

Simulasi Filter Aktif pada 6 Pulse STATCOM Untuk Mereduksi Total Harmonic Distortion (THD) Di Sistem Transmisi Bali

Made Dika Nugraha¹, Ida Bagus Gede Manuaba², Rukmi Sari Hartati³

[Submission: 19-01-2019, Accepted: 24-06-2019]

Abstract—The emergence of harmonics is caused by the operation of nonlinear electrical loads. Harmonics can cause the waveform to be non sinusoidal, especially the input current. Harmonic content that exceeds the limit can cause poor quality. The level of harmonic distortion or called Total Harmonic Distortion (THD) in the transmission network has the potential to cause losses and drop voltages which affect the efficiency of the transmission network system. Harmonic attenuation is the right choice to reduce current harmonics (THDi). In this study an active filter has been designed to be able to reduce the harmonic current contained in the system due to the use of 6 pulse converter load on Statcom. The method used is by injecting dc ripple using the 6 output converter pulse connected to a controlled rectifier, where the dc ripple size is regulated by setting the ignition of the thyristor which is arranged in a bridge. Current harmonic conditions in the Bali transmission network before and after the installation of active filter installations on the 6 pulse Statcom, namely the 3th order experienced harmonic wave distortion from 0.0014 to 0.000230, 5th order from 9.4736 to 0.0249, order 7th from 3.4970 to 0.0117, 9th order from 0.0120 to 0.000873, 11th order from 0.9559 to 0.00486, order 13th from 0.8188 to 0.00339, order 15th from 0.3450 to 0.000979.

Intisari—Timbulnya harmonisa disebabkan karena pengoperasian beban listrik nonlinier. Harmonisa dapat menyebabkan bentuk gelombang menjadi tidak sinusoidal terutama arus input. Kandungan harmonisa yang melebihi batas dapat menyebabkan kualitas daya yang tidak baik. Tingkat distorsi harmonisa atau disebut dengan *Total Harmonic Distortion* (THD) pada jaringan transmisi berpotensi menimbulkan *losses* maupun *drop voltage* sehingga berpengaruh terhadap efisiensi sistem jaringan transmisi. Peredaman harmonisa merupakan pilihan yang tepat untuk mengurangi harmonisa arus (THDi). Pada penelitian ini telah dirancang sebuah filter aktif agar mampu meredam arus harmonisa yang terkandung pada sistem akibat penggunaan beban konverter 6 pulsa pada Statcom. Metode yang digunakan yaitu dengan menginjeksikan *dc ripple* memanfaatkan keluaran konverter 6 pulsa dihubungkan ke *rectifier* terkontrol, dimana besarnya *dc ripple* ini diatur dengan pengaturan penyalakan thyristor yang disusun secara jembatan. Kondisi harmonisa arus pada jaringan

transmisi Bali sebelum dan sesudah simulasi pemasangan filter aktif pada 6 pulse STATCOM yaitu orde 3th mengalami distorsi gelombang harmonisa dari 0,0014 menjadi 0,000230, orde 5th dari 9,4736 menjadi 0,0249, orde 7th dari 3,4970 menjadi 0,0117, orde 9th dari 0,0120 menjadi 0,000873, orde 11th dari 0,9559 menjadi 0,00486, orde 13th dari 0,8188 menjadi 0,00339, orde 15th dari 0,3450 menjadi 0,000979.

Kata Kunci—Active Filter, Total Harmonic Distortion, Gate-Turn off Thyristor, STATCOM, Voltage Source Converter.

I. PENDAHULUAN

Dengan semakin berkembangnya pemakaian elektronika daya dalam sistem tenaga listrik, maka semakin banyak pula beban *nonlinier* yang terpasang. Meningkatnya beban berbasis elektronika daya ternyata menimbulkan permasalahan yang cukup serius pada kualitas energi listrik, yaitu terjadinya distorsi bentuk gelombang tegangan maupun arus yang disebabkan oleh adanya harmonisa. Untuk menanggulangi gangguan harmonisa perlu adanya pemasangan filter untuk mereduksi harmonisa dari suatu sistem tenaga. Filter aktif ada dua yaitu filter aktif *series* berfungsi untuk mereduksi harmonisa tegangan dan filter aktif *shunt* berfungsi untuk mereduksi arus harmonisa yang memiliki orde ganjil seperti 3,5,7,9,11,13,15.

