

## Koordinasi Relay Arus Lebih Berarah Pada Jaringan Transmisi Tenaga Listrik Lampung Dengan Pemrograman Linier

**Dikpride Despa<sup>1</sup>, F.X Arinto Setiawan<sup>1</sup>, Bobby Robson Sitorus<sup>2</sup>**

1. Dosen Teknik Elektro, Universitas Lampung
2. Alumni Teknik Elektro, Universitas Lampung

**Abstrak**—Koordinasi relay arus lebih berarah pada sistem tenaga listrik yang besar dengan banyak bus pembangkitan dan bus beban tidaklah mudah untuk dilakukan. Untuk itu diperlukan suatu metode untuk menyelesaikan masalah ini. Pemrograman linier yang digunakan untuk mengkoordinasi relay pada sistem 14 bus *IEEE* menunjukkan hasil waktu operasi relay yang optimal dan juga digunakan untuk mengkoordinasi relay pada sistem 8 bus *IEEE* menunjukkan hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan metode *dual simplex* dan pemrograman non linier. Penelitian ini menggunakan metode optimasi dengan pemrograman linier untuk mendapatkan koordinasi relay arus lebih berarah pada jaringan transmisi sistem tenaga listrik Lampung. Persamaan koordinasi relay disajikan dalam bentuk persamaan linier, dengan nilai TMS (*Time Multiple Setting*) relay sebagai besaran yang dioptimasi. Koordinasi yang optimal dicapai dengan meminimumkan nilai waktu operasi waktu operasi relay dengan tanpa melanggar batasan margin waktu koordinasi atau *coordination time interval (CTI)* antara relay utama dan relay *backup*. Hasil simulasi yang dilakukan pada jaringan transmisi tenaga listrik Lampung menunjukkan bahwa waktu koordinasi operasi antara relay utama dan relay *backup* untuk semua persamaan batasan (*constraint*) memenuhi batasan *coordination time interval* yang ditetapkan (*CTI* sebesar 0,4 detik). Optimasi dengan pemrograman linier dapat digunakan untuk perhitungan koordinasi relay arus lebih berarah secara tepat, cepat dan serentak.

**Kata kunci:** koordinasi relay arus lebih berarah, *Coordination Interval (CTI)*, *Time Multiplier Setting (TMS)*, pemrograman linier

*Abstract*--*Coordination of directional over current relay in the large power system with a lot of generation bus and load bus is difficult to get the result, thus a method is needed to solve the problem. Linier programming was using to*

*coordination over current relay in 8 bus IEEE. The result shown using linier programming in more optimal than using dual simplex method and non linier programming method. This final project using linier programming to optimal the coordination of directional over current relays in transmission line of power system Lampung. Coordination is equation are arranged to form linier equation, with TMS relay as an optimal value. Optimize coordination is obtained by minimize operating time each relay without leaving all coordination constraints beside primary relay and backup relay. The result shown operation time for coordination beside primary and backup relay is satisfy to coordination interval ( CI is 0,4 second ). Optimization method using linier programming had success to solve the coordination problem efficiency, quickly and simultaneously.*

**Keyword :** *Coordination directional over current relay, Coordination Interval ( CI ), TMS, pickup current, linier programming.*

### A. Pendahuluan

Saluran transmisi tenaga listrik yang panjang dan bercabang-cabang serta dibangun di daerah hutan dan gunung sangat rentan terhadap gangguan hubung singkat. Untuk itu dipasang relay arus lebih berarah pada kedua ujung saluran untuk proteksi gangguan hubung singkat.

Koordinasi relay arus lebih berarah untuk sistem tenaga listrik yang besar dengan banyak bus sumber dan bus beban sulit dilakukan dengan perhitungan manual. Untuk itu metode pemrograman linier diajukan pada penelitian ini. Metode pemrograman linier telah dilakukan pada sistem tenaga listrik untuk mengkoordinasikan relay arus lebih berarah, didapatkan nilai waktu operasi yang optimum dengan tanpa melanggar batasan margin waktu.

