Perancangan Sistem Proteksi Relai Arus Lebih Direksional pada Sistem IEEE 8 Bus

Rahmat Hidayat[1], Firmansyah Nur Budiman, ST., M.Sc.[2]

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia
[1]14524036@students.uii.ac.id
[2]145240501@uii.ac.id

***Abstrak*— Sistem proteksi pada jaringan kelistrikan merupakan hal yang penting dalam melindungi jaringan dari gangguan yang biasa terjadi. Gangguan hubung singkat menjadi salah satu alasan utama dalam melakukan perancangan sistem proteksi. Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem proteksi pada sistem IEEE 8 Bus dengan menggunakan DOCR *(Directional Overcurrent Relay*) serta aplikasi ETAP sebagai media pengujinya. Tujuan dari perancangan ini ialah untuk mendapatkan koordinasi relai yang paling tepat pada sistem IEEE 8 Bus menggunakan DOCR. Dalam memenuhi tujuan tersebut, terdapat dua parameter penting yang harus ditentukan. Parameter pertama ialah TMS (*Time Multiplier Setting*) yang mana dibutuhkan untuk menentukan urutan relai yang akan bekerja. Parameter kedua yaitu karakteristik relai direksional (*reverse* atau *forward*) yang mana bertujuan untuk menentukan prioritas relai yang akan bekerja ketika diberikan gangguan pada bus terdekat. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan prioritas relai mana saja yang harus bekerja untuk masing-masing gangguan. Perancangan ini mendapatkan hasil yang tepat pada kedua parameter tersebut (TMS dan karakteristik relai) dimana urutan dari CB yang mengalami *trip* merupakan CB terdekat dengan posisi gangguan serta tidak ditemukannya grafik relai yang mengalami *overlapping* antara relai satu dengan yang lainnya, sehingga dapat disimpulkan hasil dari perancangan yang dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian.**

Kata kunci—sistem proteksi; relai arus lebih; *directional overcurrent relay*; koordinasi relai

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik sudah menjadi kebutuhan primer bagi manusia. Hal ini dikarenakan hampir seluruh perangkat penunjang kegiatan manusia sekarang membutuhkan energi listrik. Energi listrik dibangkitkan oleh *generator* dan disalurkan ke beban. Adapun kriteria yang dibutuhkan untuk mendapatkan sistem jaringan kelistrikan yang baik, salah satunya ialah ketahanan sistem terhadap gangguan-gangguan yang terjadi. Gangguan hubung singkat menjadi salah satu hal yang patut diwaspadai. Gangguan ini menyebabkan jumlah arus yang sangat besar (*overcurrent*) dimana melebihi arus normal dari peralatan yang tehubung pada sistem, sehingga gangguan ini dapat mengakibatkan kerusakan terhadap peralatan-peralatan kelistrikan yang terhubung pada sistem. Oleh karena itu dibutuhkannya suatu sistem proteksi tenaga listrik yang bertujuan untuk menghindari dampak negatif dari gangguan tersebut.

Dalam upaya perlindungan sistem tenaga listrik, penulis melakukan perancangan sistem proteksi terhadap sistem IEEE 8 Bus menggunakan *Directional Overcurrent Relay* (DOCR). IEEE 8 Bus merupakan sistem dengan bentuk *ring* (tidak radial) yang mana tidak semua jenis relai dapat dengan mudah melakukan koordinasi proteksi terhadap sistem tersebut. DOCR menjadi salah satu peralatan proteksi yang andal dalam melakukan koordinasi proteksi pada sistem dengan bentuk *ring* (tidak radial), hal ini dikarenakan relai direksional memiliki dua karakteristik yaitu *reverse* dan *forward* yang mana membuatnya dapat melakukan pengkoordinasian prioritas proteksi terhadap gangguan pada posisi tertentu. Dengan menggunakan spesifikasi dari sistem IEEE 8 Bus, penulis melakukan pengujian untuk mendapatkan koordinasi relai proteksi paling tepat dengan menggunakan aplikasi ETAP.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan koordinasi paling tepat dari relai direksional dengan merancang sistem proteksi pada sistem IEEE 8 Bus menggunakan aplikasi ETAP. Harapannya sistem proteksi ini dapat melindungi sistem jaringan kelistrikan dengan baik dari gangguan hubung singkat yang biasa terjadi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Studi Literatur

Pada sistem jaringan kelistrikan terdapat banyak gangguan-gangguan yang dapat terjadi salah satunya gangguan arus lebih. Gangguan ini biasa terjadi dikarenakan adanya hubung singkat arus listrik baik itu gangguan hubung singkat simetri atau yang biasa disebut hubung singkat tiga fasa maupun hubung singkat asimetris. Akibat dari gangguan ini dapat berupa kerusakan pada berbagai peralatan listrik yang terhubung pada sistem dan berada dekat dengan gangguan tersebut. Adapun beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan gangguan arus lebih seperti "*Coordination of Directonal Overcurrent Relays Using Seeker Algorithm*"[1]. Pada penelitian tersebut penulis melakukan perbandingan terhadap algoritma yang digunakan yaitu *Seeker Algorithm* dengan algoritma yang digunakan oleh peneliti sebelumnya

dengan melakukan simulasi pada tiga kasus yaitu *Three-Bus Test Case*, *Eight-Bus Test Case* dan *15-Bus Test Case*.

