

# Analisis Implementasi *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* pada Jaringan Distribusi PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

Muhammad Nur Fattah, Margo Pujiantara, Heri Suryoatmojo

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail*: margo@ee.its.ac.id, suryomgt@ee.its.ac.id

**Abstrak** - Pada studi ini akan dilakukan analisis hubung singkat pada sistem distribusi PT. PERTAMINA RU V. Analisis hubung singkat dilakukan pada bus utama PT. PERTAMINA RU V dengan rating 6,6 kV dan melihat pada bus mana yang tidak mampu menahan besarnya arus gangguan karena adanya retrofit generator STG I-4 yang terhubung pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA RU V. Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa peak pada bus 2HT dan 3HT, rating bracing peak pada bus sebesar 78,75 kA tidak mampu menahan arus gangguan sebesar 84,72 kA. Agar tidak terjadi kerusakan pada bus tersebut, maka diperlukan sebuah device pembatas arus gangguan yaitu *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL). SISFCL dipasang pada satu incoming yang terhubung ke bus 2HT dimana pada incoming ini menyumbang arus kontribusi. Setelah dipasang SISFCL, nilai arus gangguan pada bus 2HT dan 3HT berkurang dari 84,72 kA menjadi 73,12 kA. Arus gangguan pada incoming yang dipasang SISFCL juga akan berkurang sehingga setting koordinasi proteksi untuk rele arus lebih juga akan berubah untuk itu diperlukan setting ulang pada beberapa rele. Setting ulang rele ditunjukkan pada kurva TCC (*Time Current Curve*).

**Kata Kunci**—arus hubung singkat, koordinasi proteksi, kurva *time current characteristic*, rele arus lebih, SISFCL.

## I. PENDAHULUAN

PT. PERTAMINA RU (Refinery Unit) V Balikpapan merupakan salah satu unit dari sektor usaha hilir yaitu pengolahan minyak yang dimiliki oleh PT. PERTAMINA (Persero). PT. PERTAMINA RU V berupaya untuk merevitalisasi dan meningkatkan kapasitas 6 unit kilang pengolahan minyak dalam proyek *refinery development master plan* Kilang Balikpapan, maka dilakukan retrofit di satu unit pembangkit *steam turbine generator* (STG I-4) sebesar 1x9 MW. Penambahan daya listrik pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA RU V agar kontinuitas pelayanan listrik dapat terjaga. Penambahan daya listrik yang dilakukan yaitu dengan melakukan retrofit di salah satu unit pembangkit *steam turbine generator* (STG I-4) sebesar 9 MW yang terhubung pada sistem. Tetapi dengan banyaknya generator pada sistem dan juga beban yang terpasang, memberikan dampak membuat kenaikan level arus gangguan yang semakin tinggi gangguan dapat merusak peralatan.

Salah satu jenis gangguan dalam sistem tenaga listrik yaitu gangguan hubung singkat. Gangguan ini sering terjadi pada sistem tenaga listrik dan menyebabkan rusaknya peralatan akibat nilai arus gangguan yang diakibatkan sangat

tinggi. Agar arus gangguan tidak sampai menyebabkan penggantian peralatan pada sistem, maka arus gangguan hubung singkat harus diminimalisir sehingga nilainya dibawah dari level kemampuan peralatan yang ada dengan cara untuk memasang *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL) pada sistem. Arus gangguan akan direduksi dengan impedansi dari inti SISFCL sehingga tidak akan merusak peralatan. Pemasangan SISFCL akan mempengaruhi koordinasi proteksi pada rele arus lebih, sehingga perlu dilakukan koordinasi ulang agar bisa mengetahui apakah sistem pengamanan akan bekerja dengan baik atau tidak.

## II. SISTEM PENGAMAN DAN SATURATED IRON CORE SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER (SISFCL)

### A. Gangguan Hubung Singkat

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan – gangguan yang menyebabkan terganggunya pelayanan tenaga listrik ke konsumen. Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal atau arus yang mengalir dari satu konduktor ke *ground* atau ke konduktor lainnya karena hubungan abnormal (termasuk arching) diantara keduanya. Beberapa penyebab gangguan pada sistem tenaga listrik yaitu : Adanya hewan dalam peralatan, *overheating* pada peralatan, tegangan Surja dan faktor alam lainnya serta serta kerusakan isolasi karena usia dan lain sebagainya. Sifat gangguan ada yang sementara dan permanen. Gangguan hubung singkat diantaranya yaitu : hubung singkat 3 fasa, hubung singkat dua fasa, hubung singkat satu fasa ke tanah, dan hubung singkat dua fasa ke tanah [1].