---

Naskah ini diterima pada tanggal 20 Juni 2008, direvisi pada tanggal 25 Juli 2008 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 1 Agustus 2008

Penelitian ini menggunakan metode pemrograman linier untuk mengkoordinasikan relay arus lebih berarah pada jaringan transmisi tenaga listrik Lampung diharapkan dapat menunjukkan hasil koordinasi yang optimal pada setiap titik gangguan.

**B. Tinjauan Pustaka**

**Sistem Proteksi**

Sistem proteksi relay arus lebih sangat diperlukan untuk melindungi sistem tenaga listrik dari gangguan arus lebih yang dapat merusak dan menghentikan penyaluran daya ke beban.

Syarat-syarat sistem proteksi :

1. Keandalan(*Reliability*)
2. Ketepatan(*Speed*)
3. Kecepatan( *Selectivity*)
4. Biaya (*Cost*)

Peralatan proteksi arus lebih pada sistem transmisi:

1. Relay arus lebih
2. Transformator arus atau CT
3. Pemutus daya atau CB
4. Penghantar signal atau *pilot wire*

**Karakteristik Arus/Waktu Pada Relay**

Karakteristik relay arus lebih dapat dibagi atas :

1. Relay sesaat (*instantaneous relay*)
2. Relay *definite* (*definite time relay*)
3. Relay *inverse* (*inverse time relay*)
4. Relay IDMT (*Inverse Definite Minimum Time Relay*)

**Pemodelan Relay Arus Lebih Berarah**

Secara matematis waktu kerja relay arus lebih adalah :

$$t_{operasi} = f(I_{pi}, I_i) \times TMS \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- $t_{operasi}$  = waktu kerja relay,
- TMS = *time multiplier setting*
- $I_{pi}$  = arus *pickup/setting* relay, dan
- $I_i$  = arus hubung singkat

dengan :

$$f(I_{pi}, I_i) = \frac{k_1}{\left(\frac{I_i}{I_{pi}}\right)^{K_2} - 1} \dots\dots\dots(2)$$

dan :

$$M = \frac{I_i}{I_p} \dots\dots\dots(3)$$

Tabel 1. Konstanta  $k_1$  dan  $k_2$  standar IEC karakteristik OCR

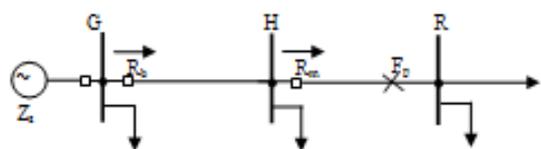
Karakteristik OCR	Tetapan $K_1$	Tetapan $K_2$
<i>standar inverse time</i>	0.14	0.02
<i>very inverse time</i>	13.5	1
<i>extremely inverse time</i>	80	2
<i>ultra inverse time</i>	315	2.5

**Waktu Koordinasi Relay**

Urutan kerja dari relay utama dan relay backup inilah yang disebut dengan koordinasi relay arus lebih, dimana waktu kerja atau operasi relay *backup* harus lebih besar dari waktu kerja relay utama ditambah koordinasi CTI.

Dalam menentukan margin relay, yang menjadi pertimbangan adalah :

1. Waktu operasi relay
2. Waktu kecepatan CB terbuka
3. *Safety margin* (*Error*)



Gambar 1. Ilustrasi koordinasi relay arah arus lebih.

