

PERANCANGAN KOORDINASI RELAI ARUS LEBIH PADA JARINGAN DISTRIBUSI

SPINDLE

Tugas Akhir

Oleh : Achmad Ardiant Sunardi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Jalan Kaliurang Km. 14,5 Sleman Yogyakarta 55501

Telp. (0274) 895007, 895287 Faks. (0274) 895007 Ext. 131

E-mail : adan.ardiant@gmail.com

Abstract

Jaringan distribusi *spindle* merupakan jaringan yang terbilang handal karena disediakan satu buah *express feeder* yang merupakan penyulang tanpa beban dari gardu induk sampai gardu hubung. *Express feeder* tersebut berfungsi sebagai cadangan ketika terjadi gangguan pada *feeder* lain. Untuk menunjang sistem yang handal maka diperlukan adanya sistem proteksi yang baik. Pada sistem proteksi jaringan distribusi *spindle* digunakan relai arus lebih sebagai pengamanan dari gangguan hubung singkat. Tahapan awal dalam penentuan setting relai arus lebih adalah dengan melakukan studi aliran daya untuk menentukan arus nominal beban (*In*) dan analisis hubung singkat (*Isc*) untuk menentukan arus hubung singkat terkecil yang melewati relai. Tahapan ini dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak ETAP 12.6. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *In(setting)*, *Isc(setting)*, *Iinstan/moment* dan TMS yang nantinya dimasukan pada relai. Setelah dimasukan nilai – nilai tersebut dapat dilihat hasil koordinasi relai arus lebih. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa koordinasi dapat bekerja dengan baik ketika *In(setting)* disetting 1,5 kali dari arus nominal, dan *Isc(setting)* disetting mendekati arus hubung singkat terkecil, yaitu 10% mendekati arus hubung singkat terkecil. Untuk waktu kerja antar relai ialah 0,3 pada sisi beban, 0,6 pada sisi *outgoing* dan *incoming*, serta 0,9 pada sisi tegangan tinggi. Untuk arah arus yang berbeda pengaturan relai yang digunakan tetap sama.

Kata kunci : jaringan distribusi *spindle*; koordinasi proteksi; relai arus lebih; ETAP 12.6

1. PENDAHULUAN

Sistem proteksi merupakan segala bentuk pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada sistem tenaga listrik. Sistem proteksi bertujuan untuk mendeteksi terjadinya suatu gangguan dan secepat mungkin mengisolir bagian sistem yang terganggu tersebut agar tidak mempengaruhi keseluruhan sistem.

Pemadaman akibat adanya gangguan eksternal pada sistem tak bisa dihindari, tetapi hal ini dapat ditekan seminimal mungkin dengan sistem proteksi yang handal. Untuk menunjang sistem yang handal dibutuhkan sistem proteksi yang baik.

Penelitian ini berfokus pada perancangan koordinasi relai arus lebih pada jaringan distribusi *spindle* yang meliputi pembuatan *single line diagram* dan cara penyetingan relai proteksinya menggunakan bantuan perangkat lunak ETAP 12.6. Adapun relai yang digunakan pada penelitian ini yaitu relai arus lebih (*Over Current Relay*) dengan karakteristik tunda waktu terbalik *standart/normal inverse*. Simulasi dalam penelitian ini dilakukan dalam 3 skenario, pertama dilakukan pada kondisi normal, dimana

semua penyulang tidak terhubung pada gardu hubung (GH) kecuali *express feeder*, kedua semua penyulang terhubung pada gardu hubung (GH), dan ketiga salah satu penyulang terhubung pada gardu hubung (GH).

