

Studi Koordinasi Proteksi Arus Lebih dari Jaringan Distribusi dengan FCL (Fault Current Limiter) di PT.

VICO Indonesia

Nama Mahasiswa : Yosep Warman Hutasoit
Nrp : 2211100101
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Arif Mustofa, MT.

ABSTRAK

Meningkatnya kebutuhan daya listrik di PT. VICO Indonesia memicu dilakukannya interkoneksi generator untuk menjaga kontinuitas pelayanan daya listrik. Akibat adanya interkoneksi generator maka arus hubung singkat semakin besar pada titik gangguan. Hal ini melebihi *device capability* peralatan sehingga dapat merusak peralatan listrik di area gangguan tersebut. Arus gangguan hubung singkat pada salah satu *switchgear* utama di PT VICO Indonesia Station #1A melebihi *device capability*, dimana rating *switchgear* 42.19 kA peak, sedangkan arus hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle sebesar 46.098 kA peak. Karena itu untuk membatasi arus gangguan hubung singkat tersebut digunakan suatu *Fault Current Limiter* (FCL) dan pada tugas akhir ini yang digunakan adalah *Saturated Iron-core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL). SISFCL ini dipasang pada Bus 35 yang merupakan sumber arus kontribusi terbesar ketika terjadinya gangguan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada *switchgear* Station #1A. Pemasangan SISFCL dapat mengurangi besarnya arus hubung singkat pada Station #1A dari 46.098 kA menjadi 37.233 kA peak. Pemasangan SISFCL menunjukkan bahwa arus hubung singkat semakin berkurang sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan koordinasi proteksi rele arus lebih pada PT. VICO Indonesia. Namun, peralatan pengaman yang dimiliki oleh PT. VICO Indonesia masih belum terkoordinasi dengan baik. Dari hasil plot koordinasi kurva arus waktu kondisi *existing* diketahui bahwa terdapat *misscoordination* dan *overlapping*. Studi koordinasi dilakukan untuk pengaman peralatan dan studi koordinasi proteksi akan ditampilkan dalam bentuk kurva *time current characteristic* (TCC).

Kata Kunci : Arus Hubung Singkat, SISFCL, Koordinasi Proteksi, Rele Arus Lebih, Kurva *Time Current Characteristic* (TCC)

Halaman ini sengaja dikosongkan

Study Overcurrent Protection Coordination of Distribution Network with FCL (Fault Current Limiter) on PT. VICO Indonesia

Nama Mahasiswa : Yosep Warman Hutasoit
Nrp : 2211100101
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dosen Pembimbing : Ir. Arif Musthofa., MT.

ABSTRACT

Increase demand of electric power at PT. VICO Indonesia so need the interconnection generator to maintain the continuity of the electric power service. Due to the interconnection of the generator short circuit current will be greater at the point of interruption. It can exceed the device capability of equipment so can damage electrical equipment near the point of the interruption. Short circuit fault current at one of main switchgear on PT. VICO Indonesia Station #1A exceed device capability, maximum value of switchgear is 42.19 kA, while the ½ cycle short circuit 3 phasa current of 46.098 kA. Therefore to limit the short circuit current is used Fault Current Limiter (FCL) and in this final project used Saturated Iron-core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL). SISFCL will be installed in the Bus 35 which is the current source of the greatest contribution in the event of ½ cycle short circuit 3 phasa in the switchgear Station #1A. Installation of SISFCL can reduce the amount of short circuit current on the switchgear Station #1A of 46.098 kA to 37.233 kA peak. Installation of SISFCL shows decreasing of short circuit current, so causes changes the overcurrent protection coordination on PT. VICO Indonesia. But in real, safety equipment owned by PT. VICO Indonesia is still not well coordinated. From the results of the coordination plot a current curve existing condition is known that there misscoordination and overlapping. Study overcurrent protection coordination is used to determine if security system works well. the result of short circuit analysis and study overcurrent protection coordination will appear in time current curve characteristic (TCC).

Keywords : Short Circuit Current, SISFCL, Overcurrent Protection Coordination, Time Current Curve Characteristic (TCC)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TEORI PENUNJANG

Setiap sistem kelistrikan industri ada berbagai macam gangguan. Gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri atau gangguan dari luar sistem. Gangguan pada sistem kelistrikan bisa mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan daya listrik. Salah satunya gangguan pada sistem kelistrikan yang menjadi masalah sangat penting adalah gangguan hubung singkat. Besarnya arus gangguan hubung singkat jika melebihi *device capability* peralatan dapat menyebabkan panas yang berlebih pada peralatan tersebut dan dapat berakibat rusak. Peralatan yang dapat digunakan untuk membatasi arus hubung singkat yang besar salah satu yang bisa digunakan adalah *Saturated Iron-core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL). Dengan penggunaan SISFCL maka dilakukan koordinasi proteksi ulang untuk rele arus lebih pada peralatan proteksi yang ada.

2.1 Gangguan Hubung Singkat

Setiap sistem kelistrikan di industri tidak bisa lepas dari kemungkinan terjadi gangguan, baik gangguan yang bersumber dari dalam sistem sendiri maupun dari luar. Gangguan yang biasa terjadi pada suatu sistem kelistrikan industri adalah gangguan hubung singkat. gangguan ini terjadi karena adanya saluran fasa yang terhubung dengan saluran fasa lainnya atau terhubung dengan ground. Gangguan ini bisa menyebabkan terjadinya arus yang sangat besar sehingga bisa merusak peralatan listrik yang ada di sekitar titik gangguan. Besarnya arus gangguan hubung singkat bisa ditentukan berdasarkan impedansi dari peralatan listrik pada sistem tersebut. Gangguan hubung singkat dapat terjadi tiga fasa, dua fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, atau 3 fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat sendiri dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu :

1. Gangguan hubung singkat simetri.

Gangguan hubung singkat simetri disebut juga gangguan hubung singkat seimbang yaitu terjadi pada gangguan hubung singkat tiga fasa.

2. Gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri).

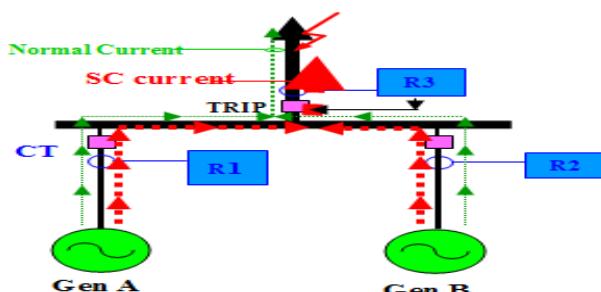
Gangguan hubung singkat asimetri disebut juga gangguan tidak seimbang terjadi pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah,

gangguan hubung singkat dua fasa ketanah, dan hubung singkat dua fasa. Gangguan hubung singkat ini bisa mengakibatkan arus yang sangat besar pada fasa yang sedang terjadi gangguan dan juga bisa mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak sedang terjadi gangguan. Gangguan hubung singkat yang biasa terjadi adalah gangguan hubung singkat asimetri. Gangguan asimetri bisa menyebabkan mengalirnya arus tidak seimbang pada suatu sistem kelistrikan sehingga untuk analisa gangguan ini dengan menggunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus dan tegangan pada semua bagian sistem kelistrikan.

2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat [1]

Saat terjadinya gangguan hubung singkat di suatu titik gangguan maka akan mengakibatkan arus yang besar pada titik gangguan tersebut. Arus hubung singkat terdapat tiga kondisi yaitu *subtransient*, *transient*, *steady state*. Besarnya arus hubung singkat dipengaruhi seberapa besar nilai reaktansi pada sistem kelistrikan yang dilalui oleh arus hubung singkat. Pada $\frac{1}{2}$ cycle pertama kondisi *subtransient* besar arus hubung singkat sangat besar karena total reaktansi sangat kecil, reaktansi pada kondisi ini disebut ($X''d$). pada beberapa cycle kemudian besarnya arus hubung singkat akan cenderung menurun pada kondisi *transient* ($X'd$) hingga pada kondisi *steady state* (Xd).

Kontribusi arus hubung singkat bersumber dari beberapa faktor, yaitu : Generator, motor sinkron, motor induksi, dan utility. Berikut skema arah arus ketika terjadi gangguan hubung singkat di suatu titik tertentu dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Arah aliran arus ketika terjadi gangguan hubung singkat

Untuk mengantisipasi gangguan hubung singkat, harus dilakukan analisa hubung singkat agar dapat menentukan sistem proteksi yang tepat pada suatu sistem tenaga listrik. Analisa hubung singkat melihat semua kontribusi arus gangguan yang mengalir pada setiap cabang di dalam suatu sistem yang bersumber dari (trafo, pembangkit, beban motor) ketika gangguan hubung singkat yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik.

Suatu sistem tenaga listrik dibutuhkan adanya pengaman peralatan yang bertujuan untuk mendeteksi dan berkerja terhadap arus hubung singkat saat terjadi suatu gangguan hubung singkat. Hal ini menjadi faktor adanya analisa kejadian yang tidak di inginkan yang mungkin terjadi pada sistem dan pengaman peralatan pada sistem tenaga listrik. Di bawah ini adalah perhitungan untuk menghitung besarnya arus hubung singkat yang terjadi pada sistem distribusi :

- Gangguan hubung singkat tiga fasa

Gangguan hubung singkat ini merupakan gangguan hubung singkat yang menghasilkan arus hubung singkat terbesar (arus hubung singkat maksimum) dibanding gangguan hubung singkat lainnya. Gangguan ini melibat ketiga fasanya. Berikut persamaan arus hubung singkat tiga fasa ($Ihs_{3\phi}$) :

$$Ihs_{3\phi} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

Dimana :

V_{LN} adalah tegangan *line to neutral*, dan

X_1 adalah reaktansi urutan positif

- Gangguan hubung singkat antar fasa

Gangguan hubung singkat ini terjadi karena adanya hubung singkat antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Gangguan ini yang menghasilkan arus hubung singkat minimum. Berikut persamaan arus hubung singkat antar fasa ($Ihs_{2\phi}$) :

$$Ihs_{2\phi} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{X_1 + X_2} \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

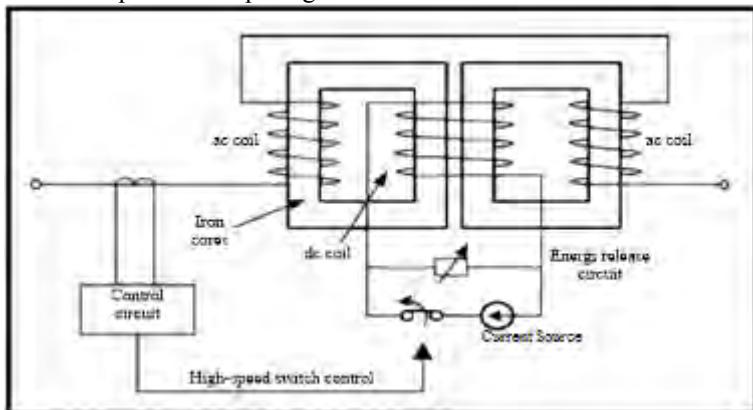
Dimana :

masing-masing reaktansi urutan positif dan negatifnya mempunyai nilai yang sama, maka didapatkan :

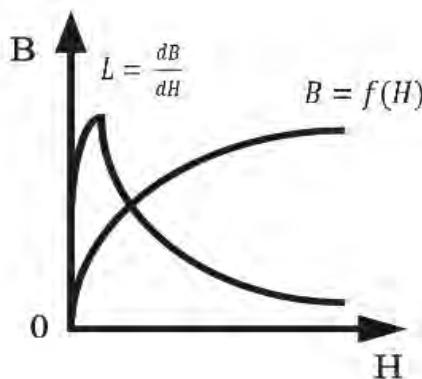
$$Ihs_{2\phi} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2X_1} \approx 0.86 Ihs_{3\phi} \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

oleh rectifier menjadi 50 vdc pada keadaan normal dan 500 vdc untuk proses magnetisasi dengan cepat. Saat ada gangguan sakelar off dan gangguan hilang sakelar on lagi dibutuhkan sumber arus start untuk remagnetisasi sebesar 550 vdc.

Rangkaian pelepasan energi (*energy release circuit*) berfungsi menyerap Energi magnetik yang tersimpan selama keadaan saturasi dengan cepat melalui dc coil *superconducting*. Berikut skematik aktif SISFCL diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skematic aktif SISFCL [3]



Gambar 2.3 Current limiting characteristic of active SISFCL [4]

Operasi kerja SISFCL Pada keadaan normal sakelar rangkaian dc pada kondisi *close*, maka arus dc mengalir pada kumparan DC yang mengakibatkan kedua inti besi dalam keadaan saturasi sehingga kuat medan (H) besar dan impedansi menjadi kecil.

Operasi kerja SISFCL ketika terdeteksi adanya gangguan hubung singkat membutuhkan waktu 1 *millisecond*, rangkaian kontrol akan mengirim sinyal pada sakelar kecepatan tinggi, dan sakelar rangkaian dc *open* mengakibatkan kedua inti besi keluar dari keadaan saturasi. Kuat medan (H) hilang, Sehingga impedansi meningkat. Meningkatnya impedansi akan membatasi arus hubung singkat dalam waktu 5 *milliseconds*.

Operasi kerja SISFCL setelah gangguan hilang sakelar rangkaian dc akan kembali *close*, maka arus dc mengalir pada kumparan dc yang mengakibatkan kedua inti besi dalam keadaan saturasi kembali dan impedansi sangat kecil. Pada saat gangguan hilang waktu yang dibutuhkan untuk kembali pada keadaan normal dibutuhkan beberapa ratus *milliseconds*. Operasi kerja SISFCL dapat dilihat pada gambar 2.3 diatas. Dibawah ini adalah persamaan yang ditunjukkan oleh gambar 2.3 :

$$L = \frac{dB}{dH} \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.5)$$

Dimana besarnya nilai impedansi dipengaruhi oleh perubahan kerapatan flux (B) dan perubahan kuat medan (H).

Pada SISFCL terdapat sakelar kecepatan tinggi menggunakan *high voltage insulated gate bipolar transistor* (HVIGBT). Energi magnetik yang tersimpan selama keadaan saturasi dilepaskan melalui rangkaian pelepasan energi untuk membuat keadaan impedansi tinggi pada kumparan ac yang digunakan untuk membatasi arus. Pada rangkaian pelepasan energi juga tersedia piezoresistor untuk mengantisipasi lonjakan tegangan yang disebabkan akibat pembukaan sakelar yang cepat dari rangkaian dc magnetisasi dan melindungi peralatan pada rangkaian [5].

SISFCL terdiri dari 4 bagian utama : sistem reactor, sistem cryogenic, sistem dc bias, rangkaian kontrol, dan sistem monitoring.[2]

- Sistem reactor terdiri dari inti besi, kumparan superkonduktor, Kumparan ac dan kumparan dc. Kumparan ac terbuat dari konduktor konvensional (tembaga atau aluminium) dan isolasi

(epoxy, kertas, minyak). Kumparan superkonduktor dapat menarik arus yang besar dengan kerugian yang rendah dan volume yg kecil. Kumparan dc merupakan komponen listrik yang dapat dengan cepat terpengaruh oleh medan magnet. Sehingga ketika dc coil teraliri arus dc maka akan dengan cepat menjadi keadaan saturasi.

- Sistem cryogenic berfungsi untuk menjaga suhu pada SISFCL karena SISFCL harus tetap beroperasi pada lingkungan suhu rendah. Pada SISFCL digunakan sistem cryogenic loop terbuka untuk mempertahankan dan mencapai tingkat keandalan yang tinggi. Sistem ini terdiri dari Nitrogen cair (LN2), pompa nitrogen, unit kontrol, pipa LN2, sensor tekanan dan temperatur, dan katup.
- Sistem dc bias berfungsi menjadikan inti besi pada keadaan saturasi oleh arus dc sehingga menyebabkan impedansi kecil pada keadaan normal. Pada kondisi gangguan arus dc terputus sehingga kedua kumparan keluar dari keadaan saturasi hal ini menyebabkan impedansi meningkat. Pada saat gangguan telah diamankan inti besi akan kembali pada keadaan saturasi dan impedansi kecil atau seperti impedansi udara.
- Sistem monitoring digunakan untuk mengontrol sistem DC bias dan sistem cryogenic, serta digunakan untuk memantau arus pada jaringan.
- Pada SISFCL rangkaian kontrol terdiri atau terhubung pada 3 bagian utama yaitu : sumber dc, high speed switch, dan rangkaian pelepasan energi. Ketika mendeteksi gangguan hubung singkat kontrol sirkuit akan mengirim sinyal pada sakelar kecepatan tinggi dan sumber rangkaian dc akan open.