### B. Akibat gangguan hubung singkat

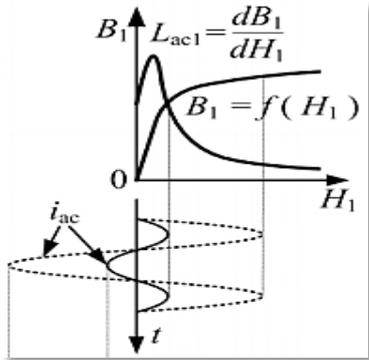
Akibat-akibat yang ditimbulkan dengan adanya gangguan hubung singkat tersebut antara lain :

- Rusaknya peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus-arus yang besar, arus tak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
- Berkurangnya stabilitas daya sistem tersebut.
- Terhentinya kontinuitas pelayanan listrik ke beban.

C. Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL)

SISFCL merupakan sebuah alat pengaman pada sistem distribusi tenaga listrik. SISFCL diciptakan karena kebutuhan akan energi listrik dengan penambahan daya tetapi peralatan seperti *switchgear* dan CB kapasitasnya tetap sehingga jika terjadi arus hubung singkat maka akan menyebabkan arus melebihi dari rating peralatan sehingga peralatan dapat terbakar.

SISFCL pada saat keadaan normal, *switch* pada rangkaian DC dalam keadaan *close* sehingga arus DC mengalir pada kumparan DC yang mengakibatkan kedua inti besi mengalami saturasi dan menjadikan medan (H) besar, serta impedansi menjadi kecil seperti impedansi udara. Saat gangguan hubung singkat terdeteksi dalam waktu 1 mili detik, rangkaian kontrol akan mengirim sinyal ke *switch* kecepatan tinggi dan *switch* rangkaian DC akan terbuka dan mengakibatkan inti besi keluar dari kondisi saturasi dan mengecil. Energi magnetik atau kuat medan (H) yang tersimpan dalam inti selama saturasi lalu dilepaskan melalui rangkaian pelepasan energi sehingga meningkatkan impedansi dari kumparan AC. Meningkatnya impedansi akan membatasi arus hubung singkat dalam waktu 5 mili detik.



Gambar 1. Kurva karakteristik pembatas arus pada aktif SISFCL [2]

Dari gambar diatas didapatkan suatu persamaan yaitu:

$$L = \frac{dB}{dH} \tag{1}$$

nilai  $Z_{SFCL}$ , sehingga didapatkan persamaan

$$Z_{sfcl} = \frac{V_{bus}}{\sqrt{3}} \left[ \frac{1}{I_{sc\ desire}} - \frac{1}{I_{sc\ system}} \right] \tag{2}$$

Dimana :

- $V_{bus}$  = rating tegangan bus SISFCL dipasang (V)
- $I_{sc\ desire}$  = nilai arus kontribusi *resetting* yang diinginkan yang lewat pada SISFCL (A)
- $I_{sc\ system}$  = nilai arus kontribusi *existing* yang lewat di saluran yang akan dipasang SISFCL (A)
- $Z_{SFCL}$  = nilai impedansi CLR yang diinginkan ( $\Omega$ )
- $Z_{desire}$  = nilai impedansi total (CLR + *existing*) ( $\Omega$ )
- $Z_{system}$  = nilai impedansi *existing* ( $\Omega$ )

Besarnya nilai impedansi dipengaruhi oleh perubahan kerapatan flux (B) dan perubahan kerapatan kuat medan (H). Setelah gangguan hilang, *switch* rangkaian DC akan kembali *close* dan arus DC akan mengalir kembali pada kumparan DC sehingga inti besi kembali saturasi dan menyebabkan impedansi menjadi kecil. Waktu *recovery* atau waktu dari

gangguan ke normal kembali dibutuhkan waktu beberapa ratus mili detik, atau sekitar 800 mili detik [3,4].

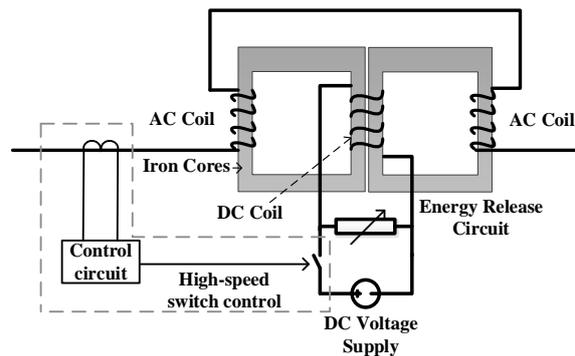
D. Tujuan penggunaan SISFCL

Tujuan implementasi SISFCL pada jaring distribusi PT. PERTAMINA RU V antara lain:

- Mereduksi biaya pembuatan atau pembelian peralatan seperti busbar, cb, dan lainnya.
- Mengatasi masalah arus hubung singkat pada *switchgear*.
- Puncak arus hubung singkat tidak akan pernah terjadi.
- Arus hubung singkat akan tereduksi pada saat kenaikan pertama.

