

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

1.1 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dilakukan kepada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem tenaga misalnya generator, transformator, jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal itu dapat berupa hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah dan lain-lain. Elemen-elemen yang membentuk suatu sistem proteksi yaitu CT/PT, rele pengaman, PMT, power supply dan pengawatan. Tujuan utama sistem proteksi adalah sebagai berikut :

1. Mendeteksi kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik
2. Memerintahkan trip pada PMT dan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem yang sehat, sehingga sistem dapat terus berfungsi. Sistem proteksi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut [3]:

1. Sensitif

Sistem proteksi harus mampu mendeteksi sekecil apapun gangguan dan beroperasi dibawah nilai minimum gangguan. Studi koordinasi sistem harus dilakukan untuk menentukan sensitivitas setting dan memastikan rele bekerja dengan benar.

2. Handal

Kemungkinan suatu sistem proteksi dapat bekerja benar sesuai fungsi yang diinginkan dalam kondisi dan jangka waktu tertentu. Proteksi diharapkan bekerja pada saat kondisi yang diharapkan terpenuhi dan tidak boleh bekerja pada kondisi yang tidak

diharapkan . Keandalan sistem proteksi terbagi menjadi dua yaitu keterpercayaan dan keterjaminan.

3. Cepat

Elemen sistem proteksi harus mampu memberikan respon yang untuk meminimalisasi terjadinya gangguan meluas. Desain sistem proteksi harus mempertimbangkan kecepatan pemutusan gangguan untuk memisahkan sumber gangguan.

4. Selektif

Sistem proteksi harus mampu menentukan daerah kerjanya yang terganggu secara tepat. Peralatan dan sistem proteksi hanya memisahkan bagian dari jaringan yang sedang terganggu.

2.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan diakibatkan dari timbulnya arus yang jauh lebih besar dari pada arus normal. Sistem tenaga sangat rentan dengan kerusakan peralatan akibat suatu gangguan hubung singkat, baik yang bersifat temporer seperti penghantar udara terkena ranting patah atau layang-layang. Juga yang bersifat permanen seperti kawat penghantar yang putus dan petir. Gangguan hubung singkat dapat diklasifikasikan berdasarkan kesimetrisannya antara lain :

1. Gangguan Asimetris (tidak simetris)

Gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang, gangguan ini terdiri dari :

- a. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah
- b. Gangguan hubung singkat dua fasa atau fasa-fasa
- c. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah

2. Gangguan Simetris

Gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari gangguan hubung singkat tiga fasa dan gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah.

2.3 Relay arus (OCR)

OCR (arus lebih) adalah relay arus lebih untuk mengetahui gangguan hubung singkat pada phasa - phasa. cara kerja OCR adalah relay akan bekerja jika arus gangguan yang melewati melebihi nilai arus diatur (I_{set}) kemudian memberikan perintah trip ke PMT atau CB untuk melepas gangguan atau mengisolasi gangguan yang sesuai dengan karakteristik waktunya. OCR diseting lebih besar dari kemampuan arus beban maksimum peralatan agar rele tidak bekerja pada arus beban maksimum dan dapat bekerja pada gangguan arus hubung singkat yang minimum. OCR dapat digunakan sebagai rele primer (utama) ataupun rele back up (cadangan).

$I_f > I_{set}$ Rele bekerja

$I_f < I_{set}$ Rele tidak bekerja

Keterangan :

I_f = Arus gangguan

I_{set} = Arus setting

1.4 Jenis Over current rlay berdasarkan karakteristik waktu

Terdiri beberapa macam OCR berdasarkan karakteristik waktu sebagai berikut

1. Relay OCR seketika(*instantaneous*)

Merupakan rele arus lebih yang tidak mempunyai waktu penundaan sehingga rele bekerja sangat singkat. Rele ini bekerja berdasarkan arus gangguan hubung singkat.

2. Relay OCR waktu tertentu(*definite time*)

Merupakan rele yang mempunyai karakteristik waktu tertentu yang di setting pada rele yang hanya berdasarkan waktu kerjanya rele tersebut, dan tidak tergantung pada besarnya arus gangguan. Jika arus gangguan telah melebihi arus setting berapapun besarnya arus gangguan rele akan bekerja dengan waktu yang tetap.

