

Jurnal Ilmiah

ENERGI & KELISTRIKAN



SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN

INTERFERENSI JARINGAN SENSOR NIKABEL DENGAN JARINGAN WIFI
Hendrianto Husada

PENGARUH POLA OPERASI LOAD LIMIT DAN FREE GOVERNOR TERHADAP KINERJA TURBIN GAS PLTGU MUARAKARANG
Erlina; Oki Aditya

PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM OFFGRID PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) UNTUK TOWER BTS 1500 WATT.
Kukuh Aris Santoso

PROSES LISTRIK DALAM TUBUH MANUSIA
Iswara Pujatomo

OPTIMASI PRODUKSI ENERGI SURYA DARI DESAIN PEMBANGKIT TENAGA SURYA DI ATAP STT-PLN
Retno Aita Diantari

MENGATASI RUGI-RUGI EKSTERNAL DALAM PERENCANAAN TRANSMISI KABEL BAWAH LAUT
Tri Joko Pramono

ANALISA DCS (DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM) PADA PROSES POLIMERISASI
Syarif Hidayat; Irsyadi Akbar Jay

GANGGUAN PADA GARDU DISTRIBUSI TIPE PORTAL
Novi Gusti Pahiyanti; Nurmiati Pasra

RANCANGAN SISTEM KEAMANAN LOKER PADA ALAT PENGISI BATERAI GADGET UNTUK FASILITAS UMUM: E-LOCKER
Tasdik Darmana; Jumiaty; Titi Ratnasari

KAJIAN KELAYAKAN RELE DIFERENSIAL TRANSFORMATOR MICOM P645 MENGGUNAKAN RTDS
Christine Widyastuti

KINERJA RELAY JARAK DI TRANSMISI BERDASARKAN PENGARUH STATCOM
Sigit Sukmajati



KINERJA RELAY JARAK DI TRANSMISI BERDASARKAN PENGARUH STATCOM

Sigit Sukmajati

sigitsukmajati@yahoo.com

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN

ABSTRACT

By using equipment FACTS (flexible AC transmission systems) on the transmission line is an attempt to make the Electric Power System more efficient and reliable is one compensation equipment in FACTS is STATCOM or static synchronous compensator. Controlling the voltage stability on the transmission line can use Static synchronous compensator, so as ultimately increase the power transfer capability on the channel. Voltage and current signals in the relay will be affected by the STATCOM on the transmission line. This influence would have no effect on the performance of the protection system, such as the distance relay. This research will discuss about the transmission line is compensated by STATCOM based on the performance of the distance relay.

Keywords: Relay Distance, STATCOM, Transmission

ABSTRAK

Dengan menggunakan peralatan FACTS (flexible AC transmission system) pada saluran transmisi adalah usaha untuk membuat Sistem Tenaga Listrik lebih efisien dan dapat diandalkan adalah Salah satu peralatan kompensasi pada FACTS adalah STATCOM atau static synchronous compensator. Pengontrolan stabilitas tegangan pada saluran transmisi dapat menggunakan Static synchronous compensator, sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan kemampuan transfer daya pada saluran. Sinyal tegangan dan arus pada relay akan dipengaruhi dengan adanya STATCOM pada saluran transmisi. Pengaruh ini akan memberi efek pada kinerja dari sistem proteksi, seperti relay jarak. Pada penelitian ini akan membahas tentang saluran transmisi yang dikompensasi oleh STATCOM berdasarkan kinerja relay jarak.

Kata Kunci : Relay Jarak, STATCOM, Trasmisi

I. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan ini bidang kelistrikan mengalami pertumbuhan yang sangat pesat seiring dengan pertumbuhan ekonomi masyarakat dunia. Hal ini dikarenakan adanya berbagai kemudahan dan fleksibilitas yang dimiliki oleh tenaga listrik dalam perusahaan dan penggunaannya hingga saat ini tenaga listrik dapat dikatakan sebagai salah satu kebutuhan pokok yang tidak dapat ditinggalkan.

Diperlukannya suatu jaringan tenaga listrik daalam proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit kepada konsumen. Sistem jaringan ini terdiri dari jaringan transmisi (sistem tegangan extra tinggi dan tegangan tinggi) dan jaringan distribusi (sistem tegangan menengah dan tegangan rendah). Dalam sistem transmisi stabilitas tegangan pada jaringan menjadi pokok permasalahan yang utama.