Adapun penelitian lainnya yaitu "Optimasi Kinerja Rele Arus Lebih Berarah pada Sistem Pembangkitan Terdistribusi Menggunakan Algoritma Gentika"[2], penelitian tersebut menggunakan Algoritma Genetika sebagai metode dalam mendapatkan hasil optimal dari koordinasi relai. Penulis juga membamdingkan kinerja relai ketika sistem tanpa DG (*Distributed Generator*) dan ketika ditambahkan DG, sehingga didapatkan hasil yang berbeda dikarenakan adanya arus kontribusi dari DG tersebut.

Penelitian yang berkaitan selanjutnya ialah "*Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Using Biogeography-Based Optimization Algorithms*"[3], pada penelitian ini dalam mendapatkan koordinasi optimal dari relai arus lebih berarah, penulis menggunakan metode *Biogeography-Based Optimization Algorithms*. Pada penelitian tersebut penulis melakukan evaluasi pada lima sistem yang berbeda yaitu sistem 3-Bus, 4-Bus, 8-Bus, 9-Bus dan 42-Bus IEEE. Penulis mengklaim bahwa dengan menggunakan algoritma ini hasil dari optimalisasi koordinasi relai lebih baik dibandingkan dengan algoritma yang biasa digunakan seperti *Seeker*, MSO, MPSO, MDE, TLBO, GA, GA-LP, dan algoritma GA-NLP.

Penelitian yang penulis lakukan ini merupakan perancangan sistem proteksi pada sistem IEEE 8 Bus menggunakan Directional Overcurrent Relay yang mana pengujiannya dilakukan secara manual tanpa menggunakan algoritma seperti yang dilakukan peneliti-peneliti sebelumnya. Sehingga penelitian ini merupakan versi sederhana dari penelitian sebelumnya yang mana menggunakan aplikasi ETAP dan MATLAB sebagai media pengujian koordinasinya.

B. Sistem Proteksi

Proteksi pada sistem tenaga listrik merupakan perlindungan yang digunakan dalam suatu jaringan kelistrikan yang biasanya dilakukan pada *generator*, *transformator* dan lain-lain terhadap kondisi abnormal pada sistem tersebut. Beberapa kondisi abnormal yang biasa terjadi pada jaringan kelistrikan diantaranya ialah gangguan hubung singkat, asinkron, gangguan beban lebih, gangguan tegangan lebih dan lain-lain.

C. Directional Overcurrent Relay

Directional Overcurrent Relay merupakan relai arah yang mana bekerja terhadap arah arus gangguan yang mengalir pada sistem. Relai ini hanya akan bekerja terhadap satu arah gangguan saja yaitu *reverse* atau *forward* yang mana merupakan karakteristik dari relai arah ini. Ketika arah arus gangguan memiliki arah yang sesuai dengan salah satu karakteristik dari relai tersebut, maka relai ini akan bekerja dan apabila arah arus gangguan tidak sesuai dengan karakteristik relai tersebut, maka relai ini tidak akan bekerja sebagai mana mestinya.

D. Jenis-Jenis Relai Arus Lebih

1. Relai Arus Lebih Waktu Seketika

Relai waktu seketika, yaitu relai yang bekerja secara langsung tanpa waktu tunda ketika terdeteksi adanya arus lebih yang mengalir pada jaringan listrik.

2. Relai Arus Lebih Waktu Tertentu

Relai arus lebih waktu tertentu, dengan pengaturan jangka waktu kerja relai saat *pick up* hingga kerja relai diperpanjang dengan waktu tertentu tanpa terpengaruh besarnya arus yang mengerjakan relai.

3. Relai Arus Lebih Waktu Terbalik

Relai arus lebih waktu terbalik, bekerja berdasarkan waktu tunda dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*) yang mana semakin besar arus akan semakin kecil waktu tundanya. Adapun pengelompokan dari karakteristik ini diantaranya yaitu:

a. *Standard Inverse*
b. *Very Inverse*
c. *Long Time Inverse*
d. *Extremely Inverse*

C. CB (Circuit Breaker)

CB merupakan peralatan pemutus rangkaian listrik yang digunakan untuk membuka dan menutup rangkaian listrik saat kondisi berbeban, baik itu saat kondisi arus beban normal maupun saat terjadi arus gangguan. CB memiliki media peredam busur api yang mana saat menghubungkan atau memutuskan beban akan terjadi tegangan lebih dan busur api, sehingga media peredam ini yang nantinya dibutuhkan saat keadaan tersebut. Adapun empat jenis CB berdasarkan media *insulator* dan material dielektriknya yaitu sakelar pemutus minyak, sakelar pemutus udara hembus, sakelar pemutus vakum dan sakelar dengan gas SF6.

