

LCL FILTER UNTUK MEREDUKSI HARMONISA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Hasti Afianti¹, Ontoseno Panangsang², Adi Soepriyanto³

¹ Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya

^{2,3} Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

¹hafianti@yahoo.com, ²zenno_379@yahoo.com, ³adisup@ee.its.ac.id

Abstrak

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan listrik dengan sumber energi surya telah meningkat, salah satu indikasinya dapat kita lihat dari banyaknya panel-panel sel surya yang terpasang di jalanan. Tidak dapat dihindari bahwa suatu saat akan semakin banyak modul sel surya yang terhubung ke jaringan utilitas. Dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya biasanya menggunakan konverter untuk mengubah arus dc yang dihasilkan sel surya ke arus ac, itu berarti akan terjadi harmonisa dalam sistem. Untuk itu makalah ini menggambarkan kinerja filter LCL untuk mengurangi harmonisa dalam sistem pembangkit sel surya yang terhubung ke grid. Seluruh model dikembangkan dengan program Simulink / Matlab. Hasil simulasi menunjukkan bahwa filter LCL dengan kapasitor terhubung metode wye dan delta yang diusulkan dapat mengurangi harmonisa dalam sistem.

Kata kunci : PLTS, LCL Filter, Harmonisa, THD

1. Pendahuluan

Masalah energi tampaknya akan tetap menjadi topik hangat sepanjang peradaban. Upaya mencari sumber energialternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil masih tetap ramai dibicarakan. Ada beberapa energi alam sebagai energialternatif yang bersih, tidak berpolusi, aman dan dengan persediaan yang tidak terbatas. Diantaranya adalah energi surya, angin, gelombang dan perbedaan suhu air laut. Teknologi fotovoltaic yang mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan peralatan semikonduktor yang disebut sel surya (*solar cells*) merupakan salah satu pilihan yang menarik. Apalagi Indonesia terletak di katulistiwa dan terdiri dari banyak kepulauan dan pegunungan yang menyulitkan penyebaran jaringan transmisi listrik. Sehingga penggunaan energi listrik tenaga surya dapat diterima dengan baik.

Listrik tenaga surya diperoleh dengan melalui sistem fotovoltaic. Belakangan ini, fotovoltaic lebih sering disebut solar cell atau sel surya, karena cahaya yang dijadikan energi listrik adalah sinar matahari. Sel surya merupakan suatu pn junction dari silikon kristal tunggal. Dengan menggunakan efek photo-electric dari bahan semikonduktor, sel surya dapat langsung mengkonversi sinar matahari menjadi listrik searah (dc). Besarnya pasangan elektron dan hole yang dihasilkan, atau besarnya arus yang dihasilkan bergantung pada intensitas cahaya maupun panjang gelombang cahaya yang

jatuh pada sel surya. Intensitas cahaya menentukan jumlah foton. Makin besar intensitas cahaya maka makin banyak foton yang dimiliki sehingga makin banyak pasangan elektron dan hole yang dihasilkan. Ini berakibat pada makin besarnya arus yang mengalir. Sehingga untuk daya yang dihasilkan solar sel tidak hanya bergantung pada luasannya saja namun juga intensitas dan temperature pada permukaan sel. Untuk itu model matematika sel surya telah dibangun dalam simulasi komputer dengan kondisi intensitas dan suhu yang berbeda-beda (Habbati (2014); S. Rustemli (2011); Huan-Liang Tsai (2008)).

Daya yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, sehingga untuk memperoleh daya yang lebih besar sel – sel surya dihubungkan secara seri atau parallel yang kemudian disebut sebagai modul. Modul sel surya yang digunakan dapat diperoleh dalam berbagai ukuran dan kapasitas. Yang sering digunakan adalah modul sel surya 20 watt atau 30 watt. Pada aplikasi penggunaan sel surya dapat terdiri dari beberapa modul yang disebut array.