Mengatasi permasalahan didalam stabilitas tegangan saluran transmisi digunakan peralatan kompensasi atau lebih dikenal dengan FACTS (*flexible AC transmission system*). Salah satu peralatan yang termasuk FACTS adalah *static synchronous compensator* (STATCOM). Dalam beberapa decade terakhir STATCOM menjadi populer penggunaan dari elektronika daya sebagai pengontrol daya reaktif. STATCOM secara luas digunakan pada kompensasi shunt di saluran transmisi.

Penggunaan static synchronous compensator adalah untuk mengontrol aliran daya atau meningkatkan kemampuan transfer daya pada saluran transmisi yang panjang. Lokasi terbaik untuk *static synchronous compensator* adalah pada titik tengah dari saluran. Proteksi pada saluran transmisi menggunakan relay jarak, relay ini bekerja secara sederhana dan harus bekerja pada berbagai keadaan. Penggunaan STATCOM di saluran transmisi memberikan dampak pada kinerja relay jarak, sehingga pada akhirnya relay ini tidak dapat bekerja maksimal pada saat gangguan terjadi di saluran.

Dalam penelitian ini penulis mencoba untuk menganalisa kinerja relay jarak yang dikompensasi oleh STATCOM pada saluran transmisi. Dengan demikian dapat diketahui pengaruh STATCOM pada sistem proteksi khususnya relai jarak.

Pada dasarnya tujuan penelitian ini dengan memilih judul "Kinerja Relay Jarak Di Transmisi Berdasarkan Pengaruh STATCOM" adalah untuk mengetahui imbas dari terpasangnya kompensasi STATCOM pada saluran transmisi dan dampaknya bagi kinerja relay jarak.

2. KAJIAN LITERATUR

Relai Jarak

Tenaga listrik merupakan suatu kebutuhan pokok dalam kehidupan manusia, terutama untuk masyarakat yang tinggal di kota-kota besar. Kebutuhan tenaga listrik yang sangat tinggi dapat

dipenuhi dengan suatu sistem interkoneksi jaringan daya secara berkesinambungan seperti sistem interkoneksi Jawa-Bali. Hal ini berdampak pada sistem interkoneksi yang semakin rumit, sehingga diperlukan suatu sistem proteksi yang dapat diandalkan untuk mendukung kestabilan sistem tersebut.

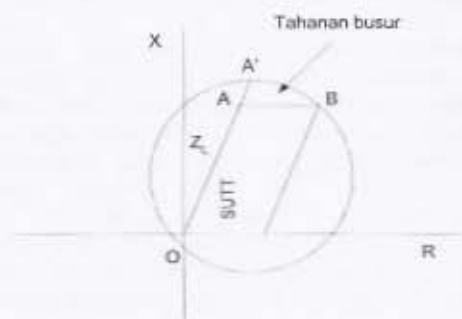
Untuk mencapai tujuan tersebut, peralatan proteksi harus beroperasi dengan kecepatan yang tinggi dan dapat menyeleksi gangguan yang terjadi. Pada suatu sistem transmisi proteksi yang umumnya digunakan adalah relai

Hal – hal Yang Menimbulkan Kesalahan Operasi Relai Jarak

1. Tahanan busur

Hubung singkat pada saluran transmisi bukan merupakan hubung singkat langsung antar penghantar atau penghantar dengan tanah, tetapi melalui tahanan. Tahanan untuk sistem transmisi tegangan tinggi umumnya terdiri dari tahanan busur, dan untuk gangguan satu fasa ke tanah ditambah dengan tahanan pentanahan. Kedua macam tahanan tersebut pengaruhnya sama terhadap relai jarak, pada bab ini hanya membahas tentang masalah tahanan busur.

Tahanan busur listrik yang terjadi di titik gangguan mempunyai kesalahan (*error*) terhadap kerja elemen pengukur dari relai jarak. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar 3. 3. Apabila tidak ada tahanan busur api maka daerah proteksi relai mencapai titik A_1 , tapi karena adanya tahanan busur dengan tahanan R sebesar AB maka daerah proteksi relai menjadi lebih pendek yaitu hanya sampai titik A.

