

Desain dan Simulasi Switched Filter Compensation Berbasis *Tri Loop Error Driven Weighted Modified Pid Controller* untuk Peningkatan Kualitas Daya Listrik

Moch. Wahyu Jasa Diputra, Vita Lystianingrum Budiharto Putri, Mochamad Ashari
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: ashari@ee.its.ac.id

Abstrak— SFC (*Switched Filter Compensation*) merupakan bagian dari *FACTS devices* yang digunakan untuk meningkatkan kualitas daya listrik pada sistem transmisi yang dipasang pada sisi pengirim daya. SFC terdiri dari sebuah kompensasi seri dan dua kompensasi *shunt*. Pada tugas akhir ini dilakukan desain SFC yang dikontrol dengan menggunakan *tri loop error driven* yang tergabung dengan *weighted modified PID*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan SFC berbasis dua kompensasi seri dan dua kompensasi *shunt* dapat menaikkan tegangan bus generator, perbaikan *power factor* dan mengurangi THD. Pengujian pada sistem menunjukkan bahwa SFC memiliki respon yang baik ketika terjadi gangguan pada sistem.

Kata Kunci— *power factor*, tegangan, THD, SFC, FACTS

I. PENDAHULUAN

PENINGKATAN dalam konsumsi energi listrik selalu diikuti dengan permintaan dalam kualitas, keandalan dan keamanan energi listrik. Namun seiring dengan perkembangan pemakaian energi listrik maka kendala-kendala dalam energi listrik juga semakin kompleks seperti terjadinya turunnya tegangan, tegangan lebih, arus lebih, turunnya *power factor*, harmonisa (THD) dan lain-lain. Salah satu cara adalah dengan menggunakan *FACTS devices*.

FACTS devices pada umumnya digunakan untuk mengontrol transmisi. Sejak pengenalan *FACTS* dan konsep pengaturan daya, peralatan seperti *Static Synchronous Compensator* (Statcom), *Static Var Compensator* (SVC), *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC), dan UPFC telah mengalami pengembangan untuk peningkatan kualitas daya dan keandalan sistem[1]. Untuk mengerti bagaimana hasil peningkatan/perbaikan dari *FACTS devices*, maka pengertian dasar tentang kualitas daya diperlukan[1]. Masalah dalam kualitas daya dijelaskan sebagai variasi pada tegangan, arus atau frekuensi yang dapat menyebabkan kegagalan pada peralatan[1]. Pada sistem kelistrikan modern telah terjadi peningkatan beban non-linier, seperti konverter, transformator, mesin-mesin berputar, *variable speed drive* (VSD), lampu hemat energi (LHE), dll[2]. Karena beban non-linier inilah yang menyebabkan harmonisa.

Salah satu besaran dalam harmonisa adalah *Total Harmonic*

Distortion (THD). Besaran ini didefinisikan sebagai persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya (komponen dapat berupa tegangan atau arus) [3]. Harmonisa dapat mengganggu sistem distribusi listrik karena menyebabkan gelombang arus dan tegangan menjadi cacat dan tidak sinusoidal lagi. Akibatnya pada peralatan adalah meningkatnya rugi tembaga dan rugi arus eddy pada transformator dan mengganggu pengoperasian kontroler pada sistem elektronik[3].

Metode yang ditawarkan untuk meningkatkan kualitas daya sistem adalah SFC (*Switched Filter Compensation*). *FACTS* yang berbasis kompensasi seri dan dua kompensasi paralel ini dikontrol oleh *tri loop error driven* yang tergabung dengan *weighted modified PID*. Penggunaan kompensasi konverter seri dan dua kompensasi *shunt* diharapkan dapat membuat SFC meningkatkan kualitas daya, memperbaiki *power factor*, membatasi tegangan jatuh dan arus hubung singkat pada sistem.