D. Setting Relai

Karakteristik *inverse time* yang digunakan pada penelitian ini memiliki persamaan dalam menetapkan parameter yang nantinya akan digunakan pada pengaturan relai di ETAP. Persamaan pertama yaitu untuk mendapatkan nilai arus *pick-up* dari relai tersebut yang mana dapat dilihat pada Persamaan 1 [4]

$$I_{n,set} = 1{,}1 \times I_n \quad (1)$$

Dimana:

$I_{n,set}$: Arus nominal *setting* pada relai (kA)
I_n : Arus nominal beban (kA)

Dengan menggunakan persamaan tersebut didapat nilai arus *pick-up* yang akan digunakan pada pengaturan relai di ETAP. Arus nominal tersebut dikalikan nilai 1,1 sesuai *British Standard 142-1983.* Kemudian dibutuhkan juga nilai waktu tunda dari relai, yang mana didapat dengan mencari nilai $I_{sc,set}$ terlebih dahulu menggunakan Persamaan 2 [4] barulah kemudian menggunakan Persamaan 3 [5] untuk mendapatkan

nilai waktu tunda agar relai dapat bekerja. Adapun nominal nilai dari keempat karakteristik yang dimiliki oleh relai *inverse time* seperti pada Tabel 1.

$$I_{sc,set} = I_{sc} - (10\% \times I_{sc}) \quad (2)$$

Dimana:

$I_{sc,set}$: Arus *setting* hubung singkat terendah (kA)
I_{sc} : Arus hubung singkat terkecil (kA)

$$TMS = \frac{\left(\left(\frac{I_{n,set}}{I_{sc,set}}\right)^{n} - 1\right)}{\alpha} \times t \quad (3)$$

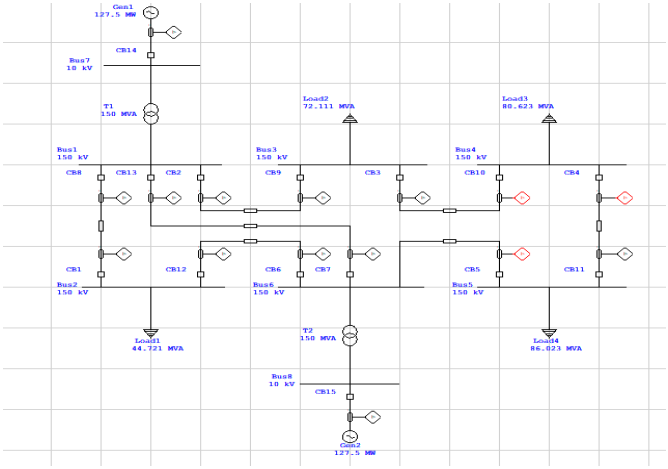
Dimana:
TMS : *Time Multiplier Setting*
$I_{n,set}$: Arus nominal *setting* pada relai (kA)
$I_{sc,set}$: Arus *setting* hubung singkat terendah (kA)
n : Eksponensial dengan nilai 0,02 (standar nilai untuk *Standard Inverse*)
α : Konstanta dengan nilai 0,14 (standar nilai untuk *Standard Inverse)*
t : Waktu operasi (waktu kerja relai) (sec)

Tabel 1. Nilai n dan α untuk kurva karakteristik

No	Kurva Karakteristik	n	α
1	*Standard Inverse*	0,02	0,14
2	*Very Inverse*	1	13,5
3	*Long Time Inverse*	1	120
4	*Extremely Inverse*	2	80

