

KONEKSI PARALEL MODUL SURYA DAN SISTEM KELISTRIKAN MELALUI KONVERTER UNTUK PEMBAGIAN BEBAN DAN REDUKSI HARMONISA

Oleh :

Slamet Riyadi

Teknik Elektro –Unika Soegijapranata Semarang

HP : 081 390 84 0077, e-mail : s_riyadi672003@yahoo.com

ABSTRACT

Electric energy is a form of energy that dominantly used in any sectors. Due to the fossil based energy crisis, large scale generation of electric energy faces some problems. In Indoensia, PV system is commonly used for regions where there is no electric energy supplied by utility. By using an inverter, a PV can be connected to the utility grid. Parallel connecting of the two system requires some condition. To avoid the complexity caused by parallel connection, a PV-grid connected concept using a Pulse Width Modulation (PWM) inverter operated as a controlled current source is proposed. This can share the load supply and reduce the harmonic content at source side. To verify the analysis, simulation and laboratory experiment are done.

Keywords : Photovoltaic module, inverter, harmonics, PWM

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi listrik dewasa ini sangat didominasi oleh peralatan-peralatan berbasis elektronika modern. Karena sifat peralatan tersebut yang tidak linier maka akan menyebabkan terjadinya distorsi akibat munculnya komponen harmonisa. Dampak negatif yang ditimbulkan oleh harmonisa sudah menjadi masalah yang serius. Di sisi lain, terjadinya krisis bahan bakar fosil secara global telah mempengaruhi penyediaan energi listrik secara nasional. Sektor industri dan perkantoran sebagai penopang perekonomian bangsa juga terpengaruh. Pemerintah telah menekankan usaha penghematan dan pencarian sumber energi alternatif.

Modul surya mampu mengubah sinar matahari menjadi energi listrik dalam bentuk tegangan searah sehingga hanya peralatan-peralatan yang memiliki spesifikasi tertentu yang dapat disuplai. Modul surya juga dapat dikombinasikan dengan suatu konverter untuk menghasilkan tegangan bolak-balik sehingga mampu mensuplai peralatan dengan spesifikasi sama seperti peralatan pada umumnya (Gabler, 2004), (Wai dkk, 2008). Pada aplikasi lanjut, modul surya dapat dihubungkan dengan sistem tetapi harus melalui tegangan yang sinkron antara tegangan keluaran konverter dan sistem. Operasi seperti ini biasanya membutuhkan biaya yang mahal karena kompleksitas dari konverter yang dibutuhkan.

Indonesia yang secara geografis terletak di katulistiwa memiliki keuntungan dalam pemanfaatan modul surya. Dewasa ini, pemakaian modul surya di Indonesia masih terbatas di daerah yang belum terjangkau oleh listrik dari PLN. Aplikasinya masih secara langsung dengan tegangan searah yang dihasilkan. Sedangkan di daerah di mana tersedia energi listrik dari PLN, masyarakat masih sepenuhnya menggantungkan kebutuhan energi listrik dari suplai PLN. Sebenarnya modul surya dapat dimanfaatkan oleh konsumen PLN melalui koneksi paralel antara modul surya dan sistem PLN sehingga beberapa keuntungan akan didapatkan yaitu :

- Ø Pada saat ada sinar matahari, modul surya akan mensuplai sebagian peralatan yang digunakan dengan demikian maka biaya pemakaian energi listrik dari PLN dapat dihemat.
- Ø Penggabungan energi listrik dari modul surya (melalui konverter) ke sistem PLN akan meningkatkan kapasitas daya listrik yang tersedia.
- Ø Koneksi paralel modul surya dengan sistem PLN melalui konverter juga dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas daya listrik.

Modul surya juga dapat digunakan dalam sistem kelistrikan hybrid, di mana beberapa sumber energi seperti energi angin, biomassa, dimodul atau gas digunakan sebagai pembangkit energi listrik (Kremer, 2001). Untuk menggabungkan modul surya dengan sistem kelistrikan yang sudah ada, diperlukan inverter (konverter DC-AC) yang mampu menghasilkan tegangan keluaran bolak-balik. Salah satu persyaratan untuk koneksi antara inverter dengan sistem adalah adanya sinkronisasi tegangan keluaran inverter dengan tegangan sistem (Boegli & Ulmi, 1986), (Shimizu dkk, 2003).