3. Relay OCR berbanding balik(*inverse time*)

Merupakan rele yang memiliki karakteristik waktu arus yang berbanding terbalik. Semakin besar arus gangguan maka waktu beroperasinya akan semakin cepat dan juga berlaku sebaliknya. Pada [4] terdapat beberapa karakteristik kurva inverse yaitu long time inverse, very inverse, standard inverse dan extreme inverse.

Adapun karakteristik waktu operasi rele (t) inverse berdasarkan BS 142 adalah sebagai berikut :

1. Standar inverse

$$t = \frac{0.14 \times TMS}{PSM^{0.02-1}} \dots \dots \dots (2.1)$$

2. Very inverse

$$t = \frac{13.5 \times TMS}{PSM-1} \dots\dots\dots (2.2)$$

3. Extremely inverse

$$t = \frac{80 \times TMS}{PSM^2-1} \dots\dots\dots (2.3)$$

4. Long inverse

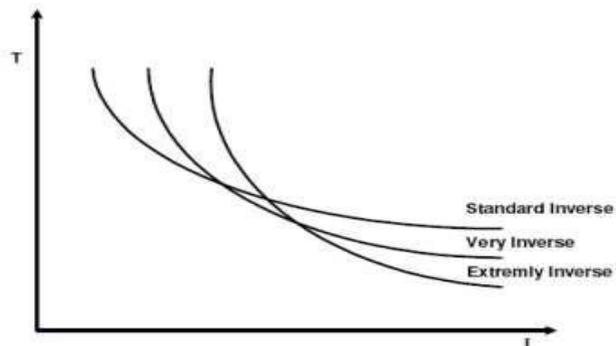
$$t = \frac{120 \times TMS}{PSM-1} \dots\dots\dots (2.4)$$

keterangan :

t = Time kerja rele(s)

PSM = plug setting multiplier

TMS = Time Multiplier Setting



Gambar 2.1 kurva karakteristik waktu operasi rele(t)

1.5 setting over current relay

relay OCR memiliki dua metode atur relay sebaagai berikut atur (PSM) dan atur time (TMS). Namun untuk pengaturan arus atau arus *pick up* (I_p) berguna sebagai beban arus maksimum untuk mengurangi arus beban maksimum yang ada di perataan. Sehingga untuk menentukan arus pick up ini, arus dari rele harus lebih besar dari arus beban maksimum. Sesuai aturan British BS 142 - 1983 batas pengaturan mendapat arus pick up OCR adalah

$$1.05 \times I_{FLA} < I_p < 1.3 \times I_{FLA} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana IFLA merupakan arus beban maksimum dari peralatan.

PSM (*Plug Setting Multiplier*) adalah atur kepada arus gangguan dan arus pick up rele untuk diatur selebihnya sehingga rele tidak bekerja untuk arus beban maksimal (I_{FLA}) namun bekerja mendapat arus gangguan hubung singkat pada minimum [5].

PSM dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut [6]:

$$PSM = \frac{I_f}{I_p} \dots\dots\dots (2.6)$$

keterangan :

I_f = Arus gangguan short circuit (Ampere)

I_p = Arus pick up relay (Ampere)

TMS (Time Setting Multiplier) berguna untuk mengatur time untuk menemukan waktu kerja relay (t). agar mendapatkan TMS pada setting OCR digunakan untuk peyamaan sebagai berikut :

$$TMS = \frac{(PSM)^{\lambda} - 1}{\lambda} \times t \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

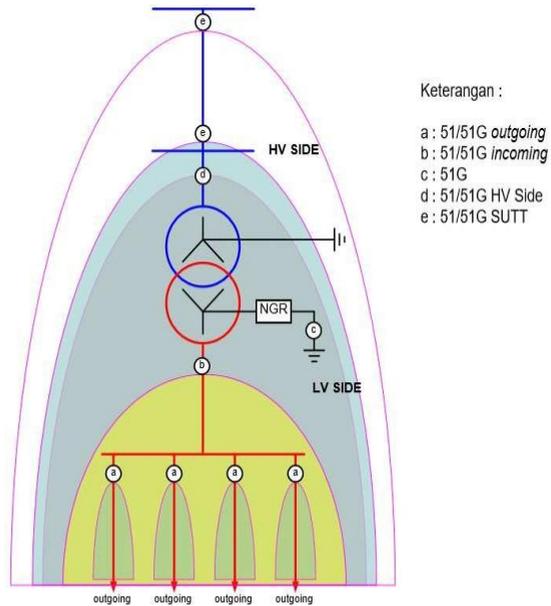
TMS = Time Multiplier Setting

- t = Waktu kerja rele (s)
PSM = Plug Setting Multiplier
 λ = Koefisien karakteristik time
 γ = Koefisien karakteristik time