III. METODE PENELITIAN

A. *Spesifikasi Sistem Proteksi*



Gambar 1. *Single line diagram* sistem IEEE 8 Bus

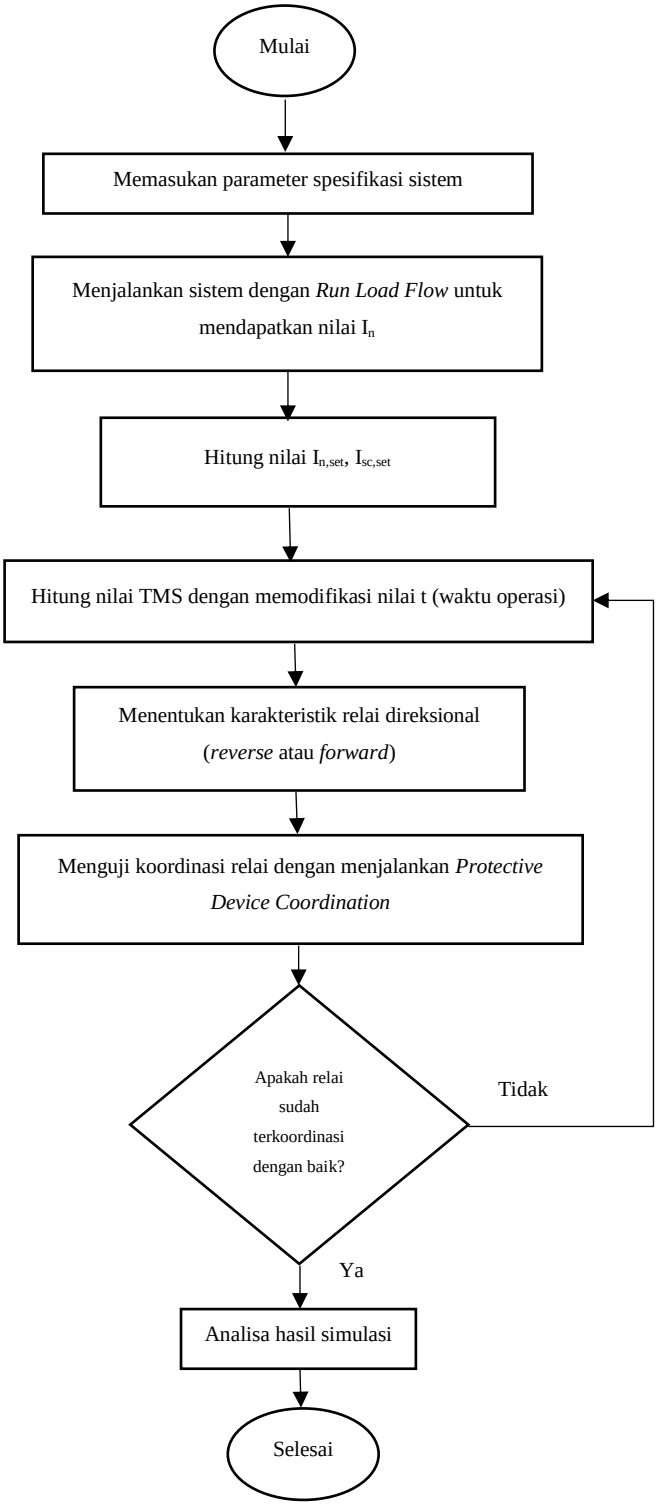
Perancangan sistem proteksi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan sistem IEEE 8 Bus seperti Gambar 1. Spesifikasi sistem proteksi yang digunakan terdiri dari 15 relai direksional sebagai pendeteksi arus gangguannya dan 15 CB sebagai sakelar pemutus yang dipasang pada setiap saluran transmisinya. Sistem memiliki dua *generator*, dua *transformator* dan 4 beban yang terhubung pada sistem. Data yang dipakai untuk masing-masing spesifikasi merupakan data yang dimiliki oleh sistem IEEE 8 Bus yang mana terdiri dari data *generator*, data *transformator*, data gangguan 3 fasa, data saluran transmisi dan data beban. Untuk data saluran transmisi yang peneliti gunakan merupakan data yang dimodifikasi dengan tujuan menyesuaikan dengan spesifikasi yang diambil dari *library* yang peneliti gunakan pada aplikasi ETAP. Parameter yang dimodifikasi berupa nilai *X* dan *Y* pada impedansi urutan positif/negatif serta nilai *R, X* dan *Y* pada impedansi urutan nolnya.

B. *Metode Penelitian*

Penelitian dilakukan dengan menguji sistem proteksi yang dirancang pada sitem IEEE 8 Bus menggunakan aplikasi ETAP. Pengujian dimulai dengan membuat *single line diagram* sistem IEEE 8 Bus, kemudian memasukkan parameter-parameter spesifikasi yang didapat dari sistem IEEE 8 Bus. Langkah selanjutnya ialah dengan menjalankan *Run Load Flow* pada aplikasi ETAP untuk mendapatkan nilai I_n (arus nominal) pada setiap saluran transmisi saat keadaan tanpa gangguan.

Nilai I_n dibutuhkan dalam menentukan nilai arus *pick-up* dan nilai TMS pada pengaturan relai. Dengan melakukan perhitungan nilai I_n, $I_{sc,set}$, $I_{n,set}$, dan TMS, maka didapat parameter-parameter yang dibutuhkan relai agar dapat bekerja dalam melakukan proteksi sistem. Untuk perhitungan nilai TMS, dilakukan modifikasi pada nilai t (waktu operasi) yang bertujuan untuk mendapatkan nilai TMS paling tepat agar urutan relai yang bekerja tidak saling *overlapping* satu sama lain. Selanjutnya yaitu menentukan karakteristik dari relai direksional, baik itu *reverse* ataupun *forward*. Penentuan karakteristik relai direksional ini bertujuan untuk menentukan prioritas relai mana saja yang akan berkerja terhadap gangguan yang diberikan.

Setelah penentuan parameter-parameter tersebut, barulah pengujian sistem dilakukan dengan menjalankan *Protective Device Coordination*. Pengujian dilakukan dengan memberikan gangguan secara bergantian pada kedelapan bus menggunakan fitur *Fault Insertion* pada aplikasi ETAP. Hasil dari pengujian inilah yang nantinya dianalisa, apakah sistem yang dirancang sudah benar atau belum. Jika hasil dari pengujian sistem yang dirancang dirasa belum benar, maka hal yang perlu dilakukan ialah melakukan perhitungan ulang pada nilai TMS atau mengubah karakteristik daripada relai direksional yang digunakan. Gambar 2 menunjukkan diagram alir dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

IV. HASIL DAN ANALISIS

Dalam perancangan ini penulis melakukan beberapa perhitungan untuk mendapatkan nilai *setting* pada relai dan dilakukan dengan memodifikasi nilai-nilai tertentu hingga mendapatkan hasil yang dianggap cukup baik untuk digunakan pada sistem yang digunakan.