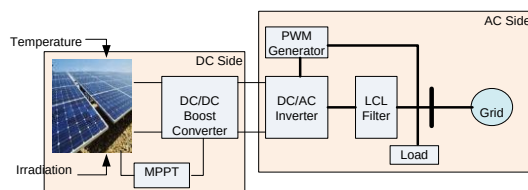
Intensitas cahaya matahari dan suhu kerja dari modul sel surya mempengaruhi output modul sel surya sehingga daya yang dibangkitkan tidak maksimal. *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) adalah suatu metode untuk mencari point (titik) maksimum dari kurva karakteristik daya dan tegangan input (P-V) pada aplikasi modul sel surya. Sistem MPPT terhubung dengan converter dc-dc digunakan untuk mengatur besarnya tegangan keluaran pada modul sel surya, agar dapat memaksa

modul sel surya memperoleh daya maksimum pada berbagai tingkat intensitas cahaya. Veerachary (2002).

Dalam penggunaan dengan skala yang besar, modul sel surya dihubungkan dengan sebuah inverter, untuk mengkonversi listrik searah (dc) menjadi listrik bolak-balik (ac). Tegangan ac yang dihasilkan inverter ideal adalah berupa gelombang sinus murni. Terdapat beberapa metode pembangkit sinyal pulsa pada inverter, salah satunya adalah metode *Pulse Width Modulation* (PWM). Metode ini menginjeksikan kombinasi antara sinyal sinus dan sinyal segitiga pada inverter. Pada aplikasinya gangguan harmonisa pada gelombang yang dihasilkan inverter dengan metoda PWM tidak dapat dihindarkan. Untuk itu diterapkan sebuah filter untuk membuat gelombang menjadi sinusoidal murni. Pada makalah ini membahas filter LCL yang diaplikasikan pada sistem grid yang terhubung pada sistem sel surya.

2. Metodologi Penelitian

Topologi dari modul sel surya yang terhubung ke grid ditunjukkan pada Gambar 1.

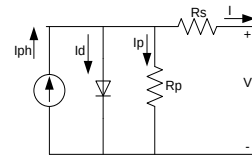


Gambar 1. Model Sistem

Pada sisi DC tampak modul sel surya dengan masukan temperatur dan radiasi terhubung dengan DC/DC Boost Converter melalui MPPT. Dalam hal ini DC/DC Boost Converter berfungsi untuk meningkatkan tegangan output dari PV dan MPPT. Sedangkan pada sisi AC terdapat inverter dengan pembangkit sinyal PWM generator yang berfungsi untuk mengkonversi dari daya DC menjadi daya AC. Serta filter LCL untuk menyempurnakan keluaran yang dihasilkan oleh inverter sebelum terhubung ke grid.

2.1 Modul Sel Surya

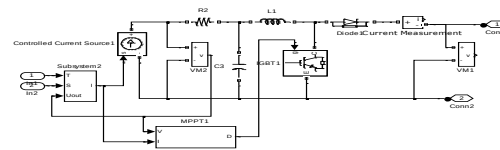
Rangkaian ekivalen dari sel surya digambarkan pada Gambar 2. Pada rangkaian terdapat sumber arus I_{ph} , diode D , resistor seri R_s dan resistor parallel R_p , tegangan dan arus pada sel surya dipengaruhi oleh temperature dan radiasi [1]



Gambar 2. Rangkaian Pengganti Sel Surya

2.2 MPPT

Algoritma MPPT yang digunakan adalah metode hill climbing, pada metode ini menggunakan tegangan dan arus dari modul sel surya sebagai input dan output dari MPPT berupa tegangan dan arus digunakan sebagai pembangkit pulsa dari rangkaian DC/DC boost converter.



