

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Rele Arus Lebih / *Over Current Relay* (OCR) [3]

Rele arus lebih atau *Over Current Relay* (OCR) adalah suatu rele yang bekerja karena adanya besaran arus yang melalui jaringan, apabila nilai arus yang terbaca oleh rele dengan bantuan trafo arus melebihi nilai setting, maka rele akan mengirim perintah trip (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB). Apabila nilai arus yang terbaca tidak melebihi nilai setting, maka rele tidak akan mengirim perintah trip kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB).

2.2. Penerapan Rele Pengaman

Rele pengaman untuk saluran transmisi melindungi saluran dan peralatan terhadap kerusakan dengan cara menghilangkan gangguan yang terjadi secara cepat dan tepat. Kecuali itu ia berusaha membatasi daerah yang terkena gangguan seminimum mungkin sehingga mutu dan kehandalan penyaluran penyaluran terjamin.

Banyak sekali macam sistem pengaman yang diketahui, banyak juga derajat kemampuan pengamanannya. Untuk saluran transmisi yang penting sering dipakai jenis “pilot relay”, meskipun sistem rele arus lebih (overcurrent) juga dapat dipakai. Oleh karena itu pemilihan jenis rele yang diperlukan dengan seksama, dengan memperhatikan frekwensi gangguan, pentingnya saluran yang hendak dilindungi, faktor-faktor ekonomisnya, kekurangan dan kelebihan jenis yang satu terhadap yang lain.

2.2.1 Gangguan yang Diamankan Rele Arus Lebih

Sistem tenaga listrik tidak lepas dari bermacam-macam gangguan. Gangguan yang terjadi mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya, dan terganggunya pelayanan kontinuitas daya. Penyebab dari bermacam-macam gangguan yang mengganggu sistem disebabkan oleh dua faktor, yaitu gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri dan gangguan yang berasal dari luar sistem.

Gangguan yang berasal dari dalam sistem itu sendiri antara lain disebabkan oleh

- Beban yang berlebih pada sistem.
- Faktor penuaan dari peralatan yang terpasang.
- Kerusakan material seperti rusaknya isolator penghantar, kawat putus.

Sedangkan gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain disebabkan oleh

- Pengaruh lingkungan sekitar seperti pohon, hewan.
- Gangguan human error seperti kesalahan penggalian.
- Pengaruh alam seperti petir, badai, dan bencana alam.

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan beban lebih (overload) dan gangguan hubung singkat (short circuit).

2.2.2. Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih adalah gangguan yang terjadi karena arus yang mengalir melebihi arus nominal yang telah diizinkan ($I > I_n$). Hal tersebut menyebabkan arus yang mengalir ke peralatan listrik (generator, motor, trafo, dll) dan pengaman yang terpasang akan melebihi kapasitasnya. Bila gangguan ini dibiarkan terjadi terus-menerus, maka peralatan listrik yang terhubung dengan sistem akan rusak.

2.2.3. Analisis Gangguan Hubung Singkat

Gangguan arus lebih disebabkan oleh terjadinya hubung singkat. Gangguan ini menimbulkan kenaikan arus pada saluran yang terganggu. Dalam menganalisa gangguan yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik dipergunakan rangkaian urutan positif, negatif dan nol dalam hubungannya dengan metode komponen simetri.

Biasanya gangguan hubung singkat yang tiga fasa mengakibatkan arus gangguan yang sangat besar, terbesar dari arus-arus gangguan jenis yang lain, tetapi dapat juga terjadi arus yang satu fasa ke tanah lebih besar daripada arus yang tiga fasa. Hal ini dapat terjadi bila titik gangguan yang terjadi didekat generator yang netralnya ditanahkan langsung. Arus gangguan ini diperoleh berdasarkan teorema Thevenin dimana impedansi Theveninnya dapat dicari dengan berbagai metode, dalam penelitian ini digunakan metode impedansi bus.

Secara umum tanpa memandang jenis gangguannya, gangguan hubung singkat mempunyai persamaan umum sebagai berikut :

$$V_{a1} = V_f - Z_1 I_{a1} \quad (2.1)$$

$$V_{a2} = -Z_2 I_{a2} \quad (2.2)$$

$$V_{a0} = -Z_0 I_{a0} \quad (2.3)$$

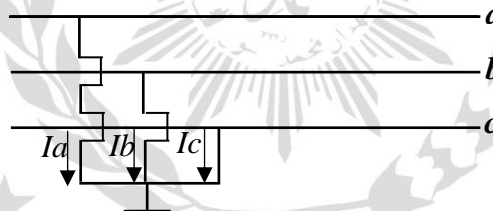
Fasa a selalu diambil sebagai referensi.

V_f = Tegangan titik gangguan pada keadaan normal (1 pu).

Z_1, Z_2, Z_0 = Impedansi urutan positif, negatif dan nol ditinjau dari titik gangguan.

2.2.3.1. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Ketanah

Gangguan hubung singkat tiga fasa ketanah sering juga disebut gangguan simetri atau gangguan tiga fasa seimbang yaitu hubung singkat antar fasa a,b,c ke tanah. Besarnya arus gangguan ketanah adalah sama besar untuk tiap-tiap fasa dan simetri sehingga arus yang mengalir hanya arus urutan positif.



Gambar 2.1 Hubung Singkat Tiga Fasa Ketanah

Besarnya arus gangguan adalah $I_{a0} = I_{a2} = 0$

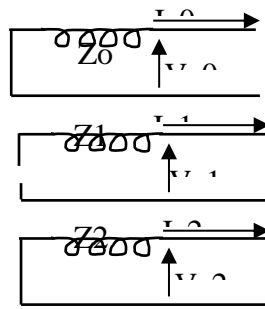
$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \quad (2.4)$$

$$I_a = I_b = I_c = I_{a1} \quad (2.5)$$

Dari perbedaan tersebut menunjukkan bahwa masing-masing rangkaian pengganti urutan tidak dihubungkan sehingga besarnya arus hubung singkat adalah sama untuk masing-masing saluran.