A. Hasil Perhitungan $I_{n,set}$

Nilai $I_{n,set}$ didapat dengan menggunakan Persamaan 1 yang mana nilai I_n dikalikan nilai 1,1 yang diambil berdasarkan *British Standard 142-1983* sehingga didapat hasil seperti Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai hasil perhitungan $I_{n.set}$

Bus	$I_{n,set}$
Bus 1-2	67,32
Bus 1-3	447,81
Bus 3-4	191,51
Bus 4-5	75,13
Bus 5-6	367,29
Bus 2-6	94,05
Bus 1-6	17,27
Gen 1 – Bus 7	6666,2
Gen 2 – Bus 8	6408,3

B. Hasil Perhitungan $I_{sc,set}$

Tabel 3. Nilai hasil perhitungan $I_{sc,set}$ dan penentuan relai *primary*/*back-up*

Relai	$I_{sc,set}$	*Primary* (P)/*Back-up* (B)
1	2908,8	P
2	3200,4	B
3	3200,4	P
4	3404,7	P
5	2160,9	P
6	5498,1	P
7	4700,7	P
8	2691,9	B
9	2235.6	P
10	3494,7	P
11	3336,3	P
12	2691,9	P
13	4679,1	P
14	4679,1	P
15	4700,7	P

Nilai $I_{sc,set}$ didapat dengan menggunakan Persamaan 2. Dalam penentuan arus gangguan sebagai parameter dalam melakukan perhitungan nilai $I_{sc,set}$, arus gangguan *primary* atau *back-up*nya ditentukan dengan mencocokkan prioritas kerja relai pada sistem sehingga didapat hasil seperti Tabel 3.

C. Hasil Perhitungan Nilai TMS (Time Multiplier Setting)

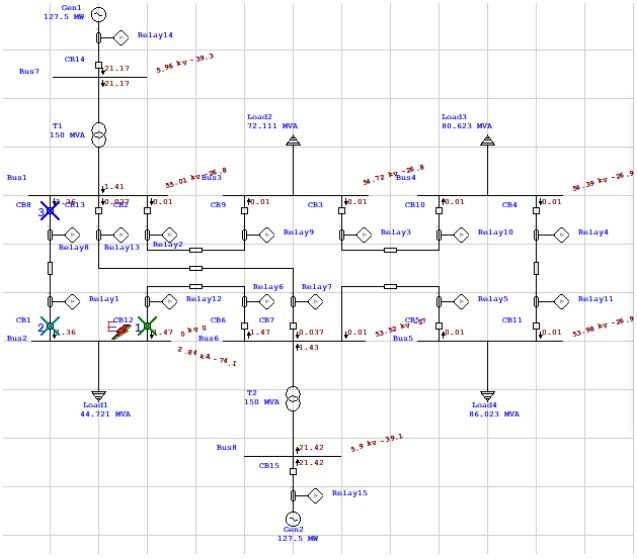
Nilai TMS didapat setelah mendapatkan nilai $I_{n,set}$ dan $I_{sc,set}$. Pada perhitungan ini penulis memodifikasi nilai dari t (waktu operasi) dengan alasan untuk mendapatkan relai mana yang seharusnya bekerja terlebih dahulu yang mana relai terdekat dengan gangguan yang seharusnya bekerja terlebih dahulu dibandingkan dengan relai yang berada jauh dari gangguan yang diberikan. Dari hasil modifikasi nilai t (waktu operasi) tersebut maka didapat hasil seperti Tabel 4.

Tabel 4. Nilai hasil perhitungan TMS (*Time Multiplier Setting*)

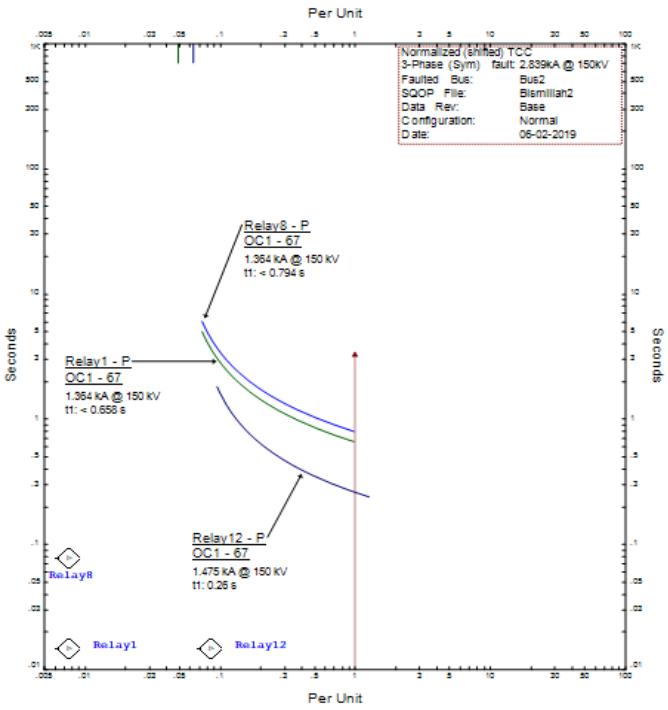
Relai	TMS	Nilai t (waktu operasi)
1	0,29	0,21226
2	0,128	0,46461
3	0,06	0,15338
4	0,185	0,35268
5	0,09	0,36184
6	0,06	0,10749
7	0,11	0,14518
8	0,35	0,39373
9	0,115	0,50875
10	0,06	0,14887
11	0,06	0,11497
12	0,105	0,22656
13	0,2	0,26418
14	0,218	3,381502
15	0,21	3,613223