1.6 Koordinasi proteksi

Filosofi pemasangan rele cadangan (*back up*) adalah untuk mengamankan transformator dari kerusakan akibat gangguan luar (gangguan eksternal). Gangguan eksternal pada trafo tidak dapat diisolasi oleh rele utama. Sehingga perlu dipasang rele lain yang bisa mengamankan trafo dari kerusakan. Pada trafo OCR dipilih sebagai rele cadangan. Jadi OCR pada transformator hanya berfungsi sebagai rele back up (rele cadangan) bagi outgoing feeder (penyulang) yang sebagai rele primer (rele utama) terhadap gangguan hubung singkat.

Tujuan dari koordinasi over current relay (OCR) adalah untuk menentukan karakteristik, urutan rele, dan setting OCR yang meminimalkan kerusakan dan gangguan peralatan korsleting secepat mungkin. Koordinasi OCR ini umumnya diterapkan jika terjadi kondisi gangguan hubung singkat, hanya sebagian kecil dari sistem tenaga yang terganggu. Sebuah studi koordinasi OCR adalah perbandingan dan pemilihan waktu operasi rele yang mencapai tujuan sistem proteksi di bawah sistem abnormal kondisi. Studi ini harus mencakup semua perangkat dari peralatan pemanfaatan hingga sumbernya [4].



Gambar 2. 2 Koordinasi antara trafo dan penyulang

Peralatan proteksi diaplikasikan ke sebuah sistem tenaga listrik sebagai rele utama dan back up. Namun Pada awalnya rele utama disetting mendapat bekerja bekerja lebih duluan bila terjadi gangguan . Rele back up mengambil alih saat rele primer gagal beroperasi pada saat ada gangguan. Rele back up dipilih untuk beroperasi di beberapa yang telah ditentukan sebelumnya interval waktu setelah perangkat utama beroperasi. Dengan demikian rele back up harus mampu menahan kondisi gangguan untuk jangka waktu yang lebih lama dari perangkat rele utama agar dapat mengisolasi gangguan.

Koordinasi rele sangat mempertimbangkan urutan trip rele primer dan back up. Dalam urutan trip terdapat waktu tunda/delay agar tidak terjadi malfunction yaitu trip secara bersamaan. Waktu penundaan tersebut dikenal sebagai CTI (Coordination Time Interval) yang merupakan interval waktu operasi diantara waktu bekerja rele utama and waktu operasi rele pembantu . Koordinasi harus mempertahankan interval waktu untuk memastikan rele dapat beroperasi secara selektif dengan benar agar tidak overlapping sehingga mengurangi trip gangguan. Tanpa CTI yang memadai, perangkat proteksi ini dapat trip secara tidak benar.

Setting arus lebih digunakan untuk mengkoordinasikan antara rele primer dan rele back up agar dapat beroperasi secara sensitivitas dan selektivitas dalam proteksi arus lebih. Prinsip waktu setting arus lebih adalah bahwa rele diterapkan dengan tepat di terminal zona, dan setiap rele kemudian diberi setting pick up dan delay waktu. Pick up menetapkan sensitivitas rele untuk menentukan kepekaan rele. Setting waktu pada delay waktu digunakan agar rele back up dapat beroperasi secara selektif. Rele yang paling dekat dengan gangguan memiliki setting waktu yang menciptakan waktu kerja relay lebih duluan dari pada rele yang lebih jauh. Oleh karena itu, rele primer yang paling dekat dengan gangguan akan trip terlebih dahulu, sementara rele back up yang lebih jauh menunggu, tetapi jika rele primer gagal beroperasi , rele back up akan beroperasi dengan memerintahkan trip ke pemutus sirkuit

Koordinasi agar selektif dirasakan dengan melakukan margin waktu dianantara setting rele dengan menentukan tiga faktor

1. Waktu operasi membuka circuit breakers. Pemutus tegangan menengah modern dinilai untuk 5 siklus penundaan waktu, dan penyisihan waktu biasanya 0.08 detik.
2. Overtravel merupakan dorongan rele untuk melanjutkan ke waktu setelah circuit breakers hilir melepaskan arus gangguan. Overtravel biasanya memiliki waktu 0.1 detik.
3. Margin untuk memperhitungkan hal-hal yang tidak dapat dibayangkan seperti ketidakpastian dalam besaran arus gangguan, ketidakakuratan dalam trafo instrumen atau yang disebut toleransi dan setting errors. Nilai yang dimiliki berkisar dari 0.1 sampai 0.3 detik.