Pemasangan SISFCL pada suatu sistem tenaga listrik dapat mempengaruhi koordinasi proteksi rele arus lebih. Dengan pemasangan SISFCL arus hubung singkat yang mengalir pada sistem akan dibatasi dan arus hubung singkat semakin berkurang.

2.4 Rele Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik [6]

Suatu sistem tenaga listrik terdapat banyak peralatan listrik yang harganya sangat mahal. Maka dibutuhkan adanya rele pengaman pada sistem tenaga listrik sehingga dapat mengamankan peralatan listrik yang ada. Untuk dapat mengamankan peralatan listrik yang ada maka setiap peralatan harus dilengkapi dengan peralatan pengaman. Berikut syarat-syarat pada peralatan pengaman (rele pengaman) :

- a. Kecepatan breakksi

Bertujuan untuk meminimalisasi kerusakan peralatan listrik pada saat terjadi gangguan hubung singkat suatu rele pengaman harus dengan cepat memutus. Pada rele pengaman juga terdapat waktu tunda namun waktu tunda ini juga harus secepat mungkin. Kecepatan waktu bereaksi merupakan hal yang harus diusahakan sehingga kerusakan pada peralatan listrik ketika terjadi gangguan hubung singkat dapat dicegah.

b. Kecepatan operasi (*sensitivity*)

Pada suatu rele pengaman saat mendeteksi adanya gangguan pada daerah pengamannya rele ini harus dengan sensitive memberikan respon saat mendeteksi gangguan tersebut.

c. *Selectivity*

Kemampuan selektivitas dari rele pengaman merupakan suatu kualitas kecermatan pemilihan dalam melakukan pengamanan. Rele pengaman hanya akan bekerja selama kondisi tidak normal atau terjadi gangguan pada daerah yang diamankan. Dan rele pengaman tidak akan bekerja pada kondisi normal atau ketika terjadi gangguan pada daerah diluar yang diamankan.

d. Keandalan

Saat keadaan normal atau sistem tenaga listrik yang tidak pernah mengalami gangguan rele pengaman tidak akan bekerja. Namun suatu rele pengaman harus dilakukan pengujian secara periodik saat dilakukan pemeliharaan untuk menjaga keandalannya. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa rele pengaman masih bisa bekerja ketika terjadi gangguan.

e. Ekonomis

Penggunaan rele pengaman pada peralatan listrik harus mempertimbangkan dari sisi ekonomis. Hal ini disebabkan karena tidak semua peralatan listrik harus dilengkapi dengan pengaman rele yang lengkap. Sehingga harus disesuaikan dengan harga peralatan yang akan diamankan.

2.5 Rele Arus Lebih

Suatu sistem tenaga listrik dibutuhkan adanya rele pengaman yang dapat mengurangi dan mengantisipasi terjadinya suatu gangguan. Salah satu rele pengaman yang dapat digunakan untuk mengamankan sistem dari gangguan hubung singkat adalah rele arus lebih atau lebih dikenal

over current relay. Rele arus lebih ini akan bekerja bersama CT (*current transformer*). Rele arus lebih ini beroperasi ketika terdapat arus yang mengalir pada rangkaian melebihi batas *setting* yang telah di ijinkan. Penggunaan rele arus lebih pada sistem kelistrikan industri harus di sesuaikan berdasarkan koordinasi rele yang telah di setting dengan benar. Sehingga ketika pada sistem terjadi suatu gangguan rele ini bisa bekerja dengan cepat. Rele arus lebih akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut :

$$\begin{array}{ll} If > Ip & \text{rele bekerja} \quad (\text{trip}) \\ If < ip & \text{tidak bekerja} \quad (\text{block}) \end{array}$$

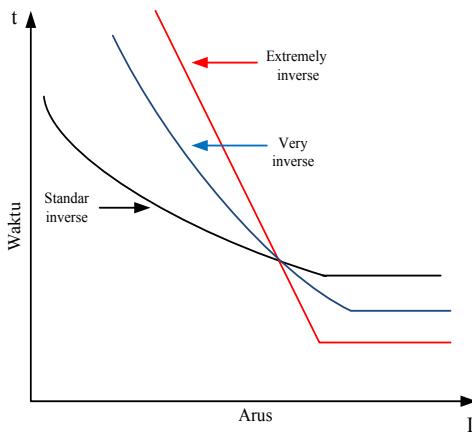
Dimana Ip merupakan arus kerja dan If merupakan arus gangguan pada suatu sistem tenaga listrik. Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan peralatan dari sistem tenaga listrik, seperti : generator, utility, transformator, motor, kabel, dsb.

2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Invers Time*)

Karakteristik grafik dari kurva *Inverse* terbalik antara besarnya arus gangguan dan waktu operasi, dimana semakin besar arus gangguan hubung singkat maka semakin kecil waktu yang dibutuhkan untuk membuka atau memutus (CB). jika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele untuk membuka atau memutus CB semakin lama..

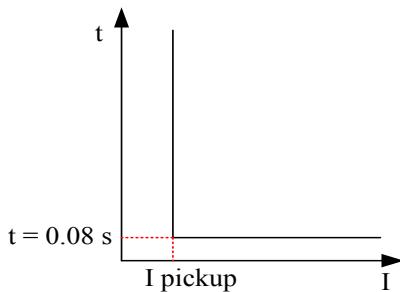
Karakteristik kerja rele arus lebih *invers time* digambarkan dalam kurva arus dan waktu atau sering disebut karakteristik TCC (*time current characteristic*). Pada standar IEEE std 242-2001 mendefinisikan jenis perlindungan waktu invers yang di bedakan menjadi beberapa jenis kurva terdiri dari : *standard invers*, *very invers*, *extremely invers*. Karakteristik dari ketiga jenis kurva tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah.

Rele arus lebih seketika memiliki prinsip kerja rele tanpa penundaan waktu. Berikut karakteristik rele arus lebih seketika. Rele ini berkerja berdasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan dapat membuka atau memutus CB dalam waktu yang cepat (80ms). Gambar 2.5 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih seketika (*instantaneous*).



Gambar 2.4 Karakteristik kurva *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*

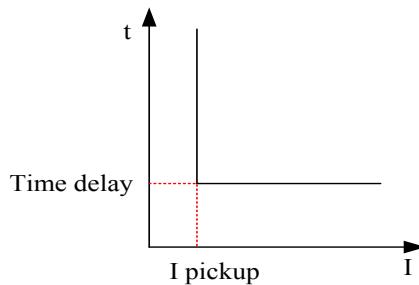
2.5.2 Rele Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)



Gambar 2.5 Karakteristik rele arus lebih seketika (*instantaneous*)

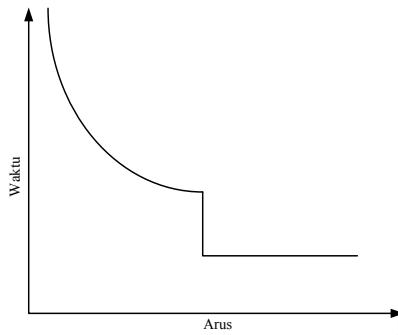
2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time*)

Rele arus lebih waktu tertentu ini dapat diatur waktu operasi kerjanya tanpa memperhatikan besarnya dan kecilnya arus hubung singkat yang terjadi. Semua level arus yang melebihi setting point pickup-nya akan dapat diputuskan dalam waktu yang sama. Gambar 2.6 menunjukkan kurva karakteristik rele arus lebih waktu tertentu.



Gambar 2.6 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*)

2.5.4 Rele Invers Definite Minimum Time (IDMT)



Gambar 2.7 Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu seketika

Rele *invers definite minimum time* (IDMT) merupakan kombinasi antara rele *invers time* dengan rele *definite time*. Rele ini akan bekerja pada daerah *invers* apabila terdapat arus yang melebihi arus nominal beban penuh, sedangkan rele *definite* bekerja pada saat gangguan hubung singkat minimum tergantung pada setting *time delay*. Gambar 2.7 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih seketika (*instantaneous*).

2.6 Setting Rele Arus Lebih

Setting rele arus lebih harus disesuaikan berdasarkan koordinasi rele dengan benar. Sehingga ketika terjadi suatu gangguan pada sistem kelistrikan rele arus lebih bisa bekerja dengan cepat dan sesuai.

2.6.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Invers Time*)

Rele arus lebih waktu terbalik memiliki batas *setting* yaitu rele tidak boleh bekerja saat beban maksimum, sehingga *setting* arus dari rele ini harus lebih besar dari arus beban penuh dari peralatan yang akan diamankan. Arus beban penuh suatu peralatan listrik tergantung dari besarnya kapasitas daya, tegangan, dan power faktor dari peralatan tersebut. Pada british standard BS 142 terdapat aturan faktor pengali arus beban penuh ketika *setting* rele arus lebih yaitu $1.05 - 1.3 I_{FLA}$.

Pada rele arus lebih waktu terbalik terdiri dari dua bagian *setting* yaitu *setting pickup* dan *setting time dial*. Pada *pickup* besarnya arus pickup ditentukan dengan pemilihan tap. Untuk menentukan besarnya

Tabel 2.1 Koefisien *invers time dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	K	α	B
Standard Inverse	0.14	0.02	2.970
Very Invers	13.50	1.00	1.500
Extremely Inverse	80.0	2.00	0.808

tap yang akan digunakan pada *setting pickup* menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ Primary}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.6)$$

Dimana I_{set} merupakan arus *pickup* dalam ampere.

Untuk mengetahui setting rele arus lebih digunakan persamaan berikut :

$$1.05 I_{FLA} < I_{set} < 1.4 I_{FLA} \quad \dots \dots \dots \quad (2.7)$$

Setting *time dial* digunakan untuk menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan nilai *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaan (2,8) dibawah berikut

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]} \quad \dots \dots \dots \quad (2.8)$$

Dimana :

td = waktu operasi (detik)

T = *time dial*

I = nilai arus (Ampere)

I_{set} = arus *pickup* (Ampere)

k = koefisien invers 1 (lihat pada tabel 2.1)

α = koefisien invers 2 (lihat pada tabel 2.1)

β = koefisien invers 3 (lihat pada tabel 2.1)

pembagian sistem tenaga listrik kedalam 10 daerah pengaman, Pada setiap masing-masing daerah memiliki satu atau beberapa komponen pengamanan. Adapun daerah-daerah pengamanan terdiri dari :

- Daerah 1 yaitu zona pengaman generator,
- Daerah 2 yaitu zona pengaman generator dan transformator
- Daerah 3 dan 9 yaitu zona pengaman bus tegangan rendah
- Daerah 4 dan 8 yaitu zona pengaman transformator
- Daerah 5 dan 7 yaitu zona pengaman bus tegangan tinggi
- Daerah 6 yaitu zona pengaman saluran
- Daerah 10 yaitu zona pengaman motor

Konsep daerah pengaman memberikan suatu pengertian mengenai batas daerah bagi sistem pengaman, sehingga suatu sistem pengaman akan memberikan respon terhadap gangguan yang terjadi di daerahnya sendiri. Pembagian zona pengaman juga digunakan untuk membedakan rele pengaman utama dan rele pengaman backup. Ketika terjadi gangguan di motor maka rele yang berkerja adalah rele pengaman utama motor yang berada di atas motor. Rele pengaman back up berkerja setelah rele pengaman utama. Maka antara rele pengaman utama dan rele pengaman backup tidak boleh bekerja bersamaan. Perbedaan waktu kerja rele pengaman utama dengan rele backup disebut time delay atau biasa disebut (Δt). waktu kerja antara rele pengaman utama dengan rele pengaman backup adalah 0.2-0.35 detik untuk rele konvensional.

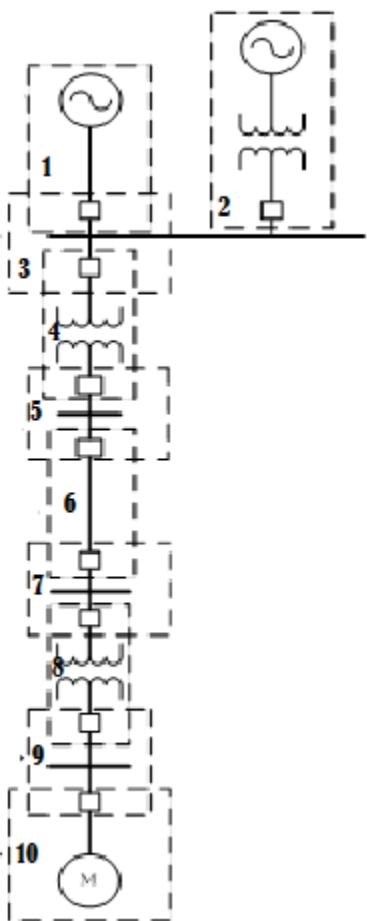
Menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0.04-0.1 detik (2-5 cycle)

Overtravel dari rele : 0.1 detik

Faktor keamanan : 0.12-0.22 detik

Pada rele berbasis microprosessor overtravel time rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan 0.2-0.4 s.



Gambar 2.9 Pembagian zona pengamanan

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN

PT. VICO INDONESIA

MUARA BADAK, KUTAI KARTANEGARA

PT. VICO Indonesia atau Virginia Indonesia Company, LLC adalah salah satu perusahaan Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS) yang ditunjuk oleh SKKMIGAS (dulu BPMIGAS) untuk melakukan proses pengeboran minyak dan gas bumi. Perusahaan ini awalnya didirikan oleh pengusaha minyak yang berasal dari Texas, Roy Huffington dan pengusaha asal Virginia, *General Arch Sproul* dengan nama HUFFCO Indonesia yang merupakan singkatan dari *Huffington Company* Indonesia terletak di kecamatan Muara Badak, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur.

3.1 Sistem Kelistrikan PT. VICO Indonesia

PT. VICO Indonesia memiliki sistem kelistrikan yang besar dan cukup kompleks. Pada perusahaan ini ada 4 sistem kelistrikan yang tersebar berdasarkan 7 lapangan produksi minyak yaitu Badak, Nilam, Samberah, Mutiara, Pamaguan, Beras, dan Lempake. Kegiatan usaha inti pada VICO Indonesia adalah memproduksi minyak dan gas, dan maka dari itu pasti butuh pembangkitan listrik untuk peralatan listrik yang ada seperti motor, generator, dll. PT. VICO Indonesia melayani kebutuhan suplai daya ke beban – bebannya, di Lapangan Badak dan Nilam dengan mengoperasikan 4 TG (*Turbine Generator*) masing – masing 2.5 MW dan 4 DG (*Diesel Generator*) sebagai cadangan pembangkitan. Sistem distribusi yang digunakan dengan tegangan distribusi 4.16 Kv dan tegangan 0.38 Kv untuk tegangan rendahnya. *Single Line Diagram* sistem kelistrikan PT. VICO Indonesia yang telah disederhanakan dapat dilihat pada gambar 3.1. Sedangkan *Single Line Diagram* yang lengkap dapat dilihat dilampiran.