II. SISTEM DENGAN SFC BERBASIS DUA KOMPENSASI SHUNT DAN SEBUAH KOMPENSASI SERI

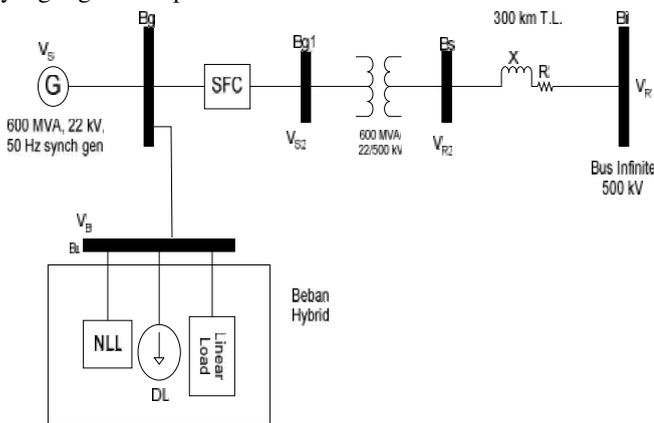
Sistem tenaga listrik yang disimulasikan adalah sebuah pembangkit yang terhubung dengan beban dan infinite bus yang ditunjukkan pada gambar 1. Unit pembangkit yang dipakai adalah sebuah generator sinkron, digunakan untuk menyuplai beban yang berada di daerah pembangkit dan bus infinite. Beban tersebut merupakan perwakilan dari beban-beban yang digunakan untuk mendukung operasi pembangkit tersebut. Dalam penyaluran daya pembangkit ke infinite bus terdapat SFC, trafo dan saluran transmisi sepanjang 300 km.

Generator yang digunakan memiliki tegangan 22 kV dengan frekuensi 50 Hz dan kapasitas 600 MVA, dengan tegangan generator dinaikkan oleh trafo menjadi 500 kV pada sisi saluran transmisi. Saluran transmisi yang digunakan pada sistem memiliki sifat induktif dan resistif. Peletakan SFC berada pada daerah tegangan 22 kV karena beban besar yang berpengaruh pada sistem berada dekat dengan pembangkit tersebut.

Keterangan Gambar 1:

V_S dan V_R : Tegangan sisi kirim dan ujung sisi terima

- V_{S2} : Tegangan pada ujung sisi kirim sebelum trafo transmisi
- V_{R2} : Tegangan pada ujung sisi kirim sebelum saluran transmisi
- V_B : Tegangan pada bus beban
- V_{cap} : Tegangan pada kapasitor DC
- B_g dan B_{g1} : Bus generator dan bus sisi kirim sebelum trafo transmisi
- B_s : Bus sisi kirim sebelum saluran transmisi
- B_i : Bus sisi terima/infinite
- X, R : Induktor dan resistor yang mewakili saluran transmisi
- NLL : Beban non-linear
- DL : Beban dinamis
- SFC : Switched filter compensation, *FACTS devices* yang digunakan pada sistem ini



Gambar 1. Single line diagram Sistem dengan SFC

III. PEMODELAN KOMPONEN SFC BERBASIS DUA KOMPENSASI SHUNT DAN SEBUAH KOMPENSASI SERI

Desain SFC yang diterapkan pada tugas akhir ini adalah dengan menggunakan kompensasi seri berupa kapasitor bank yang dipasang secara seri pada jaringan sistem dan kompensasi shunt yang terdiri dari kapasitor bank dan filter pasif yang terdiri dari kapasitor, resistor dan induktor seperti gambar 2. Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa untuk proses kerja kompensasi shunt dipengaruhi oleh rangkaian saklar yang diatur dengan sinyal p1 dan p2. Sedangkan untuk kompensasi seri tidak dipengaruhi oleh kontroller apapun.

A. Kompensasi Seri

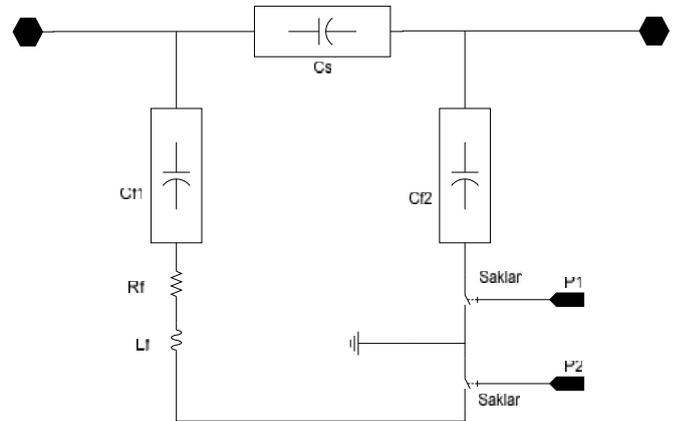
Kompensasi seri ini mempunyai peran untuk mengurangi impedansi transmisi jaringan. Sesuai dengan sifat kapasitor yang kapasitif berlawanan dengan sifat dari jaringan transmisi yang bersifat induktif. Pemasangan Kapasitor seri C_s yang terhubung secara seri dengan jaringan tiga fasa menyebabkan impedansi jaringan transmisi secara keseluruhan berubah sesuai dengan rumus

$$Z = \sqrt{X^2 + (X_L - X_C)^2} \tag{1}$$

Nilai kapasitor yang digunakan sebesar 660 F karena besar beban pada infinite bus sebesar 107 MVA.