$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = 0 \quad (2.6)$$

$$I_{a1} = V_a / Z_1 \quad (2.7)$$



Gambar 2.2 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Tiga Fasa Ketanah

2.2.3.2. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Ketanah Dengan Impedansi

Pada umumnya gangguan tiga fasa adalah yang seimbang, menunjukkan gangguan tiga fasa dengan impedansi busur Z_f dan impedansi tanah Z_g .

Dengan persamaan :

$$V_a - V_b = 0 \quad (2.8)$$

$$V_a - V_c = 0 \quad (2.9)$$

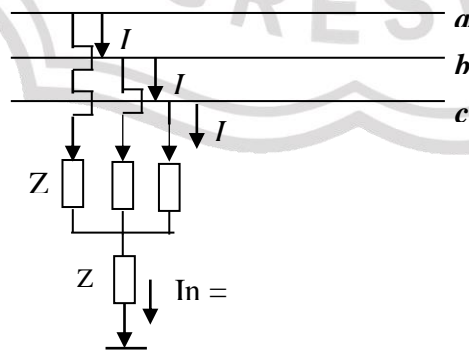
$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (2.10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan ini diperoleh :

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) = V_a \quad (2.11)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) = 0 \quad (2.12)$$

$$V_{a2} = V_{a1} = V_{a0} \quad (2.13)$$



Gambar 2.3 Hubung Singkat Tiga Fasa Ketanah Dengan Impedansi

$$I_{a0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = 0 \quad (2.14)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + aI_b + a^2I_c) = I_a \quad (2.15)$$

$$I_{a2} = I_{a0} = 0 \quad (2.16)$$

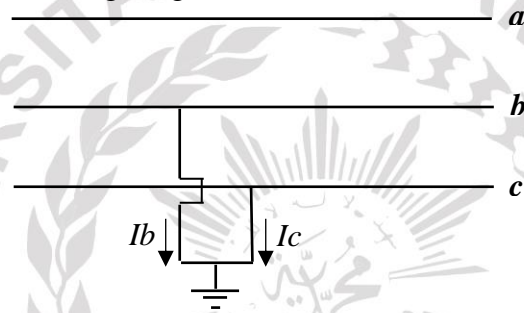
$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1} \quad (2.17)$$

Karena impedansi busur Z_f tidak dapat diabaikan, maka arus gangguan I_f dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_f = I_{a1} (Z_1 + Z_f) \quad (2.18)$$

$$I_f = \frac{V_f}{(Z_1 + Z_f)} \quad (2.19)$$

2.2.3.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah



Gambar 2.4 Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah

Selama terjadi gangguan keadaan sistem adalah sebagai berikut :

$$I_a = 0 \quad (2.20)$$

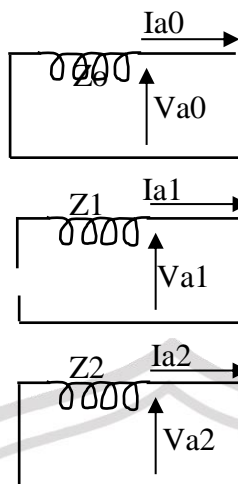
$$V_b = V_c = 0 \quad (2.21)$$

Dari komponen simetri diperoleh $V_{012} = A^{-1} V_{abc}$

Dengan substitusi persamaan diatas maka $V_{a0} = v_{a1} = v_{a2} = 1/3 V_a$

Arus yang mengalir pada fasa a adalah sebagai berikut :

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = 0 \quad (2.22)$$



Gambar 2.5 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah

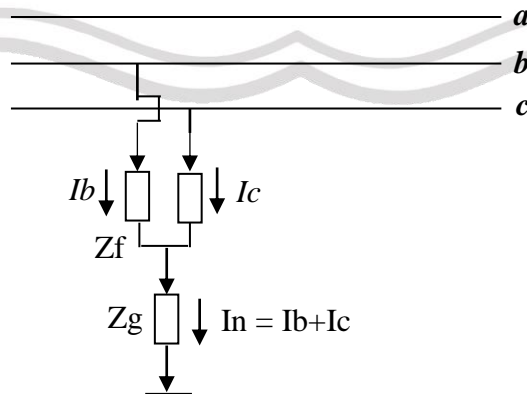
Dari rangkaian pengganti diatas terlihat urutannya terhubung paralel, diperoleh besarnya arus urutan yang mengalir ketanah

$$I_{a1} = \frac{V_a}{Z_1} + \left[\frac{Z_2 \times Z_0}{Z_2 + Z_0} \right] \text{ dan } I_{a2} = \left[\frac{-Z_0}{Z_2 + Z_0} \right] I_{a1} \quad (2.23)$$

$$I_{a0} = \left[\frac{-Z_2}{Z_2 + Z_0} \right] I_{a1} \quad (2.24)$$

2.2.3.4. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah Dengan Impedansi

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah pada saluran transmisi terjadi jika dua kawat terhubung dengan tanah atau dengan netral sistem tiga fasa. gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah dengan impedansi gangguan Z_f dan Z_g . Impedansi Z_f merupakan tahanan busur sedangkan impedansi Z_g terdiri dari tahanan menara dan tahanan kaki menara.