Gambar 3.1 Single line diagram sistem kelistrikan PT. VICO Indonesia

3.2 Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan dan *Demand*

Summary dari jumlah total pembangkitan, pembebanan dan *demand* dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Jumlah total pembangkitan, pembebanan dan *demand*

	MW	Mvar	MVA	%PF
<i>Source (swingbus)</i>	7.7	4.247	9.625	80
<i>Source (non swingbus)</i>	7.398	3.641	7.882	81.81
<i>Total Motor Load</i>	4.639	2.235	2.924	90.39
<i>Total Static Load</i>	10.45	4.982	12.111	90.11
<i>Total Demand</i>	15.098	7.888	17.507	80.905
<i>Apparent Losses</i>	0.009	0.671	-	-

3.3 Kapasitas Pembangkitan

Sistem pembangkitan utama yang terdapat pada sistem kelistrikan PT. VICO Indonesia adalah terdapat pada lapangan Badak dan Nilam. Total pembangkitan baik di Nilam maupun di Badak ada 14 pembangkit. Pada lapangan Badak sendiri memiliki 6 pembangkit yaitu 3 TG(Turbine Generator) : TG-6700, TG-6710, TG-6720 masing – masing memiliki 2.5 MW. Dan juga mempunyai 3 DG (Diesel Generator) yaitu, DG(Diesel Generator)-1, DG(Diesel Generator)-4, DG(Diesel Generator)-5 masing – masing memiliki 304 kW. Sedangkan pada sistem kelistrikan dilapangan Nilam memiliki 8 pembangkit yaitu 1 TG(Turbine Generator) yaitu TG-0050 yang memiliki kapasitas 2.5

MW. Serta memiliki DG (*Diesel Generator*)– 2, Gen1_Imp Actual, Gen_Imp_Typical, Gen 2, dan Gen 4, GG (*Gas Generator*)-1, GG (*Gas Generator*)-2. Tetapi pada kenyataanya hanya TG (*Turbine Generator*) baik di lapangan Badak maupun Nilam yang beroperasi, sedangkan untuk pembangkit lain seperti DG (*Diesel Generator*) dan GG (*Gas Generator*) hanya *stand by* atau sebagai cadangan di sistem kelistrikan tersebut. Data kapasitas pembangkitan tertera pada tabel 3.2 dan tabel 3.3

Tabel 3.2 Data kapasitas pembangkit lapangan Badak, VICO Indonesia

No	ID	MW	MVA	kV	%PF	%Eff	Rpm	FLA
1	TG - 6700	2.5	3.125	4.16	80	96	1500	433.7
2	TG – 6710	2.7	3.375	4.16	80	96	1500	468.4
3	TG – 6720	2.5	3.125	4.16	80	96	1500	433.7
4	DG – 1	0.66	0.825	4.16	80	95	1500	114.5
5	DG – 4	0.304	0.38	0.38	80	95	1500	577.4
6	DG - 5	0.304	0.38	0.38	80	95	1500	577.4

Tabel 3.3 Data kapasitas pembangkit lapangan Nilam,VICO Indonesia

No	ID	MW	MVA	kV	%PF	%Eff	Rpm	FLA
1	TG - 0050	2.5	3.125	4.16	80	96	1500	433.7
2	DG – 2	0.11	0.138	0.4	80	95	1500	198.5
3	Gen 1_Imp Actual	0.54	0.635	0.38	85	95	1500	964.8
4	Gen_Im p_Typic al	0.54	0.635	0.38	85	95	1500	964.8
5	Gen 2	0.25	0.294	0.38	85	95	1500	446.9

Tabel 3.3 Data kapasitas pembangkit lapangan Nilam, VICO Indonesia (Lanjutan)

No	ID	MW	MVA	kV	%PF	%Eff	Rpm	FLA
6	Gen 4	0.25	0.294	0.38	85	95	1500	446.9
7	GG-1	0.47	0.588	4.16	80	95	1500	81.61
8	GG-2	0.47	0.588	4.16	80	95	1500	81.61

3.4 Skema Operasi

Pada sistem kelistrikan PT. VICO Indonesia terdapat skema operasi normal yaitu perusahaan VICO Indonesia pada lapangan Badak, Pembangkit memberikan kontribusi daya ke beban badak itu sendiri dan juga ke beban lapangan Nilam itu menggunakan Case “Normal”. Sedangkan pada lapangan Nilam, pembangkit hanya memberikan kontribusi daya ke beban Nilam itu sendiri. Jika menggunakan Case “Nilam Only” yaitu hanya mengharapkan kontribusi daya pada pembangkit Nilam saja, tanpa memakai kontribusi daya dari pembangkit Badak, maka sistem tidak berjalan dengan normal, bahkan tidak bisa berjalan. Tetapi jika menggunakan Case “Badak Only” yaitu pembangkit Badak memberikan kontribusi daya ke beban Badak itu sendiri, maka sistem berjalan dengan normal tanpa ada masalah.

3.5 Sistem Transmisi dan Distribusi di PT. VICO Indonesia

3.5.1 Sistem Transmisi

PT. VICO Indonesia menggunakan sistem transmisi dengan tegangan 33 kV untuk menyalurkan daya listrik dari lapangan Badak ke lapangan Nilam sejauh 15 km. dari tegangan terbangkit generator dengan total kapasitas 7.7 MW dan memiliki tegangan keluaran 4.16 kV dinaikkan dengan transformator *step up* menjadi tegangan 33 Kv.

3.5.2 Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah kesatuan peralatan yang bekerja menyalurkan tenaga listrik dari sumber ke beban. Sistem distribusi tenaga listrik yang digunakan oleh PT. VICO Indonesia adalah sistem radial. Sistem ini terdiri dari sepasang sumber yang masuk atau sepasang feeder dari substation lain yang memiliki rating yang sama serta terhubung dengan dua buah substation yang memiliki rating yang sama juga. Dua substation tersebut dihubungkan oleh sebuah normally open tie circuit breaker. Tipe radial dengan feeder merupakan modifikasi yang lebih menguntungkan dari pada tipe

lainnya, terutama dalam hal kontinuitas tenaga listrik yang disalurkan. Antara sistem penyulang radial yang satu dengan yang lainnya dipasang tie atau switch pemisah (*Load Break Switch*), yang fungsinya sebagai penghubung ketika gangguan terjadi. Keuntungan dari sistem distribusi radial adalah dapat meningkatkan keandalan sistem yaitu apabila salah satu feeder mengalami gangguan maka suplai daya akan dipindahkan ke feeder lain yang tidak terganggu melalui circuit breaker penghubung yang segera menutup.

Pada sistem distribusi kelistrikan PT. VICO Indonesia tegangan output generator disalurkan melalui tegangan menengah bus 4.16 kv yang langsung di distribusikan ke masing – masing bus beban, kemudian dari tiap – tiap bus ini tegangan akan diturunkan. Tegangan menengah ini akan diturunkan dengan trafo *step down* menjadi tegangan rendah 0.38 Kv.

PT. VICO Indonesia mempunyai banyak transformator untuk menyuplai beban – beban yang digunakan. Tabel 3.3 menunjukkan data beberapa bus pada lapangan Badak, tabel 3.4 menunjukkan data beberapa bus pada lapangan Nilam, dan tabel 3.5 menunjukkan data beberapa transformator daya yang ada pada di PT. VICO Indonesia.

Tabel 3.4 Data beberapa bus lapangan Badak

No	Bus	Tegangan
1	To Badak	33 kV
1	Station #1-A	4.16 kV
2	Station #1-B	4.16 Kv
3	Bus13	4.16 Kv
4	NF1	4.16 Kv
5	NST6	4.16 Kv
6	N-5/9/10	4.16 kV
7	N-4/5	4.16 kV
8	NSAT	4.16 Kv
9	Bus9	4.16 kV
10	Bus15	4.16 kV
11	N-T28	4.16 Kv
12	Pole S13	4.16 kV
13	SWGR-8	4.16 kV

Tabel 3.4 Data beberapa bus lapangan Badak (lanjutan)

No	Bus	Tegangan
14	SWGR-14	4.16 kV
15	SWGR-15	4.16 kV
16	SWGR-6	0.38 Kv
17	MCC-4A	0.38 Kv
18	MCC-4B	0.38 Kv
19	MCC-5	0.38 Kv
20	TUNU	0.38 kV
21	MCC-8	0.38 kV
22	SWGR-11A	0.38 Kv
23	SWGR-11B	0.38 kV
24	SWGR-16A	0.38 Kv
25	SWGR-16B	0.38 Kv

Tabel 3.5 Data beberapa bus lapangan Nilam

No	Bus	Tegangan
1	To Nilam	33 kV
2	SWGR-1001	33 kV
3	Bus8	33 Kv
4	Bus11	33 kV
5	SWYRD SAT2	33 kV
6	SWYRD SAT1	33 kV
7	SWYRD SAT4	33 kV
8	SWYRD SAT5	33 kV
9	SWYRD SAT6	33 kV
10	SWG/MCC-1000	4.16 Kv
11	Prm100 4	4.16 Kv
12	Prm1001	4.16 Kv
13	Bus2	4.16 Kv
14	SWGR-1005	4.16 Kv
15	Bus12	4.16 kV
16	SD-36	4.16 kV
17	SLK	0.38 kV
18	Mud Plant	0.38 kV
19	Bus 19	0.38 kV

Tabel 3.5 Data beberapa bus lapangan Nilam (lanjutan)

No	Bus	Tegangan
20	MCC SAT2	0.38 kV
21	MCC SAT5	0.38 kV
22	MCC-400	0.38 kV

Tabel 3.6 Data beberapa transformator lapangan Badak dan Nilam

No	Trafo ID	MVA	Tegangan (Kv)		Impedansi	
			Primer	Sekunder	%Z	X/R
1	T1	0.225	4.16	0.38	4	2.6
2	T-2	0.225	4.16	0.38	4	2.6
3	T 3	0.75	4.16	0.38	4.5	3.96
4	T4	3	4.16	33	6.28	7.2
5	T6	0.5	4.16	0.38	4	4.3
6	T7	0.75	4.16	0.38	3.8	4.9
7	T8	0.225	4.16	0.38	4	2.6
8	T10	1	4.16	0.38	5.6	5.3
9	T21	0.225	4.16	0.38	4	4.3
10	T22	0.075	4.16	0.38	4	1.4
11	T23	0.075	4.16	0.38	4	1.4
12	T24	0.75	4.16	0.38	4	4.9
13	T25	0.75	4.16	0.38	4	4.9
14	T48	2	4.16	0.38	6	7.1
15	T-1000	3	4.16	33	6.28	7.2
16	T-1001	2	4.16	0.38	6	7.1
17	T-1002	0.63	4.16	0.38	4	4.6
18	T-1004	2	4.16	0.38	6	7.1
19	T 100	0.5	33	4.16	4	4.3
20	T-101	0.075	4.16	0.38	3.7	1.4
21	T-102	0.05	4.16	0.38	3	1
22	T-103	0.3	0.38	4.16	5.1	2.9
23	T-104	0.225	4.16	0.38	4	2.6

Tabel 3.6 Data beberapa transformator lapangan Badak dan Nilam (lanjutan)

No	Trafo ID	MVA	Tegangan (Kv)		Impedansi	
			Primer	Sekunder	%Z	X/R
24	T-201	0.63	33	0.38	4	6.6
25	T-401	0.63	33	0.38	4	4.6
26	T-501	0.63	33	0.38	3	1.4
27	T-601	0.63	33	0.38	7.25	3.96

3.6 Fasilitas Peralatan Utama pada *PLANT / SATELLITTE* dan Pembebanan

Berikut ini Fasilitas Peralatan Utama pada PLANT / SATELLITTE. Deskripsi rinci dan spesifikasi dapat diakses melalui MAXIMO (sistem manajemen pemeliharaan komputerisasi). Secara total Aset umum di semua bidang, Lapangan Pengeboran Badak, Nilam, Semberah, Mutiara / Pamaguan digambarkan sebagai berikut :

- A. Turbine Compressor
 - unit kompresor turbin Rolls Royce Avon beroperasi dan 1 unit sebagai cadangan
 - 21 unit kompresor turbin surya dalam operasi dan 1 unit sebagai cadangan
- B. Turbin Power Generator
 - unit Solar turbin beroperasi dan 1 unit sebagai cadangan
- C. Kompresor Reciprocating
 - 32 unit sendiri kapasitas berbagai kompresor
 - 16 unit kompresor sewa
- D. Wellhead Compressor
 - 30 unit di Badak, Nilam, Semberah dan Mutiara
- E. VRU - uap Memulihkan Satuan Compressor
 - 3 unit FGRU
 - Recovery Unit Flare Gas: 2 Unit
- F. Reciprocating Generator
 - 16 unit mesin Gas dan 14 unit mesin Diesel
- G. Pompa
 - 26 unit pompa Minyak Mentah
 - 18 unit PWD-Produce Pembuangan Pompa Air

- 12 unit Fire Pump
 - 21 unit Condensate Pump
 - 14 unit Vertikal dan Sump Pump
 - 17 unit Glycol Pump
 - 15 unit K.O. Drum Pump
 - 11 unit Pemulihan dan API Pompa Separator
- H. Real Time Well Head Surveillance (RTWHS)
- 100 unit di Badak
 - 156 unit di Nilam
 - 31 unit di Semberah
 - 57 unit di Mutiara / Pamaguan
- I. Air Compressor Instrument
- 6 unit di Badak
 - 6 unit di Nilam
 - 8 unit di Semberah
 - 11 unit di Mutiara
- J. Nitrogen Plant at Badak and Nitrogen Generator at Nilam
- K. Turbine Control Panel
- 29 units at all areas
- L. Fire & Gas Devices
- M. Heat Exchanger
- N. Emergency Shutdown Valve
- O. Glycol and Fuel Gas Filtering System
- P. Transmitter/Recorder
- Q. Control Valve
- R. Gas Operating Valve
- S. Glycol Re-contactor
- T. Fan Cooler
 - 80 units at all areas and
 - 9 units of Lube Oil Cooler
- U. MOV – Motor Operated Valve
- V. Electric Motor
 - 74 units of Cooler and
 - 20 units of H.V Electric motor at all areas
- W. Distribution Panel
 - 428 units at all areas
- X. MCC – Motor Control Center:
 - 33 units at all areas
- Y. Switch Gear

- 28 units at all areas
- AA. Switch Yard
▪ 7 units above 33KV at all areas
- BB. Transformer
▪ 46 units at all areas
- CC. UPS – Un-interruptible Power Supply
▪ 28 units at all areas
- DD. Battery Charger
▪ 105 units at all areas
- EE. Electrical Pull box
- FF. Grounding
- GG. Junction Box
- HH. Blower

II. Mixer

Tabel 3.7 Data beberapa motor di lapangan Badak dan Nilam

No	ID	Rating	kVA	kV	FLA	Rpm
1	M-7610A	300 HP	262	0.38	398	1500
2	M-7610B	300 HP	250	0.38	380.6	3000
3	M-7610C	300 HP	263	0.38	400	3000
4	M-7610D	300 HP	263	0.38	400	3000
5	P-4820	600 HP	511	4.16	70.89	3000
6	P-4830	600 HP	511	4.16	70.89	3000
7	P-4840	600 HP	511	4.16	70.89	3000
8	C-2160	350 HP	300	4	43.24	3000
9	P-2500A	450 HP	416	4	60	3000
10	P-2500B	450 HP	416	4	60	3000
11	P-3450	300 HP	257	4	37.12	3000
12	P-2500C	450 HP	416	4	60	3000

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISA PT. VICO INDONESIA

4.1 Simulasi Sistem Kelistrikan

Simulasi kelistrikan pada PT. VICO Indonesia dilakukan dengan menggunakan software ETAP. Dan pada *software* ini dilakukan analisa kemampuan *switchgear*, analisa hubung singkat dan koordinasi proteksi rele arus lebih.

4.2 Analisa Kemampuan *Switchgear*

Analisa kemampuan *switchgear* dilakukan dengan melakukan hubung singkat 3 fasa pada *switchgear* utama meliputi (Station #1-A, Station #1-B, dan SWG/MCC-1000) dengan mempertimbangkan semua sumber arus kontribusi dari generator, utility, dan motor. Arus hubung singkat yang dilakukan adalah hubung singkat 3 fasa pada kondisi $\frac{1}{2}$ cycle. Hasil arus hubung singkat yang diperoleh dibandingkan dengan kemampuan *switchgear* dalam menahan arus hubung singkat. Tabel 4.1 dan tabel 4.2 memperlihatkan kemampuan *switchgear* dan hasil analisa hubung singkat pada *switchgear* (Station #1-A, Station #1-B, dan SWG/MCC-1000).

Tabel 4.1 Data kemampuan *switchgear*

NO	ID	Bracing peak kA
1	Station #1-A	42.19
2	Station #1-B	67.50
3	SWG/MCC-1000	84.38

Tabel 4.2 Data perbandingan kemampuan *switchgear* dengan I_{SC} maksimum 3 fasa pada kondisi $\frac{1}{2}$ cycle

NO	ID	kV	Device capability	I_{SC} maks $\frac{1}{2}$ cycle
			Bracing peak kA	Asymm peak kA
1	Station #1-A	4.16	42.19	46.098*
2	Station #1-B	4.16	67.50	46.098
3	SWG/MCC-1000	4.16	84.38	24.497

*Melebihi *device capability*

Berdasarkan tabel 4.2 diatas menunjukkan bahwa *switchgear* Station #1-A dalam keadaan kritis. Arus hubung singkat melebihi rating *device capability*. Sehingga dibutuhkan pembatas arus.