Banyaknya gangguan yang terjadi dapat disebabkan karena gangguan eksternal ataupun kurang handalnya suatu sistem distribusi. Untuk itu diperlukan peningkatan atau modifikasi jaringan yang lebih handal, contohnya jaringan distribusi *spindle*. Karena belum adanya studi proteksi dan koordinasi relai proteksi jaringan distribusi *spindle* di Indonesia, oleh karena itu dilakukan penelitian tentang perancangan koordinasi relai arus lebih pada jaringan distribusi *spindle*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

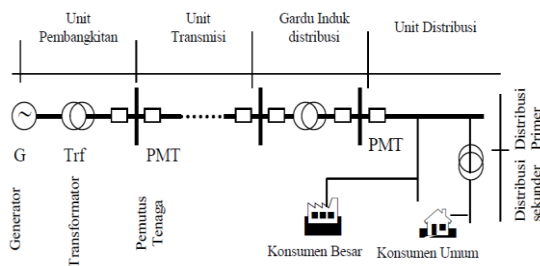
Pada penelitian [1] membahas mengenai koordinasi proteksi relai arus lebih pada perencanaan jaringan distribusi *spindle* GI Ciawi Trafo 1 Bogor. Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ETAP 6.0 didapatkan bahwa koordinasi antar

relai telah bekerja sesuai urutan dengan waktu kerja antar relai berkisar 0,1-0,2 detik.

Penelitian yang dilakukan Risangpajar, dkk [2] membahas evaluasi *setting Over Current Relay (OCR)* pada jaringan distribusi daya pemakaian sendiri di Unit Pembangkitan Tambak Lorok Blok I Semarang dengan menggunakan *ETAP 7.5.0*. dengan menentukan nilai arus *setting* untuk menghitung TMS dari masing-masing relai proteksi OCR pada jaringan. Pada *existing*, relai OCR terdekat tidak bekerja saat gangguan sehingga tidak sesuai syarat koordinasi proteksi. Terdapat relai OCR dengan *time grading* kurang dari 0,2 detik dan lebih dari 0,4 detik. Terdapat kurva koordinasi yang tumpang-tindih. Setelah *resetting*, relai OCR terdekat bekerja saat gangguan. Proteksi *back-up* bekerja sesuai urutan koordinasi saat relai utama gagal dan tidak ditemukan kurva tumpang-tindih. *Time grading* sesuai standar IEEE 242-1986, yaitu 0,2 - 0,4 detik. Penelitian ini memberikan koordinasi proteksi lebih baik daripada *existing* dengan *time grading* sesuai standar IEEE 242-1986. Hasilnya adalah peningkatan keandalan pada jaringan distribusi daya pemakaian sendiri di Unit Pembangkitan Tambak Lorok Blok I Semarang.

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem [3].



Gambar 1 Blok Diagram Sistem Tenaga Listrik

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

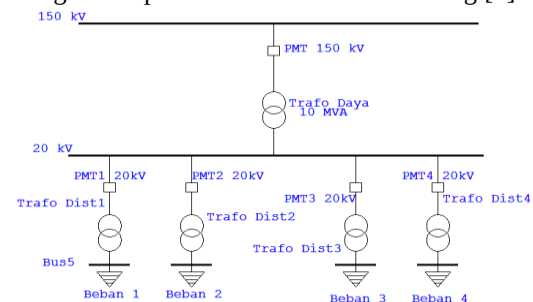
Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau

500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir. Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen [4].

2.3 Macam-macam Jaringan Distribusi

a. Jaringan Distribusi Radial

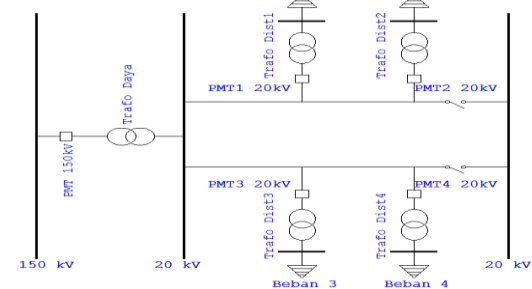
Suatu jaringan yang ditarik dari satu sumber daya atau gardu induk dan saluran dicabangkan untuk beban-beban yang dilayani, biasanya dipakai untuk melayani daerah beban dengan kerapatan beban rendah dan sedang [5].