B. Kompensasi Shunt 1

Kompensasi shunt 1 atau filter pasif berfungsi untuk menyerap atau mengalirkan arus pada frekuensi tertentu. Seperti terlihat pada gambar 2 dimana filter ini disebut tune arm filter yang terdiri dari resistor, kapasitor, dan induktor. Filter pasif ini hanya dapat mengalirkan orde harmonisa pada frekuensi tertentu. Sehingga satu filter hanya bekerja pada satu frekuensi. Nilai parameter filter tertulis pada tabel 1.



Gambar 2. SFC

Tabel 1 Nilai Parameter Filter pasif

No.	Parameter Filter	Nilai
1	Kapasitor	12,5 F
2	Induktor	22,5 mH
3	Resistor	0,5

Dengan mengetahui nilai kapasitor, induktor dan resistor yang digunakan, maka orde harmonisa yang akan diserap maksimal oleh filter dapat dihitung dengan rumus

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2}$$

Dengan menggunakan rumus 2 maka frekuensi resonansi filter berada pada frekuensi 300 Hz.

C. Kompensasi Shunt 2

Kompensasi shunt yang berupa kapasitor bank terpasang paralel terhadap sistem berfungsi untuk menyuplai daya reaktif terhadap sistem. Seperti terlihat pada gambar 2, diantara kapasitor bank dengan pentanahan terdapat saklar. Saklar tersebut dikontrol oleh sinyal P1 untuk menutup dan membuka.

Dimana nilai Z pada kompensasi shunt hanya dipengaruhi nilai kapasitor, sehingga $Z = X_C$. Dengan nilai kapasitor sebesar 12,5 F

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \tag{3}$$

Untuk menghitung daya reaktif yang dihasilkan oleh kapasitor ini dapat diperoleh dengan mensubstitusikan nilai X_C pada persamaan

$$Q = \frac{V^2}{X_C} \tag{4}$$

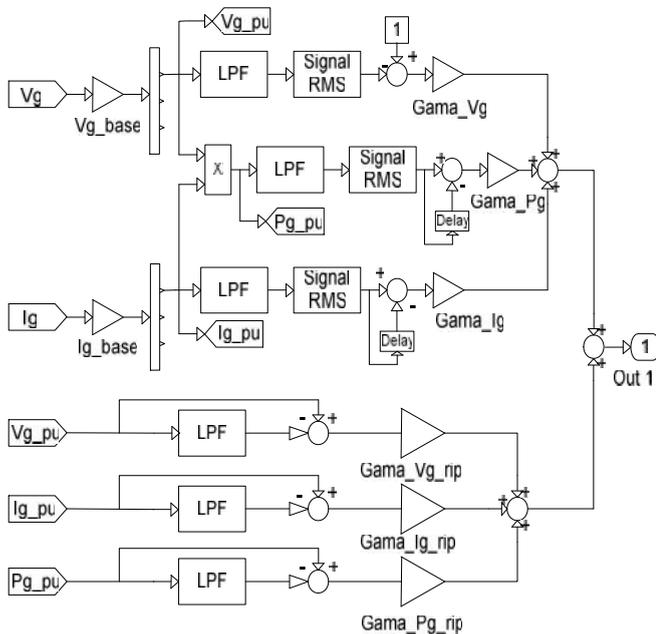
D. Rangkaian Kontrol Kompensasi Shunt

Rangkaian kontrol ini berfungsi untuk mengendalikan saklar pada kompensasi paralel. Sehingga diperoleh pengaturan daya reaktif yang sesuai dengan kebutuhan sistem. Sinyal output p1 dan p2 merupakan sinyal yang dihasilkan

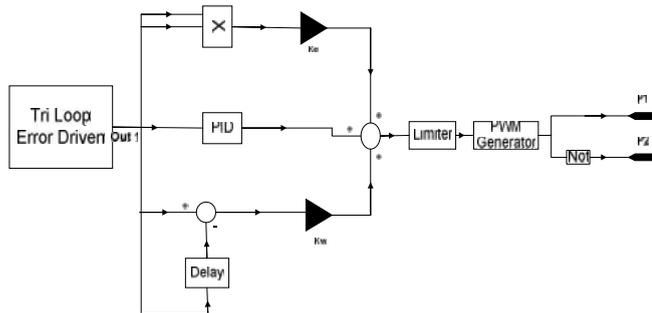
oleh pwm generator yang bersifat komplementer, jika p1 *high* (menutup) maka p2 *low* (membuka)