Secara matematis dapat ditulis, bila gangguan terjadi pada  $F_p$ , maka :

$$t_{Rb} \geq t_{Rm} + CTI \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

$t_{Rb}$  = Waktu Operasi relay backup saat gangguan di  $F_p$

$t_{Rm}$  = Waktu Operasi relay utama saat gangguan di  $F_p$   
 CTI = Selisih waktu operasi relay utama dan relay *backup*

CTI : koordinasi interval waktu

**Koordinasi Relay Arus Lebih Bararah**

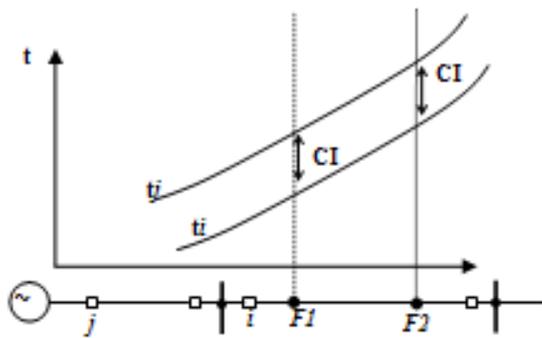
Dalam optimasi koordinasi setting relay arus lebih ini diinginkan mendapatkan waktu operasi yang minimum dan mempertahankan koordinasi interval antara relay utama dan relay *backup*, yaitu :

$$\min \sum_{i=1}^r TMS_i \dots\dots\dots(5)$$

Keadaan F1 dan F2 adalah keadaan pada saat C<sub>Bi</sub> dan C<sub>Bj</sub> masih dalam keadaan menutup saat terjadi gangguan. Dari persamaan di atas dapat diperoleh hubungan bahwa waktu operasi relay hanya bergantung dari perkalian setting waktu dari relay i dan j ( $TMS_i, TMS_j$ ). Bila nilai dari setting waktu relay  $TMS_i, TMS_j$  diganti dengan variabel  $x_i$  dan  $x_i$  maka persamaan 6 menjadi :

$$e_{j1}x_j - e_{i1}x_i \geq CTI$$

$$e_{j2}x_j - e_{i2}x_i \geq CTI \dots\dots\dots(7)$$



Gambar 2. Koordinasi relay arus lebih dengan karakteristik *normal inverse time*

Dengan nilai  $e_{j1}, e_{i1}, e_{j2}, e_{i2}$  adalah besaran setting awal relay ( $f(I_{pi}, I_i)$ ) sehingga untuk mendapatkan nilai optimasinya dengan cara meminimalkan seluruh jumlah setting perkalian relay ( $TMS_i$ ) atau dengan kata lain meminimalkan seluruh penjumlahan nilai  $x_i$  yang dibatasi oleh persamaan koordinasi relay. Dari perhitungan optimasi juga dilakukan pembatasan dari nilai minimum dan maksimum yang diijjiboud dan *upperboud*) untuk nilai perkalian setting relay ( $TMS_i$ ). Sehingga bila persamaan umum (*objective function*) pemograman linier adalah :

Dari gambar 2 di atas dapat dirumuskan persamaan koordinasi antara relay *backup* dengan relay utamanya adalah :

$$t_j(F1) - t_i(F1) \geq CTI$$

$$t_j(F2) - t_i(F2) \geq CTI \dots\dots\dots(6)$$

$$c'x = \sum_{i=1}^r c_i x_i \dots\dots\dots(8)$$

dimana

- (*i, j*): pasangan koordinasi relay (utama/backup)
- $t_j(F1)$ : waktu operasi relay *j* untuk gangguan di titik F1
- $t_i(F1)$ : waktu operasi relay *i* untuk gangguan di titik F1
- $t_j(F2)$ : waktu operasi relay *j* untuk gangguan di titik F2
- $t_i(F2)$ : waktu operasi relay *i* untuk gangguan di titik F2

dan persamaan batasannya adalah :

$$Ax \leq b \dots\dots\dots(9)$$

maka persamaan diatas dengan batasan dapat dirumuskan sebagai

$$e_{j1}x_j - e_{i1}x_i \leq -CTI$$

$$e_{j2}x_j - e_{i2}x_i \leq -CTI \dots\dots\dots(10)$$

TMS ditempatkan berdasarkan relay yang dipergunakan, dalam hal penelitian tugas akhir ini nilai *lower bound* dan *upper bound* TMS nya menggunakan tipikal dari

relay MCGG 82 dari GEC yaitu 0,1 untuk *lower bound* dan 1,0 untuk *upper bound*.