Gambar 3. DC/DC Boost Converter

2.3 DC/DC Boost Converter

DC/DC Boost Converter mendapatkan masukan dari MPPT berupa pembangkit sinyal yang dapat meningkatkan tegangan output dari PV dan MPPT. Rangkaian DC/DC Boost Converter yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3

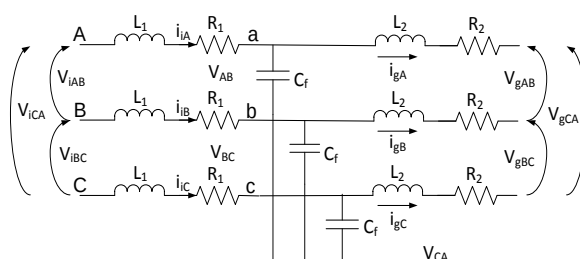
2.4 DC/AC PWM Inverter

Inverter tiga phasa menggunakan teknik pensaklaran PWM yang digunakan telah dibangun oleh Simulink / Matlab berupa *Universal Bridge* dan PWM Generator

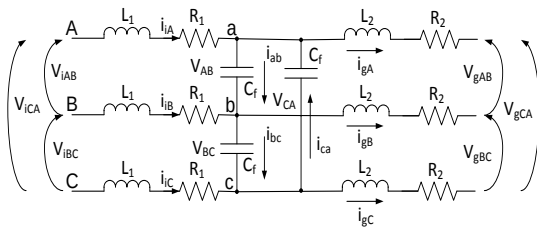
2.5 Filter LCL

Filter LCL menghubungkan antara inverter dan jaringan tiga phasa dengan dua metode peletakan komponen kapasitor yaitu koneksi wye dan koneksi delta.

Topologi Filter LCL dengan kapasitor terkoneksi Wye dapat dilihat pada Gambar 4. Topologi Filter LCL dengan kapasitor terkoneksi Delta dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4 Filter LCL dengan kapasitor terkoneksi Wye



Gambar 5 Filter LCL dengan kapasitor terkoneksi Delta

State space dari kedua rangkaian filter tersebut diatas dijabarkan pada Reznik (2013).

Sedangkan parameter-parameter yang dibutuhkan dalam perancangan filter LCL adalah:

V_{LL} = tegangan RMS (tegangan output dari inverter)
 P_n = Daya aktif rata-rata
 V_{DC} = Tegangan DC
 F_g = frekwensi grid
 F_{sw} = frekwensi switching
 F_{res} = frekwensi resonance
 Impedansi dan kapasitansi dasar didefinisikan sebagai:

$$Z_b = \frac{V_{LL}^2}{P_n} \quad (1)$$

$$C_b = \frac{1}{\omega_n Z_b} \quad (2)$$

untuk desain kapasitansi filter, dianggap bahwa variasi faktor daya maksimum berdasarkan grid 5%, dikalikan dengan nilai impedansi dasar sistem sehingga $C_f = 0.05 C_b$

Arus output maksimum pada DC/AC inverter adalah

$$\Delta I_{Lmax} = \frac{2V_{DC}}{3L_1} (1 - m) m T_{sw} \quad (3)$$

Dimana m adalah faktor modulasi, maksimum ripple peak to peak terjadi pada $m = 0.5$, sehingga

$$\Delta I_{Lmax} = \frac{V_{DC}}{6f_{sw} L_1} \quad (4)$$

Dimana L_1 adalah induktor pada sisi inverter. Ripple arus rata-rata sebesar 10% dari arus maksimum pada DC/AC inverter, maka:

$$\Delta I_{Lmax} = 0.1 I_{max} \quad (5)$$

Dimana:

$$I_{max} = \frac{P_n \sqrt{2}}{3V_{ph}} \quad (6)$$

$$L_1 = \frac{V_{DC}}{6f_{sw} \Delta I_{Lmax}} \quad (7)$$

kedua persamaan dibawah ini menggambarkan hubungan antara arus harmonisa yg ditimbulkan oleh inverter dan diinjeksikan ke grid.

$$\frac{i_g(h)}{i_i(h)} = \frac{1}{[1 + r(1 - L_1 C_b \omega_{sw}^2 x)]} = k_a \quad (9)$$