Penemuan Fleksibel Sistem AC Transmission (FACTS) perangkat telah mengatasiketerbatasan metode tradisional daya reaktif kompensasi [1]. Sistem Transmisi 150 kV di Bali pun masih bersifat tradisional dengan menggunakan kapasitor bank sebagai kompensasi daya. Perangkat FACTS memiliki kemampuan untuk mengakomodasi perubahan dalam kondisi operasi transmisi sistem dengan tetap mempertahankan kondisi *steady state* dan margin [2] STATCOM adalah sebuah shunt terhubung perangkat FACTS, yang mampu menyediakan baik kompensasi kapasitif dan induktif [3]. terdiri dari beberapa bagian yaitu *Voltage Source Converter* (VSC), STATCOM digunakan untuk mengendalikan tegangan saluran transmisi, meningkatkan dayamengalir, meningkatkan stabilitas sistem daya dan redaman osilasi daya [4].

Sistem 150 kV Bali merupakan sistem tenaga listrik yang memiliki pola pembebanan yang tinggi, terdiri dari 1 buslack, 2 bus generator dan 12 bus beban. Dengan beban puncak listrik di Bali sebesar 758,7 MW (rekor beban tertinggi 758,7 MW (21/10/2014)). Melihat kondisi ini, sistem 150 kV Bali sedang menghadapi krisis energi listrik. Apabila salah satu pembangkit mengalami black out, maka dapat dipastikan pulau Bali akan mengalami pemadaman bergilir. Ini pernah diteliti sebelumnya oleh Made Dika

¹Mahasiswa, Jurusan Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (tel: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail: nugrahamadedika@gmail.com)

^{2, 3}Dosen, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (tel: 0361-703315; fax: 0361-4321)



dengan menggunakan Statcom untuk memperbaiki profil tegangan dan stabilitas daya pada sistem 150kV Bali akibat adanya jatuh tegangan pada sisi transmisi, dalam penelitian tersebut didapat nilai arus harmonisa akibat pemasangan statcom di sistem transmisi yang belum terbahas, hal tersebut akan mendorong peneliti untuk membahas tentang simulasi reduksi total harmonisa pada 6 pulse Statcom dengan menggunakan filter aktif shunt pada sistem 150kV Bali.

II. HARMONISA, FILTER AKTIF SHUNT DAN STATCOM PADA JARINGAN TRANSMISI

A. Harmonisa

Harmonisa adalah distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus atau daya dengan bentuk gelombang frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental (frekuensi 50 Hz atau 60 Hz). Nilai frekuensi dari gelombang harmonisa terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonisanya (f, 2f, 3f, dst).

B. Sumber-Sumber Harmonisa

Pada umumnya harmonisa di timbulkan oleh beban-beban tak linier tersebut dapat menyebabkan distorsi bentuk gelombang arus maupun tegangan.

Diantaranya beban-beban yang menyebabkan harmonisa yaitu Konverter, Transformator, Mesin – mesin berputar, Tanur busur listrik, Penyearah enam pulsa, Kompensator VAR Statis Beberapa sumber harmonisa beserta ordenya seperti tabel dibawah ini :

TABELI
SUMBER HARMONISA DAN ORDE HARMONISA

Sumber Harmonisa	Orde Harmonisa
6 Pulse Drive/ Rectifier	5,7,11,13,17,19
12 Pulse Drive/ Rectifier	11,13,23,25
Switch-Mode Power Supply	3,5,7,9,11,13..
Fluorescent/LHE	3,5,7,9,11,13..
Arching Device	2,3,4,5,7..
Transformer Energization	2,3,4

Untuk converter dengan 6 pulsa akan membangkitkan karakteristik harmonisa pada orde 5th, 7th, 11th, 13th,.... kelipatan dari frekuensi fundamental

C. Standar Harmonisa

Standar harmonisa yang digunakan adalah IEEE std. 519-1992. THD_i adalah persentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya. [8]

TABELII
STANDAR HARMONISA TEGANGAN (IEEE519-1922)

Sistem Voltage	IHD _v (%)	THD _v (%)
V _{rms} ≤ 69kV	3.0	5.0
69kV ≤ V _{rms} ≤ 161kV	1.5	2.5
V _{rms} ≥ 161kV	1.0	1.5