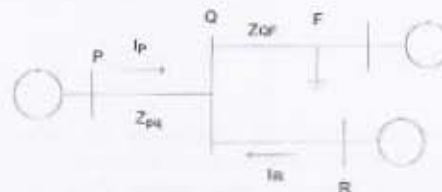


Gambar 1. Pengaruh tahanan busur

2. Pengaruh Infeed

Infeed dalam masalah ini ialah adanya pengaruh dari penambahan atau pengurangan arus yang menuju titik gangguan terhadap arus yang melalui relai yang ditinjau. Penambahan arus ini pada dasarnya karena adanya pembangkit atau adanya perubahan saluran transmisi dari saluran ganda ke tunggal atau sebaliknya. Karena adanya infeed ini impedansi yang dilihat relai menjadi lebih besar (letak gangguan seolah-olah menjadi lebih jauh) atau impedansi menjadi lebih kecil (letak gangguan menjadi lebih dekat). Dengan demikian jangkauan relai menjadi jangkauan kurang (*under-reach*) atau jangkauan lebih (*over-reach*).

Pada waktu mengadakan penyetelan perlu ditinjau pengaruh *infeed* ini, terutama pada daerah batas, untuk menentukan apakah jangkauan relai menjangkau seperti yang dikehendaki dan masih selektif. Pengaruh *infeed* digambarkan dalam gambar 3.5.



Gambar 2. contoh pengaruh infeed

Impedansi ri relai jarak pada bus P adalah

$$Z_p = \frac{V_p}{I_p}$$

Tegangan bus P untuk gangguan F adalah :

$$V_p = Z_{PQ} I_p + Z_{PQ} (I_p + I_R)$$

Impedansi yang dirasakan oleh relai adalah :

$$Z_p = \frac{V_p}{I_p} = Z_{PQ} + Z_{PQ} \left(1 + \frac{I_R}{I_p} \right)$$

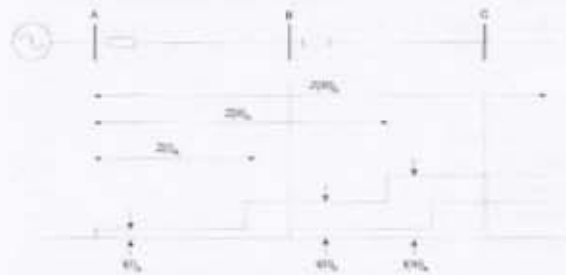
Gangguan F terlihat lebih kecil dari sebenarnya. Pada dua saluran terminal tidak terlalu penting. Pada tiga saluran terminal, bagaimanapun pengaruh *infeed* sangat perlu dipertimbangkan untuk memastikan saluran yang dilindungi dapat dijagkau seluruhnya pada berbagai kondisi.

Kinerja Relai Jarak Pada Saluran Transmisi

Aplikasi dari relai jarak adalah untuk melindungi saluran transmisi yang umumnya terdiri dari tiga zona, karena baik relai maupun trafo arus ataupun trafo tegangan mempunyai kesalahan yang bisa positif maupun negatif, maka jangkauannya bisa lebih jauh atau bisa lebih pendek dari yang seharusnya.

Jika diasumsikan jangkauannya mempunyai kesalahan $\pm 15\%$, maka daerah kerjanya dibuat 85% dari saluran yang diamankan. Maksudnya supaya tidak mungkin menjangkau sampai ke seksi berikutnya. Sisanya 15% di ujung akhir saluran, diamankan oleh relai tingkat kedua dengan *setting* yang lebih besar.

Gambar berikut memperlihatkan daerah kerja relai jarak pada saluran transmisi.



Gambar 3. Daerah Kerja Relai Jarak
Secara umum kaidah penyetelan relai jarak tiga tingkat adalah sebagai berikut

- $Z_{zone\ 1\ (A)} = 0,85 Z_{AB}$
- $Z_{zone\ 2\ (A)\ min} = 1,15 Z_{AB}$
 $Z_{zone\ 2\ (A)\ max} = 0,85 (Z_{AB} + 0,85 Z_{BC})$
 $Z_{zone\ 2\ min} \leq Z_{zone\ 2} \leq Z_{zone\ 2\ max}$
- $Z_{zone\ 3\ (A)\ min} = 1,15 (Z_{AB} + Z_{BC})$
 $Z_{zone\ 3\ (A)\ max} = 0,85 (Z_{AB} + 0,85 (Z_{BC} + 0,85 Z_{CD}))$
 $Z_{zone\ 3\ min} \leq Z_{zone\ 3} \leq Z_{zone\ 3\ max}$

Berdasarkan Syukriyadin, Muntasir, dan Syahriza Pengaruh Arus Infeed terhadap Kinerja Rele Jarak menghasilkan arus *infeed* masuk ke sistem transmisi, arus *infeed* ini akan membuat impedansi yang dilihat oleh rele seolah-olah menjadi lebih besar atau menjadi lebih kecil. Sehingga dalam men-setting rele jarak harus dipertimbangkan pengaruh dari arus *infeed* ini. Hal ini akan menyebabkan pendeteksian lokasi gangguan menjadi salah. Hasil simulasi memperlihatkan arus *infeed* ini mengakibatkan rele jarak di Gardu Induk Banda Aceh bekerja tidak optimal, untuk mengkompensasi arus *infeed* ini dalam penyetelan rele jarak harus memasukkan faktor rele jarak sebesar 1,130.