Atau

$$L_2 = \frac{\sqrt{\frac{1}{k_a^2} + 1}}{C_f \omega_{sw}^2} \quad (10)$$

Dimana nilai k_a tergantung dari redaman yang diinginkan, $C_f = 0.01 \div 0.05 C_b$

Konstanta r didefinisikan sebagai hubungan antara induktansi pada sisi inverter dan sisi grid.

$$L_2 = r L_1 \quad (11)$$

Sebuah resistor dipasang seri (R_f) dengan kapasitor untuk meredam ripple pada frekwensi switching dan menghindari resonansi. Nilai R_f :

$$\omega_{res} = \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2 C_f}} \quad (12)$$

$$10f_g < f_{res} < 0.5f_{sw} \quad (13)$$

$$R_f = \frac{1}{3\omega_{res} C_f} \quad (14)$$

Perhitungan parameter yang disebutkan diatas adalah untuk filter LCL dengan kapasitor terkoneksi Wye, sedangkan untuk komponen pada koneksi delta dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$Z_{AB} = \frac{Z_A}{3} \quad (15)$$

$$R_{f\Delta} = 3R_{fY} \quad (16)$$

$$C_{f\Delta} = \frac{C_{fY}}{3} \quad (17)$$

2.6 Harmonisa

Harmonisa dalam sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai suatu distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus, atau daya dengan bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonisa ($h_1, h_2, \dots$ dst) pada frekwensi kelipatannya.

Semakin banyak gelombang harmonisa yang diikutsertakan pada gelombang fundamentalnya, maka gelombang akan mendekati gelombang persegi yang non sinusoidal.

Persentase dari total komponen harmonisa dengan komponen fundamentalnya disebut *Total Harmonic Distortion* (THD).

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (18)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (19)$$

Dimana:

V_1 = Tegangan dasar

V_h = Tegangan harmonisa

I_1 = Arus dasar

I_h = Arus harmonisa

h = Orde harmonisa

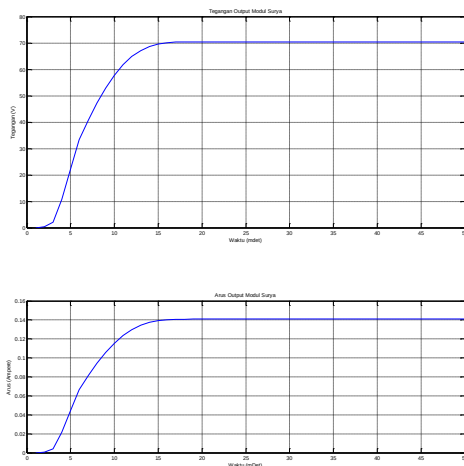
Semakin besar nilai persentase THD suatu sistem akan meningkatkan resiko kerusakan pada peralatan baik diakibatkan harmonisa pada arus maupun tegangan. Mengacu pada standart Internasional IEEE 519-1992, persentase THD tidak boleh lebih dari 5 %.

3. Simulasi dan Hasil

Simulasi dilakukan dengan software Simulink dari Matlab dan menggunakan parameter pada Tabel 1. Adapun rangkaian simulink yang digunakan pada simulasi dapat dilihat pada Gambar 6. Simulasi menggunakan model matematika dari sel surya dengan temperatur 25 dan radiasi 1000 W/m² sebagai inputan. Output dari modul sel surya berupa tegangan dan arus dapat dilihat pada Gambar 7(a) dan (b).

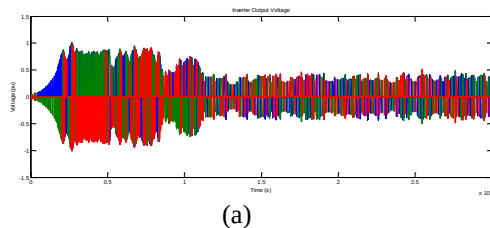
Tabel 1 Parameter Sistem

Parameter	Value
Frekwensi dasar	50 Hz
Frekwensi pembangkit PWM	4 kHz
Daya nominal	5 kW
Tegangan phasa	120 V
Tegangan DC	400 V
Induktor pada sisi inverter	1,47 mH
Induktor pada sisi grid	0,29 mH
Kapasitor Y / Δ	15 μ F / 5 μ F
Resistor damping Y / Δ	0,55 Ω / 1.65 Ω