Gambar 2 Jaringan Distribusi Radial

b. Jaringan Distribusi Loop

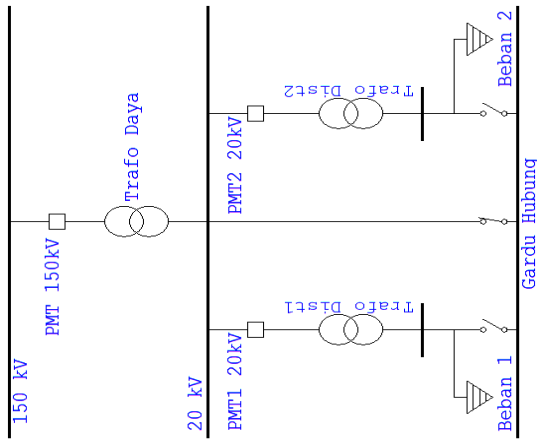
Suatu jaringan interkoneksi antar gardu distribusi yang membentuk suatu lingkaran tertutup (loop). Pada jaringan ini bisa terdapat lebih dari satu busbar gardu induk (GI) dan masing-masing penyulang membentuk suatu rangkaian tertutup dengan GI lainnya [5].



Gambar 3 Jaringan Distribusi Loop

c. Jaringan Distribusi Spindle

Jaringan yang menggunakan *express feeder* pada bagian tengah yang langsung terhubung dari gardu induk ke gardu hubung, yang digunakan sebagai cadangan ketika terjadi gangguan [5].



Gambar 4 Jaringan Distribusi Spindle

2.4 Relai Arus Lebih (Over Current Relay)

Relai arus lebih (*Over Current Relay / OCR*) merupakan peralatan yang mendeteksi adanya arus lebih, baik disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau beban lebih yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya. Relai arus lebih akan bekerja apabila arus yang terdeteksi oleh relai melebihi nilai *setting* / ambang batas arusnya. Fungsi utama OCR adalah sebagai pengamanan utama atau cadangan untuk gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem, terutama gangguan hubung singkat fasa ke fasa dan gangguan hubung singkat ke tanah [6].

2.5 Jenis OCR Berdasarkan Karakteristik Waktu

a. Relai Arus Lebih Seketika (Instantaneous/moment)

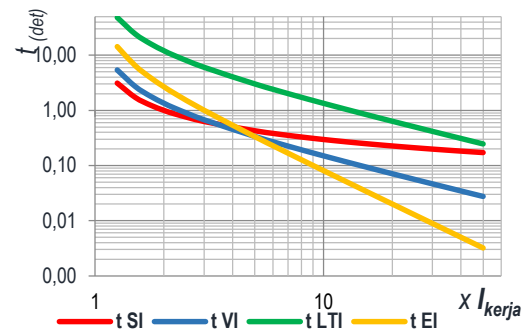
Relai akan bekerja seketika tanpa waktu tunda, bila arus yang dideteksi melebihi setelan relai. Waktu bekerjanya relai antara 0,016 detik sampai dengan 0,1 detik dengan setelan arus sangat besar biasanya 4 sampai 6 kali arus nominal [7].

b. Relai Arus Lebih dengan Tunda Waktu Tertentu (Definite Time)

Relai akan bekerja dengan waktu tunda tertentu yang tidak tergantung dari besarnya arus, asalkan arus yang dideteksi melebihi nilai setelan relai. Yang disetel adalah arus dan waktu tundanya [7].

c. Relai Arus Lebih dengan Tunda Waktu Terbalik (InverseTime)

Relai akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus yang dideteksi berbanding terbalik dengan waktu, makin besar arusnya makin kecil waktu tundanya [7]. Menurut standar IEC terdapat empat karakteristik *inverse*, yaitu *Standard Inverse* (SI), *Very Inverse* (VI), *Long Time Inverse* (LTI) dan *Extremely Inverse* (EI). Persamaan kurva waktu terhadap arus untuk karakteristik *inverse* standar IEC [8] :