Sedangkan berdasarkan Cristof Naek Halomoan Tobing "Relai Jarak Sebagai Proteksi Saluran Transmisi" bahwa koordinasi rele jarak selama ini berdasarkan parameter saluran transmisi dengan kompensasi perkiraan besarnya gangguan yang dihitung secara *off-line*. Tetapi dengan keadaan sistem yang berubah-ubah yang mengakibatkan parameter saluran transmisi juga berubah serta adanya gangguan yang tidak bisa diperkirakan besarnya, maka *setting rele* yang ada bisa menjadi tidak selektif. Oleh karena itu diperlukan kordinasi rele yang lebih baik.

Dengan hal tersebut peneliti mencoba untuk mendapatkan cara yang lebih baik untuk pengamanan transmisi dengan menggunakan rele jarak yang di kompensasi dengan STATCOM.

3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang dipakai oleh peneliti sebagai berikut:

1. Mencari Data Transmisi Grati – Piton
2. Mencari Data Generator dan Data Trafo
3. Melakukan perhitungan nilai setting dari rele jarak pada saluran transmisi sistem 500 Kv.
4. Melakukan perhitungan besarnya arus hubung singkat ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah.
5. Memperhitungkan gangguan pada 60% saluran transmisi Grati – Piton.
6. Memperhitungkan gangguan pada 70% saluran transmisi Grati – Piton.
7. Memperhitungkan gangguan pada 80% saluran transmisi Grati – Piton.
8. Memperhitungkan gangguan pada 90% saluran transmisi Grati – Piton

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian ini dilakukan perhitungan nilai setting dari rele jarak pada saluran transmisi sistem 500 Kv dan perhitungan besarnya arus hubung singkat ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah dengan menggunakan matlab untuk

mengetahui besar arus gangguan yang mengalir pada rele jarak.

Untuk mengetahui besarnya arus reaktif (arus shunt) yang dikompensasi oleh STATCOM pada saluran transmisi, maka penulis melakukan simulasi menggunakan simulink pada matlab dan setelah itu melakukan perhitungan impedansi rele jarak sesuai persamaan 15 pada bab III, yaitu sebagai berikut :

$$Z = nZ_1 + \frac{I_{sh}}{I_{relai}} (n - 0,5) Z_1$$

Sistem transmisi yang digunakan pada simulasi ini adalah sistem transmisi 500 Kv antara Grati – Piton. Sesuai dengan gambar 4.1, yaitu sebagai berikut :



Gambar 4. Saluran transmisi Grati – Piton

Data Saluran Trasmisi 500 kV Grati - Piton

Data transmisi

- Tipe dan ukuran penghantar : ACSR-Gannet 4X392.8mm
- Panjang saluran : 88.363 km
- Impedansi saluran urutan positif : $(2.217911 + j24.81233) \Omega$
- Impedansi saluran urutan nol : $(15.46352 + j74.40164) \Omega$
- Ratio trafo tegangan (PT) : 500 / 0,1
- Ratio trafo arus (CT) : 2000 / 1

Data generator dan trafo

- Generator 150 MVA
 $S_{GB} = 150\ MVA$ $X'd = 0,3 \Omega$
 $V_{GB} = 10,5\ KV$ $X''d = 0,183 \Omega$
- Trafo 150 MVA
 $S_{TB} = 150\ MVA$ $X_{TB} = 0,12$
 $V_{GB} = 10,5\ KV / 500\ KV$
- Generator 473 MVA
 $S_{GA} = 473\ MVA$ $X'd = 0,3 \Omega$
 $V_{GA} = 18\ KV$ $X''d = 0,275 \Omega$
- Trafo 473 MVA
 $S_{TB} = 473\ MVA$ $X_{TB} = 0,12$
 $V_{GB} = 18\ KV / 500\ KV$

PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT SATU FASA KE TANAH

Untuk menghitung gangguan hubung singkat pada sistem transmisi 500 Kv Piton - Grati maka diperlukan beberapa parameter, antara lain impedansi jaringan transmisi Piton - Grati, Impedansi generator dan impedansi transformator PLTU Paiton dan PLTGU Grati. semua parameter tersebut diubah menjadi satuan pu.