Gambar 2.6 Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah Dengan Impedansi

Persamaan keadaan :

$$I_a = 0 \quad (2.25)$$

$$V_b = I_b Z_f + (I_b + I_c) Z_g \quad (2.26)$$

$$V_c = I_c Z_f + (I_b + I_c) Z_g \quad (2.27)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan ini didapat :

$$I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 0 \quad (2.28)$$

$$a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} = (a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0}) + (I_b + I_c) Z_g \quad (2.29)$$

$$a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0} = (a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0}) + (I_b + I_c) Z_g \quad (2.30)$$

Persamaan didapat :

$$(a^2 - a) V_{a1} + (a - a^2) V_{a2} = (a^2 - a) I_{a1} Z_f + (a - a^2) I_{a2} Z_f \quad (2.31)$$

atau

$$V_{a1} - I_{a1} Z_f = V_{a2} - I_{a2} Z_f \quad (2.32)$$

Persamaan didapat :

$$-V_{a1} - V_{a2} + 2V_{a0} = -I_{a1} Z_f - I_{a2} Z_f + 2(I_{a0} Z_f + (I_b + I_c) Z_g)$$

atau

$$(V_{a1} - I_{a1} Z_f) + (V_{a2} + I_{a2} Z_f) = 2(V_{a0} - I_{a0} Z_f (Z_f + 3Z_g)) \quad (2.33)$$

Dari persamaan tersebut diperoleh :

$$2(V_{a1} - I_{a1} Z_f) = 2(V_{a0} - I_{a0} Z_f (Z_f + 3Z_g)) \quad (2.34)$$

Jadi

$$(V_{a1} - I_{a1} Z_f) = (V_{a0} - I_{a0} Z_f (Z_f + 3Z_g)) \quad (2.35)$$

Selanjutnya arus dan tegangan urutannya dapat diperoleh :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f + \frac{(Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f + 3Z_g)}{Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g}} \quad (2.36)$$

atau

$$I_{a1} = V_f \cdot Z_g / Z_f \quad (2.37)$$

$$I_{a2} = - I_{a1}(Z_0 + Z_f + 3Z_g)/Z_q \quad (2.38)$$

$$I_{a0} = - I_{a1}(Z_2 + Z_f)/Z_q \quad (2.39)$$

Dengan

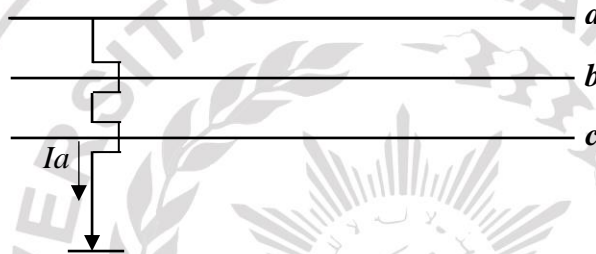
$$Z_f = (Z_1+Z_f)(Z_0+Z_2+2Z_f+3Z_g)+(Z_2+Z_f)(Z_0+Z_f+3Z_g) \quad (2.40)$$

$$Z_q = Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g \quad (2.41)$$

Dengan demikian arus pada titik gangguan dapat diperoleh :

$$I_f = I_b + I_c = 3 I_{a0} \quad (2.42)$$

2.2.3.5. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketenah



Gambar 2.7 Hubung Singkat Satu Fasa Ketenah

Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah adalah gangguan yang paling sering terjadi pada saluran transmisi seperti yang ditunjukkan oleh gambar diatas. Selama terjadi gangguan keadaan sistem adalah :

$$I_b = I_c = 0 \quad (2.66)$$

$$V_a = 0 \quad (2.67)$$

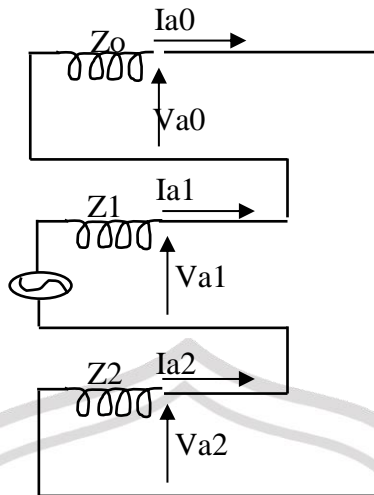
Transformasi arus ke dalam komponen simetri adalah

$$I_{012} = A^{-1} abc \quad (2.68)$$

$$\text{Sehingga } I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = 1/3 I_a \quad (2.69)$$

Dan tegangan :

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = 0 \quad (2.70)$$



Gambar 2.8 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Satu Fasa Kitanah

Sehingga :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{3V_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.71)$$

2.2.3.6. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Kitanah Dengan Impedansi

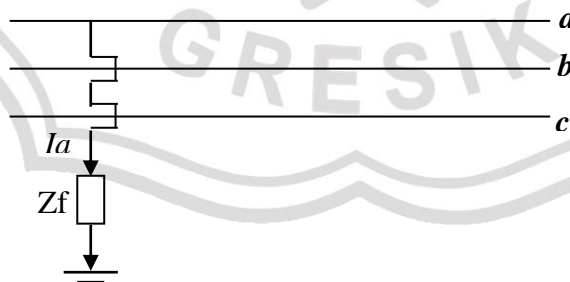
gangguan satu fasa ke tanah dengan impedansi gangguan Z_f .