D. Total Harmonic Distortion

Pendefinisian nilai rms komponen harmonisa ke nilai rms komponen dasar biasanya dinyatakan dalam bentuk persen (%). Indeks ini digunakan untuk mengukur deviasi bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinus sempurna. Pada saat terjadi gelombang sinus sempurna. Nilai THD adalah nol. Indeks yang umum digunakan adalah :

$$THD_v = \frac{\sqrt{v_2^2 + v_3^2 + v_4^2 + \dots + v_n^2}}{v_1} \text{ (THD untuk tegangan)} \quad (1)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \text{ (THD untuk arus)} \quad (2)$$

Keterangan :

V_n ; I_n = Orde Harmonisa

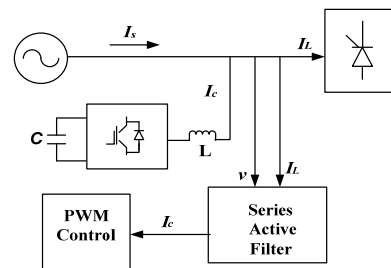
V₁ ; I₁ = Orde Fundamental

E. Filter Harmonisa

Pemasangan filter harmonisa bertujuan untuk mereduksi amplitudo frekuensi tertentu dari sebuah tegangan dan arus.

F. Filter Aktif Shunt

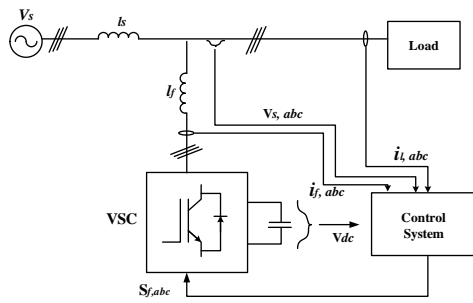
Filter aktif ini berfungsi untuk mereduksi komponen harmonisa pada arus. Atau dapat disimpulkan filter Aktif shunt. Kontrol Filter Aktif berfungsi untuk pengolahan sinyal dalam menentukan real time referensi arus kopensasi spotan, yang secara kontinyu dilewatkan ke converter [14].



Gambar1: Shunt Active Filter[13].

G. Static Compensator (Statcom)

Static synchronous compensator (Statcom) merupakan salah satu shunt device dari Flexible AC Transmission System (FACTS) yang terdiri dari peralatan elektronika daya yang dapat mengatur aliran daya dan meningkat stabilitas transient sistem daya



Gambar2: Struktur dari Statcom[5].

STATCOM terdiri dari beberapa bagian yaitu *Voltage Source Converter (VSC)*, kapasitor DC, dan sistem kontrol. VSC ialah peralatan konverter elektronika daya yang berguna untuk mengkonversi tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC. Kapasitor DC berguna sebagai sumber tegangan untuk sistem kontrol STATCOM dan sebagai penyimpan energi (pada saat menyerap daya reaktif) dan sumber daya (pada saat menyuplai daya reaktif).

H. Konverter 6 Pulsa

Rangkaian Konverter 6 pulsa menggunakan enam buah diode dengan urutan konduksi untuk masing-masing diode yaitu $2\pi/3$.

Gambar3: Rangkaian Konverter 6 Pulsa[5].

I. Voltage Source Converter (VSC)

Voltage Source Converter (VSC) adalah bangunan utama dari STATCOM dan peralatan FACTS lainnya. VSC adalah komponen elektronika daya yang dapat diatur proses penyalurannya sehingga tujuan yang diinginkan. Tujuan utama VSC yaitu membangkitkan tegangan sinusoidal AC dari tegangan DC, oleh karena itu VSC disebut konverter DC-AC atau inverter.

III. METODE ANALISI DATA DAN SIMULASI SISTEM

Sumber data akan diperoleh dari Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) Bali. Area Pengatur Distribusi (APB) Bali bertempat di Jl. Raya Abianbase, Mengwi, Kabupaten Badung, Bali (80351). data yang dimaksud antara lain:

- Data *single line* sistem 150 kV Bali
- Data Pembangkit (kV, MW, MVAR)
- Data Transformator (kV, MVA)