Berikut ini adalah perhitungan arus hubung singkat satu fasa ketanah. Pada gangguan ini diasumsikan nilai impedansi gangguan $Z_f = 0$ dan gangguan terjadi pada fasa a.

Untuk menghitung besar arus gangguan yang mengalir pada relai jarak, maka penulis menggunakan perhitungan dengan menggunakan matlab.

Besaran dasar (perhitungan per unit)

$$MVA_{base} = 2500 \text{ MVA} \quad KV_{base} = 500 \text{ KV}$$

$$Z_{base} = \frac{KV_{base}^2}{MVA_{base}} = \frac{500^2}{2500} = 100 \text{ ohm}$$

$$I_{base} = \frac{MVA_{base} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot KV_{base}}$$

$$I_{base} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 500} = 2,89 \text{ kA}$$

$$Z(pu)_n = Z_0(pu) \left(\frac{KV_{bo}}{KV_{bn}} \right)^2 \left(\frac{MVA_{bn}}{MVA_{bo}} \right)$$

Dimana :

- Z_n = impedansi (pu) dengan base baru
- Z_0 = impedansi (pu) dengan base lama
- KV_{bn} = tegangan dasar (KV) baru
- KV_{bo} = tegangan dasar (KV) lama
- MVA_{bn} = daya dasar (MVA) lama
- MVA_{bo} = daya dasar (MVA) baru

Nilai impedansi urutan positif dan negatif (baru) untuk generator PLTGU Grati

$$Z_n(pu) = 0,3 \left(\frac{10,5}{500} \right)^2 \left(\frac{2500}{150} \right) = 0,002205 \text{ pu}$$

Nilai impedansi urutan nol (baru) untuk generator PLTGU Grati

$$Z_n(pu) = 0,183 \left(\frac{10,5}{500} \right)^2 \left(\frac{2500}{150} \right) = 0,00134505$$

pu

Nilai impedansi urutan positif dan negatif (baru) untuk generator PLTGU Piton

$$Z_n(pu) = 0,3 \left(\frac{18}{500} \right)^2 \left(\frac{2500}{473} \right) = 0,002055 \text{ pu}$$

Nilai impedansi urutan nol (baru) untuk generator PLTGU Piton

$$Z_n(pu) = 0,275 \left(\frac{18}{500} \right)^2 \left(\frac{2500}{473} \right) = 0,0018837 \text{ pu}$$

Nilai impedansi urutan (baru) untuk transformator PLTGU Grati

$$Z_n(pu) = 0,12 \left(\frac{2500}{150} \right) = 1,986754967 \text{ pu}$$

Nilai impedansi urutan (baru) untuk transformator PLTU Piton

$$Z_n(pu) = 0,12 \left(\frac{2500}{473} \right) = 0,634249471 \text{ pu}$$

Nilai impedansi urutan positif (baru) untuk saluran transmisi Grati - Piton

$$Z_{n1}(pu) = \frac{2,217911 + j24,81233}{100} = 0,02217911$$

$$+ j0,2481233 \text{ pu}$$

Nilai impedansi urutan negatif (baru) untuk saluran transmisi Grati - Piton

$$Z_{n2}(pu) = Z_{n1} = 0,02217911 + j0,2481233 \text{ pu}$$

Nilai impedansi urutan nol (baru) untuk saluran transmisi Grati - Piton

$$Z_{n0}(pu) = \frac{15,46352 + j74,40164}{100} = 0,1546352$$

$$+ j0,7440164 \text{ pu}$$

Pada perhitungan arus gangguan hubung singkat ini, penulis mensimulasikan gangguan berada pada 60%, 70%, 80% dan 90% dari saluran transmisi Grati - Piton.

Gangguan pada 60% saluran transmisi Grati - Piton

- Nilai impedansi urutan positif untuk bus gangguan saluran 1-3
 $Z_{n1}(pu) = 60\% \times 0,02217911 + j0,2481233$
 $= 0,0133075 + j0,14887398$
- Nilai impedansi urutan negatif untuk bus gangguan saluran 1-3
 $Z_{n2}(pu) = Z_{n1} = 0,0133075 + j0,14887398$
- Nilai impedansi urutan nol untuk bus gangguan saluran 1-3
 $Z_{n0}(pu) = 60\% \times 0,1546352 + j0,7440164$
 $= 0,09278112 + j0,44640984$
- Nilai impedansi urutan positif untuk bus gangguan saluran 2-3
 $Z_{n1}(pu) = 40\% \times 0,02217911 + j0,2481233$
 $= 0,008871644 + j0,0924932$
- Nilai impedansi urutan negatif untuk bus gangguan saluran 2-3
 $Z_{n2}(pu) = Z_{n1} = 0,008871644 + j0,0924932$
- Nilai impedansi urutan nol untuk bus gangguan saluran 2-3
 $Z_{n0}(pu) = 40\% \times 0,1546352 + j0,7440164$
 $= 0,06185408 + j0,29760656$