E. Skematik Rangkaian SISFCL

Berikut adalah skematik rangkaian aktif SISFCL :



Gambar 2. Skematik rangkaian aktif SISFCL.

Keuntungan lain dari penggunaan SISFCL dibandingkan dengan *air – core* reaktor pembatas arus dan trafo tradisional yaitu : dari segi struktur dan fungsi, pada SISFCL tidak ada celah udara seperti trafo, tetapi fungsi dan penggunaannya seperti *air – core* reaktor pembatas arus. Dalam aplikasi pada *grid* dalam keadaan *steady state* atau keadaan normal, impedansi dalam SISFCL mendekati nol, dan saat ada gangguan maka impedansi SISFCL tinggi, beda dengan *air – core* reaktor yang memberi nilai impedansi tetap pada kondisi normal dan gangguan, sehingga menyebabkan jatuh tegangan dan rugi daya lebih besar.

F. Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (Invers Time)

Dimana rele jenis ini mempunyai karakteristik waktu operasi yang berbanding terbalik terhadap arus gangguan. Semakin besar arus gangguan, semakin kecil waktu untuk rele memberikan sinyal agar pemutus tenaga membuka. Untuk pengaturan rele invers mengikuti standar British BS 142-1983 yaitu antara 1,05 – 1,4  $I_{set}$ . Besaran pada rele invers yang lain yaitu menghitung nilai *time dial*. Dalam PT. PERTAMINA RU V digunakan rele salah satunya ALSTOM P142, dengan rumus t sebagai berikut :

$$t = \left[ \frac{A}{(I^B - 1)} \right] \times tD \tag{3}$$

Dimana :

- t = waktu operasi
- tD = time dial
- A,B = besaran berdasarkan jenis rele
- I =  $\frac{I_f}{I_{set}}$

Beberapa besaran dari rele ALSTOM P142 yang digunakan dalam perhitungan disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 1  
Data Nilai Koefisien rele ALSTOm p142 (IEC curve)

Koefisien	Extremely Inverse	Very Inverse	Inverse
A	80	13,5	0,14
B	2	1	0,02

G. Rele Arus Lebih Seketika (Instantaneous)

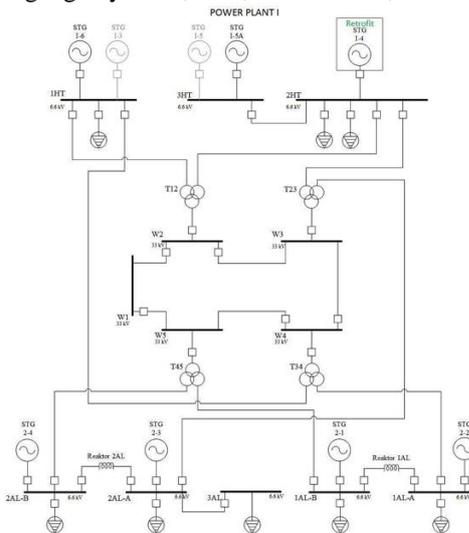
Karakteristik rele jenis ini adalah karakteristik rele yang paling sederhana dimana jangka waktu kerja rele mulai dari pick up sampai rele bekerja sangat singkat tanpa adanya waktu tunda rele. syarat setting arus pada rele arus lebih dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$(1,05 - 1,4) I_{FL} < I_{set} < 0,8 I_{sc \text{ min}} \tag{4}$$

III. SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V

A. Sistem Kelistrikan PT. PERTAMINA RU V

Sistem kelistrikan PT. PERTAMINA RU V memiliki dua wilayah Power Plant yaitu Power Plant I (PP1) di Kilang 1 dan Power Plant II (PP2) di Kilang 2. Berikut adalah single line diagram keseluruhan sistem kelistrikan PT PERTAMINA RU V sesuai pada Gambar 3.2. Pada PP1 terdapat 5 pembangkit STG yaitu STG 1-3, STG 1-4, STG 1-5, STG 1-5A, STG 1-6 sedangkan pada PP2 terdapat 4 pembangkit STG yaitu STG 2-1, STG 2-2, STG 2-3, STG 2-4. Pembangkit-pembangkit inilah yang melayani kebutuhan suplai daya ke beban-bebannya. Namun PT. PERTAMINA RU V berencana untuk meningkatkan kapasitas produksi demi memenuhi target yang akan dicapai. Kondisi existing hingga saat ini hanya dioperasikan enam pembangkit STG yang beroperasi sejumlah 64.8MW. Sehingga PT. PERTAMINA RU V melakukan retrofit pada pembangkit STG I-4 sehingga total pembangkitan setelah STG I-4 di retrofit sebesar 73.8 MW. PT. PERTAMINA RU V memiliki 3 rating tegangan yaitu 6,6 kV, 33 kV dan 0,38 kV.