Tabel 2.1 Clearing Time Interval

Komponen	second
Circuit breaker opening time (5 cycle)	0.08 s
Relay overtravel	0.10 s
Relay tolerance and setting errors	0.12 s
Total CTI	0.30 s

Acuan landasan CTI relay arus lebih berdasarkan IEEE 242 2001 pada umumnya berkisar diantara 0.3 s - 0.4 s saat mengkoordinasikan OCR induksi rele satu sama lain. Koordinasi relay utama dan dan relay pembantu didefinisikan sebagai berikut [7]:

$$T_{back up} - T_{primer} \geq CTI \text{ (Coordination Time Interval)..... (2.8)}$$

Pada koordinasi terdapat koordinasi rele waktu dan arus (Time and current grading) dengan memilih karakteristik waktu rele, bahkan dengan hanya memilih PSM yang berbeda dengan setting TMS yang sama, maka akan diperoleh waktu operasi rele (t) yang berbeda.

1.7 Metode Optimasi

Pengaplikasian metode optimasi pada pemodelan sistem koordinasi OCR jaringan listrik bertujuan untuk mencari nilai optimum setting waktu pada OCR. Dengan memasukkan batasan parameter-parameter perhitungan setting OCR pada metode optimasi, kemudian metode optimasi menemukan nilai yang paling optimal dari semua iterasi perhitungan. Dengan menggunakan metode optimasi diharapkan akan menentukan setting waktu OCR yang optimum.

1.8 particle swarm optimization

dengan perkembangan Algoritma optimasi kumpulan partikel (PSO) berdasarkan pada tingkah laku sosial sekumpulan burung atau ikan. Jika seekor binatang dalam dalam sebuah algoritma maka akan dianggap sebagai individu. Individu ini akan dikontaminasi oleh perilaku individu binatang itu sendiri dan perilaku dari individu lain dalam satu kumpulan. Bila sebuah individu mendapatkan rute yang mudah dan terjangkau menjalan kesuatu tempat sumber makan, maka akan terjadi adalah individu tersebut akan menuruti partikel yang telah mendapatkan jalan yang tepat dan terpendek tadi. Setiap individu mendapatkan sebuah solusi yang optimal untuk melewati tempat pencarian. Hal ini dilakukan dengan cara setiap individu melakukan penyesuaian terhadap posisi terbaik dari individu tersebut (local best) dan menyesuaikan dengan posisi terbaik dari seluruh kawanan (global best). Masing-masing individu diberikan berfungsi objektif yang sesuai untuk menyelesaikan suatu masalah.

Beberapa istilah umum yang digunakan dalam PSO dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. *swarm* : populasi dari suatu algoritma
2. *particle* : anggota (individu) pada suatu swarm. Setiap particle mempresentasikan suatu solusi yang potensial pada permasalahan yang diselesaikan. Posisi dari suatu particle adalah ditentukan oleh representasi solusi saat itu.
3. *Pbest (personal Best)* : Pbest (Personal Best) : posisi Pbest suatu particle yang menunjukkan posisi particle yang dipersiapkan untuk mendapatkan suatu solusi yang terbaik.
4. *Gbest (Global Best)* : posisi terbaik particle pada swarm atau posisi terbaik diantara Pbest yang ada.

5. *Velocity* (kecepatan) : kecepatan atau vektor yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukan arah dimana suatu particle diperlukan untuk berpindah (move) untuk memperbaiki posisinya semula.
6. *Inertia Weight* (θ) : parameter yang digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya velocity yang diberikan oleh suatu particle.
7. *Learning* ($c1$ dan $c2$) : Suatu konstanta untuk menilai kemampuan partikel ($c1$) dan kemampuan sosial swarm ($c2$) yang menunjukkan bobot dari partikel.