Gambar 5 Macam Kurva Karakteristik Inverse Time

2.6 Dasar Penyetelan Relai [9]

a. Penyetelan Waktu Kerja

$$t = \frac{a \times (Tms)}{\left[\frac{I_{n(setting)}}{I_{sc(setting)}} \right]^n - c} \dots \dots \dots (1)$$

dimana : t paling ujung (hilir) : 0,1 – 0,5 detik

t berikutnya : t paling ujung (hilir) + Δt

Δt : 0,3 – 0,5 detik

Tabel 1 Nilai a dan n Kurva Karakteristik

No	Kurva karakteristik	a	n
1	Standart Inverse (SI)	0,14	0,02
2	Very Inverse (VI)	13,5	1
3	Long Time Inverse (LTI)	120	1
4	Extremely Inverse (EI)	80	2

b. Penyetelan Arus Kerja

$$I_{n(setting)} : I_n \times (1,05 \sim 1,5) \dots\dots\dots(2)$$

$$I_{sc(setting)} : I_{sc} - (25\% \times I_{sc}) \dots\dots\dots(3)$$

$$I_{instan/moment} : (3 - 6) \times I_{n(setting)} \dots\dots\dots(4)$$

keterangan :

t : waktu kerja relai (second / s)

Tms : waktu yang di inputkan pada relai agar relai bekerja

I_n : Arus nominal beban (A)

I_{sc} : Arus hubung singkat terkecil (kA)

$I_{n(setting)}$: Arus nominal *setting* pada relai (kA)

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

C : 1 (standar relai)

a : konstanta

n : eksponensial

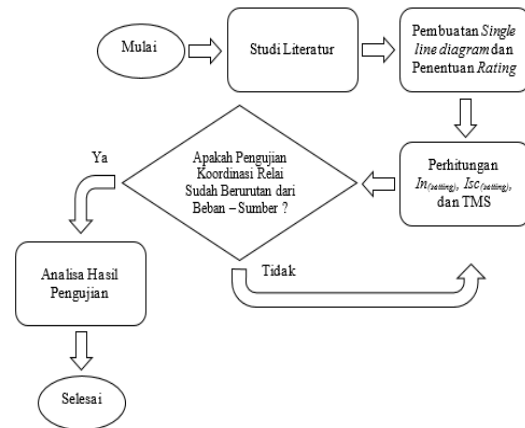
$I_{instan/moment}$: Arus yang membuat relai bekerja tanpa waktu tunda (kA)

3. PERANCANGGAN SISTEM

Pada penelitian ini dilakukan simulasi perancangan menggunakan perangkat lunak (software) ETAP 12.6 berupa pembuatan *single line diagram*, penentuan nilai $I_{n(setting)}$, $I_{sc(setting)}$, dan TMS untuk melihat hasil koordinasi relai arus lebih pada jaringan distribusi *spindle*.

3.1 Alur Penelitian

Adapun alur penelitian meliputi kegiatan-kegiatan yang dilakukan selama proses penelitian untuk melihat hasil grafik koordinasi relai lebih pada jaringan distribusi *spindle*.



Gambar 6 Alur Penelitian

a. Pembuatan Single Line Diagram

Dalam penelitian ini, terlebih dahulu dibuat atau dirancang *single line diagram* jaringan distribusi *spindle* menggunakan software ETAP 12.6. Kemudian dimasukan *rating* peralatan yang sebelumnya telah dilakukan wawancara serta dengan karyawan PT. PLN sebagai acuan atau referensi sehingga dibuatlah *single line diagram* seperti gambar 7, 8, dan 9.

1. Skenario 1

Pada skenario ini semua *feeder* terhubung pada bus *Incoming* dan tidak terhubung dengan gardu hubung kecuali *express feeder*.

2. Skenario 2

Pada skenario ini semua *feeder* terhubung pada gardu hubung dengan kondisi tidak terhubung pada bus *Incoming*.