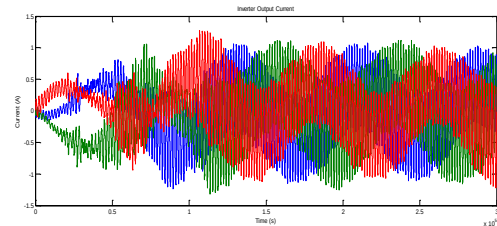


Gambar 7. Output Modul Sel Surya

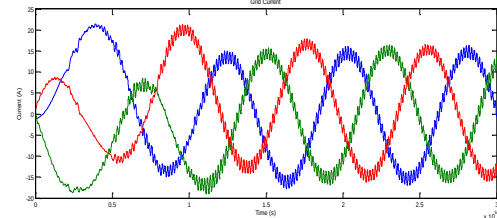
Sedangkan output dari sistem tanpa menggunakan filter LCL dapat dilihat pada Gambar 8



(a)



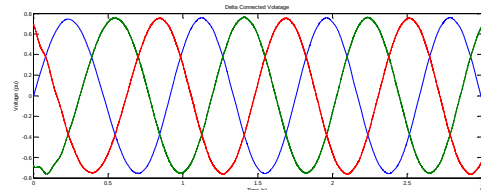
(b)



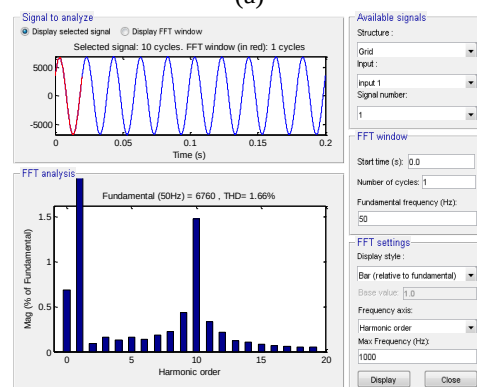
(c)

Gambar 8. System Tanpa Filter LCL (a) Tegangan Output Inverter (b) Arus Output Inverter (c) Arus pada Grid

Gambar 9 merupakan hasil dari Filter LCL dengan kapasitor terhubung delta. Dan Gambar 10 adalah hasil dari Filter LCL dengan kapasitor terhubung wye.

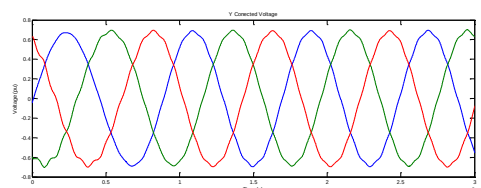


(a)

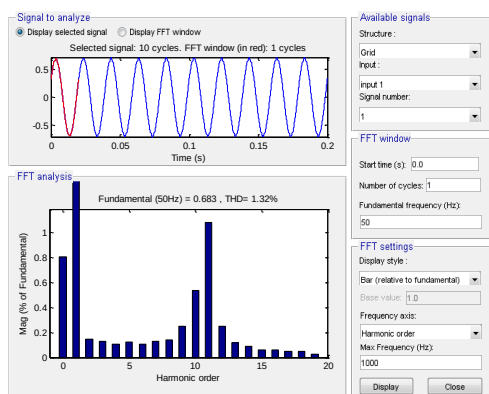


(b)

Gambar 9. Kapasitor terkoneksi Delta (a) Tegangan Grid (b) THD Tegangan



(a)



(b)

Gambar 10. Kapasitor terkoneksi Wye (a) Tegangan Grid (b) THD Tegangan

Tabel 2. THD Pada Sistem

	THD Grid	
	Tegangan	Arus
Tanpa Filter LCL	879 %	19,40 %
Kapasitor terkoneksi Delta	1,66 %	1,63 %
Kapasitor terkoneksi Wye	1,32 %	2,28 %