Berbeda dengan penelitian di atas, Peneliti juga telah mengembangkan suatu konsep baru untuk melakukan koneksi paralel antara modul surya dan sistem kelistrikan satu fasa tanpa menggunakan kendali berbasis tegangan untuk sinkronisasi dengan tegangan sistem. Kendali berbasis arus pada inverter MLP digunakan untuk memfungsikan inverter MLP sebagai sumber arus terkendali. Tegangan searah keluaran dari modul surya digunakan sebagai suplai masukan bagi inverter MLP tersebut, selanjutnya inverter MLP akan menginjeksikan arus menurut referensi yang telah ditentukan. Konsep ini merupakan pengembangan dari konsep penapisan aktif yang telah dilakukan oleh penulis (Riyadi & Haroen, 2007), (Riyadi & Haroen, 2005). Koneksi paralel antara modul surya dan sistem melalui inverter MLP ditujukan untuk memperbaiki kualitas daya listrik yang turun akibat harmonisa dan melakukan pembagian pembebanan. Metoda ini memungkinkan pengguna dapat menentukan peralatan-peralatan mana saja yang akan dicatu oleh modul surya.

Pada makalah ini dikembangkan suatu metoda untuk menghubungkan paralel antara modul surya dan sistem PLN melalui konverter MLP yang ditujukan untuk memperbaiki kualitas daya listrik yang turun akibat harmonisa dan melakukan pembagian pembebanan. Kendali yang diusulkan tidak didasarkan pada tegangan karena kompleksitas melainkan menggunakan kendali berbasis arus yang lebih sederhana. Suatu konverter MLP akan dioperasikan sebagai sumber arus terkendali untuk mengalirkan arus sesuai beban yang akan disuplai. Kondisi ini secara otomatis akan mengunci tegangan konverter MLP pada tegangan sistem PLN. Metoda ini memungkinkan pengguna dapat menentukan peralatan-peralatan mana saja yang akan dicatu oleh modul surya.

KAJIAN PUSTAKA

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling banyak dibutuhkan oleh umat manusia, baik di negara maju maupun di negara yang sedang berkembang, baik di perkotaan maupun di pedesaan. Keterbatasan penyaluran energi listrik maupun keterbatasan dalam kapasitas yang tersedia membuat tidak semua lapisan masyarakat dapat menikmati energi listrik. Terjadinya krisis bahan bakar fosil secara global memaksa banyak negara maju mencari sumber energi alternatif sebagai solusi atas masalah tersebut. Energi angin dan energi matahari menjadi tumpuan harapan para peneliti di bidang energi untuk dapat dikembangkan sebagai sumber energi yang mampu diubah menjadi listrik sebagai pengganti energi berbasis

bahan bakar fossil. Energi angin banyak dikembangkan dan dimanfaatkan oleh negara-negara yang secara geografis terletak di daerah sub-tropis sedangkan energi matahari banyak dikembangkan untuk negara-negara di daerah tropis.

Melalui modul surya, energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik dalam bentuk tegangan searah. Secara sederhana, modul surya dapat dimanfaatkan secara terpisah dari sistem kelistrikan yang sudah ada, baik secara langsung untuk mencatu peralatan yang membutuhkan tegangan searah ataupun melalui inverter untuk peralatan yang membutuhkan tegangan bolak-balik [Gabler, 2004], [Way dkk, 2008]. Modul surya juga dapat digunakan dalam sistem kelistrikan hybrid, di mana beberapa sumber energi seperti energi angin, biomassa, dimodul atau gas digunakan sebagai pembangkit energi listrik [Kremer, 2001]. Untuk menggabungkan modul surya dengan sistem kelistrikan yang sudah ada, diperlukan inverter yang mampu menghasilkan tegangan keluaran bolak-balik. Salah satu persyaratan untuk koneksi antara inverter dengan sistem adalah adanya sinkronisasi tegangan keluaran inverter dengan tegangan sistem [Boegli dan Ulmi, 1986], [Shimizu dkk, 2003].