Dengan persamaan :

$$I_b = 0 \quad (2.72)$$

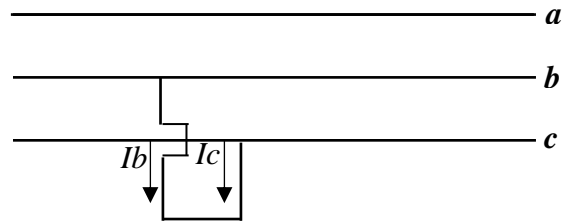
$$I_c = 0 \quad (2.73)$$

$$V_a = I_a Z_f \quad (2.74)$$



Gambar 2.9 Hubung Singkat Satu Fasa Kitanah Dengan Impedansi

2.2.3.7. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa



Gambar 2.10 Hubung Singkat Antar Fasa

Keadaan sistem selama terjadi gangguan adalah sebagai berikut :

$$I_{a0} = 0 \quad (2.43)$$

$$I_b = -I_c \quad (2.44)$$

$$V_b = V_c \quad (2.45)$$

Berdasarkan komponen simetri arus yang mengalir pada fasa a :

$$I_{a0} = 1/3 (I_a + I_b + I_c) = 0 \quad (2.46)$$

$$I_{a1} = 1/3 (I_a + a^2 I_b + a I_c) \quad (2.47)$$

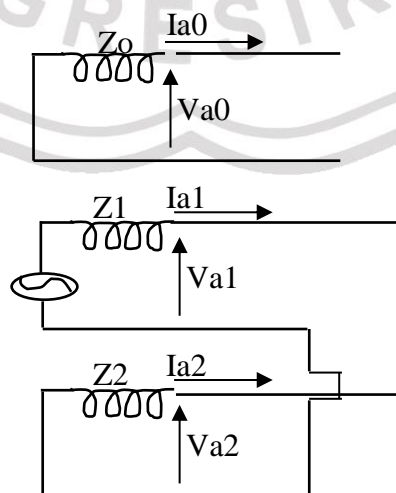
$$I_a = (a^2 - a) / 3 I_c \quad (2.48)$$

$$I_{a2} = 1/3 (I_a + a^2 I_b + a I_c) = (a^2 - a) / 3 I_c \quad (2.49)$$

Sehingga diperoleh persamaan $I_{a2} = -I_{a1}$ (2.50)

Karena $I_{a0} = 0$, maka $V_{a0} = 0$ sehingga tidak terdapat komponen urutan nol. Dan besarnya arus urutan positif dan negatif adalah sebagai berikut :

$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{V_a}{Z_1 + Z_2} \quad (2.51)$$



Gambar 2.11 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Antar Fasa

Dengan mensubstitusikan persamaan ini akan diperoleh :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} \quad (2.75)$$

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = (I_{a1} + I_{a2} + I_{a0})Z_f = 3 I_{a1} Z_f \quad (2.76)$$

$$(V_{a1} - I_{a1}Z_f) + (V_{a2} - I_{a2}Z_f) + (V_{a0} - I_{a0}Z_f) = 0 \quad (2.77)$$

$$V_{a1} = -V_{a2} - V_{a0} + 3 I_{a1}Z_f \quad (2.78)$$

$$V_{af} - I_{a1}Z_f = I_{a1} Z_2 + I_{a1} Z_0 + 3I_{a1} Z_f \quad (2.79)$$

$$V_f = I_{a1} (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_f) \quad (2.80)$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (2.81)$$

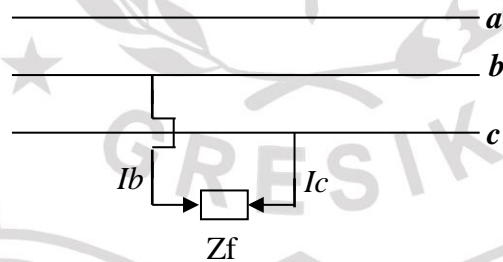
$$I_{a1} = I_{a2}$$

Dengan demikian arus gangguan dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_f = 3 I_{a1} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (2.82)$$

2.2.3.8. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Dengan Impedansi

Gangguan antar fasa pada saluran transmisi terjadi umumnya bila dua kawat fasa bersentuhan. menunjukkan gangguan antar fasa dengan impedansi gangguan Z_f .



Gambar 2.12 Hubung Singkat Antar Fasa Dengan Impedansi

Dapat ditulis dengan persamaan :

$$I_a = 0 \quad (2.52)$$

$$I_b = -I_c \quad (2.53)$$

$$V_b - V_c = I_b Z_f \quad (2.54)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan diatas didapat :

$$I_{a0} = 0 \quad (2.55)$$

$$I_{a1} = - I_{a2} \quad (2.56)$$

$$V_b - V_c = (a^2 - a) V_{a1} - (a^2 - a) V_{a2} = (a^2 - a) I_{a1} Z_f \quad (2.57)$$

atau

$$V_{a1} - V_{a2} = I_{a1} Z_f \quad (2.58)$$

$$V_{a1} = V_{a2} + I_{a1} Z_f \quad (2.59)$$

$$V_{a1} = V_{a2} + I_{a1} (Z_f/2 + Z_f/2) \quad (2.60)$$

$$V_{a0} = 0 \quad (2.61)$$

$$V_{a1} = V_f - I_{a2} Z_2 \quad (2.62)$$

$$V_{a2} = - I_{a2} Z_2 \quad (2.63)$$

$$I_{a1} = - I_{a2} = \frac{V_f}{(Z_1 + Z_2 + 3Z_f)} \quad (2.64)$$

Sehingga arus gangguan adalah :

$$\begin{aligned} I_f = I_b &= a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \\ &= (a^2 - a) I_{a1} \\ &= -j \sqrt{\frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f}} \end{aligned} \quad (2.65)$$

2.3. Optimalisasi Penyetelan Rele Arus Lebih [4]

Pada tahap ini, optimalisasi dilakukan pada parameter Iset lowset dan Time Dial Setting. Fungsi objektif pada proses optimalisasi ini adalah minimum waktu operasi. Untuk proses optimalisasi, dibutuhkan beberapa batasan-batasan dari beberapa parameter agar proses pencarian nilai optimum didapatkan, dan nilai tersebut dapat diterapkan di kondisi nyata.