1) *Tri Loop Error Driven*

Kontroller error ini berfungsi untuk memperkecil error yang berasal dari sinyal pengukuran yang dibandingkan dengan sinyal referensi. Desain kontroller error ini dapat dilihat pada gambar 3 berikut. Pada Gambar tersebut dapat dilihat sinyal input yang diukur Iabc dan Vabc berasal dari bus generator. Sinyal tegangan dan arus yang diukur tersebut akan diambil salah satu fasa misal, fasa a. Ia dan Va yang terukur tersebut akan dijadikan acuan untuk melakukan perhitungan daya (Pa). Untuk memisahkan sinyal fundamental dan harmonisa akan digunakan *Low Pass Filter*. Tiap-tiap loop akan menghasilkan error yang dijumlahkan, menjadi *global error* yang selanjutnya akan diolah oleh kontroller PID.



Gambar 3. Tri loop error driven [1]



Gambar 4. Weighted modified controller[1]

2) *Weighted modified PID*

Kontroller yang digunakan untuk mengolah sinyal error adalah kontroller PID yang telah dimodifikasi. *Modified PID* menggunakan *error sequential activation* yang berada di sekitar PID seperti terlihat pada gambar 4. *Error sequential* ini terdiri 2 fungsi, fungsi pertama merupakan perkalian *cross* antara global error dengan dirinya sendiri. Fungsi yang kedua

merupakan fungsi delay dari dirinya sendiri. Output *Error sequential* ini akan dikalikan dengan gain, selanjutnya akan ditambahkan dengan output PID.

IV. HASIL SIMULASI

A. Nilai Parameter Sistem

Tabel 3 menunjukkan nilai parameter yang digunakan pada simulasi. Nilai rating trafo, beban linier, beban non-linier, resistansi saluran dan induktansi saluran yang digunakan disesuaikan dengan nilai pada referensi [1]. Rating daya generator yang digunakan sebesar 600 MVA dengan frekuensi 50 Hz. Sudut fasa tegangan pada sisi generator mendahului sebesar $5,79^\circ$ sehingga akan terdapat aliran daya aktif dan daya reaktif pada saluran.

TABEL 2
NILAI PARAMETER SISTEM

No.	Parameter Sistem	Nilai
1	Tegangan RMS Fasa-Netral Generator	12,7 \angle 5.79 $^\circ$ kV
2	Tegangan RMS Fasa-Netral Bus Infinite	288,67 \angle 0 $^\circ$ kV
3	Frekuensi Kerja	50 Hz
4	Resistansi Saluran Transmisi	0,01273 /km
5	Induktansi Saluran Transmisi	0,9337 mH/kM
6	Panjang Saluran Transmisi	300 kM
7	Daya Rating Generator	600 MVA
8	Daya Rating Transformator	600 MVA
9	Rating beban Non-Linear	30 MVA
10	Rating beban Linear	30 MVA
11	Rating beban Dinamis	24,1 MVA
12	Bus Infinite	107 MVA

B. Simulasi Sistem Tanpa SFC tanpa beban non-linier

Simulasi sistem tanpa SFC dilakukan dengan parameter tegangan dan frekuensi sesuai dengan nilai yang tertera pada Tabel 2. Beban yang diberikan pada sisi generator adalah beban linier tiga fasa dan beban dinamis tiga fasa sebesar 54,1 MVA atau sebesar 0,09 pu.

Gambar 5 – 8 (a) menunjukkan bahwa daya aktif di bus generator sebesar 0,2093 pu sedangkan daya reaktifnya mencapai 0,3938 pu. Hal ini mengakibatkan faktor daya yang sangat rendah yaitu 0,4692. Selain hal tersebut kita dapat melihat tegangan terukur di bus generator sebesar 0,9996 pu, hal ini menunjukkan tegangan generator berada pada kondisi dibawah 1 pu namun kondisi tegangan tersebut masih berada pada kondisi yang bisa ditoleransi.

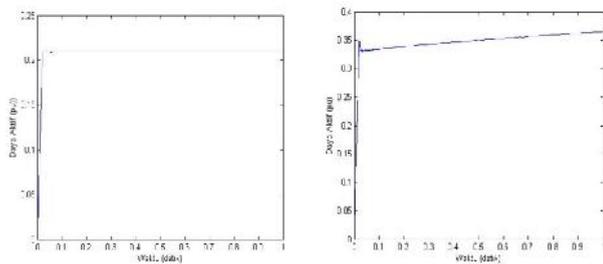
C. Simulasi Sistem Dengan SFC tanpa beban non-linier