Beberapa macam topologi inverter yang memiliki unjuk kerja tertentu untuk aplikasi modul surya akan menghasilkan tegangan keluaran dengan kualitas yang berbeda [Heskes and Enslin, 2003]. Untuk pemakaian beberapa modul surya secara independent, suatu konsep di mana suatu inverter yang mampu mengalirkan daya dari modul surya sesuai dengan intensitas cahaya tiap modul surya telah dikembangkan [Shimizu dkk, 2003].

Peneliti juga telah mengembangkan konsep koneksi paralel antara modul surya dan sistem kelistrikan satu fasa tanpa menggunakan kendali berbasis tegangan untuk sinkronisasi dengan tegangan sistem. Kendali berbasis arus pada konverter MLP digunakan untuk memfungsikan konverter MLP sebagai sumber arus terkendali. Tegangan searah keluaran dari modul surya digunakan sebagai suplai masukan bagi konverter MLP tersebut, selanjutnya konverter MLP akan menginjeksikan arus menurut referensi yang telah ditentukan. Konsep ini merupakan pengembangan dari konsep penapisan aktif yang telah dilakukan oleh penulis [Riyadi dan Haroen, 2007], [Riyadi dan Haroen, 2005].

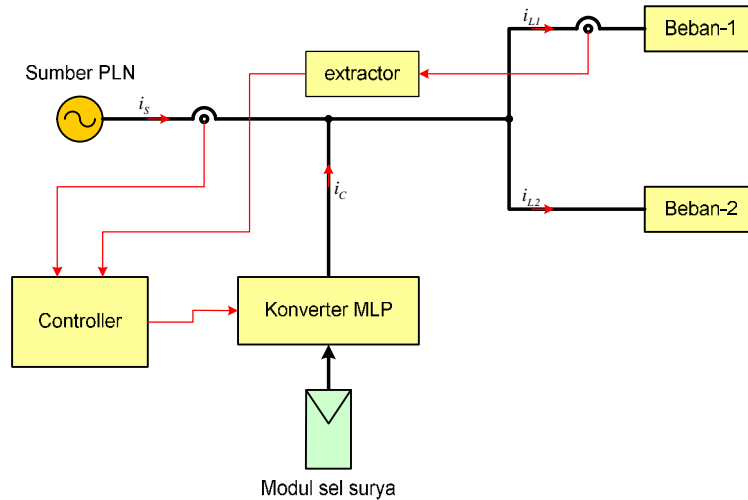
METODE PENELITIAN

Metoda yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis, simulasi dan dilanjutkan dengan pengujian laboratorium. Analisis dilakukan guna menurunkan konsep koneksi paralel modul surya dan sistem. Selanjutnya piranti untuk koneksi juga diturunkan beserta kendali yang diperlukan. Untuk menguji validasi hasil analisis selanjutnya simulasi dengan menggunakan perangkat lunak PSIM dilakukan. Skema yang telah diturunkan secara analisis dan diverifikasi dengan simulasi akhirnya direalisasikan untuk pengujian laboratorium. Penelitian ini berlangsung kurang lebih selama satu tahun di Laboratorium Elektronika Daya Teknik Elektro Unika Soegijapranata Semarang. Melalui prototip yang dirancang, pengujian dilakukan meliputi pengukuran dengan alat ukur dan *oscilloscope* pada gelombang-gelombang tegangan dan arus. Bentuk gelombang hasil simulasi akan diverifikasi dengan hasil pengukuran. Dari komparasi keduanya selanjutnya dilakukan analisis. Keberhasilan proses pembagian pembebanan dan reduksi harmonisa dapat dilihat dari :

- ✓ Bentuk gelombang arus sumber mendekati sinusoidal
- ✓ Komponen fundamental arus sumber harus lebih kecil dari arus beban

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gb-1 disajikan suatu sistem yang dibebani oleh dua beban listrik, yaitu beban-1 dan beban-2. Penelitian ini mengambil kasus pembebanan satu fasa dengan menggunakan penyearah dioda berbeban induktif untuk menghasilkan arus yang mengandung harmonisa. Inverter MLP dengan sumber DC masukan yang berasal dari modul surya digunakan sebagai *interface* untuk menginjeksikan arus ke sistem.