Pada tugas akhir ini diperlihatkan konfigurasi yang digunakan untuk mengetahui letak penempatan pembatas arus.. Kontribusi arus yang masuk pada *switchgear* Station #1-A diperlihatkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Kontribusi arus hubung singkat 3 fasa kondisi $\frac{1}{2}$ cycle pada *switchgear* Station #1-A

NO	Bus Station #1-A		
	Arus kontribusi dari ke Station #1-A	I _{SC} maks symetri (kA)	I maks Asimetri Peak (kA)
1	Bus13	2.427	6.504
2	N6700	3.676	9.851
3	NST6	0.244	0.653
4	N-S10	0.506	1.356
5	SWGR-14	0.678	1.817
6	N6720	3.676	9.851
7	SWGR-41	0.044	0.117
8	Pole S13	0.140	0.375
9	SWGR-19	0.349	0.935
10	SWGR-8	0.236	0.632
11	NP-T40	0.025	0.067
12	Bus9	0.703	1.884
13	SWGR-15	0.449	1.203
14	N-T28	0.079	0.211
15	2020Load-Bdk	0.172	0.460
16	Bus35	3.969	10.636
17	NPT2	0.019	0.050
	Total	17.210	46.098*

*Melebihi *device capability*

4.3 Batas Arus Hubung Singkat

Pada *switchgear* utama PT. VICO Indonesia kemampuan *switchgear* dibawah nilai arus hubung singkat 3 fasa kondisi $\frac{1}{2}$ cycle. Kondisi ini *switchgear* akan mengalami kerusakan akibat arus yang besar dan panas yang berlebih oleh karena itu perlu suatu peralatan listrik yang dapat membatasi arus hubung singkat. Pada tugas akhir ini menggunakan *saturated iron core superconducting current limiter* (SISFCL). SISFCL membatasi arus dengan memanfaatkan kenaikan impedansi ketika terjadi hubung singkat. Besarnya impedansi di hitung

dengan menggunakan persamaan pada reaktor. Berikut persamaan 4.1 menunjukkan perhitungan nilai impedansi.

$$Z = \frac{V}{\sqrt{3}} \times \left(\frac{1}{I_a} - \frac{1}{I_b} \right) \dots\dots\dots\dots\dots (4.1)$$

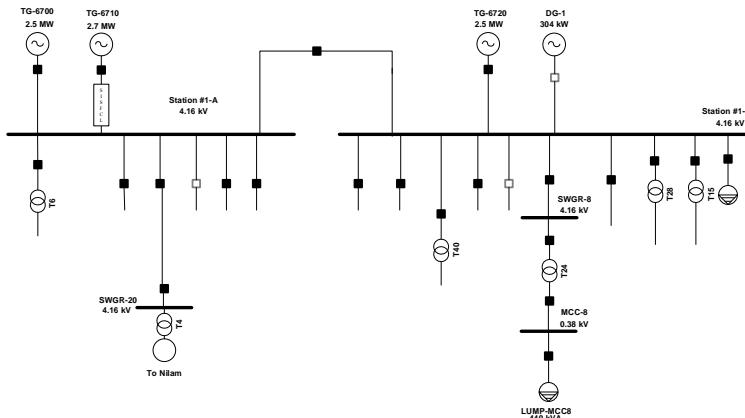
Dimana :

I_a adalah arus yang diinginkan

I_b adalah arus hubung singkat

4.3.1 Lokasi SISFCL

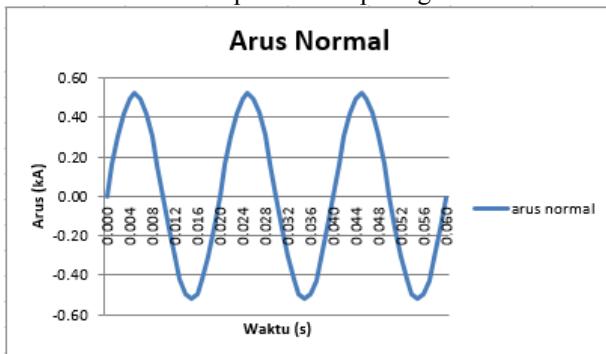
SISFCL adalah peralatan listrik yang bisa digunakan untuk membatasi arus hubung singkat. Keuntungan penggunaan SISFCL adalah impedansi sangat kecil, jadi dapat diabaikan pada kondisi normal. Berdasarkan analisa kemampuan *switchgear* dan tabel kontribusi arus diatas. Penempatan SISFCL ditentukan oleh besarnya arus gangguan hubung singkat 3 fasa kondisi $\frac{1}{2}$ cycle yang ditunjukkan pada tabel 4.2. Penempatan SISFCL berada pada Bus35 karena pada Bus35 adalah sumber arus kontribusi terbesar ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada *switchgear* Station #1-A yang ditunjukkan pada tabel 4.3 kontribusi arus ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa kondisi $\frac{1}{2}$ cycle di *switchgear* Station #1-A. Berikut lokasi pemasangan SISFCL pada *switchgear* Station #1-A ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pemasangan SISFCL pada bus 35 yang terhubung pada *switchgear* Station #1A

4.3.2 Cara Kerja SISFCL

SISFCL mempunyai tiga kondisi operasi kerja yaitu pada kondisi normal, gangguan dan *recovery*. Pada keadaan normal arus dc mengalir pada kumparan dc maka nilai kuat medan (H) akan meningkat sehingga nilai impedansi mengecil seperti impedansi udara. Bentuk gelombang arus pada keadaan normal diperlihatkan pada gambar 4.2.



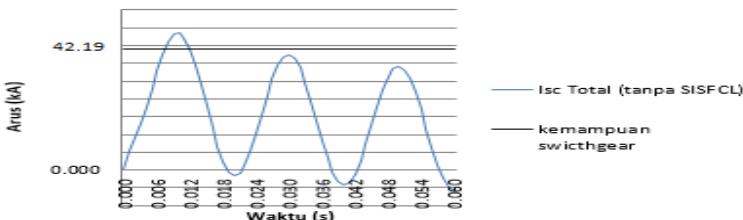
Gambar 4.2 Gelombang arus pada kondisi normal

Pada kondisi ketika terjadi gangguan hubung singkat nilai kuat medan (H) akan mengecil sehingga nilai impedansi akan meningkat. SISFCL dapat mendeteksi adanya gangguan hubung singkat pada waktu 1 *millisecond* dan SISFCL dapat membatasi arus hubung singkat pada waktu 5 *milliseconds*. Gelombang arus hubung singkat 3 fasa tanpa pemasangan SISFCL dan menggunakan SISFCL diperlihatkan pada gambar 4.3 dan 4.4.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada waktu 1 *millisecond* terdapat perbedaan nilai arus pada kondisi normal dan hubung singkat 3 fasa, sehingga pada waktu 1 *millisecond* SISFCL mendeteksi adanya gangguan hubung singkat dan membatasi arus hubung singkat pada waktu 5 *milliseconds*.

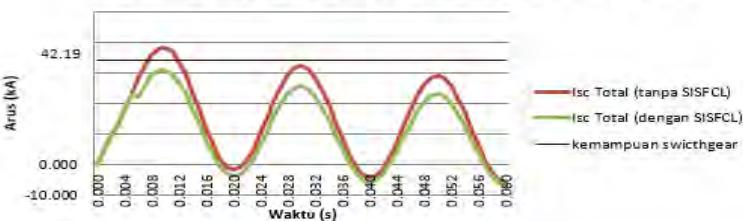
Pada kondisi *recovery* arus dc mengalir pada kumparan dc maka nilai kuat medan (H) akan meningkat kembali dan nilai impedansi akan berkurang atau seperti impedansi udara. Dari kondisi gangguan hingga kondisi *recovery* dibutuhkan waktu sekitar 800 *milliseconds*.

Isc Tanpa SISFCL



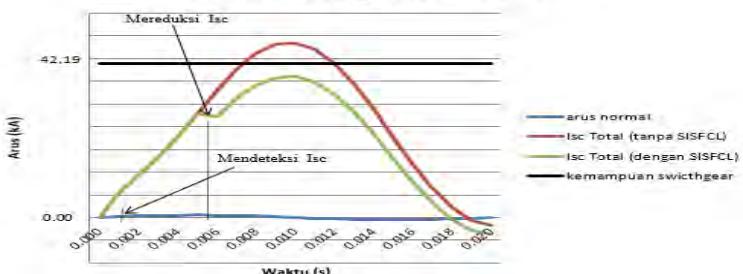
Gambar 4.3 Gelombang arus hubung singkat 3 fasa tanpa SISFCL

Perbandingan Isc Tanpa dan Isc dengan SISFCL



Gambar 4.4 Gelombang arus hubung singkat 3 fasa tanpa dan dengan SISFCL

Analisa Penggunaan SISFCL



Gambar 4.5 Analisa penggunaan SISFCL pada arus hubung singkat 3 fasa

Pemasangan SISFCL pada Bus35 yang terhubung pada switchgear Station #1-A dapat membatasi arus hubung singkat yang berasal dari kontribusi Station #1-A dari 3.969 kA menjadi 0.47 kA, dengan perhitungan dari persamaan 4.1 diatas.

$$Z = \frac{V}{\sqrt{3}} \times \left(\frac{1}{I_a} - \frac{1}{I_b} \right)$$

$$Z = \frac{4.16}{\sqrt{3}} \times \left(\frac{1}{0.47} - \frac{1}{3.969} \right)$$

$$Z = 4.505 \text{ Ohm}$$

Arus hubung singkat 3 fasa pada Station#1-A setelah pemasangan SISFCL lebih kecil dari device capability peralatan dan peralatan masih dalam kondisi aman. Kontribusi arus yang masuk pada *switchgear* Station #1-A setelah pemasangan SISFCL diperlihatkan pada tabel 4.4 dibawah.

Tabel 4.4 Kontribusi arus hubung singkat 3 fasa kondisi $\frac{1}{2}$ cycle setelah pemasangan SISFCL pada *switchgear* Station #1-A

NO	Bus Station #1-A		
	Arus kontribusi dari ke Station #1-A	I _{sc} maks symetri (kA)	I maks Asimetri Peak (kA)
1	Bus13	2.427	6.504
2	N6700	3.676	9.851
3	NST6	0.244	0.653
4	N-S10	0.506	1.356
5	SWGR-14	0.678	1.817
6	N6720	3.676	9.851
7	SWGR-41	0.044	0.117
8	Pole S13	0.140	0.375
9	SWGR-19	0.349	0.935
10	SWGR-8	0.236	0.632
11	NP-T40	0.025	0.067
12	Bus9	0.703	1.884
13	SWGR-15	0.449	1.203
14	N-T28	0.079	0.211
15	2020Load-Bdk	0.172	0.460
16	Bus35	0.47	1.25
17	NPT2	0.019	0.050
	Total	13.893	37.233

4.3.3 Operasi Kerja SISFCL

Operasi kerja SISFCL berdasarkan letak penempatan dari SISFCL. penempatan SISFCL berada pada Bus35. Pada tabel 4.3 s/d 4.4 kontribusi arus menunjukan bahwa saat SISFCL aktif saat kondisi terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa kondisi $\frac{1}{2}$ cycle di *switchgear* Station #1-A dan merubah arus hubung singkat dari 46.098 kA menjadi 37.233 kA pada *switchgear* Station #1-A.

4.4 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PT. VICO Indonesia

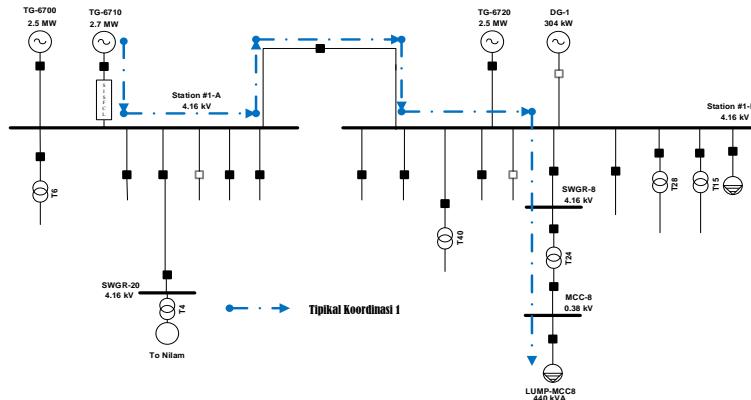
Pada koordinasi proteksi rele arus lebih, untuk memudahkan dalam melakukan setting rele dengan cara memilih dua tipikal yang mewakili dari 2 plant utama keseluruhan sistem. Tipikal ini yang digunakan untuk mewakili koordinasi pada sistem kelistrikan PT. VICO Indonesia. Untuk tipikal yang diambil adalah koordinasi pada sistem *existing/awal* yang telah ada. Berikut adalah tipikal yang diambil :

1. Koordinasi pengaman sistem kelistrikan Badak dari generator TG-6710 sampai transformator T24. Pemilihan tipikal ini atas dasar saluran terpanjang dari generator menuju beban yang ada di Badak. Pada tipikal ini juga dicantumkan koordinasi dengan *sync bus*. Rele pengaman yang dikoordinasikan adalah LVCB-M8-1, Rele R8/1, Rele R-8/2, Rele R10, Rele R-TieSW1, dan Rele R-6710.
2. Koordinasi pengaman sistem kelistrikan dari generator Badak ke Beban Nilam, mulai generator TG-6710 sampai transformator T-601. Pemilihan tipikal ini merupakan jalur terpanjang dari sistem kelistrikan Badak ke Nilam. Rele pengaman yang dikoordinasikan adalah LVCB S6-1, Rele MIF-SAT-5, Rele MIF-SAT-4 Rele OCR 1001/2, Rele REF615_Nlm, Rele REF615_Bdk, Rele R-T4N, Rele R4, dan Rele R-6710.

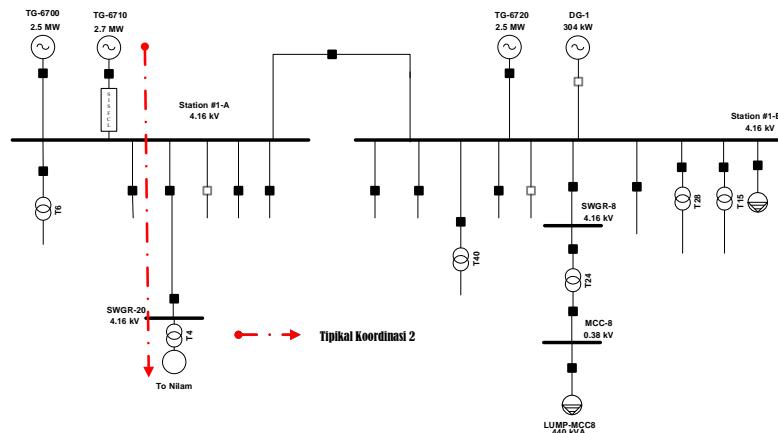
4.5 Analisa Hubung Singkat

Saat akan menganalisa koordinasi proteksi harus dilakukan Analisa hubung singkat. Analisa hubung singkat ini dengan menggunakan *software* ETAP. Analisa hubung singkat ini penting karena digunakan untuk menentukan *setting* rele pengaman arus lebih. Terdapat dua parameter untuk menghitung arus hubung singkat yang akan digunakan untuk setting rele pengaman yaitu, hubung singkat minimum dan hubung singkat maksimum. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat antar fasa (2ϕ) pada saat 30 cycle atau *steady state* pada

pembangkitan minimum. Sedangkan hubung singkat maksimum merupakan hubung singkat 3 fasa (3ϕ) pada saat 4 cycle dan pembangkitan maksimum. Analisa hubung singkat dilakukan pada tipikal yang dipilih.



Gambar 4.6 Tipikal koordinasi 1



Gambar 4.7 Tipikal koordinasi 2

4.5.1 Hubung Singkat Minimum 30 Cycle

Hubung singkat minimum 30 cycle digunakan untuk menentukan batasan pickup pada *setting* rele arus lebih seketika (*instantaneous*). Sehingga diharapkan apabila terjadi gangguan hubung singkat pada arus gangguan yang minimum, rele dapat bekerja dengan seketika dan bekerja sesuai dengan *time delay* yang telah ditentukan. Pada sistem kelistrikan PT. VICO Indonesia, pembangkitan minimum yaitu ketika hanya ada 3 generator yang diaktifkan. Pada sistem kelistrikan Badak ada 2 generator yang diaktifkan, yaitu generator TG-6700 dan generator TG-6710. Sedangkan pada sistem kelistrikan Nilam ada 1 generator saja yang diaktifkan, yaitu generator TG-0050. Hasil simulasi hubung singkat minimum dua fasa pada 30 cycle pembangkitan minimum pada bus tipikal yang dipilih diperlihatkan pada tabel 4.5 dibawah.