Gambar 3 Single Line Diagram PT. PERTAMINA RU V Balikpapan

B. Sistem Pembangkitan Tenaga Listrik PT. PERTAMINA RU V

PT. PERTAMINA RU V memiliki sembilan unit generator untuk menyuplai sistem kelistrikannya. Jenis generator untuk pembangkitan pada PT. PERTAMINA RU

V yaitu sembilan generator jenis STG (Steam Turbine Generator). Dalam operasi normal, PT. PERTAMINA RU V mengoperasikan 6 generator. Rincian data generator ditunjukkan pada Tabel 2:

Tabel 2.  
Data pembangkit tenaga listrik

Lokasi	No	ID Unit	Tegangan (kV)	Kapasitas (MW)	Keterangan
Power Plant 1	1	STG 1-3	6,6	7,5	Out
	2	STG 1-4	6,6	9	*Retrofit
	3	STG 1-5	6,6	9	Out
	4	STG 1-5A	6,6	9	In
	5	STG 1-6	6,6	9	In
Total				43,5	
Power Plant 2	1	STG 2-1	6,6	8,4	In
	2	STG 2-2	6,6	12,8	In
	3	STG 2-3	6,6	12,8	In
	4	STG 2-4	6,6	12,8	In
Total				46,8	
Total PP1 + PP2				90,3	73,8

C. Sistem Distribusi Tenaga Listrik PT. PERTAMINA RU V

Jaringan sistem distribusi pada PT. PERTAMINA RU V Balikpapan memiliki 3 konfigurasi yaitu :

- Radial murni
- Selective Secondary Radial
- Ring

D. Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Demand.

Summary dari jumlah total pembangkitan, pembebanan, dan demand dari PT. PERTAMINA RU V Balikpapan dapat dilihat pada Tabel 3:

Tabel 3.  
Data jumlah total pembangkitan, pembebanan, dan Demand pada PT. PERTAMINA RU V Balikpapan.

	MW	MVar	MVA	%PF
Source (swing bus)	28.45	18.94	34.18	83.23 Lag
Source ( non swingbus)	34.00	19.65	39.27	86.58 Lag
Total Demand	62.450	38.60	73.41	85.06 Lag
Total Motor Load	53.372	32.53	62.50	85.39 Lag
Total Static Load	8.819	5.5	10.43	84.51 Lag

IV. SIMULASI DAN ANALISIS PADA PT. PERTAMINA RU V

A. Analisis Kemampuan Peralatan

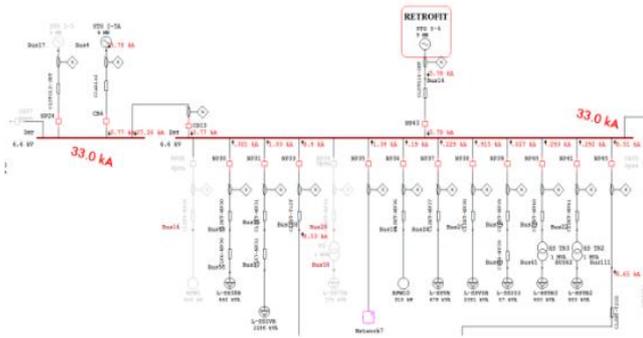
Analisis kemampuan peralatan dengan hubung singkat maksimum 3 fasa 1/2 cycle untuk melihat kondisi bus ketika terjadi gangguan maksimum atau dalam fase sub-transien (momentary) saat kondisi awal atau eksisting. Gangguan diberikan pada bus utama dengan rating tegangan 6,6 kV dan dilihat berapa nilai arus asymmetry peak (nilai arus puncak yang mengandung komponen DC) apakah nilai gangguan tersebut melebihi kapasitas kemampuan bus sesaat dalam menahan arus hubung singkat maksimum atau bracing pada rating bus tersebut.