3. Skenario 3

Pada skenario ini salah satu *feeder* terhubung pada gardu hubung dengan kondisi tidak terhubung pada bus *Incoming* dan *feeder* yang lainnya terhubung pada bus *Incoming* dengan kondisi tidak terhubung pada gardu hubung.

b. Penentuan Rating Peralatan

Setelah membuat *single line diagram*, selanjutnya dimasukan *rating* peralatan. Pada penelitian ini penulis menentukan atau merancang sendiri *rating* peralatan yang digunakan berdasarkan hasil wawancara dengan karyawan PT. PLN dan beberapa penelitian - penelitian sebelumnya. *Rating* peralatan yang digunakan sebagai berikut :

1. Generator :
Daya Output : 10 MW
Tegangan Output : 20 kV
2. Trafo Sisi Tegangan Tinggi :
Kapasitas Daya : 10 MVA
Tegangan Primer : 20 kV
Tegangan Sekunder : 70 kV

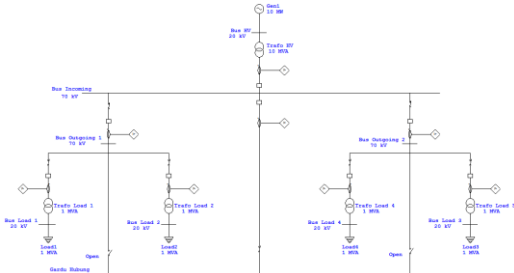
3. Trafo Sisi Tegangan Rendah :
Kapasitas Daya : 1 MVA
Tegangan Primer : 70 kV
Tegangan Sekunder : 20 kV
4. CB Sisi Tegangan Tinggi :
MFR : Merlin Gerin
Model : MCset SF1
Rating kV : 72,5 kV
Rating Amp : 1250 A
Min. Delay : 0,09 detik
5. CB Sisi Incoming :
MFR : Merlin Gerin
Model : MCset SF1
Rating kV : 72,5 kV
Rating Amp : 1250 A
Min. Delay : 0,06 detik
6. CB Sisi Tegangan Rendah :
MFR : Merlin Gerin
Model : MCset SF1
Rating kV : 72,5 kV
Rating Amp : 1250 A
Min. Delay : 0,03 detik
7. Relai :
Merk : ALSTOM
Model : P125
Karakteristik : *Standard Inverse*
Arus Nominal : 5 A
8. CT Sisi Tegangan Tinggi :
Rasio : 1000 : 5 A
9. CT Sisi Incoming :
Rasio : 1000 : 5 A
10. CT Sisi Tegangan Tinggi :
Rasio : 1000 : 5 A
11. Beban 1, 2, 3, dan 4 :
Daya : 0,95 MW
PF : 95 %

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Single Line Diagram

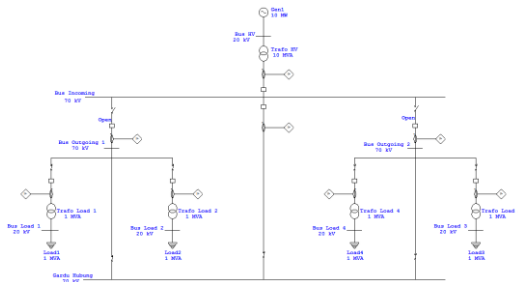
Setelah mempelajari penelitian-penelitian serupa sebelumnya, serta hasil wawancara dengan karyawan PT. PLN, dibuatlah *single line diagram* sebagai berikut :

a. Skenario 1



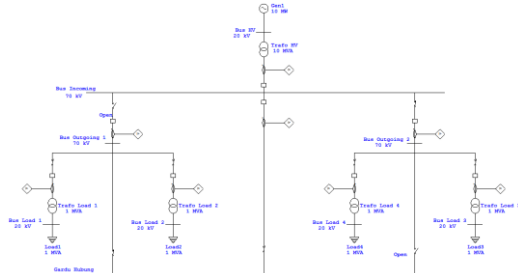
Gambar 7 Single Line Diagram Skenario 1

b. Skenario 2



Gambar 8 Single Line Diagram Skenario 2

c. Skenario 3



Gambar 9 Single Line Diagram Skenario 3

4.2 Hasil Percobaan

a. Studi Aliran Daya

Tabel 2 Laporan Studi Aliran Daya

No	Bus	Arus (Ampere)
1	Bus HV	56,9 A
2	Bus Incoming	22,7 A
3	Bus Outgoing 1	11,4 A
4	Bus Outgoing 2	11,4 A
5	Bus Load 1	19,9 A
6	Bus Load 2	19,9 A
7	Bus Load 3	19,9 A
8	Bus Load 4	19,9 A