Berikut ini merupakan formulasi matematika yang menggambarkan posisi dan kecepatan partikel pada suatu dimensi ruang tertentu [8]:

$$x_i(t) = x_{i1}(t), x_{i2}(t), \dots, x_{in}(t) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$v_i(t) = v_{i1}(t), v_{i2}(t), \dots, v_{in}(t) \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

x = Posisi partikel

v = Kecepatan partikel

i = Indeks partikel

t = Iterasi ke- t

n = Ukuran dimensi ruang

Berikut ini merupakan model matematika yang menggambarkan mekanisme updating status partikel [9]:

$$(v_i^{it+1}) = w^{it} \cdot v_{it} + c_1 \cdot r \cdot (pbest_i - x^{it}) + c_2 \cdot r \cdot (pbest_i - x_{it}) \dots\dots\dots (2.11)$$

$$x^{it+1} = x^{it} + v^{it+1}$$

$$w^{it} = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{in}}{it_{max}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

x_{it} : posisi partikel ke- I iterasi saat ini

- V_{it} : akselerasi partikel ke-i, iterasi saat ini
 X_{it+1} : Kecepatan partikel ke-i, iterasi selanjutnya maka
 V_{it+1} : percepatan partikel ke-i, iterasi selanjutnya maka
 $c1$: Cognitive constant (learning rate)
 $c2$: Social constant (learning rate)
 r : nilai random 0 sampai 1
 $p_{best.i}$: Posisi terbaik dari partikel ke-i maka
 p_{best} : Posisi terbaik dari seluruh populasi
 w^{it} : Koefisien inerti iterasi saat ini
 w_{max} : Koefisien inerti maksimal
 w_{min} : Koefisien inerti minimal
 It : Iterasi yang selalu berubah dari 1, 2, 3.....
 it_{max} : Nilai iterasi maksimal yang di tentukan

Prosedur PSO dapat dijabarkan dengan langkah-langkah sebagai berikut (Santosa, 2011)

1. Inisialisasi awal pada parameter-parameter PSO yaitu jumlah partikel (jumlah swarm), iterasi maksimal, jumlah variabel, batas minimum dan maksimum variabel, inertia weight (w), personal leaning coefficient ($c1$), global leaning coefficient ($c2$), kecepatan awal partikel, posisi awal partikel, evaluasi fitness setiap partikel, P_{best} , G_{best} .
2. Update kecepatan setiap partikel pada Persamaan 2.7.
3. Update posisi setiap partikel pada Persamaan 2.8.
4. Menghitung fitness berdasarkan fungsi objektif partikel baru.

5. Tentukan partikel Pbest terbaik dengan membandingkan posisi sekarang dengan Pbest dari iterasi sebelumnya , kemudian Pbest terbaik ditetapkan sebagai Gbest terbaik. Maka Gbest terbaik sebagai fitness terbaik.
6. Proses iterasi berhenti ketika sudah konvergen, jika posisi semua partikel menuju ke satu nilai yang sama, maka ini disebut konvergen.

1.9 setting Relay menggunakan PSO

ada beberapa masalah yang terjadi dari relay (OCR), bisa dilihat kegunaannya adalah untuk meminimalkan waktu operasi rele primer di penyulang. Dengan dua macam setting relay waktu TMS dan setting PSM. Fungsi objektif menjadi tujuan utama optimalisasi. Pada proyek skripsi ini kegunaan alatnya nya adalah sebagai berikut [10] :

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n t_{opi} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

t_{opi} = Waktu operasi rele primer untuk gangguan pada i

1.10 karakteristik relay

Karakteristik pada rele adalah standard inverse relay dengan koefisien λ adalah 0.14 dan γ adalah 0.02.

$$\alpha \frac{\lambda}{(PSM)^{\gamma-1}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Pada Persamaan 8, PSM yang digunakan adalah PSM penyulang karangploso. Sehingga untuk memperoleh fungsi objektif waktu operasi rele

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^n \alpha i * TMS_i \dots\dots\dots (2.15)$$

1.11 Batasan waktu rele beroperasi

Adapun untuk mengetahui batasan waktu rele beroperasi sebagai berikut [11] :

$$\text{Min } t_{opi} \leq t_{opi} \leq \text{Max } t_{opi} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$0.1 \leq TMS \leq 1.1 \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

min t_{opi} = waktu operasi rele primer minimum

max t_{opi} = waktu operasi rele primer maksimum

1.12 kriteria waktu interval koordinasi rele

Ada batasan untuk mempertahankan Coordination Time Interval (CTI) antara rele. Perbedaan antara waktu operasi dari rele primer dan rele back up lebih besar dari atau sama dengan CTI seperti dalam persamaan berikut

$$t_{opi} - t_{opib} \geq CTI \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

t_{opib} = waktu operasi rele back up untuk gangguan pada i

t_{opi} = waktu operasi rele primer untuk gangguan pada i

CTI = Coordination Time Interval (0.3 – 0.4 s)