D. Hasil Pengujian Koordinasi dengan Posisi Gangguan di Bus 2

Gambar 3 memperlihatkan hasil pengujian koordinasi relai ketika gangguan diberikan pada Bus 2. Dapat dilihat bahwa CB yang mengalami *trip* ialah CB paling dekat dengan posisi gangguan yang mana dikatakan koordiansi relai dianggap bekerja dengan baik. CB pertama yang mengalami *trip* yaitu CB12 yang mana aktif saat 282 ms atau 22 ms setelah *Relay*12 mendeteksi arus gangguan yang mengalir. CB selanjutnya yang bekerja ialah CB1 yang *trip* saat 680 ms dan yang terakhir ialah CB8 yang *trip* saat 816 ms, keduanya juga memiliki *setting* CB yang sama dengan CB12 yaitu memiliki *delay* 22 ms. Disini penulis menggunakan *Relay*12 dan *Relay*1 sebagai relai utama dalam memproteksi bus 2 dan *Relay*8 sebagai *back-up* dari *Relay*1. Penulis tidak menggunakan *Relay*6 sebagai back-up dikarenakan penulis menggunakan *Relay*6 sebagai relai utama dalam memproteksi bus 6. Dengan hasil pengujian ini, dapat dianggap koordinasi relai proteksi pada posisi gangguan di Bus 2 bekerja sangat baik dengan alasan CB yang *trip* merupakan CB terdekat dengan posisi gangguan. Adapun koordinasi ini dianggap bekerja dengan baik ditandai dengan grafik koordinasi relai yang bekerja tidak saling tumpang tindih (berpotongan) satu sama lain yang mana dapat dilihat pada Gambar 4.