Setelah mengetahui kinerja sistem tanpa menggunakan SFC, dilakukan simulasi sistem dengan menggunakan SFC. Rangkaian sistem dengan SFC terpasang pada bus sisi kirim. Pengamatan besar kualitas daya pada bus generator setelah digunakan SFC dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar 5 – 8 (b). Besar daya aktif yang dibangkitkan oleh generator sebesar

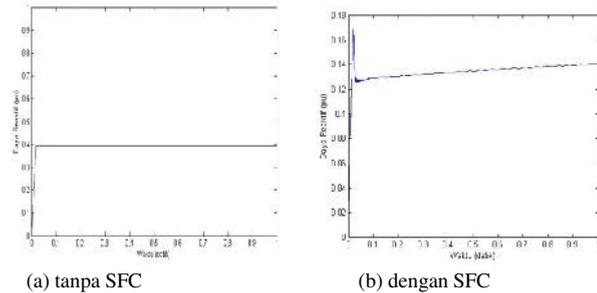
0,3661 pu sedangkan daya reaktif yang dihasilkan oleh generator sebesar 0,139 pu. Hal tersebut menunjukkan terjadi peningkatan pada daya aktif dan penurunan pada daya reaktif. Oleh karena itu, Pf generator menjadi naik 0,9294. Pemasangan SFC membuat tegangan generator menjadi meningkat sebesar 1,096 pu jika dibandingkan dengan tanpa SFC sebesar 0,9996.

Tabel 3 Hasil Perbandingan Sistem tanpa dan dengan SFC tanpa beban non-linier pada bus generator

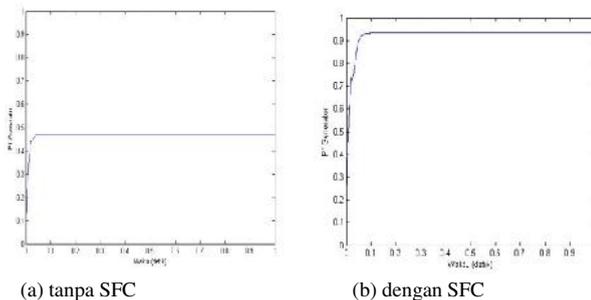
Parameter Sistem	Tanpa SFC	Dengan SFC
Daya Aktif	0,2093	0,3661
Daya Reaktif	0,3938	0,139
Faktor Daya	0,4692	0,9294
Tegangan V_{L-L}	0,9996	1,096



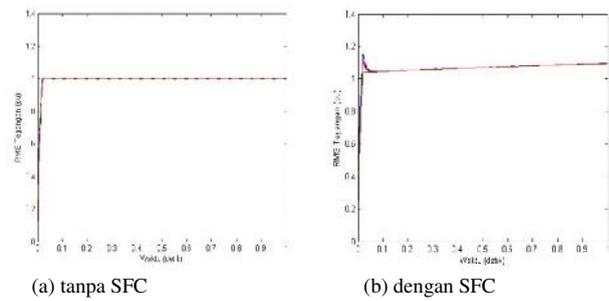
Gambar 5. Aliran daya aktif pada bus generator sistem tanpa beban non-linier



Gambar 6. Aliran daya reaktif pada bus generator sistem tanpa beban non-linier



Gambar 7. Pf pada Bus Generator sistem tanpa non-linier



Gambar 8. RMS Tegangan pada Bus Generator sistem tanpa non-linier

D. Simulasi Sistem kondisi hubung singkat tanpa beban non-linier

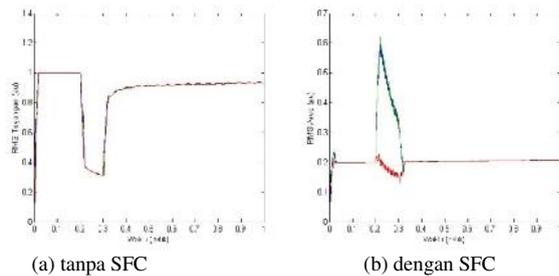
Pengamatan pertama dilakukan terhadap respon sistem ketika diberi hubung singkat pada lokasi didaerah setelah trafo atau pada daerah transmisi. Hubung singkat dilakukan selama 0,1 detik pada detik 0,2 – 0,3.