Gangguan pada 70% saluran transmisi Grati - Piton

- Nilai impedansi urutan positif untuk bus gangguan saluran 1-3
 $Z_{n1}(pu) = 70\% \times 0,02217911 + j0,2481233$
 $= 0,0155254 + j0,173686$
- Nilai impedansi urutan negatif untuk bus gangguan saluran 1-3
 $Z_{n2}(pu) = Z_{n1} = 0,0155254 + j0,173686$
- Nilai impedansi urutan nol untuk bus gangguan saluran 1-3
 $Z_{n0}(pu) = 70\% \times 0,1546352 + j0,7440164$
 $= 0,1082446 + j0,5208115$
- Nilai impedansi urutan positif untuk bus gangguan saluran 2-3
 $Z_{n1}(pu) = 30\% \times 0,02217911 + j0,2481233$
 $= 0,00653733 + j0,0744369$
- Nilai impedansi urutan negatif untuk bus gangguan saluran 2-3
 $Z_{n2}(pu) = Z_{n1} = 0,00653733 + j0,0744369$

- Nilai impedansi urutan nol untuk bus gangguan saluran 2-3
 $Z_{n0}(\text{pu}) = 30\% \times 0,1546352 + j0,7440164$
 $= 0,046391 + j0,223205$

Gangguan pada 80% saluran transmisi Grati - Piton

- Nilai impedansi urutan positif untuk bus gangguan saluran 1-3
 $Z_{n1}(\text{pu}) = 80\% \times 0,02217911 + j0,2481233$
 $= 0,0177433 + j0,198499$
- Nilai impedansi urutan negatif untuk bus gangguan saluran 1-3
 $Z_{n2}(\text{pu}) = Z_{n1} = 0,0177433 + j0,198499$
- Nilai impedansi urutan nol untuk bus gangguan saluran 1-3
 $Z_{n0}(\text{pu}) = 80\% \times 0,1546352 + j0,7440164$
 $= 0,1237082 + j0,59521312$
- Nilai impedansi urutan positif untuk bus gangguan saluran 2-3
 $Z_{n1}(\text{pu}) = 20\% \times 0,02217911 + j0,2481233$
 $= 0,00435822 + j0,0496247$
- Nilai impedansi urutan negatif untuk bus gangguan saluran 2-3
 $Z_{n2}(\text{pu}) = Z_{n1} = 0,00435822 + j0,0496247$
- Nilai impedansi urutan nol untuk bus gangguan saluran 2-3
 $Z_{n0}(\text{pu}) = 20\% \times 0,1546352 + j0,7440164$
 $= 0,03092704 + j0,14880328$

Gangguan pada 90% saluran transmisi Grati - Piton

- Nilai impedansi urutan positif untuk bus gangguan saluran 1-3
 $Z_{n1}(\text{pu}) = 90\% \times 0,02217911 + j0,2481233$
 $= 0,019961199 + j0,22331097$
- Nilai impedansi urutan negatif untuk bus gangguan saluran 1-3
 $Z_{n2}(\text{pu}) = Z_{n1} = 0,019961199 + j0,22331097$
- Nilai impedansi urutan nol untuk bus gangguan saluran 1-3
 $Z_{n0}(\text{pu}) = 90\% \times 0,1546352 + j0,7440164$
 $= 0,13917168 + j0,66961476$
- Nilai impedansi urutan positif untuk bus gangguan saluran 2-3
 $Z_{n1}(\text{pu}) = 10\% \times 0,02217911 + j0,2481233$
 $= 0,00217911 + j0,02481233$
- Nilai impedansi urutan negatif untuk bus gangguan saluran 2-3
 $Z_{n2}(\text{pu}) = Z_{n1} = 0,00217911 + j0,02481233$
- Nilai impedansi urutan nol untuk bus gangguan saluran 2-3
 $Z_{n0}(\text{pu}) = 10\% \times 0,1546352 + j0,7440164$
 $= 0,01546352 + j0,07440164$

Dari hasil perhitungan arus hubung singkat dengan menggunakan matlab, maka didapatkan nilai kontribusi arus gangguan yang mengalir pada relai jarak.