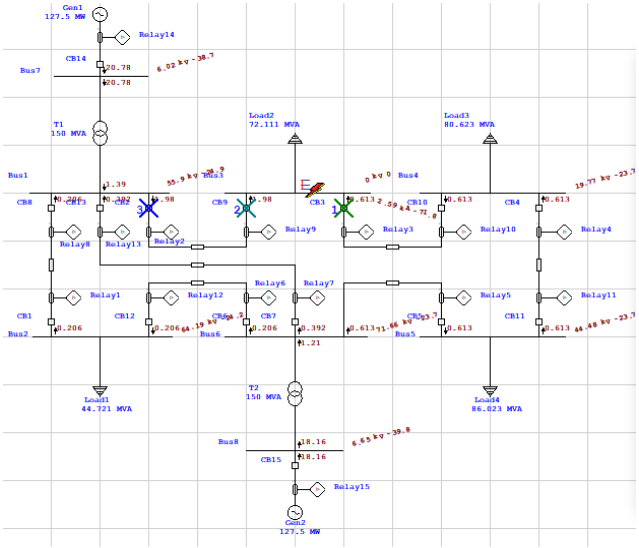


Gambar 3. Hasil koordinasi saat posisi gangguan di Bus 2

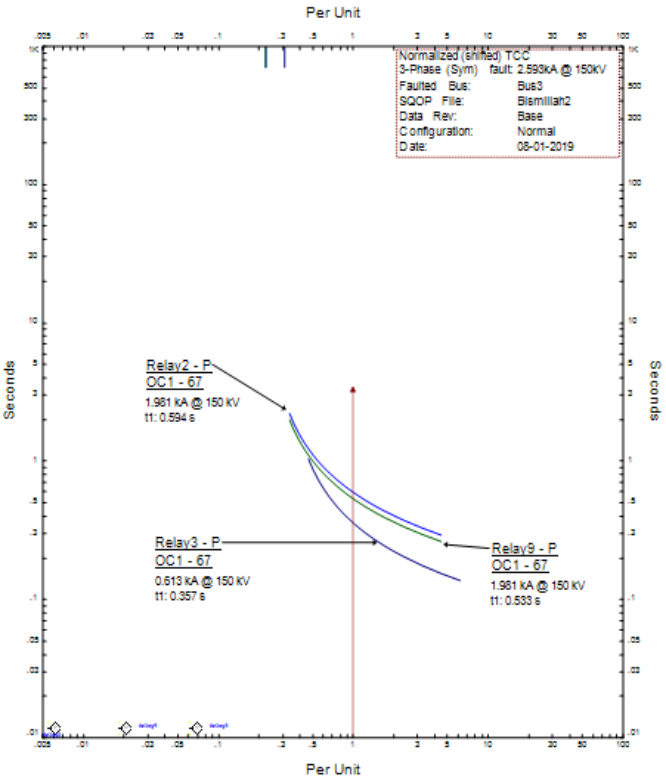


Gambar 4. Grafik koordinasi saat posisi gangguan di Bus 2

E. Hasil Pengujian Koordinasi dengan Posisi Gangguan di Bus 3



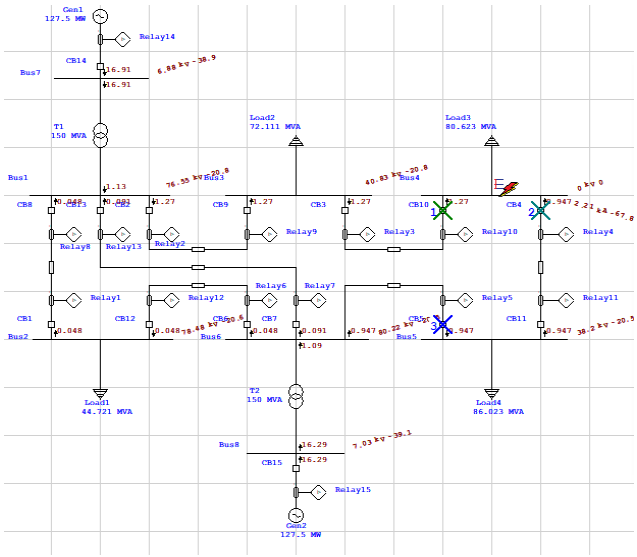
Gambar 5. Hasil koordinasi saat posisi gangguan di Bus 3



Gambar 6. Grafik koordinasi saat posisi gangguan di Bus 3

Gambar 5 memperlihatkan bahwa diberikannya gangguan pada Bus 3 dan hasilnya menunjukkan CB3 merupakan CB pertama yang melakukan *trip* saat 379 ms setelah *Relay*3 mendeteksi adanya arus gangguan yang mengalir sebesar 0,613 kA, kemudian CB9 saat 555 ms dan yang terakhir CB2 saat 616 ms dengan arus gangguan yang terdeteksi sama yaitu 1,981 kA. Pada kasus ini penulis menggunakan *Relay*9 dan *Relay*3 sebagai relai utama dalam memproteksi bus 3 dan *Relay*2 sebagai *back-up* dari *Relay*9. *Relay*4 dapat penulis gunakan sebagai *back-up* dari *Relay*3, akan tetapi tidak penulis gunakan dikarenakan koordinasinya akan menjadi kurang baik yang mana *Relay*3 dan *Relay*4 akan saling *overlapping* satu sama lain. Dapat dilihat bahwa prioritas CB yang bekerja pada posisi gangguan di bus 3 ini ialah CB yang terdekat dengan posisi gangguan tersebut dan dengan didukung oleh grafik koordinasinya dimana tidak ditemukannya grafik dari masing-masing relai yang tumpang tindih satu sama lain yang mana dapat dilihat pada Gambar 6, maka dapat dianggap proteksi gangguan pada posisi ini terkoordinasi dengan baik.

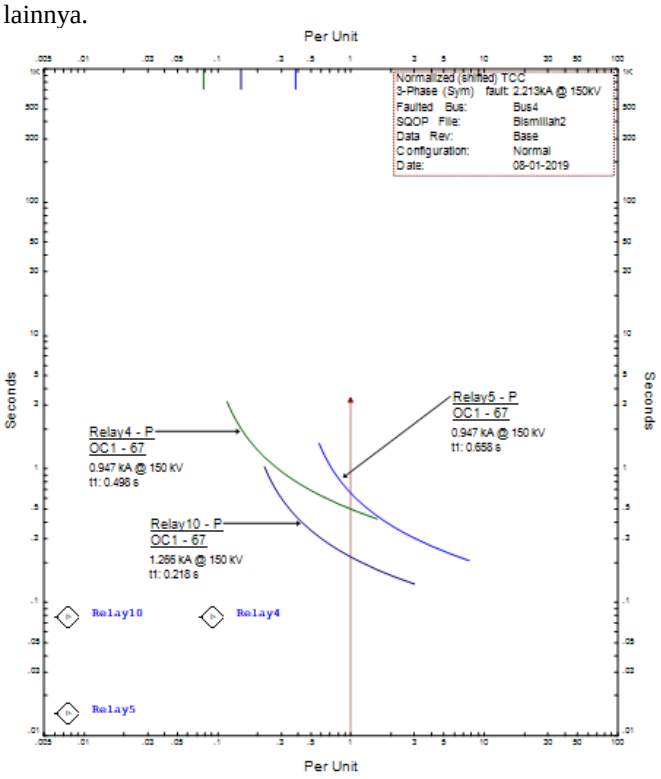
F. Hasil Pengujian Koordinasi dengan Posisi Gangguan di Bus 4



Gambar 7. Hasil koordinasi saat posisi gangguan di Bus 4

Gambar 7 memperlihatkan bahwa diberikannya gangguan pada Bus 4 yang menunjukkan hasil koordinasi dimana CB10 merupakan CB pertama yang mengalami *trip* setelah *Relay*10 mendeteksi adanya arus gangguan sebesar 1,266 kA, kemudian urutan kedua yang mengalami *trip* ialah CB4 dan yang terakhir ialah CB5 setelah tedeteksi arus gangguan sebesar 0,947 kA oleh *Relay*4 dan *Relay*5. Disini penulis menggunakan *Relay*10 dan *Relay*4 sebagai relai utama yang bekerja sedangkan *Relay*5 sebagai *back-up* dari *Relay*4. *Relay*3 dan *Relay*11 tidak bekerja sebagai relai *back-up* karena kedua relai tersebut tidak memiliki karakteristik yang sesuai untuk dapat bekerja saat terjadi gangguan di bus 4. Adapun *Relay*9 tidak penulis gunakan sebagai relai *back-up* dari *Relay*10 dikarenakan akan membuat koordinasi dari relai proteksi ini menjadi kurang baik yang mana *Relay*10 dan *Relay*9 akan saling *overlapping* satu sama lain. Gambar 8 memperlihatkan grafik hasil koordinasi dari *Relay*10, *Relay*4 dan *Relay*5 yang merupakan relai terdekat dengan posisi gangguan. Hasil koordinasi ini dikatakan sudah tepat karena tidak terdapat

grafik relai yang *overlapping* antara relai satu dengan yang lainnya.