Gb-1. Skema koneksi paralel modul surya (melalui konverter MLP) dengan sistem satu fasa yang difungsikan untuk membagi pembebanan dan memperbaiki tingkat distorsi

Rangkaian kendali yang digunakan pada koneksi paralel antara modul surya dengan sistem di sini mampu melakukan proses ekstraksi, yaitu mampu memisahkan komponen harmonisa dan komponen fundamental sehingga arus beban-1 dapat dipisahkan menjadi

$$i_{L1} = i_{L1f} + i_{L1h} \quad (1)$$

di mana

i_{L1f} = komponen fundamental dari arus beban-1

i_{L1h} = komponen harmonisa dari arus beban-1

Mengacu skema rangkaian kendali pada Gb-1 maka persamaan yang dapat diturunkan adalah sebagai berikut :

Tanpa adanya koneksi modul surya maka arus sumber akan sama dengan arus beban

$$i_s = i_L = i_{L1f} + i_{L1h} + i_{L2} \quad (2)$$

Dengan adanya koneksi paralel modul surya maka arus sumber akan sama dengan komponen fundamental dari arus beban-1

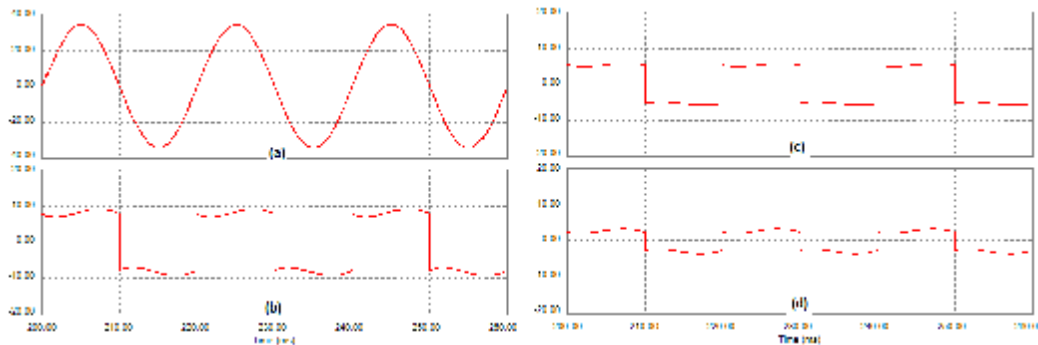
$$i_s = i_{L1f} \quad (3)$$

Kondisi ini terjadi karena modul surya mengirimkan arus kompensasi ke sistem PLN sebesar

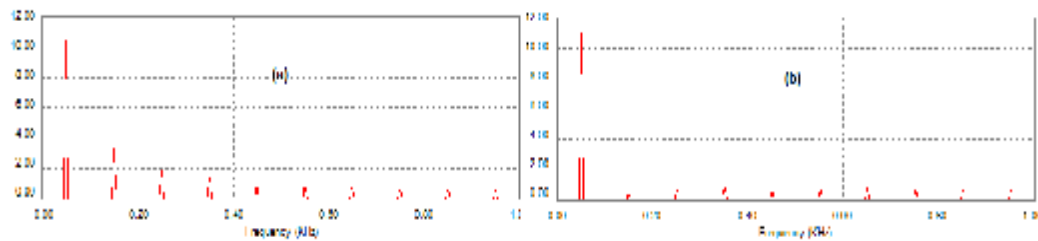
$$i_c = i_L - i_{L1f} = i_{L1h} + i_{L2} \quad (4)$$

Untuk mendukung analisis yang dilakukan, simulasi dengan menggunakan perangkat lunak PSIM dilakukan. Pada simulasi digunakan beban-1 dan beban-2 berupa penyearah dioda berbeban induktif. Pemasangan beban-beban tersebut menghasilkan arus beban berupa gelombang mendekati gelombang persegi (seperti tampak pada Gb-2b-d).