Gangguan pada 60% saluran transmisi Grati - Piton

Arus gangguan yang mengalir pada relai jarak = 3,8958 pu
 Nilai arus sebenarnya = 3,8958 pu x 2,89 KA = 11,258862 KA

Gangguan pada 70% saluran transmisi Grati - Piton

Arus gangguan yang mengalir pada relai jarak = 3,3874 pu
 Nilai arus sebenarnya = 3,3874 pu x 2,89 KA = 9,78958 KA

Gangguan pada 80% saluran transmisi Grati - Piton

Arus gangguan yang mengalir pada relai jarak = 2,9769 pu
 nilai arus sebenarnya = 2,9769 pu x 2,89 KA = 8,603241 KA

Gangguan pada 90% saluran transmisi Grati - Piton

Arus gangguan yang mengalir pada relai jarak = 2,6728 pu
 Nilai arus sebenarnya = 2,6728 pu x 2,89 KA = 7,724392 KA

Besarnya Gangguan Setelah Adanya Pengaruh STATCOM.

Setelah terpasangnya STATCOM besarnya gangguan dapat dilihat sebagai berikut :

- I_{sh} (pada gangguan 60% saluran transmisi Grati - Piton) = 1,01054 pu
- I_{sh} (pada gangguan 70% saluran transmisi Grati - Piton) = 1,01045 pu
- I_{sh} (pada gangguan 80% saluran transmisi Grati - Piton) = 1,0093 pu
- I_{sh} (pada gangguan 90% saluran transmisi Grati - Piton) = 1,009 pu

Maka perhitungan impedansi relai jarak ketika statcom diletakkan pada saluran adalah :

Gangguan pada 60% saluran transmisi Grati - Piton

$$Z = nZ_1 + \frac{I_{sh}}{I_{-relai}} (n - 0,5) Z_1$$

$$Z = 0,0133075 + j0,14887398 + \frac{1,01054}{3,8958} (0,5) 0,0221791 + j0,2481233$$

$$= 0,013872741 + j0,155310104$$

nilai Z sebenarnya = 0,013872741 + j0,155310104 x Z base
 = 0,013872741 + j0,155310104 x 100 ohm
 = 1,3872741 + j15,5310104

Penambahan impedansi =

$$\frac{(1,3872741 + j15,5310104) - (1,33075 + j14,887398)}{(1,33075 + j14,887398)}$$

x100%
 = 4,33%

maka nilai impedansi sekunder = (1,3872741 + j15,5310104) x $\frac{2000}{1} \times \frac{0,1}{500}$
 = 0,554909658 + j6,212404161

Gangguan pada 70% saluran transmisi Grati - Piton

$$Z = nZ_1 + \frac{I_{sh}}{I_{relai}} (n - 0,5) Z_1$$

$$Z = 0,0155254 + j0,173686 + \frac{1,01045}{3,3874} (0,7-0,5)$$

$$0,0221791 + j0,2481233$$

$$= 0,01684859 + j0,188490868$$

nilai Z sebenarnya = 0,01684859 + j0,188490868 x Z base

$$= 0,01684859 + j0,188490868 \times 100 \text{ ohm}$$

$$= 1,684859 + j18,8490868$$

Penambahan impedansi =

$$\frac{(1,684859 + j18,8490868) - (1,55254 + j17,3686)}{(1,55254 + j17,3686)}$$

$$\times 100\%$$

$$= 8,53\%$$

maka nilai impedansi sekunder = (1,684859 + j

$$18,8490868) \times \frac{2000}{1} \times \frac{0,1}{500}$$

$$= 0,673943606 + j7,539634751$$

Gangguan pada 80% saluran transmisi Grati - Piton

$$Z = nZ_1 + \frac{I_{sh}}{I_{relai}} (n - 0,5) Z_1$$

$$Z = 0,0177433 + j0,198499 + \frac{1,0093}{2,9769} (0,8-0,5)$$

$$0,0221791 + j0,2481233$$

$$= 0,019999358 + j0,223738108$$

nilai Z sebenarnya = 0,019999358 + j0,223738108x Z base

$$= 0,019999358 + j0,223738108 \times 100 \text{ ohm}$$

$$= 1,9999358 + j22,3738108$$

Penambahan impedansi =

$$\frac{(1,9999358 + j22,3738108) - (1,77434 + j19,8499)}{(1,77434 + j19,8499)}$$