Dari tabel 2 diketahui besarnya arus beban yang nantinya akan digunakan untuk menghitung arus $I_{n(setting)}$ yang digunakan sebagai nilai masukan arus *pick-up* pada relai.

b. Analisis Arus Hubung Singkat

Tabel 3 Laporan Analisis Arus Hubung Singkat

No	Bus	Arus (kA)
1	Bus HV	1,621 kA
2	Bus Incoming	0,609 kA
3	Bus Outgoing 1	0,609 kA
4	Bus Outgoing 2	0,609 kA
5	Bus Load 1	0,433 kA
6	Bus Load 2	0,433 kA
7	Bus Load 3	0,433 kA
8	Bus Load 4	0,433 kA

4.3 Perhitungan Nilai $In_{(setting)}$, $Isc_{(setting)}$, dan TMS

Nilai $In_{(setting)}$ didapatkan menggunakan persamaan 1

Sisi Beban : $1,5 \times 19,9 : 0,02985 \text{ kA}$

Nilai $I_{sc(setting)}$ didapatkan menggunakan persamaan 2

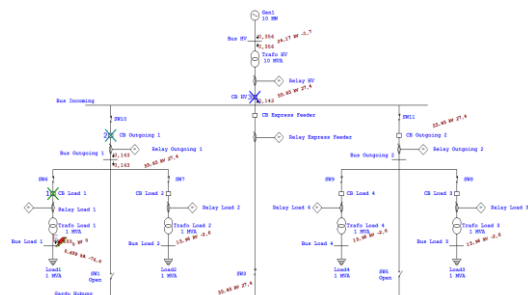
Sisi Beban : $0,433 - (10\% \times 0,433) :$
0,3897 kA

Nilai TMS didapatkan menggunakan persamaan 3

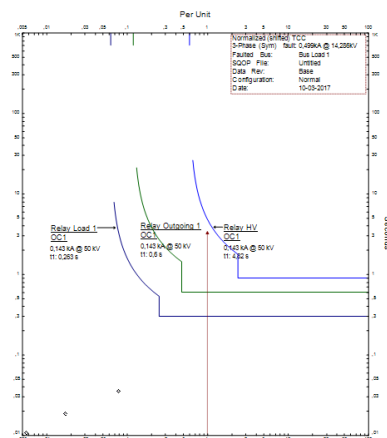
Nilai $I_{\text{instan/moment}}$ didapatkan menggunakan persamaan 4

Sisi HV : 4 x 0,08535 : 0,3414 kA

a. Skenario 1



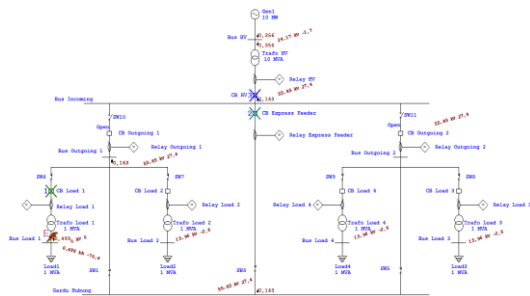
Gambar 10 Hasil Koordinasi Skenario 1



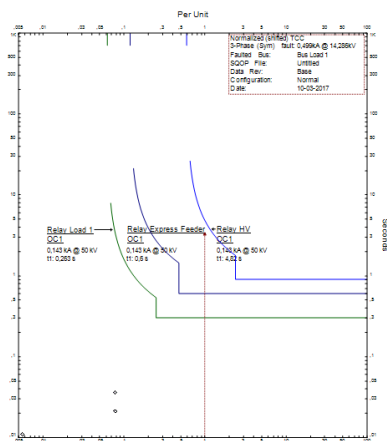
Gambar 11 Hasil Grafik Koordinasi Skenario 1