1) Simulasi Sistem Dengan SFC tanpa beban non-linier

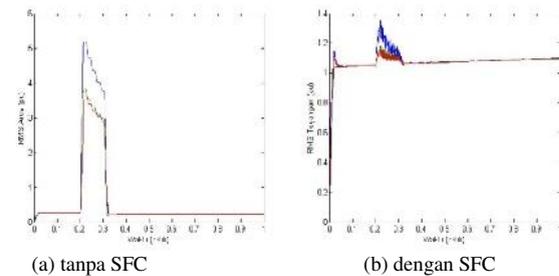
Dari gambar 9 - 10 (a) dapat dilihat bahwa kondisi tegangan generator mengalami penurunan ketika terjadi hubung singkat pada detik 0,2-0,3. Sedangkan untuk arus Generator mengalami kenaikan yang cukup besar mencapai 5 pu, hal ini disebabkan oleh generator sebagai penyuplai arus ketika hubung singkat.

2) Simulasi Sistem Dengan SFC tanpa beban non-linier

Dari gambar 9 - 10 (b) dapat dilihat bahwa kondisi tegangan generator mengalami kenaikan walaupun terjadi hubung singkat. Sedangkan kondisi arus yang terjadi ketika terjadi hubung singkat pada detik 0,2-0,3 yang terukur pada bus generator mengalami kenaikan namun tidak sebesar dengan kondisi tanpa SFC. Hal ini dikarenakan peletakkan SFC pada posisi sebelum trafo. Ketika terjadi hubung singkat, kompensasi seri pada SFC bersifat discharge sehingga tegangan pada bus beban tidak turun tetapi mengalami kenaikan. Kondisi arus pada bus generator tidak mengalami kenaikan yang berlebihan karena ketika terjadi hubung singkat kapasitor seri disini menjadi hambatan X_c .



Gambar 9. Tegangan RMS pada bus generator sistem tanpa beban non-linier



Gambar 10. Arus RMS pada bus generator sistem tanpa beban non-linier

E. Simulasi Sistem kondisi pelepasan beban dengan beban non-linier

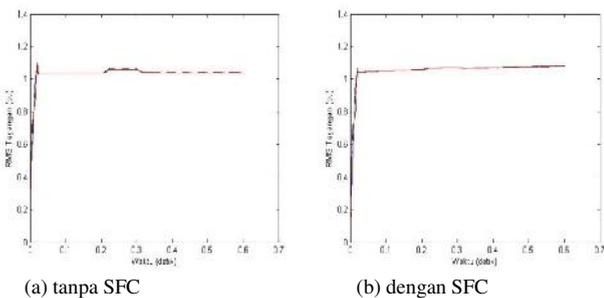
Pada pengujian kali ini dilakukan pengujian pada sistem berupa pelepasan beban. Beban yang digunakan pada percobaan kali ini adalah beban linier, beban dinamis, dan beban non-linier. Dari ketiga beban tersebut beban yang akan dilepas adalah beban linier. Pelepasan beban dilakukan selama 0,1 detik pada waktu 0,2 – 0,3.

1) Simulasi Sistem Tanpa SFC

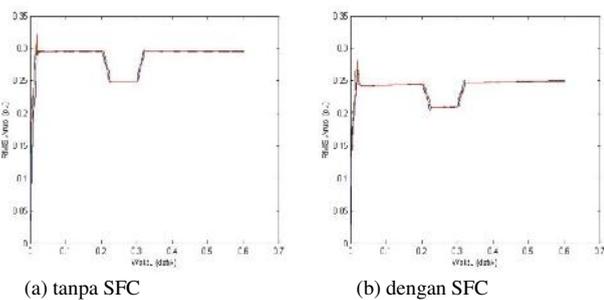
Pada gambar 11 - 12 (a) dapat dilihat kondisi tegangan dan arus pada sistem ketika terjadi kondisi pelepasan beban. Pada kondisi tersebut diperoleh kondisi tegangan naik pada detik 0,2-0,3. Dan kondisi arus turun pada bus generator di detik 0,2-0,3.

2) Simulasi Sistem Dengan SFC

Pada gambar 11 - 12 (b) dapat dilihat kondisi tegangan dan arus pada sistem ketika terjadi kondisi pelepasan beban. Pada kondisi tersebut diperoleh kondisi tegangan tidak mengalami kenaikan atau tegangan pada tiap-tiap bus tetap sama atau stabil ketika terjadi pelepasan beban pada detik 0,2-0,3. Hal ini disebabkan SFC mampu merespon dengan cepat dalam pengaturan daya reaktif. Sedangkan arus pada bus mengalami penurunan (sama dengan kondisi tanpa SFC).