Tabel 4.  
Data kemampuan bus

No	ID	Rating bus (kA)	Bracing Peak bus (kA)	Asymmetry arus gangguan maksimal 3 fasa 1/2 cycle
1	1HT	6,6	78,75	71,60
2	2HT	6,6	78,75	84,72
3	3HT	6,6	78,75	84,72

Berdasarkan pada Tabel 4 bus 2HT dan 3HT dalam keadaan kritis dikarenakan arus hubung singkat melebihi rating *device capability* atau *bracing peak*. Sehingga dibutuhkan pemasangan SISFCL sebagai pembatas arus.

Selanjutnya adalah menentukan dimana letak SISFCL agar mampu membatasi arus gangguan secara maksimal. Peletakan SISFCL yaitu dipasang pada *incoming* yang melewati arus kontribusi dari generator STG I-4 bus 2HT. Untuk nilai kontribusi pada bus 2HT bisa dilihat dalam Gambar 4 berikut :



Gambar 4. Nilai arus kontribusi pada bus 2HT sebelum pemasangan SISFCL

Arus kontribusi yang akan direduksi ketika terjadi hubung singkat berada pada *incoming* yang menghubungkan STG I-4 dengan bus 2HT. SISFCL diletakkan pada satu *incoming* tersebut agar arus gangguan dapat direduksi dengan baik. Pada *software* simulasi, SISFCL dimodelkan dengan rektor yang terhubung ke *switch*. Untuk mengetahui nilai impedansi dari SISFCL, maka dilakukan perhitungan impedansi untuk SISFCL, yaitu :

$$Z_1 = \frac{V_{bus}}{\sqrt{3}} \left[ \frac{1}{I_{sc\,desire}} - \frac{1}{I_{sc\,system}} \right]$$

$$Z_1 = \frac{6600}{\sqrt{3}} \left[ \frac{1}{1400} - \frac{1}{5770} \right]$$

$$= 2,061 \, \Omega \quad (4)$$

**B. Analisis Kemampuan Bus Setelah Pemasangan SISFCL**

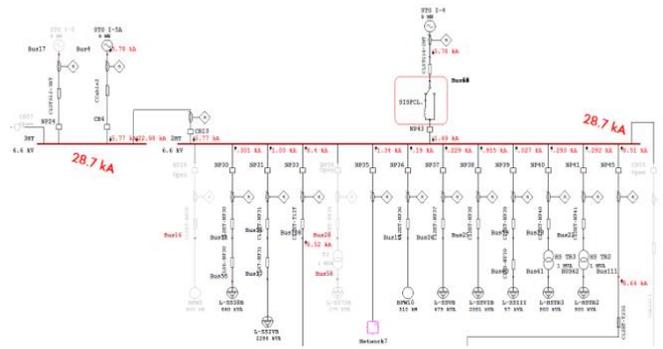
Setelah pemasangan SISFCL pada *feeder* yang telah dibahas diatas, maka selanjutnya yaitu analisis ulang kemampuan bus dalam menahan arus gangguan. Bus 2HT dengan diberi gangguan maksimal 3 fasa 1/2 cycle dan dilihat nilai *asymmetry peak* total bus dan arus kontribusi

Tabel 5.

Data perbandingan kemampuan bus 2HT dengan Isc maksimum 3 fasa pada kondisi 1/2 cycle sebelum dan sesudah dipasang SISFCL

No	ID	Rating bus (kA)	Bracing Peak bus (kA)	Asymmetry arus gangguan maksimal 3 fasa 1/2 cycle	
				Tanpa SISFCL	Dengan SISFCL
1	2HT	6,6	78,75	84,72	73,17
2	3HT	6,6	78,75	85,72	73,17

Untuk nilai arus kontribusi pada Bus 2HT setelah pemasangan SISFCL sebagai berikut :

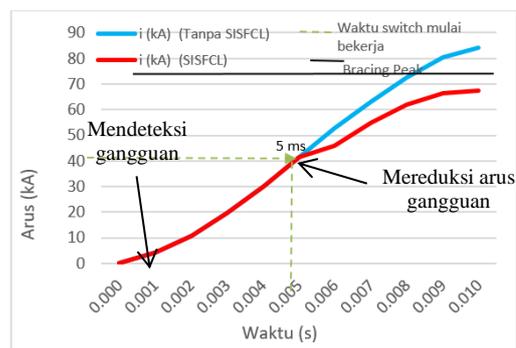


Gambar 5. Nilai arus kontribusi pada bus 2HT sesudah pemasangan SISFCL

Nilai arus kontribusi pada *incoming* yang dipasang SISFCL berkurang. Untuk *incoming* yang terhubung ke bus 2HT arus kontribusi yang lewat SISFCL dari 5,77 kA direduksi menjadi 1,49 kA., bus 2HT dan 3HT statusnya menjadi kondisi aman atau tidak kritis lagi ketika ada hubung singkat.