**Setting Koordinasi Relay**

Grading margin ( $t_{TG}$ ) ini ditentukan :

1. Waktu yang dibutuhkan CB untuk memutuskan daya sepenuhnya
2. Error yang disebabkan oleh trafo arus (CT) dan relay
3. *Overshoot* dari relay

Tabel 2. Grading Margin Relay

Jenis Relay	CB Time (s)	Overshoot Time (s)	Error Time (s)	Grading Margin (s)
Mekanik	0.10	0.15	0.15	0.40
Elektronik	0.08	0.02	0.10	0.20

Pada penelitian ini pengambilan nilai CTI didasarkan dari nilai grading margin dari relay jenis mekanik, oleh sebab itu nilai CTI yang diambil adalah 0.4 detik.

**Pemrograman Linier**

Bila dirumuskan secara matematis maka persamaan-persamaan dalam pemrograman linier menjadi :

Nilai yang dicari :

$$x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$$

Kemudian nilai tujuan yang diinginkan (*objective function*) :

$$\text{Minimum } c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Dengan Pembatasan matriksnya :

$$\min c^T x = \sum_{i=1}^r c_i x_i \dots \dots \dots (11)$$

dengan batasan

$$Ax \leq b$$

dimana :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

$$c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_n \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}$$

Persamaan  $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$  adalah persamaan fungsi objektif atau fungsi kriteria yang akan diminimumkan. Koefisien  $c_1, c_2, \dots, c_n$  adalah koefisien harga (nilainya diketahui) sedangkan  $x_1, x_2, \dots, x_n$  adalah decision variabel (variabel-variabel, variabel structural atau tingkat aktivitas) nilainya akan ditentukan kemudian.

Pertidaksamaan  $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq b_i$  menyatakan

suatu batasan (fungsi struktural atau batasan teknologi) ke i. Koefisien  $a_{ij}$  untuk  $i = 1, 2, \dots, m$  dan  $j = 1, 2, \dots, n$  disebut dengan koefisien teknologi, biasanya dinyatakan dalam matriks batas A. Persamaan pemrograman linier ini jika hanya mempunyai dua variabel bisa diselesaikan dengan metode grafik. Jika variabel yang digunakan banyak (lebih dari 2) akan lebih cepat diselesaikan dengan bantuan komputer.

**Koordinasi Optimum Setting Relay**

Tujuan dari koordinasi setting relay adalah mendapatkan waktu operasi yang minimum dan mempertahankan nilai dari CTI (*Coordination Time Interval*) antara rele utama dengan rele *backup*nya. Namun tidak bisa kita mendapatkan waktu semimum mungkin atas waktu operasi tiap relay. Karena dalam kenyataannya tidak mungkin menjaga waktu koordinasi setting antara relay utama dengan relay *backup* yang benar. Pendekatan yang dapat dilakukan untuk mencapai hasil yang optimum dalam pengkoordinasian setting antara relay utama dengan relay arus lebih ini adalah meminimumkan jumlah waktu operasi dari semua relay utama dengan tetap membuat agar waktu operasi masing-masing relay utama mendekati waktu operasi semimum mungkin.

**C. Metode Penelitian**

**Alat dan Bahan yang Digunakan**

Peralatan dan bahan-bahan penelitian ini :

1. Data-data sistem tenaga listrik Lampung seperti *single line diagram*, data impedansi, data generator dan beban dan data peralatan lain.
2. Seperangkat Komputer.
3. Program *microsoft office excel 2003*.
4. Perangkat lunak (*software*) *ETAP Power Station (Electrical Transient Analyzer Program) version 4.0.0*
5. Perangkat lunak (*software*) *Matlab ver. 7.0*.

### Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah pengerjaan penelitian terbagi atas tiga bagian yaitu :

#### 1. Simulasi ETAP

Simulasi ETAP dilakukan untuk mendapatkan data arus nominal saluran dan

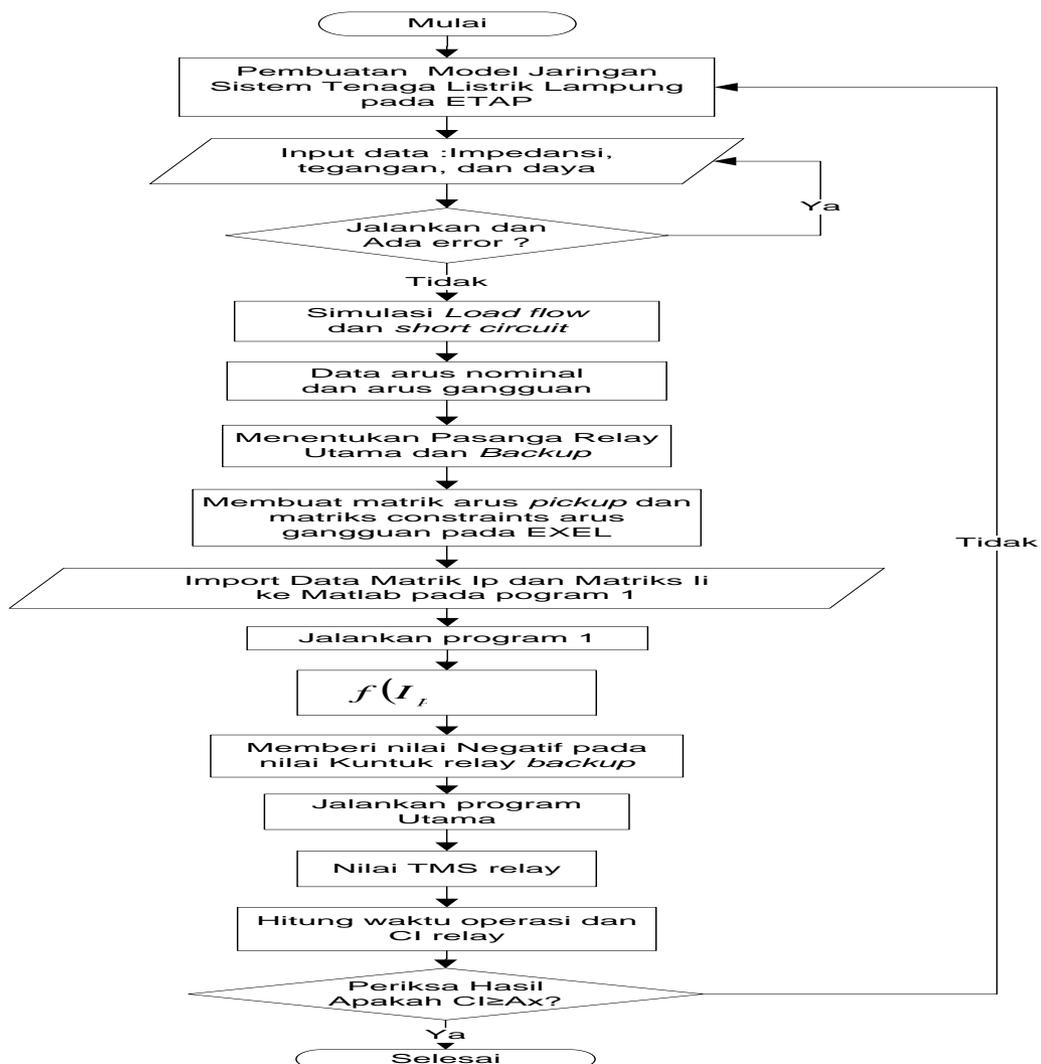
arus hubung singkat 3 fasa dengan pertama sekali data penelitian berupa *single line diagram* sistem Lampung.