2.3.1. Batasan TDS (Time Dial Setting)

Agar proses pencarian nilai optimal tepat sasaran, ruang pencarian harus dibatasi, salah satunya adalah TDS (*Time Dial Setting*). Untuk semua rele pada kondisi apapun, batasan TDS sama. Batasan atas dan batasan bawah dari TDS diberikan dibawah ini:

$$TDS_{\min} < TDS < TDS_{\max} \quad (2.66)$$

Batas bawah dari TDS atau TDS_{\min} adalah 0,1, sedangkan batas atas TDS atau TDS_{\max} bernilai 1,1.

2.3.2. Batasan Iset

Seperti pada proses optimalisasi TDS, Iset pun perlu dibatasi. Dikarenakan FLA (Full Load Ampere) pada setiap rele berbeda-beda, batasan Iset setiap rele berbeda-beda pula pada setiap kondisi pembangkitan batasan Iset dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA \quad (2.67)$$

$$Iset_{\min} < Iset < Iset_{\max}$$

2.3.3. Kriteria Koordinasi

Untuk melakukan optimalisasi setelan pada semua rele, koordinasi rele harus diperhitungkan. Waktu operasi rele backup disetel setelah rele utama.

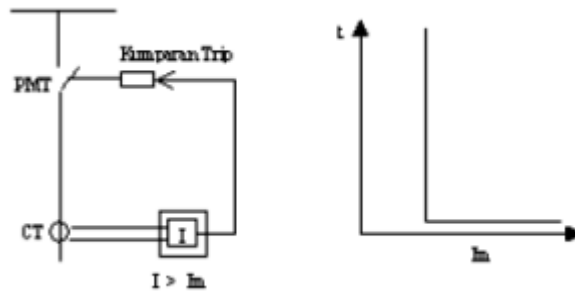
$$T_{\text{rele backup}} - T_{\text{rele utama}} \geq \Delta T$$

$T_{\text{rele backup}}$ merupakan waktu operasi rele backup untuk aktif jika terjadi gangguan pada sistem. Sedangkan $T_{\text{rele utama}}$ merupakan waktu operasi rele utama untuk aktif jika terjadi gangguan pada sistem. ΔT merupakan interval waktu koordinasi dan nilainya dipilih 0,2.

2.3.4. Karakteristik Rele

2.3.4.1. Relay Waktu Seketika (Instantaneous relay) [5]

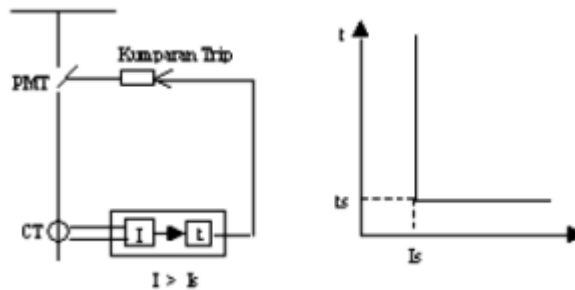
Relay yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, relay akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Dapat kita lihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.13 Karakteristik Relay Waktu Seketika (Instantaneous Relay).
Relay ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan relay arus lebih dengan karakteristik yang lain.

2.3.4.2. Relay arus lebih waktu tertentu (definite time relay)

Relay ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja relay mulai pick up sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relay, lihat gambar dibawah ini.

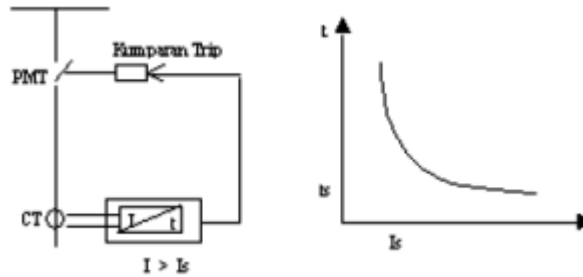


Gambar 2.14 Karakteristik Relay Arus Lebih Waktu Tertentu (Definite Time Relay).

2.3.4.3. Relay arus lebih waktu terbalik

Relay ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (inverse time), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik ini bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok :

- Standar invers
- Very inverse
- Extremely inverse



Gambar 2.15 Karakteristik Relay Arus Lebih Waktu Terbalik (Inverse Relay).