**C. Cara Kerja Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL)**

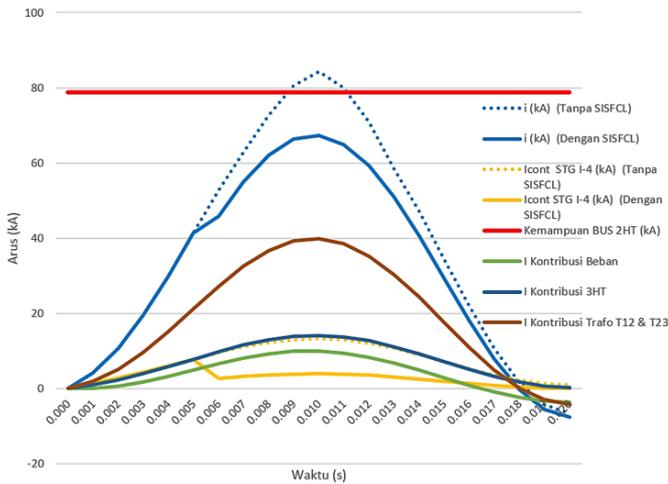
Pada saat kondisi gangguan, arus hubung singkat sebelum pemasangan SISFCL terlihat pada Gambar 6 gelombang biru, sedangkan grafik hubung singkat setelah dipasang SISFCL terlihat pada gelombang berwarna merah. Saat terjadi gangguan pada 1 millisecond, terjadi perbedaan arus pada kondisi normal dan arus saat kondisi gangguan. SISFCL akan mendeteksi adanya perbedaan arus yang mengalir pada *feeder*. Rangkaian kontrol akan memerintahkan *switch* rangkaian DC untuk membuka, sehingga inti besi keluar dari kondisi saturasi dan kuat medan (H) mengecil sedangkan impedansi meningkat pada kumparan AC. Selanjutnya pada saat 5 millisecond arus gangguan yang lewat kumparan AC pada SISFCL akan diredam, dan selebihnya dilewatkan menuju sistem dengan nilai yang lebih kecil dari nilai arus gangguan asalnya. Untuk memodelkan bentuk gelombang arus hubung singkat 3 fasa 1/2 cycle pertama pada bus 2HT digunakan metode transien IEC 61361.



Gambar 4. Analisis Cara Kerja SISFCL saat membatasi arus gangguan

Untuk menurunkan arus hubung singkat agar peralatan aman dari arus yang melebihi kapasitas rating peralatan maka pemasangan SISFCL merupakan cara yang tepat sehingga arus puncak hubung singkat dapat direduksi. Bentuk gelombang 1/2 cycle pertama arus hubung singkat pada bus 2HT dapat dilihat pada Gambar 7.

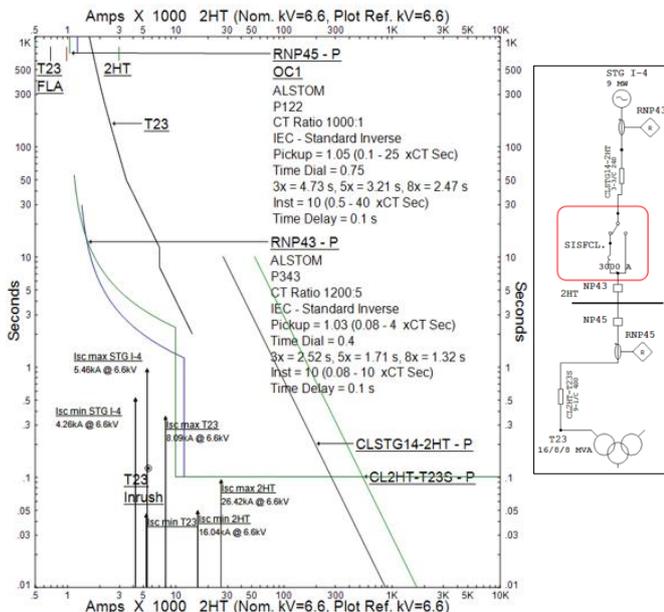
Setelah 5 millisecond, nilai arus gangguan yang direduksi oleh SISFCL turun sampai dibawah batas kemampuan bus 2HT sehingga arus gangguan tidak sampai merusak bus tersebut. SISFCL mencapai kondisi recovery atau kembali ke keadaan normal dengan membutuhkan waktu 800 millisecond atau 0,8 detik. Switch rangkaian DC akan kembali close dan arus DC kembali mengalir pada kumparan DC sehingga nilai kuat medan (H) akan naik dan nilai impedansi turun sampai seperti impedansi udara.