#### 2. Menghitung Nilai M dan K

Dari data arus nominal dan arus gangguan kemudian digunakan pada perhitungan untuk mendapatkan nilai M dan K dengan karakteristik relay yang telah ditentukan yaitu karakteristik *inverse time*.

#### 4. Mendapatkan nilai TMS dengan pemrograman linier

Nilai konstanta K digunakan untuk mendapatkan nilai TMS dengan program matlab utama yang dibuat sebelumnya



Gambar 3. *Flowchart* penentuan nilai TMS relay berdasarkan algoritma pemrograman linier



Tabel 4. Pasangan relay utama dan *backup*

No	Gangguan		Relau Utama	Relay <i>Backup</i>
	Bus GI	Line		
1	Bkt Asam	1	R1	
2	Batu Raja	1	R2	R4
3		2	R3	R1
4	Besai	3	R5	
5	Bukit Kemuning		R4	R5
6			2	R4
7			R6	R3
8			3	R6
9			R7	R3
10			4	R7
11	Kota Bumi	4	R8	R10
12		5	R9	R7
13	Batu Tegi	6	R11	
14	Pagelaran	6	R12	R14
15		7	R13	R11
16	Tegi neneng		R10	R13
17			5	R10
18			R14	R9
19			7	R14
20		8	R16	R9
21			R16	R13
22			R16	R18
23			R17	R9
24			9	R17
25		Sribawono	8	R15
26	Tlk betung	10	R19	
27	Natar	9	R18	R22
28			R20	R17
29			10	R20
30		11	R21	R17
31	Kalianda	12	R23	
32	Sutami	11	R22	R26
33			R24	R21
34			12	R24
35		13	R25	R21
36	Tarahan	13	R26	

### Menghitung nilai M dan K

Berdasarkan persamaan 2 dan persamaan 3 maka dilakukan perhitungan nilai M dan K dahulu. Perhitungan ini menggunakan program matlab yang telah dibuat sebelumnya. Metode yang dipakai untuk semua perhitungan mengikuti algoritma pemrograman linier dan digunakan matlab sebagai alat bantu perhitungan sehingga semua nilai konstanta disusun pada matriks-matriks bilangan untuk memudahkan pengerjaan. Matriks-matriks tersebut terdiri dari :

1. Matriks arus pickup berordo 1x26
2. Matriks arus gangguan berordo 26x29
3. Matriks M berordo 26x29
4. Matriks K berordo 26x29
5. Marik TMS hasil berordo 26x29

Pembentukan matriks menggunakan *microsoft Exel 2003* yang kemudian diimport ke Matlab.

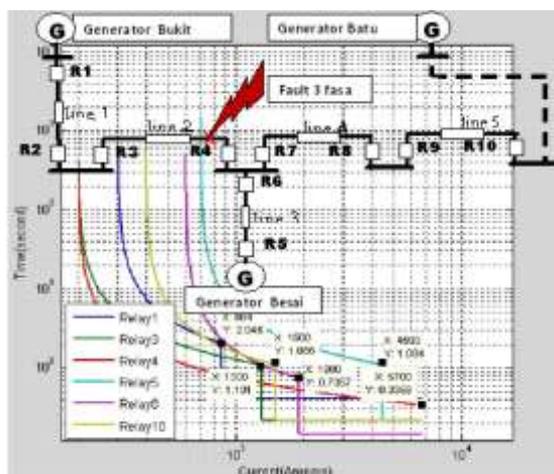
### Mendapatkan Nilai TMS dan Waktu Operasi relay

Setelah nilai K diperoleh maka dilakuakn perhitungan dengan pemrograman linier untuk mendapatkan nilai TMS setiap relay. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. TMS relay