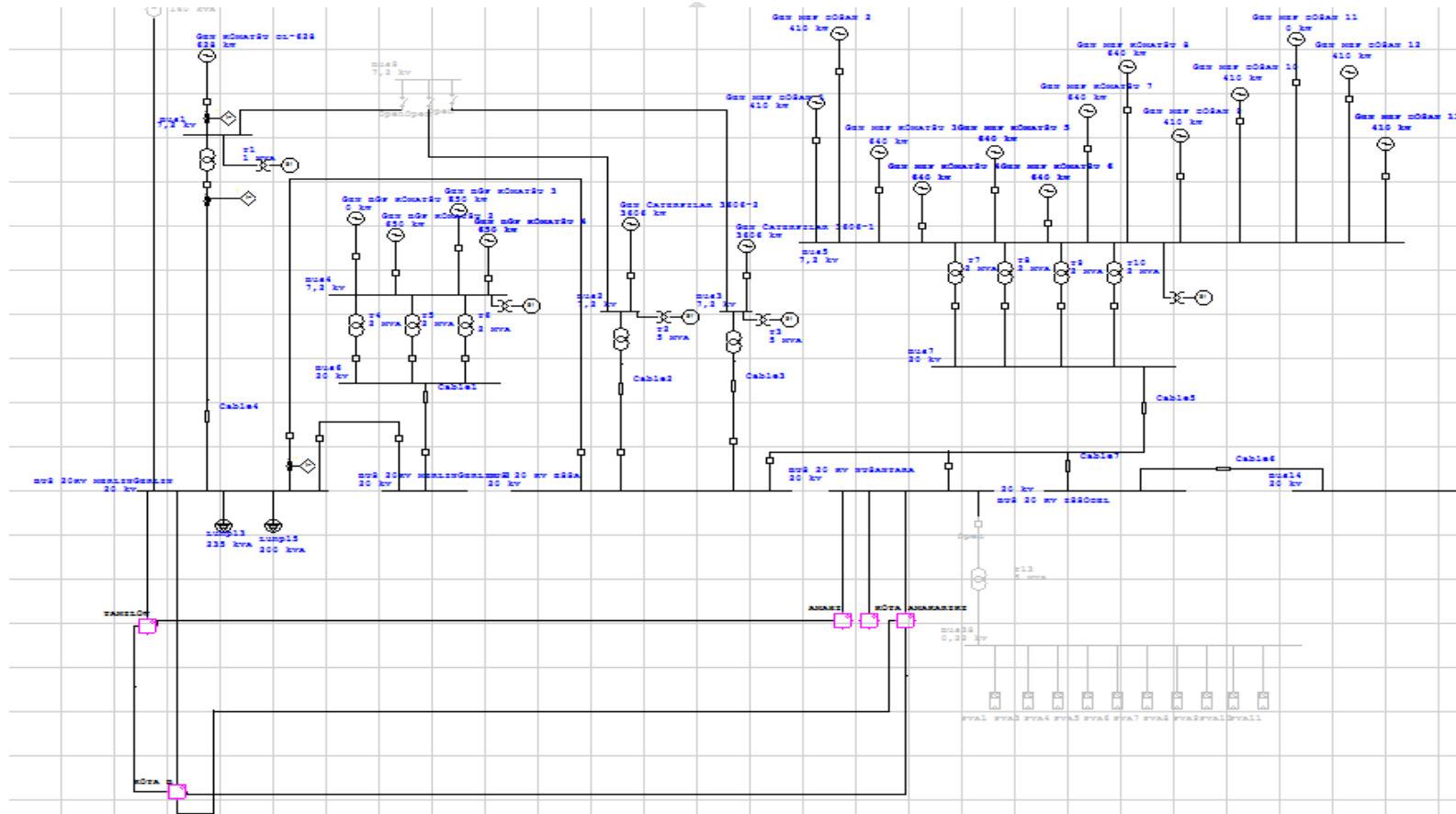
2.3.5. Batasan Waktu Operasi (Current Time Interval)

Agar pengamanan proteksi dapat mengamankan gangguan dengan handal, kurva inverse harus tidak melebihi dari kurva instannya, oleh karena itu, waktu inverse harus dibatasi. Batasan rele primary dan rele backup adalah 0,2 dimana :