Tabel 4.5 Data hubung singkat minimum pada 30 cycle tanpa SISFCL

No	ID Bus	Tegangan	Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle
1.	Bus 35	4.16 kV	6.090 kA
2.	Station #1-A	4.16 kV	6.090 kA
3.	Station #1-B	4.16 kV	6.090 kA
4.	SWGR-8	4.16 kV	5.200 kA
5.	NP-T24	4.16 kV	5.160 kA
6.	MCC-8	0.38 kV	17.410 kA
7.	Bus 13	4.16 kV	5.990 kA
8.	SWGR-20	4.16 kV	0.960 kA
9.	SWGR-1001	33 kV	0.575 kA
10.	Bus 8	33 kV	0.574 kA
11.	SWYRD SAT4 33kV	33 kV	0.553 kA
12.	SWYRD SAT5 33Kv	33 kV	0.537 kA
13.	SWYRD SAT6 (33Kv)	33 kV	0.520 kA
14.	MCC SAT #6 380V	0.38 kV	9.270 kA
15.	To Badak	33 kV	0.575 kA
16.	To Nilam	33 kV	0.579 kA

Tabel 4.6 Data hubung singkat minimum pada 30 cycle dengan SISFCL

No	ID Bus	Tegangan	Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle
1.	Bus 35	4.16 kV	2.810 kA
2.	Station #1-A	4.16 kV	4.130 kA
3.	Station #1-B	4.16 kV	4.130 kA
4.	SWGR-8	4.16 kV	3.700 kA
5.	NP-T24	4.16 kV	3.680 kA
6.	MCC-8	0.38 kV	15.500 kA
7.	Bus 13	4.16 kV	4.120 kA
8.	SWGR-20	4.16 kV	4.110 kA
9.	SWGR-1001	33 kV	0.491 kA
10.	Bus 8	33 kV	0.491 kA
11.	SWYRD SAT4 33kV	33 kV	0.476 kA
12.	SWYRD SAT5 33Kv	33 kV	0.464 kA
13.	SWYRD SAT6 (33Kv)	33 kV	0.452 kA
14.	MCC SAT #6 380V	0.38 kV	8.990 kA
15.	To Badak	33 kV	0.491 kA
16.	To Nilam	33 kV	0.487 kA

4.5.2 Hubung Singkat Maximum 4 Cycle

Analisis hubung singkat maksimum terjadi pada saat pembangkitan maksimum, yaitu pada saat semua generator bekerja normal. Hubung singkat maksimum 4 cycle merupakan gangguan hubung singkat yang digunakan sebagai setting rele dengan setting keterlambatan waktu 0.08s-0.5s atau untuk mengetahui batas dari rele dengan setting seketika atau dengan waktu tunda kurang dari 0.6 detik dari rele arus lebih fasa. Pada sistem kelistrikan PT. VICO Indonesia, pembangkitan maksimum yaitu ketika ada 6 generator yang diaktifkan, yaitu 4 TG (*Turbine Generator*) dan 2 GG (*Gas Generator*), diantaranya adalah TG-6700, TG-6710, TG-6720, TG-0050, Gen1_Imp_Actual, Gen_Imp_typical. . Pada simulasi di software ETAP gangguan hubung singkat maksimum dilakukan pada bus yang ada pada tipikal yang dipilih. Berikut hasil simulasi hubung singkat maksimum 4 cycle diperlihatkan pada tabel 4.7 dibawah.

Tabel 4.7 Data hubung singkat maksimum pada 4 cycle tanpa SISFCL dan dengan SISFCL

No	ID Bus	Tegangan	Arus Hubung Singkat 3 Fasa 4 Cycle Tanpa SISFCL	Arus Hubung Singkat 3 Fasa 4 Cycle Dengan SISFCL
1.	Bus 35	4.16 kV	17.100 kA	4.500 kA
2.	Station #1-A	4.16 kV	17.300 kA	13.800 kA
3.	Station #1-B	4.16 kV	17.300 kA	13.800 kA
4.	SWGR-8	4.16 kV	12.100 kA	10.300 kA
5.	NP-T24	4.16 kV	11.800 kA	10.100 kA
6.	MCC-8	0.38 kV	26.500 kA	25.700 kA
7.	Bus 13	4.16 kV	15.900 kA	13.000 kA
8.	SWGR-20	4.16 kV	15.600 kA	12.800 kA
9.	SWGR-1001	33 kV	1.100 kA	1.000 kA
10.	Bus 8	33 kV	1.100 kA	1.000 kA
11.	SWYRD SAT4 33kV	33 kV	0.991 kA	0.956 kA
12.	SWYRD SAT5 33Kv	33 kV	0.944 kA	0.913 kA
13.	SWYRD SAT6 (33Kv)	33 kV	0.894 kA	0.866 kA
14.	MCC SAT #6 380V	0.38 kV	11.800 kA	11.800 kA
15.	To Badak	33 kV	1.100 kA	1.000 kA
16.	To Nilam	33 kV	1.100 kA	1.000 kA

4.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Pada tugas akhir ini koordinasi rele arus lebih bertujuan untuk menganalisa ulang setting rele sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada sistem kelistrikan PT. VICO Indonesia. Pada tugas akhir ini perlu adanya *setting* ulang koordinasi rele arus lebih. Koordinasi ulang dikarenakan pemasangan dari SISFCL terdapat perubahan arus hubung singkat yang ditunjukkan pada tabel 4.5 s/d 4.7 diatas.

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa merupakan pengaman pada peralatan listrik yang bertujuan mengamanakan atau dapat mengisolasi peralatan ketika terjadi gangguan hubung singkat dan *overload*.

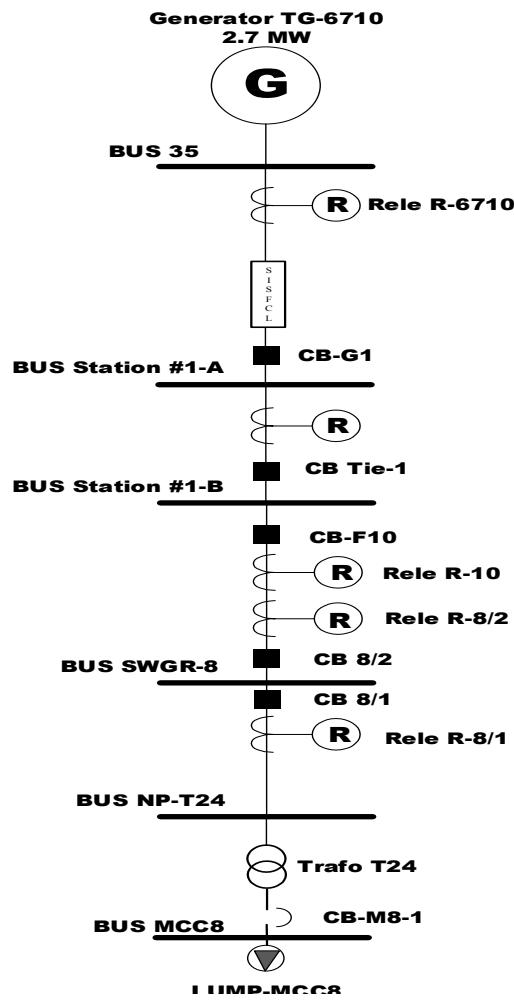
Data yang diperlukan untuk menentukan koordinasi rele arus lebih adalah nilai hubung singkat minimum 30 cycle, hubung singkat maksimum 4 cycle, dan arus nominal beban penuh. Pada perhitungan *setting* rele arus lebih ini akan dihitung nilai *lowset*, *Highset*, dan *time dial*.

4.6.1 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1

Rele pengaman yang dikordinasikan ada 6 rele, yaitu LVCB-M8-1, Rele R8/1, Rele R-8/2, Rele R10, Rele R-TieSW1, dan Rele R-6710. LVCB (*Low Voltage Circuit Breaker*) ini berfungsi mengamankan trafo T24 saat terjadi gangguan hubung singkat pada bus MCC-8 dan juga untuk mengamankan LUMP-MCC8. Rele R-8/1 ini berfungsi untuk melindungi bus NP-T24 saat terjadi gangguan hubung singkat pada terminal trafo T24 serta merupakan back up dari CB-M8-1 jika gagal bekerja. Rele R-8/2 ini berfungsi untuk melindungi bus SWGR-8 saat terjadi gangguan hubung singkat serta merupakan back up dari rele R-8/1 jika gagal bekerja. Rele R-10 ini berfungsi untuk melindungi bus Station #1-B saat terjadi gangguan hubung singkat serta merupakan back up dari rele R-8/2 jika gagal bekerja. Rele R-TieSW1 Rele ini berfungsi untuk melindungi bus Station #1-B saat terjadi gangguan hubung singkat serta merupakan back up dari rele R-10 jika gagal bekerja. Rele R-6710 ini berfungsi untuk melindungi bus Station #1-A saat terjadi gangguan hubung singkat serta merupakan back up dari rele R-TieSW1 jika gagal bekerja.. *Single line diagram* tipikal 1 ditunjukkan pada gambar 4.8 dibawah.

4.6.1.1 Data Awal Tipikal 1

Data awal rele dan hasil plot kurva kerja dari rele arus lebih pada tipikal 1 dapat dilihat pada tabel 4.8 dan gambar 4.9 dibawah.



Gambar 4.8 Single line diagram tipikal 1

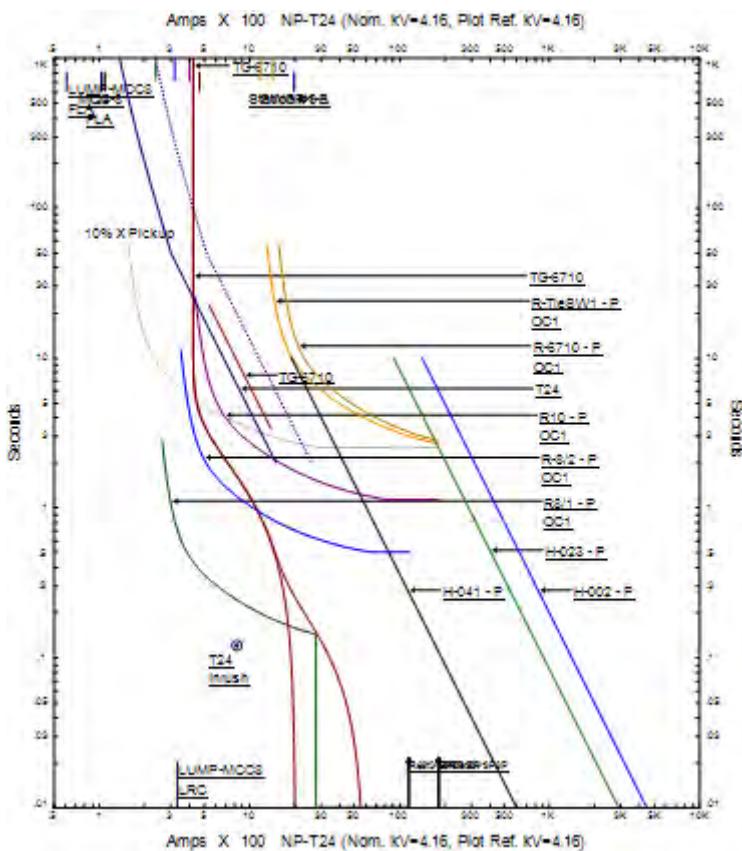
Tabel 4.8 Data awal tipikal 1

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
R-6710	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	2.4
		<i>Time dial</i>	10
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
R-TIE SW1	1200/5	<i>Pickup Lowset</i>	1
		<i>Time dial</i>	10
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
R-10	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	1
		<i>Time dial</i>	4.5
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
R-8/2	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.8
		<i>Time dial</i>	2
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
R-8/1	200/5	<i>Pickup Lowset</i>	1.2
		<i>Time dial</i>	0.5
		<i>Pickup Highset</i>	14
		<i>Time delay</i>	0.01
LVCB M8-1	Sensor : 2000 A	<i>LT Pickup</i>	-
		<i>LT Band</i>	-
		<i>ST Pickup</i>	-
		<i>ST Band</i>	-

4.6.1.2 Studi Koordinasi Tipikal 1

Hasil plot setelan rele awal pada tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.9. pada kondisi awal tipikal 1 terdapat beberapa yang perlu diperhitungkan diantaranya :

1. Kurva Rele R-10 mengenai damage curve trafo T 24
2. Grading time yang lama, sehingga ketika arus hubung singkat berkurang akibat pemasangan SISFCL rele tidak dapat bekerja dengan cepat.



Gambar 4.9 Hasil Plot setelan rele awal tipikal 1

Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

1. LCVB – M8 – 1

Manufacture	: Merlin Gerlin
Model	: STR 58U
Sensor ID	: 2000 Ampere
Rating Plug	: 1260 Ampere (0.63 Multiple)

Long Time

LT Pickup :

$$1.05 \times \text{FLA Sekunder T24} < I_{set} < 1.4 \times \text{FLA Sekunder T24}$$

$$1.05 \times 1140 < I_{set} < 1.4 \times 1140$$

$$1197 < I_{set} < 1596$$

$$\frac{1197}{1260} < T_{ap} < \frac{1596}{1260}$$

$$0.9500 < T_{ap} < 1.2667$$

(Range : 0.4 ; 0.45 ; 0.5 ; 0.55 ; 0.6 ; 0.65 ; 0.7 ; 0.8 ; 0.9 ; 1.0)

Dipilih Tap = 0.95

Iset = 1197 A

Dipilih LT Band = 15

Short Time

ST Pickup :

$$1.6 \times \text{FLA Sekunder T24} < I_{set} < 0.8 \times I_{sc} \text{ Min Bus MCC - 8}$$

$$1.6 \times 1140 < I_{set} < 0.8 \times 17520$$

$$1824 < I_{set} < 14016$$

$$\frac{1824}{1260} < T_{ap} < \frac{14016}{1260}$$

$$1.4476 < T_{ap} < 11.1238$$

(Range : 1.25 ; 1.5 ; 2 ; 2.5 ; 3 ; 4 ; 6 ; 8 ; 10 ; 12)

Dipilih Tap = 1.5

Iset = 1920 A

Dipilih ST Band = 0.4 s

2. Relay R8/1

Manufacturer : GE – Multilin

Model : SR – 750 / 760

FLA Primer T24 : 104.1 A

Isc Max. 4 cycle Bus SWGR-8 : 11300 A

Curve Type : IAC – Inverse

CT Ratio : 200 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA Primer T24} < I_{set} < 1.4 \times \text{FLA Primer T24}$$

$$1.05 \times 104.1 < I_{set} < 1.4 \times 104.1$$

$$109.305 < I_{set} < 145.74$$

$$\frac{109.305}{200} \text{ In} < T_{ap} < \frac{145.74}{200} \text{ In}$$

$$0.54 \text{ In} < T_{ap} < 0.7287 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

$$\text{Dipilih } T_{ap} = 0.7 \text{ In}$$

$$I_{set} = 140 \text{ A}$$

Time Dial

$$\text{Waktu Operasi} = 0.3 \text{ s}$$

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C \right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C \right)^3} \right)$$

Dimana : T = Trip Time (Second)

M = Multiplier Setpoint ; $M = TD$

I = Input Current (Isc Max 4 Cycle)

I Pick Up = Pick Up Current Setpoint (I_{set})

A to E = Constant

$$0.3 \text{ s} = M \times \left(0.2078 + \frac{0.8630}{\left(\frac{11300}{140} \right) - 0.8} + \frac{-0.418}{\left(\left(\frac{11300}{140} \right) - 0.8 \right)^2} \right. \\ \left. + \frac{0.1947}{\left(\left(\frac{11300}{140} \right) - 0.8 \right)^3} \right)$$

$$0.3 \text{ s} = M \times (0.2078 + 0.010 - 0.0000654 + 0.000000185)$$

$$0.3 \text{ s} = M \times (0.217734785)$$

$$M = \frac{0.3}{0.217734785}$$

$$M = 1.377823024$$

(Range : 0 sampai 100, dengan steps 0.01)

Time Dial = 1.38

Instantaneous Pick Up

$$\begin{aligned} \text{Isc Max 4 Cycle Bus MCC - 8} & \times \frac{\text{kV Sekunder}}{\text{kV Primer}} < I_{\text{a}} \\ & < 0.8 \times \text{Isc Min Bus SWGR - 8} \\ 26200 \times \frac{0.38}{4.16} & < I_{\text{a}} < 0.8 \times 5330 \\ 2393.26 & < I_{\text{a}} < 4264 \\ \frac{2393.26}{200} \text{ In} & < \text{Tap} < \frac{4264}{200} \text{ In} \\ 11.9 \text{ In} & < \text{Tap} < 21.32 \text{ In} \end{aligned}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 12 In
Iset = 2400 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan steps 0.01)

Dipilih Time Delay = 0.1 s

3. Relay R-8/2

Manufacturer	: GE – Multilin
Model	: SR – 750 / 760
FLA Total	: FLA Primer T24 + FLA Motor P- 4820 + FLA Motor P-4830 = 104.1 + 95.07 + 95.07 = 294.24
Isc Max. 4 cycle Bus SWGR-8	: 11300 A
Curve Type	: IAC – Inverse
CT Ratio	: 400 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1.05 \times \text{FLA Total} & < \text{Iset} < 1.4 \times \text{FLA Total} \\ 1.05 \times 294.24 & < \text{Iset} < 1.4 \times 294.24 \\ 308.952 & < \text{Iset} < 411.936 \end{aligned}$$

$$\frac{308.952}{400} \ln < \text{Tap} < \frac{145.74}{200} \ln$$

$$0.77238 \ln < \text{Tap} < 1.02984 \ln$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

$$\begin{aligned}\text{Dipilih Tap} &= 0.8 \ln \\ \text{Iset} &= 320 \text{ A}\end{aligned}$$

Time Dial

$$\text{Waktu Operasi} = 0.5 \text{ s}$$

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Trip Time (Second)

M = Multiplier Setpoint ; M = TD

I = Input Current (Isc Max 4 Cycle)