Dari gambar 10 dan dapat dilihat bahwa gangguan diberikan pada bus *Load* 1 dan hasil koordinasi menunjukkan bahwa *CB* yang bekerja pertama ialah *CB Load* 1, kemudian *CB Outgoing* 1 dan yang terakhir ialah *CB HV*. Jadi urutan kerja *CB* ialah *CB Load* – *CB Outgoing* – *CB HV*, hal ini dikarenakan penyulang / *feeder* terhubung pada *Bus Incoming*. Hasil urutan ini sama ketika diberikan gangguan pada bus *Load* 2, 3, dan 4. Dari gambar 11 dapat dilihat bahwa koordinasi yang dibuat sudah benar ditunjukkan dengan hasil grafik yang tidak saling berpotongan atau tumpang tindih antara relai yang satu dengan relai yang lainnya.

b. Skenario 2



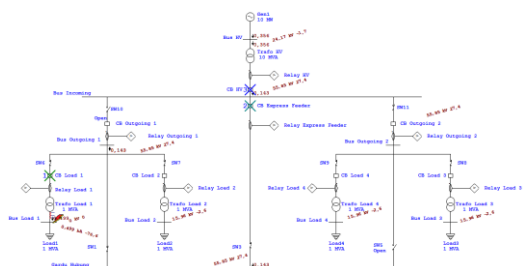
Gambar 12 Hasil Koordinasi Skenario 2



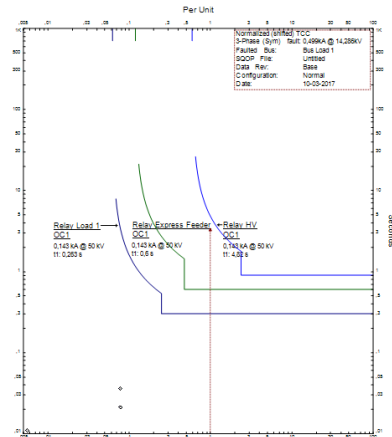
Gambar 13 Hasil Grafik Koordinasi Skenario 2

Dari gambar 12 dan dapat dilihat bahwa gangguan diberikan pada bus *Load 1* dan hasil koordinasi menunjukkan bahwa *CB* yang bekerja pertama ialah *CB Load 1*, kemudian *CB Express Feeder* dan yang terakhir ialah *CB HV*. Jadi urutan kerja *CB* ialah *CB Load* – *CB Express Feeder* – *CB HV*, hal ini dikarenakan penyulang / *feeder* terhubung pada Gardu Hubung yang terhubung dengan *Express Feeder*. Hasil urutan ini sama ketika diberikan gangguan pada bus *Load 2*, *3*, dan *4*. Dari gambar 13 dapat dilihat bahwa koordinasi yang dibuat sudah benar ditunjukkan dengan hasil grafik yang tidak saling berpotongan atau tumpang tindih antara relai yang satu dengan relai yang lainnya.

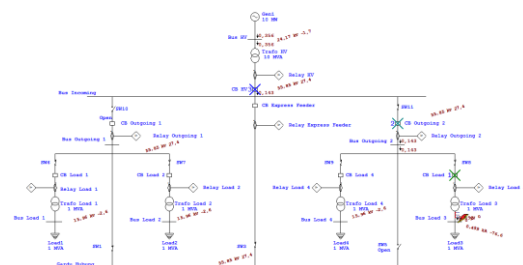
c. Skenario 3



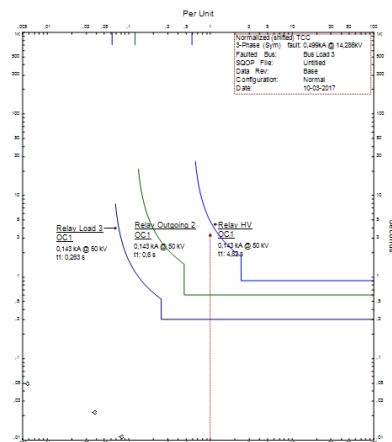
Gambar 14 Hasil Koordinasi Skenario beban 1 dan 2