$$T_{ji} \geq T_{ii}, CTI \quad (2.68)$$

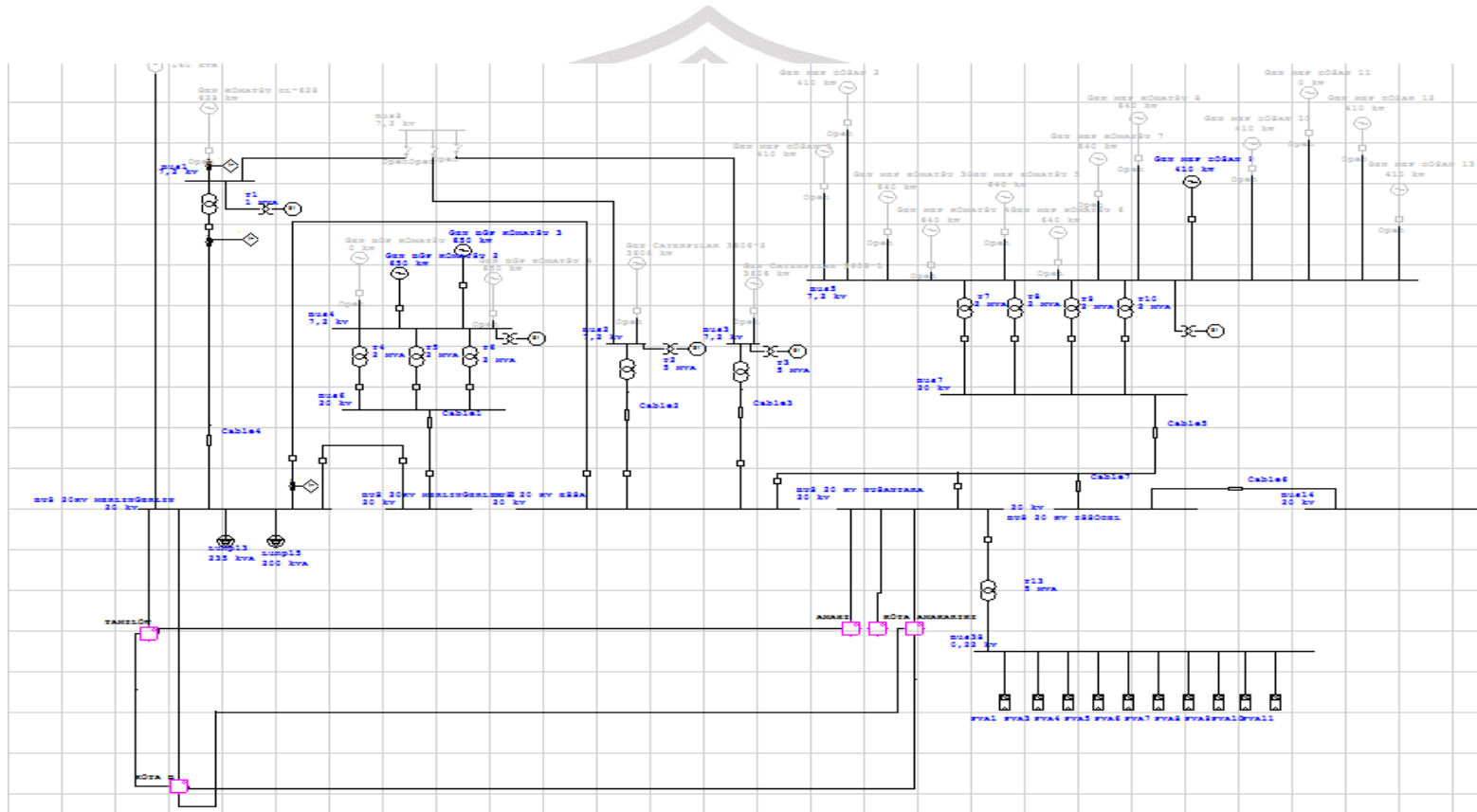
2.4. Sistem Kelistrikan Adaptif

Kualitas dan kontinuitas daya merupakan alasan adanya penambahan pembangkit pada suatu industri. Akan tetapi dengan adanya penambahan pembangkit, sistem pengamanan gangguan khususnya rele arus lebih harus disetel adaptif mengikuti kondisi pembangkitan yang aktif pada sistem tersebut. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini penulis melakukan penyetelan rele pada semua kondisi pembangkitan. Sistem kelistrikan yang dibahas pada tugas akhir ini akibat masuknya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas 1,3 MW di Masohi Ambon. Beban yang terpasang pada sistem kelistrikan tersebut adalah beban *lump*. Nilai dari setiap beban tertera pada gambar *Single Line Diagram* yang dapat dilihat pada gambar 3.4. Sedangkan untuk tegangan bus pada suatu kondisi pembebanan dan konfigurasi jaringan yang disesuaikan dengan data operasi di PLN Rayon Masohi, pada setiap bus.



Gambar 2.16 *Single Line Diagram* sebelum masuknya PLTS di PLN Rayon Masohi, Ambon

KOORDINASI OVER CURRENT RELAY (OCR) PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) 1,3 MW DI MASOHI, AMBON MENGGUNAKAN METODE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO) (STUDI KASUS: PLN UP MASOHI, AMBON) ACHMAD NUR ARIFIN 2020

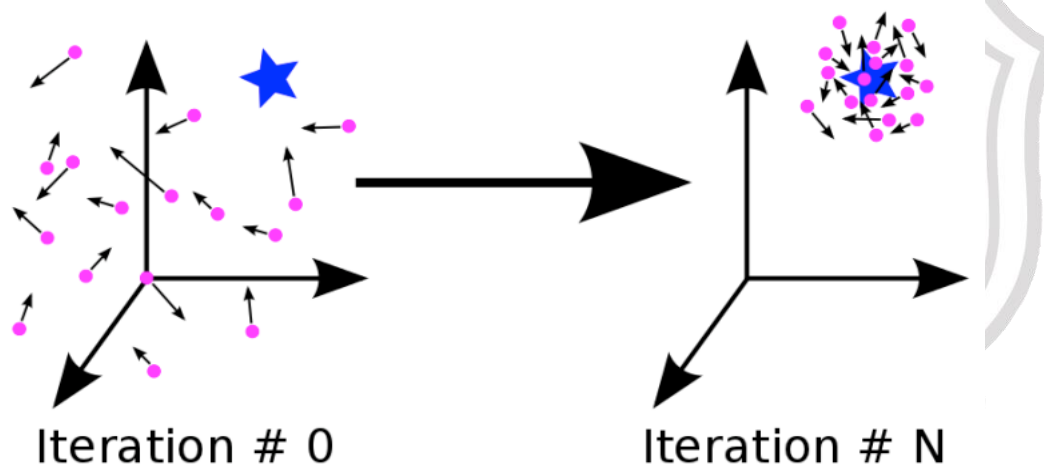


Gambar 2.17 Single Line Diagram sesudah/eksisting masuknya PLTS di PLN Rayon Masohi, Ambon

KOORDINASI OVER CURRENT RELAY (OCR) PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) 1,3 MW DI MASOHI, AMBON MENGGUNAKAN METODE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO) (STUDI KASUS: PLN UP MASOHI, AMBON) ACHMAD NUR ARIFIN 2020

2.5. Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle swarm optimization, disingkat sebagai PSO, didasarkan pada perilaku sebuah kawanan serangga, seperti semut, rayap, lebah atau burung. Algoritma PSO meniru perilaku sosial organisme ini. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Kata partikel menunjukkan, misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan *kecerdasannya* (intelligence) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh di kelompok tersebut.



Gambar 2.18 *Ilustrasi pergerakan Algoritma PSO*

Metode optimasi yang didasarkan pada *swarm intelligence* ini disebut algoritma *behaviorally inspired* sebagai alternatif dari algoritma genetika, yang sering disebut *evolution-based procedures*. Algoritma PSO ini awalnya diusulkan oleh [6]. Dalam konteks optimasi multivariabel, kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu atau tetap dengan setiap partikel posisi awalnya terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua karakteristik: posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam *ruang/space*

tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi bagusnya kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi yang bagus tersebut. Sebagai contoh, misalnya perilaku burung-burung dalam kawanan burung. Meskipun setiap burung mempunyai keterbatasan dalam hal kecerdasan, biasanya ia akan mengikuti kebiasaan (rule) seperti berikut :

1. Seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan burung yang lain
2. Burung tersebut akan mengarahkan terbangnya ke arah rata-rata keseluruhan burung
3. Akan memposisikan diri dengan rata-rata posisi burung yang lain dengan menjaga sehingga jarak antar burung dalam kawanan itu tidak terlalu jauh