Gambar 11. Tegangan RMS pada bus generator sistem dengan beban non-linier



Gambar 12. Arus RMS pada bus generator sistem dengan beban non-linier

F. Simulasi Sistem kondisi Harmonisa dengan beban non-linier

Pada pengujian kondisi harmonisa dilakukan pada kondisi sistem yang terpasang beban linier, beban dinamis dan beban non-linier. Dengan Pemasangan beban-beban tersebut akan dilakukan analisis harmonisa yang terjadi pada salah satu bus. Bus akan dibahas disini adalah bus beban karena lokasinya yang berdekatan dengan SFC. Selanjutnya akan dibahas

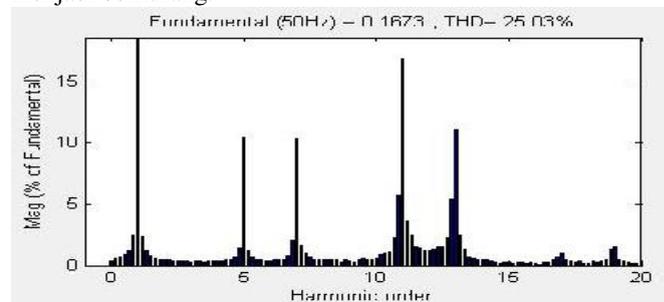
tentang pengaruh harmonisa pada bus generator dan bus infinite.

1) Simulasi Sistem tanpa SFC

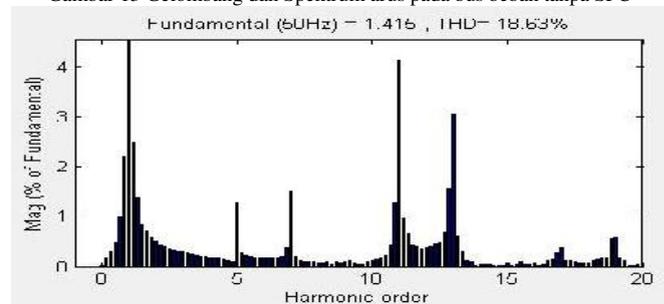
Analisis harmonisa dilakukan pada bus beban. Dengan kondisi tegangan bus beban pada saat beban nonlinier terpasang ditunjukkan pada gambar dibawah. Dari hasil simulasi yang ditunjukkan oleh gambar 13 dan 14 pada saat beban non linear terpasang, terlihat bahwa harmonisa tegangannya adalah 18,63 % dengan komponen fundamental 1.415 pu. Sedangkan harmonisa arus yang timbul adalah 25.03 % dengan komponen arus fundamental sebesar 0,1673 pu. Terlihat pula dari kedua gambar tersebut, bentuk gelombang dari arus maupun tegangan sudah tidak lagi sinusoidal murni, dikarenakan oleh adanya komponen-komponen harmonisa pada gelombang tersebut.

2) Simulasi Sistem dengan SFC

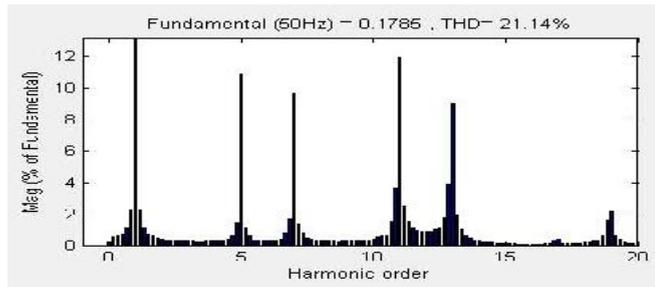
Seperti yang disebutkan diatas bahwa bus yang dilihat adalah bus beban. Dari bus beban akan dilihat kondisi arus dan tegangan ketika dipasang SFC. Karena pada tabel sebelumnya diperoleh orde THD besar berada pada orde 3, 5, 7 dan 11. Maka filter pasif yang digunakan disini dituning pada frekuensi 300. Dari hasil simulasi yang ditunjukkan oleh gambar 15 dan 16 pada saat beban non linear terpasang, terlihat bahwa harmonisa tegangannya adalah 6,77 % dengan komponen fundamental 1.52 pu. Sedangkan harmonisa arus yang timbul adalah 21.14 % dengan komponen arus fundamental sebesar 0,1785 pu. Dari data tersebut dapat kita peroleh bahwa harmonisa arus dan tegangan pada bus beban menjadi berkurang.