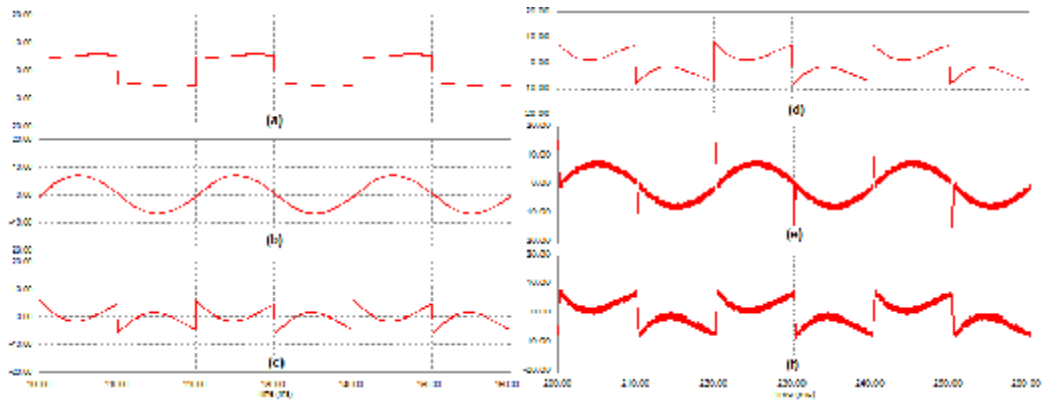
Terjadinya gelombang yang tidak sinusoidal menunjukkan adanya kandungan harmonisa akibat pemasangan beban tak linier. Pada Gb-3a ditunjukkan spektrum yang terdiri dari komponen fundamental disertai komponen harmonisa yang cukup signifikan. Skema kendali yang dirancang difungsikan untuk membuat arus sumber sama dengan komponen fundamental dari arus beban-1, kondisi ini dapat dicapai jika inverter MLP menginjeksikan arus ke sistem sebesar komponen harmonisa arus beban-1 ditambah dengan arus beban-2 (Gb-4d). Dengan melakukan injeksi arus seperti tampak pada Gb-4f maka arus sumber akan mendekati sinusoidal (Gb-4e). Spektrum dari arus sumber tadi memiliki komponen harmonisa yang sudah tereduksi.



Gb-2. Hasil simulasi (a) tegangan sumber (b) arus beban total (c) arus beban-1 (d) arus beban-2

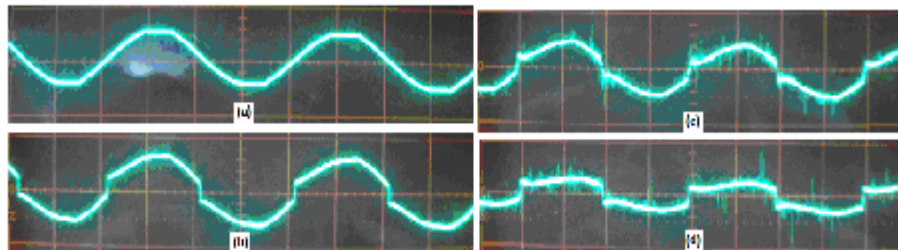


Gb-3. Hasil simulasi (a) spektrum arus beban total (b) spektrum arus sumber

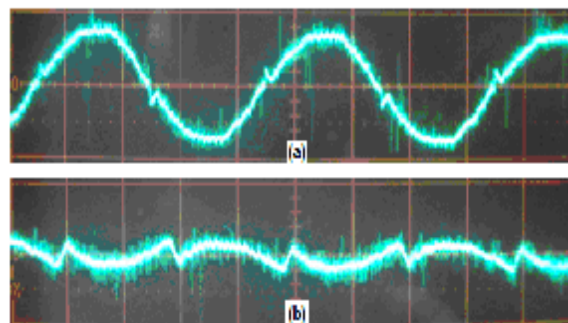


Gb-4. Hasil simulasi (a) arus beban-1 (b) komponen fundamental arus beban-1 (c) komponen harmonisa arus beban-1 (d) komponen harmonisa arus beban-1 ditambah arus beban-2 (e) arus sumber (f) arus injeksi inverter MLP