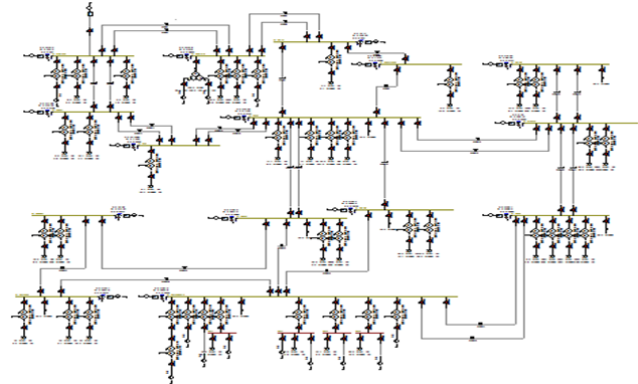
Made Dika Nugraha: Mereduksi Filter Aktif Pada...

- Data saluran transmisi 150 kV Bali (panjang R,X,Y)
- Data Bus (kV %)
- Data beban sistem 150 kV Bali

Penelitian ini dimulai dengan survey data yang mendukung untuk disimulasikan dan dimodelkan pada *Software PSCAD/EMTDC V 4.5 Power Simulation* yang dapat mengetahui distorsi harmonisa tegangan dan arus yang masuk ke dalam sistem.

Simulasi dimulai dengan membuat diagram satu garis sistem transmisi 150 kV Bali, masukkan data-data dari pembangkit, transformator, transmisi dan beban yang diperlukan, menjalankan simulasi untuk keluaran aliran daya (*load flow*) dapat diketahui setelah program dapat dijalankan, untuk melihat keluaran aliran daya dari hasil simulasi di semua bus menurut standar SPLN No. 1:1995 Pasal 4 tentang ketentuan variasi tegangan pelayanan dimana drop tegangan yang diijinkan hanya sebesar 0.95p.u sampai 1.05p.u dari tegangan nominal, setelah itu gunakan simulasi pada *software PSCAD* untuk pemasangan STATCOM.

Menambahkan nilai MVAR kepada bus-bus yang mengalami *under voltage* secara otomatis, kemudian tentukan lokasi penempatan STATCOM pada bus-bus, tes nilai total harmonic distortion ($THDi \geq 15\%$ dan $THDv \geq 5$)



Gambar4: Simulasi Sistem Transmisi 150 kV Pada Software PSCAD.

Simulasi yang dilakukan pada *PSCAD* memasukan parameter-parameter sebagai berikut:

- *Base Voltage (L-L,RMS)* : 150.0 kV
- *Base MVA* : 327.617 [MVA]
- *Terminal Voltage* : 1.0 [pu]
- *Source Name* : BWI-GLMANUK
- *Source Impedance Type* : R-R/L
- *Graphics Display* : Single Line View
- *3 Phase Transformer* : 10 [MVA]
- *Base operation Frequency* : 50 [Hz]
- *Winding #1 Type* : Delta
- *Winding #2 Type* : Y
- *Winding 1 Line to Line Voltage (RMS)* : 150.0 [kV]
- *Winding 2 Line to Line Voltage (RMS)* : 20.0 [kV]



A. Metode Aliran Daya (Loadflow)

Secara matematis persamaan aliran daya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dimana : ΔP adalah Nilai daya aktif (MW), ΔQ adalah Nilai daya reaktif (Mvar)

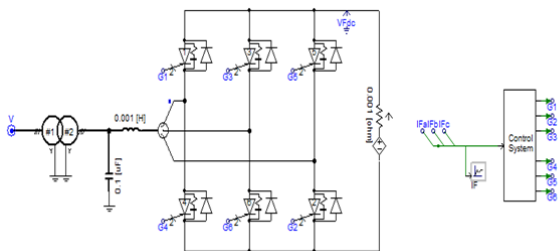
B. Metode Optimasi Penempatan Kapasitor

Tujuan dari penempatan kapasitor yang optimal dapat dipresentasikan secara matematis yaitu sebagai berikut :

Subject to :

$$\min = P_{Loss} + \sum_{j=1}^J Q_j^c \quad (4)$$

Dimana P_{Loss} = Total rugi-rugi daya, J = Jumlah Bus Q_j^c = Penempatan kapasitas kapasitor pada bus j