No Relay	TMS (s)	No Relay	TMS (s)
R1	0.31246	R14	0.20904
R2	0.05	R15	0.05
R3	0.29547	R16	0.05
R4	0.17449	R17	0.25041
R5	0.29369	R18	0.26893
R6	0.05	R19	0.05
R7	0.24473	R20	0.05
R8	0.12256	R21	0.11347
R9	0.2259	R22	0.20866
R10	0.20788	R23	0.05
R11	0.13947	R24	0.05
R12	0.05	R25	0.05
R13	0.3031	R26	0.14678

Dari Simulasi ETAP yang telah dilakukan maka dapat dihasilkan data-data setting arus pickup dan arus gangguan 3 fasa setiap titik gangguan pada saluran yang berbeda-beda. Data Arus pickup merupakan nilai sebesar 1,2 kali besar arus nominal. Kemudian dilakukan pemrograman linier untuk mendapatkan TMS setiap relay. Dari nilai arus *pickup* dan TMS ini kemudian dihitung waktu operasi relay pada setiap gangguan. Dari waktu ini dapat dilihat koordinasi setiap relay arus lebih berarah yang terpasang pada setiap sistem. Koordinasi yang dapat di analisis berdasarkan koordinasi interval waktu antara relay utama dan relay *backup*.



Gambar 5. Kurva koordinasi relay gangguan terjadi saluran 2 dekat bus Bukit Kemuning

Tabel 6. Skema koordinasi waktu operasi relay

Relay	Setting		Gangguan (Ampere)	Waktu (detik)
	$I_{pickup}$	TMS		
R1	300	0.31246	864	2,0459
R2	300	0.05	-	-
R3	200	0.29547	1300	1,0844
R4	200	0.17449	6700	0,3358
R5	700	0.29369	4500	1,0844
R6	700	0.05	-	-
R7	600	0.24473	-	-
R8	600	0.12256	1900	0,7357
R9	400	0.2259	-	-
R10	400	0.20788	1500	1,0864

Koordinasi yang tepat untuk pemutusan gangguan seperti gambar 6 adalah pertama sekali relay 3 dan relay 4 mengirimkan perintah ke CB yang terhubung dengannya untuk membuka (trip). Relay 3 setting arus *pickup* 200A dan TMS sebesar 0,296 yang merasakan gangguan sebesar 1,3 kA akan memutuskan di 1,101 detik yang menjaga daerah Batu Raja dan Bukit Asam. Sedangkan Relay 4 setting arus *pickup* 200A dan TMS sebesar 0,17449 yang merasakan gangguan sebesar 6,7 kA akan memutuskan di 0,336 detik yang menjaga daerah Bukit Kemuning Besai dan Kota Bumi. Apabila terjadi kesalahan dimana relay 3 tidak bekerja maka koordinasinya adalah relay 1 sebagai relay *backup* diharuskan bekerja dengan koordinasi waktu atau CTI yang telah ditetapkan yaitu lebih besar atau sama dengan 0,4 detik. Dari hasil perhitungan relay 1 setting *pickup* 300 A dan TMS 0,3125 akan memutuskan di 2,0459 detik. Hal ini menunjukkan bahwa koordinasi waktu antara relay 3 dan relay 1 sebesar 0,961 detik adalah sesuai dengan CTI yang di ditetapkan. Apabila relay 4 tidak dapat bekerja maka relay 5 dan relay 8 sebagai *backupnya* diharuskan bekerja dengan koordinasi waktu yang telah ditetapkan. Dari hasil perhitungan relay 5 dengan setting arus *pickup* 700 dan TMS 0,294 yang merasakan arus gangguan sebesar 4,5 kA akan memutuskan pada 1,08 detik sehingga koordinasi waktu sebesar 0,74 detik. Sedangkan relay 8 dengan setting arus pickup 600 A dan TMS 0,123 yang merasakan arus gangguan sebesar 1,9 kA akan memutuskan pada 0,74 detik sehingga koordinasi waktunya 0,4 detik. Dan apabila saat kondisi tersebut CB 8 tidak juga memutuskan untuk waktu tersebut maka relay 10 harus juga bekerja. Dari hasil perhitungan relay 10 dengan setting arus *pickup* 400 A dan TMS 0,208 yang merasakan arus gangguan sebesar 1,5 kA akan memutuskan pada 1,086 detik sehingga koordinasi waktunya 0,36 detik.