Gambar 7. Analisis SISFCL pada feeder

**D. Koordinasi Proteksi Tipikal 3**

Sistem pengaman pada tipikal 3 terdiri dari rele RNP45 dan rele RNP43. Koordinasi tipikal 3 mulai dari primer trafo T23 sampai generator STG-4. Rele RNP45 melindungi sisi primer trafo T23 dan Rele RNP43 melindungi generator STG I-4 dan pada sisi SISFCL.



Gambar 5. Gambar kurva TCC eksisting tipikal 3

Kondisi eksisting tipikal 3 :

- Sistem koordinasi proteksi rele arus lebih pada tipikal 3 sebelum adanya pemasangan SISFCL sudah baik, namun masih perlu dilakukan koordinasi proteksi ulang pada rele rele di tipikal 3 agar kecepatan dan sensitifitas rele dalam bekerja semakin baik.

Untuk perhitungan *resetting* ulang koordinasi rele proteksi tipikal 3 perhitungannya sebagai berikut :

**☑ Rele RNP45**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P122
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse (IEC)</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1000 / 5
Isc min kontribusi	: 15790 A
Isc max kontribusi	: 23290 A
FLA Lump	: 699.8 A

***Time Overcurrent Pickup***

$$1,05 \times \text{Trafo T23} \leq I_{set} \leq 1,3 \times \text{FLA Trafo T23}$$

$$1,05 \times 699.8 \leq I_{set} \leq 1,3 \times 699.8$$

$$734.79 \leq I_{set} \leq 909.74$$

$$\frac{734.79}{1000} I_n \leq T_{ap} \leq \frac{909.74}{1000} I_n$$

$$0,734 I_n \leq T_{ap} \leq 0,909 I_n$$

Dipilih  $T_{ap} = 0,85 I_n$   
 $I_{set} = 0,85 \times 1000 = 850 A$

***Time Dial***

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{sc \max \text{ Bus 2HT}}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{I_{sc \max \text{ Bus 2HT}}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,3 \cdot \left[\left(\frac{23290}{850}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$T_d = 0,146$

Dipilih  $T_d = 0,15$

***Instantaneous Pickup***

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min \text{ kontribusi}}$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 15790$$

$$I_{set} \leq 12832$$

$$T_{ap} \leq \frac{12832}{1000} I_n$$

$$\leq 12,832 I_n$$

Dipilih  $T_{ap} = 2,32 I_n$  (*Range 0.08In - : 32In, step 0.01 In*)

$$I_{set} = 2,32 \times 1000 = 2320 A$$

***Time delay***

Dipilih *time delay* 0,5 detik

**☑ Rele RNP43**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P343
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse (IEC)</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1200 / 5
Isc min kontribusi	: 15790 A
Isc max kontribusi	: 23290 A
FLA Lump	: 984.1 A

***Time Overcurrent Pickup***

$$1,05 \times \text{FLA STG I-5A} \leq I_{set} \leq 1,3 \times \text{FLA STG I-5A}$$

$$1,05 \times 984.1 \leq I_{set} \leq 1,3 \times 984.1$$

$$1033.305 \leq I_{set} \leq 1279.33$$

$$\frac{1033.305}{1200} I_n \leq Tap \leq \frac{1279.33}{1200} I_n$$

$$0.86 I_n \leq Tap \leq 1.06 I_n$$

Dipilih Tap = 0,9 In  
 $I_{set} = 0,9 \times 1200 = 1080 \text{ A}$

Time Dial

$$t = \left[ \frac{1}{I_{set}} \right]^{0,02} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,7 detik

$$t = \left[ \frac{(I_{sc \text{ max Bus 2HT}})^{0,02}}{I_{set}} - 1 \right] \times T_d$$

$$T_d = \frac{t \cdot \left[ \frac{(I_{sc \text{ max Bus 2HT}})^{0,02}}{I_{set}} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,7 \cdot \left[ \frac{(23290)^{0,02}}{1080} - 1 \right]}{0,14}$$