Gambar5: Simulasi 6 Pulse Statcom Pada Software PSCAD

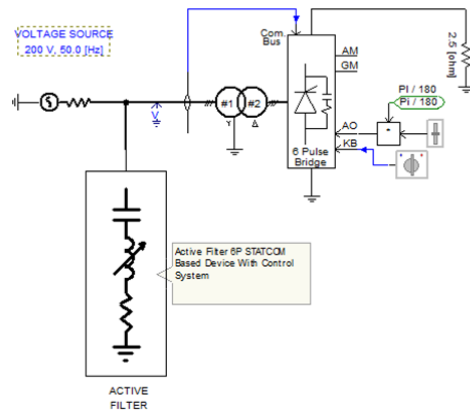
C. Metode Daya Aktif dan Daya Reaktif 6 Pulse Statcom

$$P = \frac{V_s V_c \sin \delta}{X_L} \quad (3)$$

$$Q = \frac{V_s (V_s - V_c \sin \delta)}{X_L} \quad (4)$$

$$S = 3 \frac{V_s V_c}{X_L} \sin \delta - j3 \left[\frac{V_s V_c}{X_L} \cos \delta - \frac{V_s^2}{X_L} \right] = P - j(5)$$

Dimana: S = Daya Kompleks (VA), V_c = Tegangan Terminal Statcom, V_s = Tegangan Sumber/Sistem, P = Daya Aktif, X_L = Reaktansi (kabel) = ωL , Q = Daya Reaktif (Var), α = Beda Fasa antara V_s dan V_c



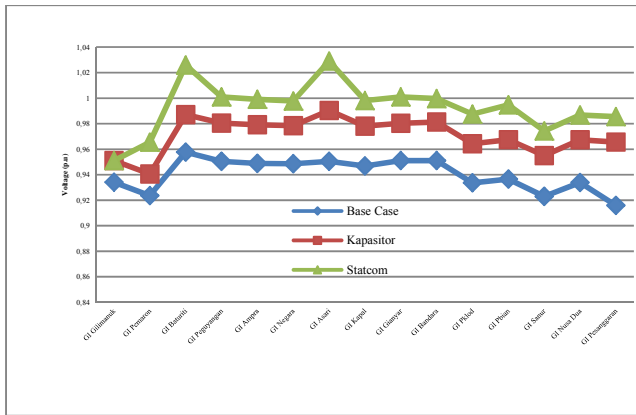
Gambar6: Simulasi Filter Aktif Pada Software PSCAD.

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISA DROP VOLTAGE

TABELII
PERBANDINGAN LEVEL TEGANGAN DALAM KONDISI AWAL (BASE CASE), REAL KAPASITOR DAN PENEMPATAN STATCOM

No	Bus ID	Tegangan (Pu)		
		Base Case	Kapasitor	STATCOM
1	GI Gilimanuk	0,9341	0,951	0,951
2	GI Pamaron	0,9235	0,9405	0,9654
3	GI Baturiti	0,9576	0,987	1,026
4	GI Pegyagan	0,9504	0,9804	1,001
5	GI Ampra	0,9488	0,9791	0,9991
6	GI Negara	0,9486	0,9784	0,9978
7	GI Asari	0,9692	0,9903	1,029
8	GI Kapal	0,9468	0,9781	0,9981
9	GI Gianyar	0,951	0,9803	1,001
10	GI Bandara	0,9511	0,9812	0,9997
11	GI Pklod	0,9336	0,9642	0,9875
12	GI Pbian	0,9365	0,9674	0,9947
13	GI Sanur	0,923	0,9549	0,9743
14	GI Nusa Dua	0,9338	0,9673	0,9868
15	GI Psanggran	0,9159	0,9656	0,9855

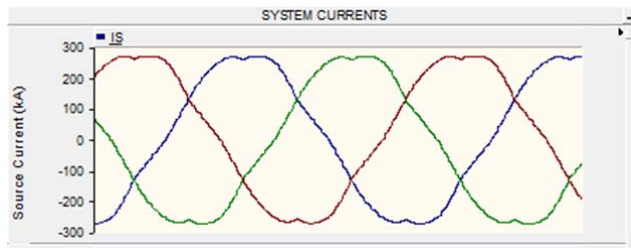
Dari hasil analisis, dapat diketahui bahwa setelah penempatan STATCOM dapat meningkatkan profil tegangan hingga berada pada kondisi marginal yang sesuai standar SPLN yaitu padapada GI Gilimanuk dari 0,9341 p.u. menjadi 0,951 p.u., GI Pamaron dari 0,9235 p.u menjadi 0,9654 p.u., GI Ampra dari 0,9488 p.u menjadi 0,9991p.u., GI Negara dari 0,9486 p.u menjadi 0,9978 p.u., GI Kapal dari 0,9468 p.u menjadi 0,9981 p.u., GI Pklod dari 0,9336p.u menjadi 0,9875p.u., GI Pbian dari 0,9365p.u menjadi 0,9947p.u., GI Sanur dari 0,923p.u menjadi 0,9743p.u., GI Nusa Dua dari 0,9338 p.u menjadi 0,9868 p.u., dan GI Pesanggaran dari 0,9159p.u menjadi 0,9855 p.u. Serta dapat mengurangi rugi-rugi daya pada saluran transmisi dari 42,820 MW dan 80,232 MVar menjadi 32,514 MW dan 72,204 MVar.