$$\times 100\%$$

$$= 12,7\%$$

maka nilai impedansi sekunder = (1,9999358 +

$$j22,3738108) \times \frac{2000}{1} \times \frac{0,1}{500}$$

$$= 0,799974344 + j8,949524336$$

Gangguan pada 90% saluran transmisi Grati - Piton

$$Z = nZ_1 + \frac{I_{sh}}{I_{relai}} (n - 0,5) Z_1$$

$$Z = 0,019961199 + j0,22331097 + \frac{1,009}{2,6728} (0,9-$$

$$0,5) 0,0221791 + j0,2481233$$

$$= 0,0233103 + j0,2607783$$

nilai Z sebenarnya = 0,0233103 + j0,2607783 x Z base

$$= 0,0233103 + j0,2607783 \times 100 \text{ ohm}$$

$$= 2,33103 + j26,07783$$

Penambahan impedansi =

$$\frac{(2,33103 + j26,07783) - (1,9961199 + j22,331097)}{(1,9961199 + j22,331097)}$$

$$\times 100\%$$

$$= 16,7\%$$

maka nilai impedansi sekunder = (0,0233103 +

$$j0,2607783) \times \frac{2000}{1} \times \frac{0,1}{500}$$

$$= 0,932412113 + j10,43113027$$

Dari hasil perhitungan maka dapat dibuat table 1

Tabel 1. Perhitungan impedansi relai jarak

Jarak gangguan	Z (dalam Ω)sebelum statcom digunakan	Z (dalam Ω) setelah statcom digunakan
60%	1,33075 + j14,887398	1,3872741 + j15,5310104
70%	1,55254 + j17,3686	1,684859 + j18,8490868
80%	1,77433 + j19,8499	1,9999358 + j22,3738108
90%	1,9961199 + j22,331097	2,3310302 + j26,0778256

Dari tabel diatas diketahui karena adanya arus *shunt* yang diberikan oleh statcom maka impedansi yang dilihat relai menjadi lebih besar (letak gangguan seolah-olah menjadi lebih jauh).

Besar penambahan impedansi untuk gangguan 60%, 70% masih berada dalam nilai jangkauan zone 1 relai jarak dan pada gangguan 90% masih berada dalam zone 2, tetapi untuk gangguan 80% besar penambahan impedansi relai berada diluar jangkauan zone 1 relai jarak, sehingga gangguan dirasakan berada dalam zone 2, hal ini membuat jangkauan relai menjadi kurang (*under reach*).

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini , peneliti menyimpulkan bahwa :

1. Salah satu peralatan *shunt* FACTS yang memberikan kompensasi daya reaktif pada sistem tenaga listrik yaitu STATCOM.
2. Dengan adanya STATCOM pada saluran transmisi maka mengakibatkan sistem proteksi seperti relai jarak terpengaruh hal ini terjadi karena adanya penambahan nilai impedansi pada relai jarak.
3. Besar penambahan impedansi untuk gangguan 60%, 70% masih berada dalam nilai jangkauan zone 1 relai jarak dan pada gangguan 90% masih berada dalam jangkauan zone 2.
4. Untuk gangguan 80% besar penambahan impedansi relai berada diluar jangkauan zone 1 relai jarak, sehingga gangguan dirasakan berada dalam zone 2, hal ini membuat jangkauan relai menjadi kurang (*under reach*).

DAFTAR PUSTAKA

1. N. G. Hingorani and L. Gyugyi, 1999, Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission systems. New York : Wiley, Nov.
2. Ir Komari, 2003, Proteksi sistem tenaga listrik. Jakarta : PT.PLN (Persero) Jasa pendidikan dan Pelatihan, Desember
3. Hadi , Saadat, 2002, Power system Analysis. New York : McGraw Hill.
4. Rashid, H Muhammad, 1999, Elektronika Daya : Rangkaian, devais dan aplikasinya Jilid 1. Jakarta : PT Prenhallindo.
5. X. Y Zhou, 2005, The Impact of statcom on distance relay. 15th PSCC. Liege 22-26 Agust
6. IEEE Comittee report, 2005, Performance of Distance Relay on Shunt-FACTS Compensated Transmission lines. IEEE Transaction On Power Delivery, vol. 20, No. 3. July
7. Cekmas Cekdin, 2007, Sistem tenaga listrik : contoh soal dan penyelesaiannya menggunakan matlab. Yogyakarta : Penerbit Andi.
8. William D. Stevenson Jr, 1982, Elemen Of Power System Analysis McGraw Hill, New York