Dengan demikian perilaku kawanan burung akan didasarkan pada kombinasi dari 3 faktor simpel berikut:

1. Kohesi - terbang bersama
2. Separasi - jangan terlalu dekat
3. Penyesuaian(alignment) - mengikuti arah bersama

Jadi PSO dikembangkan dengan berdasarkan pada model berikut:

1. Ketika seekor burung mendekati target atau makanan (atau bisa minimum atau maximum suatu fungsi tujuan) secara cepat mengirim informasi kepada burung-burung yang lain dalam kawanan tertentu
2. Burung yang lain akan mengikuti arah menuju ke makanan tetapi tidak secara langsung
3. Ada komponen yang tergantung pada pikiran setiap burung, yaitu memorinya tentang apa yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya. Model ini akan disimulasikan dalam ruang dengan dimensi tertentu dengan sejumlah iterasi sehingga di setiap iterasi, posisi partikel akan semakin mengarah ke target yang dituju (minimasi atau maksimasi fungsi). Ini dilakukan hingga maksimum iterasi dicapai atau bisa juga digunakan kriteria penghentian yang lain.

2.5.1. Implementasi *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Misalkan kita mempunyai fungsi berikut

$$\min f(x) \quad (1)$$

$$\text{dimana } X(B) \leq X \leq X(A)$$

dimana $X(B)$ adalah batas bawah dan $X(A)$ adalah batas atas dari X . Prosedur PSO dapat dijabarkan dengan langkah-langkah sebagai berikut [7]:

1. Asumsikan bahwa ukuran kelompok atau kawan (jumlah partikel) adalah N . Untuk mengurangi jumlah evaluasi fungsi yang diperlukan untuk menemukan solusi, sebaiknya ukuran N tidak terlalu besar, tetapi juga tidak terlalu kecil, agar ada banyak kemungkinan posisi menuju solusi terbaik atau optimal. Jika terlalu kecil, sedikit kemungkinan menemukan posisi partikel yang baik. Terlalu besar juga akan membuat perhitungan jadi panjang. Biasanya digunakan ukuran kawan adalah 20 sampai 30 partikel.
2. Bangkitkan populasi awal X dengan rentang $X(B)$ dan $X(A)$ secara random sehingga didapat X_1, X_2, \dots, X_N . Setelah itu, untuk mudahnya, partikel j dan kecepatannya pada iterasi i dinotasikan sebagai $X(i) j$ dan $V(i) j$ sehingga partikel-partikel awal ini akan menjadi $X_1(0), X_2(0), \dots, X_N(0)$. Vektor $X_j(0)$, ($j = 1, 2, \dots, N$) disebut partikel atau vektor koordinat dari partikel. (seperti kromosom dalam algoritma genetika). Evaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap partikel dan nyatakan dengan $f[X_1(0)], f[X_2(0)], \dots, f[X_N(0)]$
3. Hitung kecepatan dari semua partikel. Semua partikel bergerak menuju titik optimal dengan suatu kecepatan. Awalnya semua kecepatan dari partikel diasumsikan sama dengan nol. Set iterasi $i = 1$.
4. Pada iterasi ke- i , temukan 2 parameter penting untuk setiap partikel j yaitu:

(a) Nilai terbaik sejauh ini dari $X_j(i)$ (koordinat partikel j pada iterasi i) dan nyatakan sebagai $Pbest,j$, dengan nilai fungsi obyektif paling rendah (kasus minimasi), $f[X_j(i)]$, yang ditemui sebuah partikel j pada semua iterasi sebelumnya. Nilai terbaik untuk semua partikel $X_j(i)$ yang ditemukan sampai iterasi ke- i , $Gbest$, dengan nilai fungsi tujuan paling kecil/minimum diantara semua partikel untuk semua iterasi sebelumnya, $f[X_j(i)]$.

(b) Hitung kecepatan partikel j pada iterasi ke i dengan rumus sebagai berikut:

$$V_j(i) = V_j(i-1) + c_1 r_1 [Pbest,j - x_j(i-1)] + c_2 r_2 [Gbest - x_j(i-1)], j = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

dimana c_1 dan c_2 masing-masing adalah *learning rates* untuk kemampuan individu (cognitive) dan pengaruh sosial (group), dan r_1 dan r_2 bilangan random yang berdistribusi uniform dalam interval 0 dan 1. Jadi parameters c_1 dan c_2 menunjukkan bobot dari memory (position) sebuah partikel terhadap memory (posisi) dari kelompok (swarm). Nilai dari c_1 dan c_2 biasanya adalah 2 sehingga perkalian $c_1 r_1$ dan $c_2 r_2$ memastikan bahwa partikel-partikel akan mendekati target sekitar setengah selisihnya.

(c) Hitung posisi atau koordinat partikel j pada iterasi ke- i dengan cara

$$X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i); j = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

Evaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap partikel dan nyatakan sebagai $f[X_1(i)], f[X_2(i)], \dots, f[X_N(i)]$

5. Cek apakah solusi yang sekarang sudah konvergen. Jika posisi semua partikel menuju ke satu nilai yang sama, maka ini disebut konvergen. Jika belum konvergen maka langkah 4 diulang dengan memperbarui iterasi $i = i + 1$, dengan cara menghitung nilai baru dari $Pbest,j$ dan $Gbest$. Proses iterasi ini dilanjutkan sampai semua partikel menuju ke satu titik solusi yang sama. Biasanya akan ditentukan dengan kriteria penghentian (stopping criteria), misalnya jumlah selisih solusi sekarang dengan solusi sebelumnya sudah sangat kecil.