Gambar 15 Hasil Grafik Koordinasi Skenario beban 1 dan 2



Gambar 16 Hasil Koordinasi Skenario beban 3 dan 4



Gambar 17 Hasil Grafik Koordinasi Skenario beban 3 dan 4

Dari gambar 14 dan dapat dilihat bahwa gangguan diberikan pada bus *Load 1* dan hasil koordinasi menunjukkan bahwa *CB* yang bekerja pertama ialah *CB Load 1*, kemudian *CB Express Feeder* dan yang terakhir ialah *CB HV*. Jadi urutan kerja *CB* ialah *CB Load* – *CB Express Feeder* – *CB HV*, hal ini dikarenakan penyulang / *feeder* terhubung pada Gardu Hubung yang terhubung dengan *Express Feeder*. Hasil urutan ini sama ketika diberikan gangguan pada bus *Load 2*, namun berbeda untuk dangguan pada bus *Load 3*, dan *4* karena penyulang / *feeder* dari bus

tersebut terhubung pada bus *Incoming* sehingga urutan kerja CBnya ialah *CB Load – CB Outgoing – CB HV* dapat dilihat dari gambar 4.16. Dari gambar 4.15 dan gambar 4.17 dapat dilihat bahwa koordinasi yang dibuat sudah benar ditunjukkan dengan hasil grafik yang tidak saling berpotongan atau tumpang tindih antara relai yang satu dengan relai yang lainnya.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang berjudul studi perancangan koordinasi relai arus lebih pada jaringan distribusi *spindle* dapat disimpulkan, bahwa :

1. Ketika relai diatur mendekati arus hubung singkat terkecil yaitu 10% mendekati arus hubung singkat terkecil sistem ini masih dapat bekerja dengan baik.
2. Koordinasi masih dapat bekerja dengan baik ketika relai diatur melebihi arus beban yaitu 1,5 x arus beban, sehingga ketika ada penambahan beban pengaturan relai tidak perlu diganti.
3. Untuk arah arus yang berbeda pengaturan relai tidak perlu diganti, hal ini dikarenakan nilai arus gangguan yang tidak berbeda jauh.
4. Dari skenario 1, 2, maupun 3 menghasilkan grafik kordinasi yang sama, hal ini dikarenakan nilai *rating* peralatan yang sama.
5. Dimanapun gangguan terjadi, sistem ini masih tetap terkoordinasi dengan baik.

5.2 Saran

1. Pemilihan *rating* peralatan harus diperhatikan, agar sistem tidak *overvoltage* atau pun *undervoltage*.
2. Diharapkan di Indonesia segera diterapkan jaringan distribusi *spindle*, agar keandalan sistem lebih baik, dan ketika ada penambahan beban sistem sudah siap.
3. Diharapkan kedepannya jika jaringan *spindle* telah terealisasi, dilakukan pengembangan untuk merancang jaringan distribusi berpola *network*/jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Femy S. S and Iwa Garniwa M. K, *Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Pada Perencanaan Jaringan Distribusi Spindle Di Gi Ciawi Trafo 1 Bogor*, 2013.
- [2] Bambang Nugrahadi P, Juningtyastuti, and Mochammad Facta, *Koordinasi Relay Arus Lebih Dan Recloser Pada Trafo 60 Mva Gardu Induk Pandean Lamper Semarang Dengan Simulasi ETAP 11.1.1*. Vol.4, No. 3, September 2015
- [4] Suhadi dkk, 2008, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 11
- [5] Anonim, PT. PLN (Persero). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Hal. 3
- [6] Abdul Kadir. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Hal 26
- [7] Femy S. S, *Koordinasi Proteksi*, FT UI, 2013
- [8] Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Palembang: Universitas Sriwijaya; hal. 56.
- [9] IEC 60076-5 : 2000, *Power Transformer-Ability to Withstand Short Circuit*.
- [10] GEC Measurement, *Protective Relay Application Guide*, Staford, England : The General Electric Company p.l.c