Gambar 8. Grafik koordinasi saat posisi gangguan di Bus 4

Adapun hasil koordinasi keseluruhan pada Tabel 5 yang didapat dengan melakukan *Fault Insertion* pada kedelapan bus di ETAP.

Tabel 5. Hasil koordinasi pada setiap posisi gangguan yang diberikan

Posisi Gangguan	Relai yang bekerja	I_f (kA) (Arus gangguan)	Urutan CB yang *Trip*	T (sec)
Bus 1	Relai 13	0,477	CB 13	0,445
	Relai 14	0,906	CB 14	0,453
	Relai 3	0,252	CB 3	1,032
	Relai 15	30,56	CB15	1,052
Bus 2	Relai 13	1,475	CB 13	0,260
	Relai 1	1,364	CB 1	0,658
	Relai 8	1,364	CB 8	0,794
Bus 3	Relai 3	0,613	CB 3	0,357
	Relai 9	1,981	CB 9	0,533
	Relai 2	1,981	CB 2	0,594
Bus 4	Relai 10	1,266	CB 10	0,218
	Relai 4	0,947	CB 4	0,498
	Relai 5	0,947	CB 5	0,658
Bus 5	Relai 11	0,776	CB 11	0,176
	Relai 10	0,776	CB 10	0,296
	Relai 5	1,56	CB 5	0,429
Bus 6	Relai 7	0,906	CB 7	0,249
	Relai 6	0,477	CB 6	0,255
	Relai 11	0,252	CB 11	0,343
	Relai 16	30,56	CB16	0,988
Bus 7	Relai 14	0,692	CB 14	0,477
	Relai 13	0,364	CB 13	0,535
	Relai 15	50,073	CB 15	0,779
	Relai 3	0,192	CB3	1,032
Bus 8	Relai 7	0,692	CB 7	0,262
	Relai 6	0,364	CB 6	0,306
	Relai 11	0,192	CB 11	0,443
	Relai 16	50,073	CB16	0,735

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dari perancangan yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dengan mempertimbangkan prioritas relai mana saja yang harus bekerja dalam memproteksi masing-masing bus pada sistem, perancangan ini menghasilkan sistem proteksi yang bekerja sesuai harapan penulis yang mana didapat dengan menyesuaikan karakteristik relai terhadap arah arus yang mengalir pada sistem serta melakukan perhitungan nilai yang tepat pada parameter TMS.
2. Hasil perhitungan nilai TMS yang didapat dengan memodifikasi nilai t (waktu operasi) menghasilkan urutan kerja relai yang tepat saat menjalankan pengujian koordinasi relai yang mana relai terdekat dengan gangguan merupakan relai yang bekerja terlebih dahulu. Adapun penyesuaian karakteristik dari relai direksional terhadap arah arus gangguan yang diberikan pada bus terdekat, membuat CB yang *trip* merupakan CB terdekat dengan masing-masing posisi gangguan.
3. Dengan didapatnya hasil yang tepat pada kedua parameter penting dalam perancangan ini yaitu TMS dan karakteristik relai direksional serta didukung hasil grafik relai yang tidak saling tumpang tindih satu sama lain membuktikan

keandalan sistem proteksi yang dirancang dalam melakukan koordinasi proteksi, sehingga membuat tujuan dari perancangan ini menjadi terpenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] T. Amraee, "Coordination of Directional Overcurrent Relays Ssing Seeker Algorithm," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 27, no. 3, pp. 1415–1422, 2012.

[2] A. Triyadiputra and S. Handoko, "Optimasi Kinerja Rele Arus Lebih Berarah Pada Sistem Pembangkitan Terdistribusi Menggunakan Algoritma Genetika," *Transient*, vol. 1, no. 4, 2012.

[3] F. A. Albasri, A. R. Alroomi, and J. H. Talaq, "Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Using Biogeography-Based Optimization Algorithms," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 30, no. 4, pp. 1810–1820, 2015.

[4] W. B. Pramono, A. A. Sunardi, and Wariandi, "Perancangan Koordinasi Relai Arus Lebih pada Gardu Induk Dengan Jaringan Distribusi Spindle," *Semin. Nas. Energi Teknol.*, pp. 40–49, 2017.

[5] A. W. Hidayat, H. Gusmedi, L. Hakim, and D. Despa, "Analisa Setting Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang Topan Gardu Induk Teluk Betung," *Trans. Am. Fish. Soc.*, vol. 133, no. 5, pp. 1290–1292, 2004.