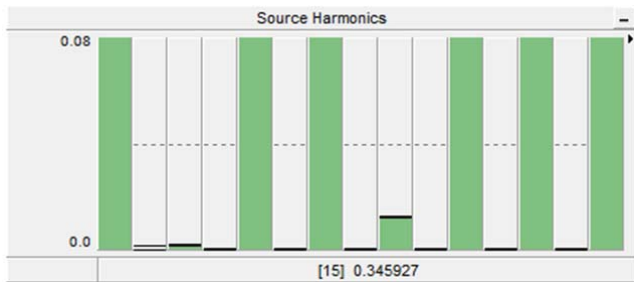
Gambar7: Perbandingan Level Tegangan Dalam Kondisi Awal, Real Kapasitor PLN dan Pemasangan 6 Pulse Statcom.

V. HASIL SIMULASI DAN ANALISA THD

A. Hasil Simulasi Harmonic Analysis Tanpa Filter Aktif pada 6 Pulse Statcom



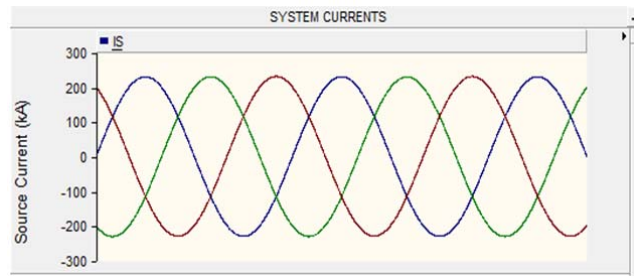
Gambar 8: Grafik Keluaran Arus Filter Aktif



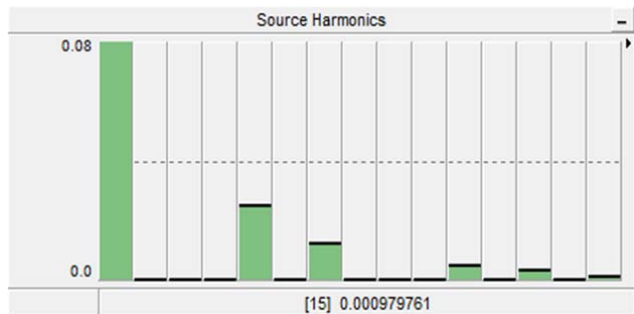
Gambar 9: Spektrum Arus Harmonisa Tanpa Filter Aktif

Pada spektrum harmonisa yang mempunyai orde dominan yang sama yaitu 5th, 7th, 11th, 13th, dan 15th

B. Hasil Simulasi Harmonic Analysis Terpasang Filter Aktif pada 6 Pulse Statcom



Gambar 10: Grafik Keuaran Arus Terpasang Filter Aktif



Gambar 11: Spektrum Arus Harmonisa Terpasang Filter Aktif

C. Hasil Perbandingan Tanpa dan Terpasang Filter Aktif

TABEL III
 PERFORMA SISTEM ARUS TANPA DAN TERPASANG FILTER AKTIF

Konfigurasi Sistem	Tanpa Filter Aktif	Terpasang Filter Aktif	
Harmonisa Arus	3 th	0,0014	0,000230
	5 th	9,4736	0,0249
	7 th	3,4970	0,0117
	9 th	0,0120	0,000873
	11 th	0,9559	0,00486
	13 th	0,8188	0,00339
	15 th	0,3450	0,000979

VI. KESIMPULAN

Kondisi harmonisa arus pada jaringan transmisi Bali sebelum dan sesudah simulasi pemasangan filter aktif pada 6 pulse STATCOM yaitu orde 3th mengalami distorsi gelombang harmonisa dari 0,0014 menjadi 0,000230, orde 5th dari 9,4736 menjadi 0,0249, orde 7th dari 3,4970 menjadi 0,0117, orde 9th dari 0,0120 menjadi 0,000873, orde 11th dari 0,9559 menjadi 0,00486, orde 13th dari 0,8188 menjadi 0,00339, orde 15th dari 0,3450 menjadi 0,000979.