I Pick Up = Pick Up Current Setpoint (Iset)

A to E = Constant

$$0.5 \text{ s} = M \times \left(0.2078 + \frac{0.8630}{\left(\frac{11300}{320}\right) - 0.8} + \frac{-0.418}{\left(\left(\frac{11300}{320}\right) - 0.8\right)^2} \right. \\ \left. + \frac{0.1947}{\left(\left(\frac{11300}{320}\right) - 0.8\right)^3} \right)$$

$$0.5 \text{ s} = M \times (0.2078 + 0.0250000 - 0.00035000 \\ + 0.0000047300)$$

$$0.5 \text{ s} = M \times (0.23245473)$$

$$M = \frac{0.5}{0.23245473}$$

$$M = 2.150956446$$

(Range : 0 sampai 100, dengan steps 0.01)

$$\text{Time Dial} = 2.16$$

Instantaneous Pick Up

$$1.6 \times \text{FLA Total} < I_{\text{tap}} < 0.8 \times \text{Isc Min Bus SWGR} - 8$$

$$1.6 \times 294.24 < I_{\text{tap}} < 0.8 \times 5330$$

$$470.784 < I_{\text{tap}} < 4264$$

$$\frac{470.784}{400} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{4264}{400} \text{ In}$$

$$1.17696 \text{ In} < \text{Tap} < 10.66 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 6.5 In

Iset = 2600 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan steps 0.01)

Dipilih Time Delay = 0.3 s

4. Relay R10

Manufacturer	: GE – Multilin
Model	: SR – 750 / 760
FLA Total	: FLA Primer T24 + FLA Motor P-4820 + FLA Motor P-4830 = 104.1 + 95.07 + 95.07 = 294.24
Isc Max. 4 cycle Station #1-B	: 17300 A
Curve Type	: IAC – Inverse
CT Ratio	: 400 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1.4 \times \text{FLA Total}$$

$$1.05 \times 294.24 < \text{Iset} < 1.4 \times 294.24$$

$$308.952 < \text{Iset} < 411.936$$

$$\frac{308.952}{400} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{145.74}{200} \text{ In}$$

$$0.77238 \text{ In} < \text{Tap} < 1.02984 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 0.8 In

Iset = 320 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0.5 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Trip Time (Second)

M = Multiplier Setpoint ; M = TD

I = Input Current (Isc Max 4 Cycle)

I Pick Up = Pick Up Current Setpoint (Iset)

A to E = Constant

$$0.5 \text{ s} = M \times \left(0.2078 + \frac{0.8630}{\left(\frac{17300}{320}\right) - 0.8} + \frac{-0.418}{\left(\left(\frac{17300}{320}\right) - 0.8\right)^2} \right. \\ \left. + \frac{0.1947}{\left(\left(\frac{17300}{320}\right) - 0.8\right)^3} \right)$$

$$0.5 \text{ s} = M \times (0.2078 + 0.0199 - 0.0002222614 + 0.000002387249)$$

$$0.5 \text{ s} = M \times (0.2274801258)$$

$$M = \frac{0.5}{0.2274801258}$$

$$M = 2.15002$$

(Range : 0 sampai 100, dengan steps 0.01)

Time Dial = 2.15

Instantaneous Pick Up

$1.6 \times \text{FLA Total} < I_{pu} < 0.8 \times \text{Isc Min Bus Station #1} - B$

$$1.6 \times 294.24 < I_{pu} < 0.8 \times 4130$$

$$470.784 < I_{pu} < 3304$$

$$\frac{470.784}{400} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3304}{400} \text{ In}$$

$$1.17696 \text{ In} < \text{Tap} < 8.26 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 6.5 In

$$I_{set} = 2600 \text{ A}$$

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan steps 0.01)

Dipilih Time Delay = 0.3 s

5. Relay R-Tie SW1

Manufacturer	: GE – Multilin
Model	: SR – 750 / 760
FLA Total	: 437.13
Isc Max. 30 Cycle Station #1-A	: 15000 A
Curve Type	: IAC – Inverse
CT Ratio	: 1200 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA Total} < I_{set} < 1.4 \times \text{FLA Total}$$

$$1.05 \times 437.13 < I_{set} < 1.4 \times 437.13$$

$$458.9865 < I_{set} < 611.982$$

$$\frac{458.9865}{1200} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{611.982}{1200} \text{ In}$$

$$0.3824 \text{ In} < \text{Tap} < 0.5099 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 0.40 In

Iset = 480 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0.7 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C \right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C \right)^3} \right)$$

Dimana : T = Trip Time (Second)

M = Multiplier Setpoint ; M = TD

I = Input Current (Isc Max 4 Cycle)

I Pick Up = Pick Up Current Setpoint (Iset)

A to E = Constant

$$0.7 \text{ s} = M \times \left(0.2078 + \frac{0.8630}{\left(\frac{15000}{480}\right) - 0.8} + \frac{-0.418}{\left(\frac{15000}{480}\right) - 0.8}^2 \right. \\ \left. + \frac{0.1947}{\left(\frac{15000}{480}\right) - 0.8}^3 \right)$$

$$0.7 \text{ s} = M \times (0.2078 + 0.0283 - 0.00045 + 0.00000689)$$

$$0.7 \text{ s} = M \times (0.23565689)$$

$$M = \frac{0.7}{0.23565689}$$

$$M = 2.9704$$

(Range : 0 sampai 100, dengan steps 0.01)

Time Dial = 2.97

Instantaneous Pick Up

$$1.6 \times \text{FLA Total} < I_{\text{in}} < 0.8 \times \text{Isc Min Bus Station #1 - A}$$

$$1.6 \times 437.13 < I_{\text{in}} < 0.8 \times 5814$$

$$699.408 < I_{\text{in}} < 4651$$

$$\frac{699.408}{1200} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{4651}{1200} \text{ In}$$

$$0.58 \text{ In} < \text{Tap} < 3.876 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 2.5 In

Iset = 3000 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan steps 0.01)

Dipilih Time Delay = 0.5 s

6. Relay R-6710

Manufacturer	: GE – Multilin
Model	: SR – 750 / 760
FLA Generator TG-6700	: 468.4

Isc Max. 30 cycle Station #1-A : 15000 A
 Curve Type : IAC – Inverse
 CT Ratio : 600 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1.05 \times \text{FLA Gen. TG} - 6710 &< I_{set} \\
 &< 1.4 \times \text{FLA Gen. TG} - 6710 \\
 1.05 \times 468.4 &< I_{set} < 1.4 \times 468.4 \\
 491.84 &< I_{set} < 655.76 \\
 \frac{491.84}{600} \text{ In} &< \text{Tap} < \frac{655.76}{600} \text{ In} \\
 0.819 \text{ In} &< \text{Tap} < 1.09 \text{ In}
 \end{aligned}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 1 In
 Iset = 600 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0.9 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Trip Time (Second)
 M = Multiplier Setpoint ; M = TD
 I = Input Current (Isc Max 4 Cycle)
 I Pick Up = Pick Up Current Setpoint (Iset)
 A to E = Constant

$$0.9 s = M \times \left(0.2078 + \frac{0.8630}{\left(\frac{15000}{600} - 0.8\right)} + \frac{-0.418}{\left(\left(\frac{15000}{600} - 0.8\right)^2\right)} + \frac{0.1947}{\left(\left(\frac{15000}{600} - 0.8\right)^3\right)} \right)$$

$$0.9 s = M \times (0.2078 + 0.031 - 0.000574 + 0.00000991)$$

$$0.9 s = M \times (0.23938391)$$

$$M = \frac{0.9}{0.23938391}$$

$$M = 3.759651181$$

(Range : 0 sampai 100, dengan steps 0.01)

Time Dial = 4.5

Instantaneous Pick Up

$$1.6 \times \text{FLA Gen. TG} - 6710 < I_{\text{tr}} < 0.8 \times \text{Isc Min Station #1} - A$$

$$1.6 \times 468.4 < I_{\text{tr}} < 0.8 \times 5814$$

$$744.44 < I_{\text{tr}} < 4651.2$$

$$\frac{744.44}{600} \ln < \text{Tap} < \frac{4651.2}{600} \ln$$

$$1.24 \ln < \text{Tap} < 7.75 \ln$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 6 In

Iset = 3600 A

Time Delay

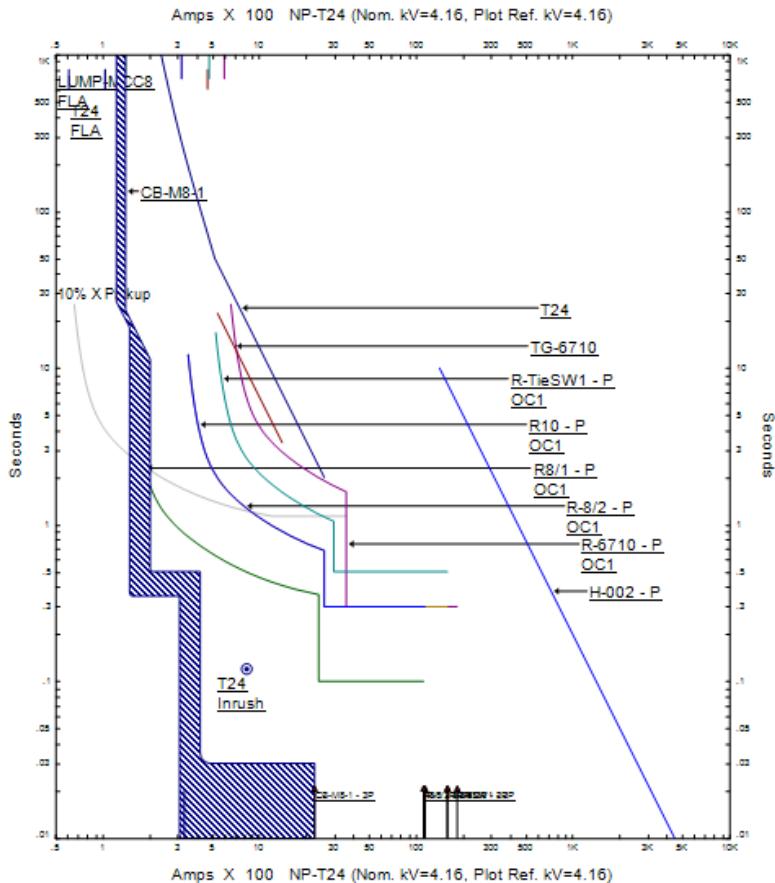
(Range : 0 sampai 600 s, dengan steps 0.01)

Dipilih Time Delay = 0.7 s

Dengan memakai hasil perhitungan diatas, maka kurva kerja rele dapat di *plot* menggunakan *Time Current Curve* pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada *Software ETAP*. Berikut data *resetting* dan hasil *Plot* tipikal 1 seperti pada tabel 4.9 dan gambar 4.10.

Tabel 4.9 Data *resetting* tipikal 1

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
R-6710	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	1
		<i>Time dial</i>	4.5
		<i>Pickup Highset</i>	6
		<i>Time delay</i>	0.3
R-TIE SW1	1200/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.4
		<i>Time dial</i>	2.97
		<i>Pickup Highset</i>	2.5
		<i>Time delay</i>	0.5
R-10	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.8
		<i>Time dial</i>	2.15
		<i>Pickup Highset</i>	6.5
		<i>Time delay</i>	0.3
R-8/2	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.8
		<i>Time dial</i>	2.15
		<i>Pickup Highset</i>	6.5
		<i>Time delay</i>	0.3
R-8/1	200/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.7
		<i>Time dial</i>	1.38
		<i>Pickup Highset</i>	12
		<i>Time delay</i>	0.1
LVCB M8-1	Sensor : 2000 A	<i>LT Pickup</i>	0.8
		<i>LT Band</i>	15
		<i>ST Pickup</i>	1.5
		<i>ST Band</i>	0.4



Gambar 4.10 Hasil Plot setelan rele *resetting* tipikal 1

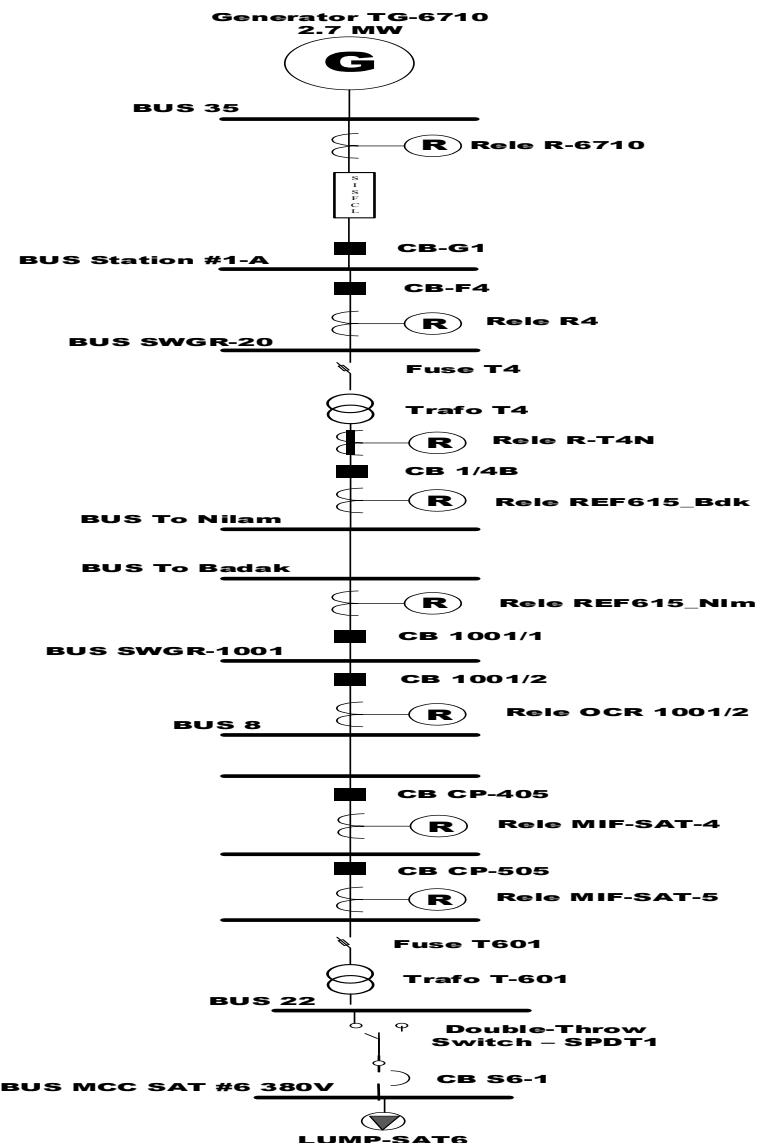
4.6.2 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2

Koordinasi pengaman sistem kelistrikan dari generator Badak ke Beban Nilam, mulai generator TG-6710 sampai transformator T-601. Pemilihan tipikal ini merupakan jalur terpanjang dari sistem kelistrikan Badak ke Nilam. Rele pengaman yang dikordinasikan adalah LVCB S6-1, Rele MIF-SAT-5, Rele MIF-SAT-4 Rele OCR 1001/2, Rele

REF615_Nlm, Rele REF615_Bdk, Rele R4, dan Rele R-6710. CB S6-1. LVCB (*Low Voltage Circuit Breaker*) berfungsi mengamankan trafo T-601 saat terjadi gangguan hubung singkat pada bus MCC SAT #6 380V dan bus 22 dan juga untuk mengamankan LUMP-SAT6. Fuse T601berfungsi sebagai pengaman bus SWYRD SAT6 (33kV) jika terjadi hubung singkat pada trafo T-601. Rele MIF-SAT5 berfungsi untuk melindungi bus SWYRD SAT6 (33kV), Selain itu dikarenakan bus SWYRD SAT6 (33kV) hanya menyuplai feeder menuju bus MCC SAT #6 380V maka rele ini dapat berfungsi sebagai back up pengaman dari CB S6-1 jika gagal bekerja. Rele MIF-SAT4 berfungsi untuk melindungi bus SWYRD SAT5 33kV, saat terjadi gangguan hubung singkat serta merupakan back up dari rele MIF-SAT5 jika gagal bekerja. Rele OCR 1001/2 berfungsi untuk melindungi bus 8 saat terjadi gangguan hubung singkat serta merupakan back up dari rele MIF-SAT-4 jika gagal bekerja. Rele REF615_Nlm berfungsi untuk melindungi bus SWGR-1001 dan bus To Badak saat terjadi gangguan hubung singkat dan juga untuk melindungi Potensial Trafo PT3 serta merupakan back up dari rele OCR 1001/2 jika gagal bekerja. Rele REF615_Bdk berfungsi untuk melindungi bus To Nilam saat terjadi gangguan hubung singkat dan juga untuk melindungi Potensial Trafo PT5 serta merupakan back up dari rele REF615_Nlm jika gagal bekerja. Fuse T4 Fuse berfungsi sebagai pengaman bus SWGR-20 jika terjadi hubung singkat pada trafo T4. Rele R4 berfungsi untuk melindungi bus 13 saat terjadi gangguan hubung singkat, Selain itu dikarenakan bus SWGR-20 hanya menyuplai feeder menuju bus To Nilam maka rele ini dapat berfungsi sebagai back up pengaman dari rele REF615_Bdk jika gagal bekerja. Rele R-6710 berfungsi untuk melindungi bus Station #1-A saat terjadi gangguan hubung singkat serta merupakan back up dari rele R4 jika gagal bekerja.

