan gangguan dan mengisolasinya. Sistem proteksi harus handal dalam mendeteksi gangguan yang ada, selektif dalam menentukan gangguan dari kondisi normal dan harus beroperasi mengamankan gangguan dengan cepat dan tepat (Momoh, 2007).

Pada sistem proteksi sistem distribusi tegangan menengah sama perangkatnya dengan sistem lain namun skema proteksi yang handal dan aman memiliki pengaturan yang berbeda pula. Perangkat sistem proteksi tersebut antara lain adalah *Relay*. *Relay* yang digunakan yaitu *Over Current Relay (OCR)*, *Ground Fault Relay (GFR)* dan lain-lain. *Recloser* juga menjadi salah satu perangkat proteksi yang berfungsi sebagai pelengkap untuk pengamanan terhadap gangguan sementara dan membatasi luas daerah yang padam akibat gangguan yang bersifat sementara dan hanya berlangsung beberapa siklus. *Recloser* dapat diprogram untuk mendeteksi arus lebih dan membuka sirkuit kemudian menutupnya kembali dengan waktu yang telah ditentukan.

Fungsi *relay* proteksi mengarah pada lokasi dan jenis gangguannya. Biasanya relay hanya memberi tanda adanya kerusakan atau gangguan, kemudian akan dinilai gangguan tersebut membahayakan atau tidak, maka *relay* proteksi tenaga listrik berfungsi untuk.

1. Merasakan, mengukur dan menentukan lokasi yang terjadi gangguan serta melokalisir secepatnya agar tidak mengganggu sistem lainnya dan dapat beroperasi secara normal kembali.

- www.itk.ac.id
2. Mengurangi kerusakan peralatan yang lebih fatal.
  3. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap sistem lainnya dan mencegah meluasnya gangguan.
  4. Memperkecil bahaya *human safety hazard*.

Untuk mendapatkan proteksi yang baik, maka dalam sistemnya terbagi atas daerah pengamanan yang cukup dengan pemutusan subsistem seminimal mungkin. Maka untuk mencapai fungsi tersebut *relay* proteksi harus memenuhi syarat berikut (Hazairin, 2005).

1. Selektif
2. Handal
3. Cepat
4. Sensitif
5. Sederhana dan ekonomis.

Dalam menentukan koordinasi sistem proteksi yang optimal dapat mengamankan sistem maka OCR yang berperan penting dalam mendeteksi gangguan yang bekerja berdasarkan nilai arus gangguan atau *overload* yang bernilai sangat besar pada jaringan sistem tenaga karena adanya hubung singkat antar fasa. Selain OCR terdapat juga *ground fault relay* yang bekerja karena adanya besaran arus yang mengalir ke ground yang diakibatkan hubung singkat satu fasa ketanah. Pada *setting relay* dibutuhkan respon yang cepat dan mengatasi gangguan secepat mungkin sehingga dibutuhkan karakteristik waktu *inverse* yang sesuai kebutuhan. Arus full load ditentukan dengan rumus pada persamaan (2.1) sebagai berikut.

$$If1 = \frac{P}{\sqrt{3} \times kV \text{ bus} \times PF} \quad (2.1)$$

Arus *full load* digunakan dalam penentuan nilai CT sehingga dapat digunakan dalam *setting relay*.

Berdasarkan IEC 60255 terdapat beberapa karakteristik *relay* arus lebih *Inverse definite minimum time* (IDMT), yaitu *standard inverse* (SI), *Very Inverse* (VI) dan

Moderately inverse (EI) waktu operasi dari karakteristik *moderately inverse* adalah yang paling kecil diikuti karakter *very inverse* dan *standard inverse*. Ketiga karakteristik tersebut dipertimbangkan sesuai dengan *setting relay*. Maka perhitungan *setting relay* secara konvensional menggunakan persamaan *time dial* (Uma, 2014) berikut persamaan *setting time dial* (TMS) yang bergantung pada jenis kurva karakteristik yang digunakan.

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]} \quad (2.2)$$

*Relay OCR* kurva *inverse* memiliki batasan *setting arus* yaitu *relay* tidak boleh bekerja saat beban maksimum, sehingga *setting arus* dari *relay* harus lebih besar dibandingkan dengan arus beban penuh (*I<sub>fla</sub>*) dari komponen peralatan pengamannya. Karakteristik *relay OCR* disajikan pada tabel berikut (Setiawati, 2016).

Tabel 2.1 Karakteristik *Relay OCR*

Karakteristik	K	$\alpha$	$\beta$
Standard Inverse	0,14	0,02	2,97
Very Inverse	13,50	1,00	1,5
Extremly Inverse	80,00	2,00	0,80

Arus hubung singkat maksimum akan digunakan untuk penentuan nilai *time dial* dan arus hubung singkat minimum digunakan untuk penentuan nilai *pick up instantaneous* pada *relay* arus lebih. Pada *setting GFR* memiliki *zero sequence filter* dimana arus *I<sub>o</sub>* menjadi pemicu *GFR* untuk dapat bekerja, pada sistem *delta GFR* tidak digunakan. Berikut persamaan *setting GFR* yang digunakan.

$$10\% \times I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{scL-G} \quad (2.3)$$

Nilai *I<sub>scL-G</sub>* merupakan arus hubung singkat satu fasa yang terjadi pada saluran dan *I<sub>set</sub>* merupakan nilai *setting arus*.