Tabel 2 menunjukkan bagaimana Filter LCL dapat mereduksi harmonisa yang ditimbulkan inverter baik dalam kapasitor terkoneksi Delta maupun Wye

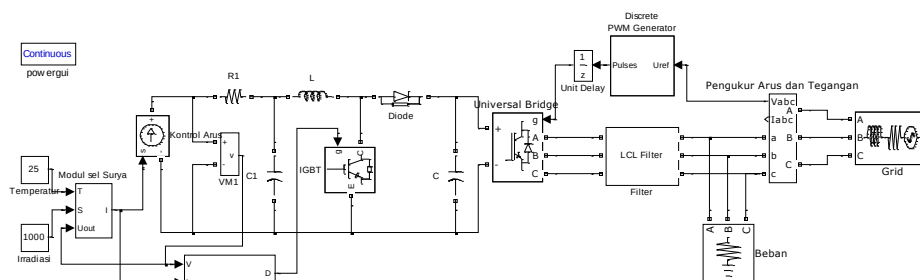
4. Kesimpulan

Simulasi sistem dilakukan dengan melihat perubahan THD terhadap filter LCL yang digunakan. Pada simulasi ini dilihat kemampuan dari filter LCL dengan kapasitor terkoneksi Wye dan Delta untuk mereduksi harmonisa. Pada Gambar dapat dilihat bahwa walaupun menggunakan nilai induktansi yang kecil Filter LCL dapat mereduksi harmonisa yang ada baik pada tegangan maupun arus. Walaupun sebenarnya Filter LCL juga menyebabkan efek resonansi yang menyebabkan masalah ketidak stabilan sistem. Akan tetapi masalah ini dapat diatasi dengan memasang resistor damping yang diletakkan seri dengan induktansi dan kapasitor.

Dengan Tabel 2 dapat dibuktikan bahwa filter LCL yang diusulkan dapat mereduksi harmonisa yang timbul pada grid dengan THD masih dibawah 5%, sesuai dengan standart IEEE 519-1992.

Daftar Pustaka

- A. Reznik, M. Godoy Simões, Ahmed Al-Durra, S. M. Mueen, (2013), *LCL Filter Design and Performance Analysis for Grid Interconnected Systems*, IEEE Transaction on Industri Application, Volume 50
- B. Keerthisree, E.Vinod Arun Kumar, (2011), *Current Harmonic Compensation Using PV Inverter In Grid Connected Systems*, International Journal Of Innovative Research & Development
- Habbati Bellia, Ramdani Youcef, Moulay Fatima,(2014),*A Detailed Modelling of Photovoltaic Module Using MATLAB*, NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics 3, 56-61
- S. Rustemli, F. Dincer,(2011),*Modelling of Photovoltaic Panel and Examining Effects of Temperature in Matlab/Simulink*, Electronics and Electrical Engineering ISSN 1392-1215, No.3(109)
- Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, and Yi-Jie Su,(2008),*Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK*, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008 WCECS 2008, October 22-24, San Francisco, USA
- M.Veerachary, T. Senjyu, and K. Uezato,(2002), *Voltage-based maximum power point tracking control of PV system*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol.38, no1, pp.262-270
- Masoud Farhoodnea, Azah Mohammed, Hussain Shareef, Hadi Zayandehroodi,(2012), *Power Quality Impact of grid-Connected Photovoltaic Generation system in distribution Networks*, IEEE Student Conference on Research and Development
- Muhammad Imran Hamid, Awang Jusoh, Makbul Anwari, (2011), *Power Quality Improvement for Distributed Generation Employing Photovoltaic-Inverter*, IEEE Applied Power Electronics Colloquium (IAPEC)
- Malla,S.G., Bhende, C.N., Mishra, S.,(2011),*Photovoltaic based water pumping System*, International Conference Energi, Automation, and Signal (ICEAS)



Gambar 6 Rangkaian Sistem