Simulasi pemasangan dan pemodelan filter aktif diletakkan pada bus inti pada sistem transmisi 150kV Bali dan dihubungkan pada sisi sekunder transformator baru (STATCOM) serta diatur oleh VSC (Voltage Source Converter), dan Jika tegangan rendah (*under voltage*) maka STATCOM membangkitkan daya reaktif dari sistem (kapasitif) sedangkan jika tegangan tinggi (*over voltage*) maka menyerap daya reaktif (lagging). Filter aktif digunakan untuk mendistorsi gelombang harmonisa yang dihasilkan oleh beban non linier pada penggunaan converter pada sistem injeksi MVAR STATCOM

REFERENSI

- [1] K. K. Sen and M. L. Sen. 2009 , Introduction to FACTS controllers: theory, modeling, and applications. John Wiley & Sons, , vol. 54.
- [2] A. Edris. 2000, "Facts technology development: an update," IEEE Power engineering review, vol. 20.
- [3] El-Moursi and A.M. Sharaf. 2005, "Novel controllers for the 48-pulse vsc STATCOM and ssscfor voltage regulation and reactive power compensation," IEEE Transactions on Powersystems, vol. 20.
- [4] N. G. Hingorani and L. Gyugyi. 2000, Understanding FACTS: concepts and technology of flexible AC transmission systems. Wiley-IEEE press.
- [5] B. Singh, R. Saha, A. Chandra, and K. Al-Haddad. 2009, "Static synchronous compensators (STATCOM): a review," IET Power Electronics, vol. 2.
- [6] C. Schauder, M. Gernhardt, E. Stacey, T. Lemak, L. Gyugyi, T. Cease, and A. Edris. 1997, "Operation of 100 Mvartvastatcon," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 12.
- [7] I. Daut , H.S Syafuddin, dkk (2006) *the effects of harmonic Components On Tranformer Losses Of SinusoidalSource Supplying. Non-linear Loads*, Malaysia : Science Publication
- [8] Wayan Agus Adi Widiastara, I Wayan Rinas, I Wayan Sukerayasa. 2016, *Analisis Pengaruh Total Harmonic Distortion Terhadap Losses dan Efisiensi Transformator RSUD Kabupaten Klungkung*. Unud, Bali.
- [9] Salam Z,dkk. (2006). Harmonics Mitigation Using Active Power Filter: A Technological Review. Department of Energy Conversion, Faculty of Electrical Engineering, University Teknologi Malaysia, ELEKTRIKA, 8(2),
- [10] I Wayan Rinas (2011) "Analisi Perbandingan Penggunaan filter pasif dan filter aktif untuk menanggulangi THD pada sitem kelistrikan di ruang poskom jurusan teknik elektro fakultas teknik universitas udayana ". Unud, Bali.
- [11] H. Akagi, Watanabe, E.H. dan Aredes. M, (2007) "Instantaneous Power Theory And Applications to Power Conditioning"
- [12] Yusmantoro. *Analisis Peningkatan Stabilitas Tegangan dengan Menggunakan Statcom Aplikasi PT. PLN (persero) UPB Sumbagut*. Universitas Sumatera Utara, Medan
- [13] Yahya Chusna Arif, Suryono, Mufakkirul Farih *Pengurangan Harmonisa Pada Beban Konverter 6 Pulsa Dengan Filter Aktif (Injeksi Ripple Dc)* Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya
- [14] PT PLN (Persero) Area Pengatur Beban (APB) Bali. 2014. "*Logsheet APB Bali*". Kapal Mengwi Badung Bali
- [15] Kundur, Prabha. 1994. "*Power System Stability and Control*". Mc Graw-Hill Inc.
- [16] Yamayee, Z.A. and Bala, J.L. Jr. *Electromechanical Energy Devices and Power Systems*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1994