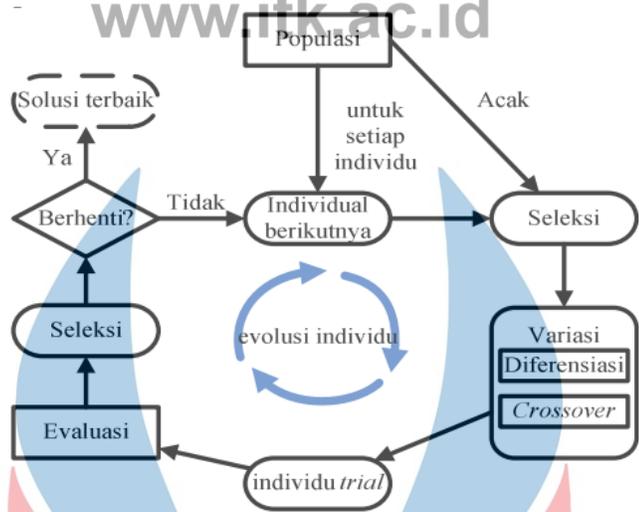
Pada sistem koordinasi terdapat permasalahan dalam menggabungkan integer

nonlinear, dimana variabel *real* adalah *time dial* dan *pickup setting current*, dan karakteristik *tripping* sebagai variabel integernya. Karena perhitungan koordinasi yang kompleks akan dibandingkan dengan simulasi dan pendekatan dengan metode *Differential Evolution Algorithm* (Saha 2016).

## 2.7 Metode *Differential Evolution Algorithm* (DEA)

DEA adalah sebuah metode yang dikembangkan oleh Kenneth Price dan dipublikasikan pada Oktober 1994 dalam majalah *Dr. Dobb's Journal*. DEA adalah algoritma optimasi metaheuristik optimasi matematis fungsi multidimensional dan termasuk dalam kelompok *evolutionary algorithm* yang baik diaplikasikan ke teknik, karena konsep yang mudah diterapkan dan menggunakan informasi yang banyak dalam mengoptimalkan perhitungan. DEA sendiri digunakan dalam optimasi multi fungsi yang objektif. Kelebihan DE dibandingkan dengan metode algoritma evolusioner sebelumnya adalah evolusi yang dialami oleh setiap individu dalam populasi dimana *diferensiasi* dan *crossover* terjadi secara berurutan pada setiap individu yang terpilih acak dari populasi setiap waktu. Sementara kelemahan dalam metode ini adalah pada titik temunya maka kekurangan tersebut teratasi oleh DEA yang termodifikasi.

DEA dapat membangkitkan bilangan acaknya dengan distribusi yang lain. Keputusan menggunakan distribusi tertentu dalam pembangkitan bilangan acak ini tergantung pada pengetahuan terhadap lokasi titik optimal. Akan tetapi pada umumnya distribusi *uniform* digunakan dalam inisialisasi pembangkitan bilangan acak karena mampu mengatasi kurangnya informasi lokasi titik optimal (Feoktistov, 2006).



Gambar 2.4 Siklus Evolusi Individu *Differential Evolution* (Feoktistov, 2006)

Analisis perhitungan konvensional akan menjadi acuan utama dan Metode DEA menjadi pembanding. Metode DEA membutuhkan spesifikasi parameter sehingga dilakukan inisialisasi populasi, nilai arus dibutuhkan untuk kerja *relay* ketika terjadi gangguan (*pickup setting*) maka terdapat batasan parameter (Radha, 2012).

### 2.8 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2.2 Kumpulan Penelitian

No	Nama dan Tahun Publikasi	Judul	Kesimpulan
1.	Kahfi, 2018	Koordinasi <i>Relay</i> Proteksi Optimal Berbasis <i>Differential Evolution</i> Pada Gardu Induk I Pabrik Indarung Vi Pt. Semen Padang Sumatera Barat	Hasil perhitungan <i>setting relay</i> yang didapat dari algoritma differential <i>evolution</i> lebih baik dari perhitungan konvensional. algoritma DE pada <i>relay</i> 158.1

dengan pickup setting 3.2 dan Time dial 0.3 dapat meredam gangguan sebesar 4165A dengan respons kecepatan 0.218 s

---

2.	Nahdia, 2015	Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Transformator Distribusi 20 KV (Studi Kasus PT. PLN PERSERO Unit Lamongan)	Perbandingan hasil perhitungan dengan kondisi eksisting dengan data <i>relay OCR incoming</i> $T=0,3$ s dan keadaan dilapangan $T=0,7$ s. Waktu kinerja <i>relay</i> data perhitungan dan data dilapangan masih dalam kondisi yang sesuai (perbedaan tidak terlalu jauh).
----	-----------------	--	---

---