4.6.2.1 Data Awal Tipikal 2

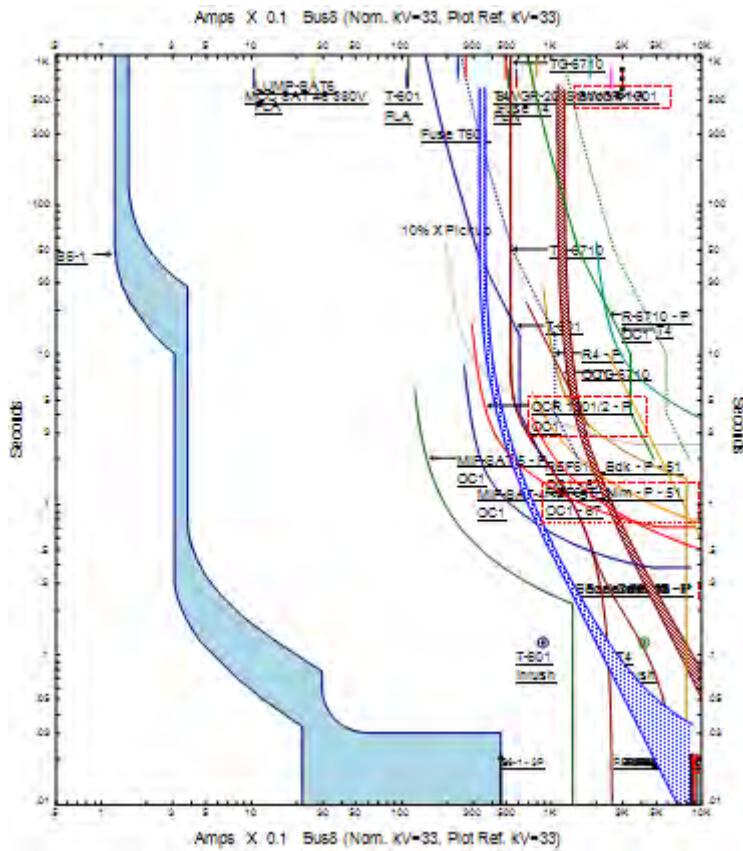
Data awal rele dan hasil plot kurva kerja dari rele arus lebih pada tipikal 2 dapat dilihat pada tabel 4.10 dan gambar 4.12 dibawah.



Gambar 4.11 Single line diagram tipikal 2

Tabel 4.10 Data awal tipikal 2

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
R-6710	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	2.4
		<i>Time dial</i>	10
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
R4	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	1.6
		<i>Time dial</i>	5
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
REF615_Bdk	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.5
		<i>Time dial</i>	0.33
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
REF615_Nlm	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.5
		<i>Time dial</i>	0.55
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
OCR 1001/2	30/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.9
		<i>Time dial</i>	2.8
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
MIF-SAT-4	30/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.8
		<i>Time dial</i>	1.5
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
MIF-SAT-5	15/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.75
		<i>Time dial</i>	0.08
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
LVCB-S6-1	Sensor : 15 A	<i>LT Pickup</i>	0.8
		<i>LT Band</i>	1C-Min
		<i>ST Pickup</i>	2
		<i>ST Band</i>	2C-Min



Gambar 4.12 Hasil Plot setelan rele awal tipikal 2

4.6.2.2 Studi Koordinasi Tipikal 2

Hasil plot setelan rele awal pada tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.12. pada kondisi awal tipikal 2 terdapat beberapa yang perlu diperhitungkan diantaranya :

1. Kurva LVCB S6-1 terletak kurang dari FLA trafo T-601, maka saat T-601 *energize*, dan saat beban penuh ($6 \times I_n$) maka LVCB S6-1 akan bekerja memutus arus karena dianggap gangguan.
2. Kurva LVCB S6-1 melebihi *Inrush* dari trafo T-601 dan T4.

3. Grading time yang lama, sehingga ketika arus hubung singkat berkurang akibat pemasangan SISFCL rele tidak dapat bekerja dengan cepat).
4. Urutan *back up* rele kurang maksimal jadi membuat *back up* rele tidak bisa bekerja dengan semestinya.

Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

1. LVCB – S6-1

Manufacture : General Electric
 Model : EC-1-AK-15-25-30 (LSI 15×)
 Rating Plug : 800 Ampere

Long Time

LT Pickup :

$$1.05 \times \text{FLA Sekunder T-601} < I_{set} < 1.4 \times \text{FLA Sekunder T-601}$$

$$\begin{aligned} 1.05 \times 957.2 &< I_{set} < 1.4 \times 957.2 \\ 1005.06 &< I_{set} < 1340.08 \\ \frac{1005.06}{800} &< \text{Tap} < \frac{1340.08}{800} \\ 1.25 &< \text{Tap} < 1.6751 \end{aligned}$$

(Range : 0.4 ; 0.45 ; 0.5 ; 0.55 ; 0.6 ; 0.65 ; 0.7 ; 0.8 ; 0.9 ; 1.0)

Dipilih Tap = 1.35

Iset = 1080 A

Dipilih LT Band = 1C-Min

Short Time

ST Pickup :

$$1.6 \times \text{FLA Sekunder T-601} < I_{set} < 0.8 \times I_{sc} \text{ Min Bus MCC SAT#6}$$

$$\begin{aligned} 1.6 \times 957.2 &< I_{set} < 0.8 \times 9290 \\ 1531.52 &< I_{set} < 7432 \\ \frac{1531.52}{800} &< \text{Tap} < \frac{7432}{800} \\ 1.9144 &< \text{Tap} < 9.29 \end{aligned}$$

(Range : 1.25 ; 1.5 ; 2 ; 2.5 ; 3 ; 4 ; 6 ; 8 ; 10 ; 12)

Dipilih Tap = 2

Iset = 1600 A

Dipilih ST Band = 2A-Max

2. Relay MIF SAT 5

Manufacturer	: GE – Multilin
Model	: SR – 750 / 760
FLA Primer T-601	: 11.02
Isc Max 4 cycle SWYRD SAT5	: 913 A
Curve Type	: IEC – A
CT Ratio	: 15 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA Primer T-601} < \text{Iset} < 1.4 \times \text{FLA Primer T-601}$$

$$1.05 \times 11.02 < \text{Iset} < 1.4 \times 11.02$$

$$11.571 < \text{Iset} < 15.428$$

$$\frac{11.571}{15} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{15.428}{15} \text{ In}$$

$$0.7714 \text{ In} < \text{Tap} < 1.05853 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 1.0 In

Iset = 15 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0.3 s

$$T = M \times \left(\frac{K}{\left(\frac{I}{I_{pu}} \right)^E - 1} \right)$$

Dimana : T = Trip Time (Second)

M = Multiplier Setpoint ; M = TD

I = Input Current (Isc Max 4 Cycle)

I Pick Up = Pick Up Current Setpoint (Iset)

K, E = Constant

$$0.3 \text{ s} = M \times \left(\frac{0.140}{\left(\frac{913}{15} \right)^{0.020} - 1} \right)$$

$$0.3 \text{ s} = M \times (1.639344262)$$

$$M = \frac{0.3}{1.639344262}$$

$$M = 0.183$$

(Range : 0 sampai 100, dengan steps 0.01)

Time Dial = 0.18

Instantaneous Pick Up

$$\text{Isc Max 4 Cycle Bus } 22 \times \frac{\text{kV Sekunder}}{\text{kV Primer}} < I_{\text{bus}} < 0.8 \times \text{Isc Min SWYRD SAT5}$$

$$11420 \times \frac{0.38}{33} < I_{\text{bus}} < 0.8 \times 544$$

$$131.5 < I_{\text{bus}} < 432.2$$

$$\frac{131.5}{15} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{432.2}{15} \text{ In}$$

$$8.76 \text{ In} < \text{Tap} < 29.01 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 9 In

Iset = 135 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan steps 0.01)

Dipilih Time Delay = 0.14 s

3. Relay MIF SAT 4

Manufacturer	: GE – Multilin
Model	: SR – 750 / 760
FLA Total	: FLA Primer T-601 + T-501 (22.04)
Isc Max 4 cycle SWYRD SAT4	: 956 A
Curve Type	: IAC – Inverse
CT Ratio	: 30 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1.4 \times \text{FLA Total}$$

$$1.05 \times 22.04 < \text{Iset} < 1.4 \times 22.04$$

$$23.142 < \text{Iset} < 30.856$$

$$\frac{23.142}{30} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{30.856}{30} \text{ In}$$

$$0.7714 \text{ In} < \text{Tap} < 1.02853 \text{ Ir}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 0.8 In

Iset = 24 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0.5 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Trip Time (Second)

M = Multiplier Setpoint ; M = TD

I = Input Current (Isc Max 4 Cycle)

I Pick Up = Pick Up Current Setpoint (Iset)

A to E = Constant

$$0.5 \text{ s} = M \times \left(0.2078 + \frac{0.8630}{\left(\frac{956}{24}\right) - 0.8} + \frac{-0.4180}{\left(\left(\frac{956}{24}\right) - 0.8\right)^2} + \frac{0.1947}{\left(\left(\frac{956}{24}\right) - 0.8\right)^3} \right)$$

$$0.5 \text{ s} = M \times (0.2078 + 0.022 - 0.000274 + 0.000000327)$$

$$0.5 \text{ s} = M \times (0.23153)$$

$$M = \frac{0.5}{0.2315}$$

$$M = 2.169$$

(Range : 0 sampai 100, dengan steps 0.01)

Time Dial = 2.17

Instantaneous Pick Up

$$1.6 \times \text{FLA Total} < I_p < 0.8 \times \text{Isc Min SWYRD SAT 4}$$

$$1.6 \times 22.04 < I_p < 0.8 \times 560$$

$$35.264 < I_p < 448$$

$$\frac{35.264}{30} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{448}{30} \text{ In}$$

$$1.175 \text{ In} < \text{Tap} < 14.9 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 4.7 In

Iset = 141 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan steps 0.01)

Dipilih Time Delay = 0.3 s

4. Relay OCR 1001 / 2

Manufacturer	: GE – Multilin
Model	: SR – 750 / 760
FLA Total	: 33.06
Isc Max 30 cycle SWYRD SAT4	: 823 A
Curve Type	: IAC – Inverse
CT Ratio	: 30 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1.4 \times \text{FLA Total}$$

$$1.05 \times 33.06 < \text{Iset} < 1.4 \times 33.06$$

$$34.713 < \text{Iset} < 46.284$$

$$\frac{34.713}{30} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{46.284}{30} \text{ In}$$

$$1.1571 \text{ In} < \text{Tap} < 1.5428 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 1.2 In

Iset = 36 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0.7 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Trip Time (Second)

M = Multiplier Setpoint ; M = TD

I = Input Current (Isc Max 4 Cycle)

I Pick Up = Pick Up Current Setpoint (Iset)

A to E = Constant

$$0.7 \text{ s} = M \times \left(0.2078 + \frac{0.8630}{\left(\frac{823}{36}\right) - 0.8} + \frac{-0.4180}{\left(\left(\frac{823}{36}\right) - 0.8\right)^2} + \frac{0.1947}{\left(\left(\frac{823}{36}\right) - 0.8\right)^3} \right)$$

$$0.7 \text{ s} = M \times (0.2078 + 0.039 - 0.0000858 + 0.00000181)$$

$$0.7 \text{ s} = M \times (0.2476)$$

$$M = \frac{0.5}{0.2476}$$

$$M = 2.84$$

(Range : 0 sampai 100, dengan steps 0.01)

Time Dial = 2.71

Instantaneous Pick Up

$1.6 \times \text{FLA Total} < I_{\gg} < 0.8 \times \text{Isc Min SWGR-1001}$

$$1.6 \times 33.06 < I_{\gg} < 0.8 \times 583$$

$$52.896 < I_{\gg} < 466.4$$

$$\frac{52.896}{30} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{466.4}{30} \text{ In}$$

$$1.7632 \text{ In} < \text{Tap} < 15.546 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 5 In

Iset = 150 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan steps 0.01)

Dipilih Time Delay = 0.5 s

5. Relay REF 615 NIm

Manufacturer : ABB

Model : REF 545

FLA Total : 105.318

Isc Max 30 cycle Bus To Badak : 643 A

Curve Type : Normal Inverse

CT Ratio : 100 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA Total} < I_{set} < 1.4 \times \text{FLA Total}$$

$$1.05 \times 105.318 < I_{set} < 1.4 \times 105.318$$

$$110.5839 < I_{set} < 147.4452$$

$$\frac{110.5839}{100} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{147.4452}{100} \text{ In}$$

$$5.529195 \text{ In} < \text{Tap} < 7.37226 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai $40 \times \text{CT Sec}$, dengan steps 0.1)

Dipilih Tap = 6 In

Iset = 600 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0.9 s

$$0.14$$

$$\frac{(M \times 0.02)^{-1} \times TD}{0.14}$$

$$\frac{(0.9 \times 0.02)^{-1} \times TD}{0.14}$$

$$\frac{(0.018)^{-1} \times TD}{0.14}$$

$$1 = \frac{55.55 \times TD}{0.14}$$

$$55.55 \text{ TD} = 0.14$$

$$55.55 \text{ TD} = 0.14$$

$$TD = \frac{0.14}{55.55}$$

$$TD = 0.0452$$

(Range : 0.05 sampai 40, dengan steps 0.01)

Time Dial = 0.05

Instantaneous Pick Up

$$1.6 \times \text{FLA Total} < I_{\gg} < 0.8 \times I_{sc \text{ Min}} \text{ SWGR-1001}$$

$$1.6 \times 105.318 < I_{\gg} < 0.8 \times 583$$

$$168.5088 < I_{\gg} < 466.4$$

$$\frac{168.5088}{100} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{466.4}{100} \text{ In}$$

$$1.685088 \text{ In} < \text{Tap} < 4.664 \text{ Ir}$$

(Range : 0.05 sampai $40 \times \text{CT Sec}$, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 1.65 In

Iset = 165 A

Time Delay

(Range : 0.05 sampai 300, dengan steps 0.1)

Dipilih Time Delay = 0.5 s

6. Relay REF 615 Bdk

Manufacturer	: ABB
Model	: REF 545
FLA Sekunder T4	: 52.49
Isc Max 30 cycle Bus To Nilam	: 586 A
Curve Type	: Normal Inverse
CT Ratio	: 100 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA Sekunder T4} < \text{Iset} < 1.4 \times \text{FLA Sekunder T4}$$

$$1.05 \times 52.49 < \text{Iset} < 1.4 \times 52.49$$

$$55.1145 < \text{Iset} < 73.486$$

$$\frac{55.1145}{100} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{73.486}{100} \text{ In}$$

$$0.551145 \text{ In} < \text{Tap} < 0.73486 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai $40 \times \text{CT Sec}$, dengan steps 0.1)

Dipilih Tap = 0.6 In

Iset = 60 A

Time Dial

$$\frac{\text{Waktu Operasi}}{0.14} = 0.9 \text{ s}$$

$$\frac{(M \times 0.02)^{-1} \times TD}{0.14}$$

$$\frac{(0.9 \times 0.02)^{-1} \times TD}{0.14}$$

$$\frac{(0.018)^{-1} \times TD}{0.14}$$

$$1 = \frac{0.14}{55.55 \times TD}$$

$$55.55 TD = 0.14$$

$$55.55 TD = 0.14$$

$$TD = \frac{0.14}{55.55}$$

$$TD = 0.0452$$

(Range : 0.05 sampai 40, dengan steps 0.01)

Time Dial = 0.05

Instantaneous Pick Up

$1.6 \times \text{FLA Sekunder T4} < I_{\text{in}} < 0.8 \times I_{\text{sc Min Bus To Nilam}}$

$$1.6 \times 52.49 < I_{\text{in}} < 0.8 \times 58608$$

$$83.984 < I_{\text{in}} < 468.8$$

$$\frac{83.984}{100} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{468.8}{100} \text{ In}$$

$$0.83984 \text{ In} < \text{Tap} < 4.688 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 40 \times CT Sec, dengan steps 0.1)