Td = 0,31

Dipilih Td = 0,31

Instantaneous Pickup

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min kontribusi}}$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 15790$$

$$I_{set} \leq 12832$$

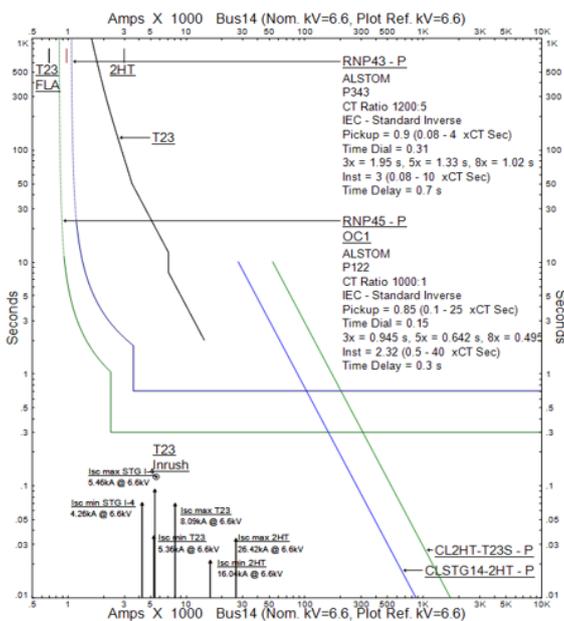
$$Tap \leq \frac{12832}{400} I_n$$

$$\leq 32.08 I_n$$

Dipilih Tap = 3 In (Range 0.08In - : 32In, step 0.01 In)  
 $I_{set} = 3 \times 400 = 1200 \text{ A}$

Time delay

Dipilih time delay 0,7 detik



Gambar 5. Gambar kurva TCC *resetting* tipikal 3

Dari hasil *resetting* rele pengaman pada tipikal 3 diatas, dan dari plot TCC didapatkan analisis sebagai berikut:

- Dengan memperkecil *time dial* maka waktu trip CB juga semakin cepat dan sesuai dengan *grading* waktu yang diinginkan.
- Kecepatan rele akan semakin baik.

Tabel 6.  
Perbandingan setting rele arus lebih sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada koordinasi tipikal 3

ID Rele	CT Ratio	Setting	
		Existing	Resetting
RNP45	1200/5	Pickup	Pickup
		Lowset	Lowset
		Time Dial	Time Dial
		Pickup	Pickup
		Highset	Highset
		Delay	Delay
RNP43	1000/5	Pickup	Pickup
		Lowset	Lowset
		Time Dial	Time Dial
		Pickup	Pickup
		Highset	Highset
		Delay	Delay

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis implementasi SISFCL (*Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter*) pada jaring distribusi PT. PERTAMINA RU V, maka bisa diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Arus Hubung singkat 3 fasa yang melebihi dari kapasitas eksisting *switchgear* terjadi pada bus 2HT dan 3HT, yakni diatas *rating* nilai *bracing peak* sebesar 78.75 kA maka membutuhkan pembatas arus yaitu SISFCL.
2. Pemasangan SISFCL biasanya dipasang pada *feeder* yang melewati arus kontribusi terbesar tetapi untuk pemasangan SISFCL di Kilang I dipasang pada *incoming* dari generator STG I-4 menuju bus 2HT. Pertimbangan SISFCL tidak ditempatkan pada *feeder* yang menuju trafo T23 dikarenakan jika CB NP45 trip atau tidak mendapatkan daya yang disebabkan oleh *load shedding* atau gangguan hubung singkat maka penempatan tersebut kurang ideal sehingga SISFCL akan dipasang pada *incoming* dari generator STG I-4 yang terhubung ke 6,6 kV BUS-2HT.
3. Pemasangan SISFCL dapat mereduksi arus gangguan pada bus 2HT yang semula 84.72 kA *peak* menjadi 73.179 kA *peak*. Sehingga peralatan pada bus 2HT aman.
4. SISFCL bekerja mereduksi arus gangguan memanfaatkan keadaan saturasi inti besi dengan nilai impedansi yang tinggi. Saat normal, nilai impedansi SISFCL kecil dan mendekati nol, kuat medan (H) tinggi. Saat gangguan, kuat medan (H) akan turun dan nilai impedansi akan naik untuk mereduksi arus gangguan. SISFCL mendeteksi adanya gangguan hubung singkat saat 0,1 detik, mulai mereduksi arus gangguan saat 0,5 detik dan kembali ke keadaan *recovery* saat 0.8 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Std 551™ – 2006, “*IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 2, 2006.
- [2] Li Bin, “*Application Studies on the Active SISFCL in Electric Transmission System and its Impact on Line Distance Protection*”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2013.
- [3] Hong Hui, “*DC Magnetization System for a 35 kV/90 MVA Superconducting Saturated Iron-Core Fault Current Limiter*”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 19, No. 3, June 2009.
- [4] Wang Haizhen, “*Saturated Iron Core Superconducting Fault Current Limiter*”, International Conference on Electric Power Equipment (IEEE) – Switching Technology – Xi’an – China, 1st 2011.