## E. Kesimpulan

Dari analisa data pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Koordinasi waktu operasi semua pasangan relay utama dan *backup* pada jaringan transmisi tenaga listrik Lampung yang didapatkan dari perhitungan dengan pemrograman linier sesuai dengan batasan margin atau *coordination Time interval* yang ditetapkan (CTI adalah 0,4 detik).
2. Pemrograman linier sesuai digunakan untuk mengkoordinasi relay arus lebih berarah pada jaringan transmisi sistem tenaga listrik wilayah Lampung dengan cepat tepat dan serentak.
3. Kurva koordinasi relay arus lebih yang digambarkan berdasarkan nilai arus *pickup* dan TMS yang didapatkan dari perhitungan pemrograman linier dapat menunjukkan koordinasi operasi relay yang benar pada setiap titik gangguan yang terjadi.

## Daftar Pustaka

- [1] A.S Braga and J.T Saraiva. *Coordination of Directional Overcurrent Relays in Meshed Network Using Simplex Method*. In Proc. 1996 IEEE MELECON Conf., Vol. 3, pp. 1535-1538
- [2] Asmara Debi. 2005. *Studi Koordinasi Relay Arus Lebih Jaringan Distribusi Primer pada PT PLN (Persero) Cabang Tanjung Karang Aplikasi Gardu induk Raja Basa*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [3] Blackburn J Lewis dan Domin J Tomas. 2007. *Protective Relaying Principles and Applications third Edition*. CRC Press Taylor & Francis Group BocaRaton. London - New York
- [4] Coleman Thomas, dkk. 2001. *Optimization Toolbox for Use with Matlab, User's Guide version 2*. The MathWork Inc
- [5] Despa Dikpride. 1999. *Studi Proteksi Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi Aplikasi Gardu Hubung Tanjung Alam*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhamadiyah Padang. Padang.
- [6] Gers M Juan dan Holmes J Edward.1998. *Protection of Electricity Distribution Networks*.The institution of Electrical Engineers.London
- [7] Rakhman Idho Ferditya, 2007, *Studi Penggunaan Pemrograman Linier Untuk Koordinasi Rele Arus Lebih Berarah*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung. Bandung
- [8] J.Anthony Pansini, E.E., P.E. 1991. *Power Transmission and Distribution*. The Fairmont Press, INC. India
- [9] Saadat Hadi. 1999. *Power System Analysis*. WCB McGraw-Hill. Singapore
- [10] Sadeh Javad. *Optimal Coordiantion of Overcurrent Relays In An Interconnected Power System*. 15<sup>th</sup> PSCC, Session 19, Peper 1, Liege, August 22-25 2005. Electrical Departement, Faculty of Engineering Ferdowsi University of Mashhad. Iran.
- [11] Talaat, H.E.A. dkk. *Optimal Coordination of Overcurrent Relay Using Linier Programming*. Departemen of Electric power and machines Faculty of Engineering, Ain Shams University Caito. Egypt.
- [12] The Electricity Training Association. 1997. *Power System Protection Volume 1*. The institution of Electrical Engineers. London.
- [13] Wood Hodgkiss. 1995. *Power system protection*. Volume 2. System and Method. Edited by The Electrical Training Association.
- [14] -----, Bab IX. Proteksi Sistem penyaluran. <http://www.proteksi.com/Content/pd/1456/css/14093.pdf>. Diakses pada tanggal 8 januari 2009.