Dipilih Tap = 1.75 In

Iset = 175 A

Time Delay

(Range : 0.05 sampai 300, dengan steps 0.1)

Dipilih Time Delay = 0.7 s

7. Relay R4

Manufacturer	: GE – Multilin
Model	: SR – 750 / 760
FLA Primer T4	: 416.4
Isc Max 4 cycle Station #1-A	: 11930 A
Curve Type	: IAC – Inverse
CT Ratio	: 400 / 5

Time Overcurrent Pickup

$1.05 \times \text{FLA Primer T4} < I_{\text{set}} < 1.4 \times \text{FLA Primer T4}$

$$1.05 \times 416.4 < I_{\text{set}} < 1.4 \times 416.4$$

$$437.22 < I_{\text{set}} < 582.96$$

$$\frac{437.22}{400} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{582.96}{400} \text{ In}$$

$$1.09305 \text{ In} < \text{Tap} < 2.574 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

$$\begin{aligned}\text{Dipilih Tap} &= 1.3 \text{ In} \\ \text{Iset} &= 520 \text{ A}\end{aligned}$$

Time Dial

$$\text{Waktu Operasi} = 1.1 \text{ s}$$

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Trip Time (Second)

M = Multiplier Setpoint ; M = TD

I = Input Current (Isc Max 4 Cycle)

I Pick Up = Pick Up Current Setpoint (Iset)

A to E = Constant

$$1.1 \text{ s} = M \times \left(0.2078 + \frac{0.8630}{\left(\frac{11930}{520}\right) - 0.8} + \frac{-0.4180}{\left(\left(\frac{11930}{520}\right) - 0.8\right)^2} + \frac{0.1947}{\left(\left(\frac{11930}{520}\right) - 0.8\right)^3} \right)$$

$$1.1 \text{ s} = M \times (0.2078 + 0.0389 - 0.0085 + 0.00000179)$$

$$1.1 \text{ s} = M \times (0.333427711)$$

$$M = \frac{1.1}{0.2542}$$

$$M = 4.47$$

(Range : 0 sampai 100, dengan steps 0.01)

$$\text{Time Dial} = 4.5$$

Instantaneous Pick Up

$$1.6 \times \text{FLA Primer T4} < I_{\text{d}} < 0.8 \times \text{Isc Min Bus Station #1-A}$$

$$1.6 \times 416.4 < I_{\text{d}} < 0.8 \times 6330$$

$$666.24 < I_{\text{d}} < 5064$$

$$\frac{666.24}{400} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{5064}{400} \text{ In}$$

$$1.6656 \text{ In} < \text{Tap} < 12.66 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 3.6 In

Iset = 1440 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan steps 0.01)

Dipilih Time Delay = 0.14 s

7. Relay R-6710

Manufacturer : GE – Multilin

Model : SR – 750 / 760

FLA Generator TG-6700 : 468.4

Isc Max. 30 cycle Station #1-A : 15000 A

Curve Type : IAC – Inverse

CT Ratio : 600 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA Gen. TG - 6710} < \text{Iset}$$

$$< 1.4 \times \text{FLA Gen. TG - 6710}$$

$$1.05 \times 468.4 < \text{Iset} < 1.4 \times 468.4$$

$$491.84 < \text{Iset} < 655.76$$

$$\frac{491.84}{600} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{655.76}{600} \text{ In}$$

$$0.819 \text{ In} < \text{Tap} < 1.09 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 1 In

Iset = 600 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0.9 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Trip Time (Second)

M = Multiplier Setpoint ; M = TD

I = Input Current (Isc Max 4 Cycle)

I Pick Up = Pick Up Current Setpoint (Iset)

A to E = Constant

$$0.9 \text{ s} = M \times \left(0.2078 + \frac{0.8630}{\left(\frac{15000}{600}\right) - 0.8} + \frac{-0.418}{\left(\left(\frac{15000}{600}\right) - 0.8\right)^2} + \frac{0.1947}{\left(\left(\frac{15000}{600}\right) - 0.8\right)^3} \right)$$

$$0.9 \text{ s} = M \times (0.2078 + 0.031 - 0.000574 + 0.00000991)$$

$$0.9 \text{ s} = M \times (0.23938391)$$

$$M = \frac{0.9}{0.23938391}$$

$$M = 3.759651181$$

(Range : 0 sampai 100, dengan steps 0.01)

Time Dial = 4.5

Instantaneous Pick Up

$$1.6 \times \text{FLA Gen. TG} - 6710 < I_{\text{pu}} < 0.8 \times \text{Isc Min Station #1} - A$$

$$1.6 \times 468.4 < I_{\text{pu}} < 0.8 \times 5814$$

$$744.44 < I_{\text{pu}} < 4651.2$$

$$\frac{744.44}{600} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{4651.2}{600} \text{ In}$$

$$1.24 \text{ In} < \text{Tap} < 7.75 \text{ In}$$

(Range : 0.05 sampai 20, dengan steps 0.01)

Dipilih Tap = 6 In

$$I_{set} = 3600 \text{ A}$$

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan steps 0.01)

Dipilih *Time Delay*= 0.7 s

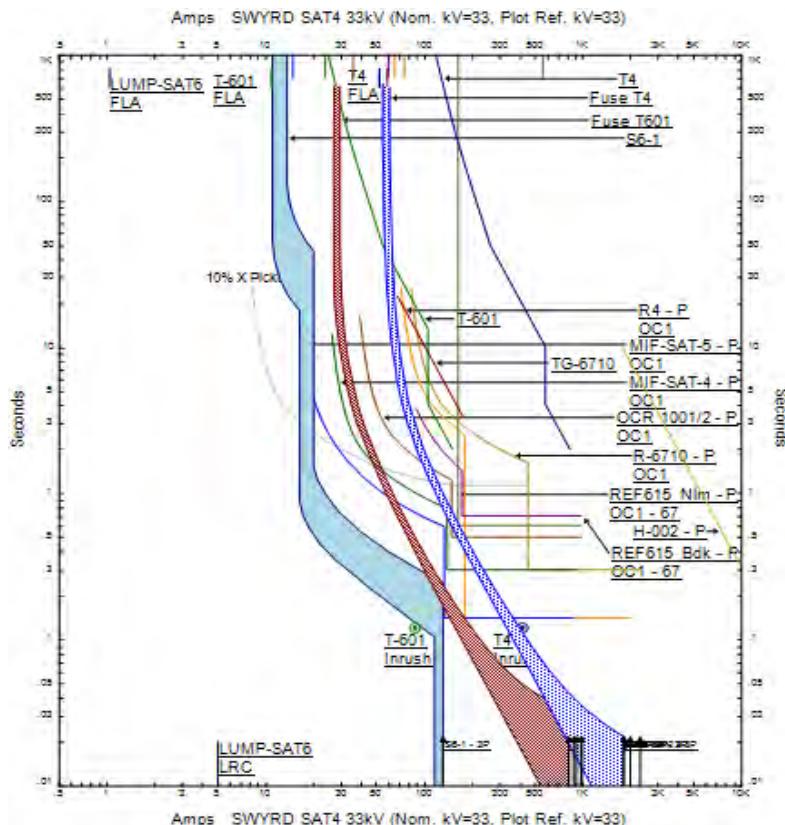
Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka kurva kerja rele dapat di *plot* menggunakan *Time Current Curve* pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada *Software ETAP*. Berikut data *resetting* dan hasil *Plot* tipikal 2 seperti pada tabel 4.11 dan gambar 4.13.

Tabel 4.11 Data *resetting* tipikal 2

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
		<i>Pickup Lowset</i>	<i>1</i>
R-6710	600/5	<i>Time dial</i>	4.5
		<i>Pickup Highset</i>	6
		<i>Time delay</i>	0.3
		<i>Pickup Lowset</i>	1.3
R4	400/5	<i>Time dial</i>	4.48
		<i>Pickup Highset</i>	3.6
		<i>Time delay</i>	0.14
		<i>Pickup Lowset</i>	0.6
REF615_Bdk	100/5	<i>Time dial</i>	0.22
		<i>Pickup Highset</i>	1.75
		<i>Time delay</i>	0.7
		<i>Pickup Lowset</i>	5.65
REF615_Nlm	100/5	<i>Time dial</i>	0.05
		<i>Pickup Highset</i>	1.65
		<i>Time delay</i>	0.6
		<i>Pickup Lowset</i>	1.2
OCR 1001/2	30/5	<i>Time dial</i>	2.85
		<i>Pickup Highset</i>	5
		<i>Time delay</i>	0.5
		<i>Pickup Lowset</i>	0.8
MIF-SAT-4	30/5	<i>Time dial</i>	2.17
		<i>Pickup Highset</i>	4.7
		<i>Time delay</i>	0.3

Tabel 4.11 Data resetting tipikal 2(lanjutan)

Relay ID	CT ratio	Setting	
MIF-SAT-5	15/5	<i>Pickup Lowset</i>	1
		<i>Time dial</i>	0.19
		<i>Pickup Highset</i>	9
		<i>Time delay</i>	0.14
LVCB-S6-1	Sensor : 15 A	<i>LT Pickup</i>	1.35
		<i>LT Band</i>	1C-Min
		<i>ST Pickup</i>	2
		<i>ST Band</i>	2A-Max



Gambar 4.13 Hasil Plot setelan rele resetting tipikal 2.

4.7 Data perbandingan sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL.

Tabel 4.12. Perbandingan kontribusi arus hubung singkat 3 fasa kondisi $\frac{1}{2}$ cycle pada *switchgear* Station #1A tanpa SISFCL dan dengan SISFCL

NO	Bus HVS 65				
	Arus kontribusi dari ke Station #1A	Tanpa SISFCL		Dengan SISFCL	
		Isc maks symetri (kA)	I maks Asimetri Peak (kA)	Isc maks symetri (kA)	I maks Asimetri Peak (kA)
1	Bus13	2.427	6.504	2.427	6.504
2	N6700	3.676	9.851	3.676	9.851
3	NST6	0.244	0.653	0.244	0.653
4	N-S10	0.506	1.356	0.506	1.356
5	SWGR-14	0.678	1.817	0.678	1.817
6	N6720	3.676	9.851	3.676	9.851
7	SWGR-41	0.044	0.117	0.044	0.117
8	Pole S13	0.140	0.375	0.140	0.375
9	SWGR-19	0.349	0.935	0.349	0.935
10	SWGR-8	0.236	0.632	0.236	0.632
11	NP-T40	0.025	0.067	0.025	0.067
12	Bus9	0.703	1.884	0.703	1.884
13	SWGR-15	0.449	1.203	0.449	1.203
14	N-T28	0.079	0.211	0.079	0.211
15	2020Load-Bdk	0.172	0.460	0.172	0.460
16	Bus35	3.969	10.636	0.47	1.25
17	NPT2	0.019	0.050	0.019	0.050
	Total	17.210	46.098*	13.893	37.233

*Melebihi device capability

Tabel 4.13. Perbandingan setting rele arus lebih sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada koordinasi tipikal 1

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>			
		<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>	
R-6710	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	2.4	<i>Pickup Lowset</i>	1
		<i>Time dial</i>	10	<i>Time dial</i>	4.5
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	6
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	0.3
R-TIE SW1	1200/5	<i>Pickup Lowset</i>	1	<i>Pickup Lowset</i>	0.4
		<i>Time dial</i>	10	<i>Time dial</i>	2.97
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	2.5
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	0.5
R-10	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	1	<i>Pickup Lowset</i>	0.8
		<i>Time dial</i>	4.5	<i>Time dial</i>	2.15
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	6.5
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	0.3
R-8/2	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.8	<i>Pickup Lowset</i>	0.8
		<i>Time dial</i>	2	<i>Time dial</i>	2.15
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	6.5
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	0.3
R-8/1	200/5	<i>Pickup Lowset</i>	1.2	<i>Pickup Lowset</i>	0.7
		<i>Time dial</i>	0.5	<i>Time dial</i>	1.38
		<i>Pickup Highset</i>	14	<i>Pickup Highset</i>	12
		<i>Time delay</i>	0.01	<i>Time delay</i>	0.1

Tabel 4.13. Perbandingan setting rele arus lebih sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada koordinasi tipikal 1(lanjutan)

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>		
		<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>
LVCB M8-1	Sensor : 2000 A	<i>LT Pickup</i>	-	<i>LT Pickup</i> 0.8
		<i>LT Band</i>	-	<i>LT Band</i> 15
		<i>ST Pickup</i>	-	<i>ST Pickup</i> 1.5
		<i>ST Band</i>	-	<i>ST Band</i> 0.4

Tabel 4.14. Perbandingan setting rele arus lebih sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada koordinasi tipikal 2

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>		
		<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>
R-6710	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	2.4	<i>Pickup Lowset</i> 1
		<i>Time dial</i>	10	<i>Time dial</i> 4.5
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i> 6
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i> 0.3
R4	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	1.6	<i>Pickup Lowset</i> 1.3
		<i>Time dial</i>	5	<i>Time dial</i> 4.48
		<i>Picup Highset</i>	-	<i>Picup Highset</i> 3.6
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i> 0.14
REF615 – Bdk	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.5	<i>Pickup Lowset</i> 0.6
		<i>Time dial</i>	0.33	<i>Time dial</i> 0.22
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i> 1.75
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i> 0.7

Tabel 4.14. Perbandingan setting rele arus lebih sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada koordinasi tipikal 2(lanjutan)

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>			
		<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>	
REF615_Nlm	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.5	<i>Pickup Lowset</i>	5.65
		<i>Time dial</i>	0.55	<i>Time dial</i>	0.05
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	1.65
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	0.6
OCR 1001/2	30/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.9	<i>Pickup Lowset</i>	1.2
		<i>Time dial</i>	2.8	<i>Time dial</i>	2.85
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	5
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	0.5
MIF-SAT-4	30/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.8	<i>Pickup Lowset</i>	0.8
		<i>Time dial</i>	1.5	<i>Time dial</i>	2.17
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	4.7
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	0.3
MIF-SAT-5	15/5	<i>Pickup Lowset</i>	0.75	<i>Pickup Lowset</i>	1
		<i>Time dial</i>	0.08	<i>Time dial</i>	0.19
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	9
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	0.14
LVCB-S6-1	Sensor : 15 A	<i>LT Pickup</i>	0.8	<i>LT Pickup</i>	1.35
		<i>LT Band</i>	1C-Min	<i>LT Band</i>	1C-Min
		<i>ST Pickup</i>	2	<i>ST Pickup</i>	2
		<i>ST Band</i>	2C-Min	<i>ST Band</i>	2A-Max

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari studi koordinasi proteksi rele arus lebih akibat pemasangan SISFCL (*saturated iron-core superconducting fault current limiter*) di PT. VICO Indonesia, kesimpulan yang dapat diambil adalah analisa hubung singkat pada PT. VICO Indonesia mengalami kondisi *critical* pada salah satu switchgear utama yaitu Station #1A. Ditunjukkan bahwa pada switchgear Station #1A pada kondisi *critical* dengan arus hubung singkat sebesar 46.098 kA peak dari rating kemampuan *switchgear (device capability)* 42.19 kA peak. SISFCL diletakkan pada Bus 35 yang mana Bus 35 adalah peralatan yang memiliki kontribusi arus hubung singkat terbesar ketika terjadi gangguan pada switchgear Station #1A.

Dengan dipasangnya SISFCL dapat mengurangi arus hubung singkat yang terjadi di Station #1A dari 46.098 kA peak menjadi 37.233 kA peak, sehingga peralatan kembali terjaga aman. Dengan adanya SISFCL maka koordinasi proteksi pun harus dilakukan ulang dikarenakan arus hubung singkat yang berkurang. Dengan kondisi koordinasi yang belum cukup baik sebelumnya, maka koordinasi proteksi pun dilakukan. Pada kondisi eksisting yang tidak mengaktifkan *instantaneous pick up* dan *time delay*, maka setelah koordinasi diaktifkan dengan pemilihan *grading time* antara 0,2 sampai 0,3 detik.

5.2 Saran

Dari hasil akhir yang telah dilakukan pada studi tugas akhir ini, beberapa saran yang bisa menjadi pertimbangan untuk kedepannya adalah :

1. Dengan bertambahnya kebutuhan listrik sehingga perlu adanya interkoneksi, maka pemakaian SISFCL menjadi salah satu pilihan untuk mengamankan peralatan dari arus hubung singkat
2. Perlu adanya pergantian nilai setting rele pengaman dikarenakan penyetelan rele yang kurang tepat, dengan perhitungan manual sesuai dengan jenis dan plot koordinasi kurva arus waktu.
3. Pada *setting* rele pengaman yang didapat, bisa dijadikan referensi dalam melakukan setting rele pengaman di PT. VICO Indinesia.

4. Pemilihan *grading time* pada range 0,2-0,3 detik yang dianggap paling sesuai dikarenakan rele yang digunakan adalah rele digital.