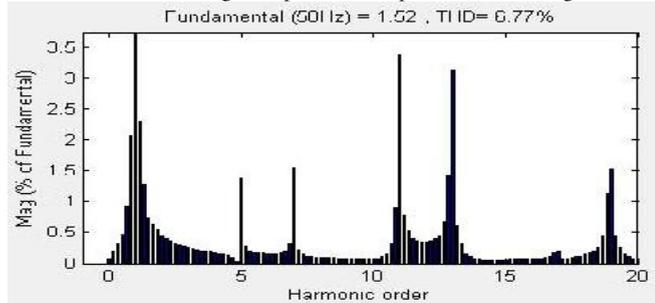
Gambar 13 Gelombang dan Spektrum arus pada bus beban tanpa SFC



Gambar 14 Gelombang dan Spektrum tegangan pada bus beban tanpa SFC



Gambar 15 Gelombang dan Spektrum arus pada bus beban dengan SFC



Gambar 16 Gelombang dan Spektrum tegangan pada bus beban dengan SFC

Tabel 5 menunjukkan hasil perbandingan pada saat menggunakan SFC dan tidak pada kondisi harmonisa. Dapat dilihat pada tabel bahwa ketika tidak dipasang SFC dan dipasang SFC kondisi tegangan dan arus bus beban mengalami kenaikan. Hal ini dikarenakan ketika harmonisa diredam bentuk sinyal tegangan mendekati bentuk sinusoidal.

Tabel 5 Perbandingan Sistem tanpa dan dengan SFC kondisi Harmonisa

Parameter Sistem	Tanpa SFC	Dengan SFC
Faktor Daya	0,4548	0,4642
Arus Fundamental (peak)	0,1673 pu	0,1785 pu
Teg. Fundamental (peak)	1,451 pu	1,52 pu
Arus Fundamental (rms)	0,1238 pu	0,1320 pu
Teg. Fundamental (rms)	1 pu	1,1 pu
THD Arus	25,03 %	21,14 %
THD Tegangan	18,63 %	6,77 %

Dari hasil tabel diatas, setelah pemasangan SFC pada sistem dapat diperoleh THD arus dan tegangan bus beban berhasil diturunkan. THD arus yang awalnya sebesar 25,03 % turun menjadi 21,14 % dan untuk THD tegangan turun dari 18,63 % menjadi 6,77 %. Pemasangan SFC dapat mengurangi THD tegangan bus generator dan bus infinite menjadi 6,77 %. Namun hal ini berkebalikan dengan THD arus yang mengalami peningkatan pada bus generator menjadi 11,73 % dan pada bus infinte menjadi 1,59. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa SFC selain dapat mengurangi harmonisa, juga dapat menghasilkan harmonisa. Adanya THD arus pada bus generator dan infinite yang mengalami kenaikan juga dikarenakan peletakan posisi SFC yang lebih dekat dengan bus beban dibandingkan bus yang lain.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

A. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis data yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- 1) Pemasangan SFC pada sisi tegangan menengah dapat menaikkan tegangan dan *power factor* (pf) pada bus generator. Sebelum pemasangan SFC tegangan 0,9996 pu dan pf 0,4692. Dan setelah pemasangan SFC tegangan menjadi 1,096 pu dan pf menjadi 0,9294.
- 2) SFC ini berfungsi dengan baik pada kondisi hubung singkat. Sebelum pemasangan SFC, tegangan bus generator ketika diberi hubung singkat turun mencapai 0,4 pu dan arus naik mencapai 5 pu. Setelah pemasangan SFC tegangan naik diantara 1,35 pu dan arus dapat diredam menjadi 0,6 pu.
- 3) SFC yang menggunakan kompensasi seri dan paralel memiliki respon yang baik dalam menghadapi pelepasan beban. Hal tersebut karena SFC ini mampu membuat tegangan generator tetap dalam kondisi stabil.
- 4) Bila ditinjau dari sisi harmonisa, maka SFC ini telah berhasil mengurangi harmonisa. Dari THD arus beban 25,03% menjadi 21,14% dan THD tegangan beban 18,63% menjadi 6,77%.

B. Saran

- 1) Tugas akhir ini dibatasi pada beban linear, dinamis dan non-linear, untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan beban motor induksi untuk membuat sistem lebih nyata.
- 2) Untuk hasil lebih optimal, maka parameter Kontroler PID pada SFC dapat dicari dengan kecerdasan buatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adel. M. Sharaf, Abdelazeem A. Abdelsalam, "A Novel Switched Filter Compensation Scheme For Power Quality Enhancement And Loss Reduction", IEEE 978-1-61284-922-5/11, (2011).
- [2] Setyawan Ricky Dwi, "Desain Dan Simulasi Filter Aktif *Multilevel* Menggunakan *Synchronous Reference Frame* Berbasis *Fuzzy Logic* Untuk Jaringan Distribusi Tiga Fasa", Buku TA, (2011, Juli).
- [3] Mack Grady, "Understanding Power System Harmonics", Dept. of Electrical & Computer Engineering University of Texas at Austin, Ch. 1, (2006, Juni).