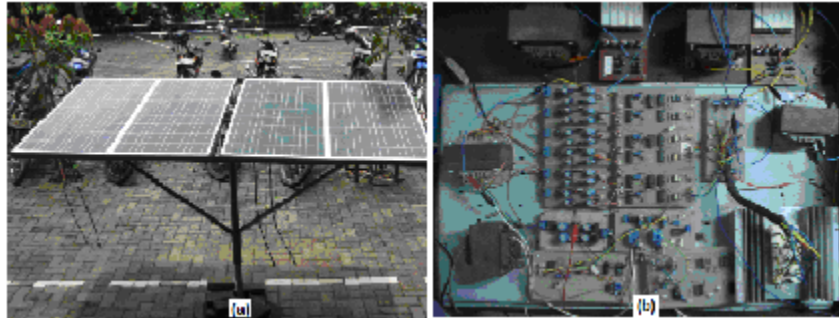
Setelah simulasi dilakukan akhirnya perancangan prototip direalisasikan guna pengujian laboratorium. Pada Gb-5a dan Gb-5b ditunjukkan hasil pengujian gelombang tegangan sumber dan arus beban total. Arus beban tersebut tersusun atas arus beban-1 ditambah arus beban-2 (Gb-5c dan Gb-5d). Arus sumber dan arus injeksi yang diberikan oleh inverter MLP ditampilkan pada Gb-6. Modul surya yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik bagi inverter MLP dan prototip hasil perancangan disajikan pada Gb-7.



Gb-5. Hasil pengujian (a) tegangan sumber (b) arus beban total (c) arus beban-1 (d) arus beban-2 [skala 50V/div - 5A/div - 5 ms/div]



Gb-6. Hasil pengujian (a) arus sumber (b) arus injeksi inverter MLP [skala 5A/div - 5 ms/div]



Gb-7. (a) modul surya (b) prototip yang dirancang

Pemakaian peralatan listrik dapat diimplementasikan dengan bermacam-macam beban listrik, baik beban listrik yang bersifat linier ataupun tak linier. Pemasangan beban tak linier menimbulkan harmonisa yang lebih lanjut dapat mengakibatkan terjadinya distorsi arus dan tegangan. Dampak negatif harmonisa adalah merugikan bagi konsumen dan penyedia energi listrik. Dengan keterbatasan energi listrik maka efisiensi pemanfaatan harus tetap dijaga, di antaranya dengan melakukan reduksi harmonisa. Di sisi lain pemanfaatan energi alternatif terus digalakkan. Dengan bantuan inverter MLP sebagai *interface* antara modul surya dan sistem maka energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya dapat digabungkan dengan energi listrik dari sistem. Hasil perancangan prototip penelitian ini menunjukkan bahwa koneksi paralel modul surya dengan sistem melalui inverter MLP sebagai sumber arus terkendali dapat melakukan pembagian pembebanan dan melakukan reduksi harmonisa akibat pemasangan beban tak linier.

Pada prototip yang dirancang, diinginkan kandungan harmonisa pada sisi sumber dapat direduksi. Tujuan ini dapat direalisasikan dengan membuat arus sumber mendekati nilai komponen fundamental dari arus beban-1. Implementasi dari rangkaian kendali dilakukan dengan cara mendeteksi dan menapis arus beban-1 untuk diambil komponen fundamentalnya. Selanjutnya komponen ini akan dikomparasi dengan arus sumber sebagai nilai *error*. Dengan kontroler maka nilai *error* akan dipaksa mendekati nol, dengan demikian akhirnya maka arus sumber modulalu mendekati nilai komponen fundamental arus beban-1. kondisi ini dapat dicapai jika modul surya mengirimkan energi listrik ke sistem dengan arus sejumlah nilai komponen harmonisa beban-1 dan arus beban-2.

SIMPULAN

Penelitian telah selesai dilakukan dan akhirnya beberapa kesimpulan dapat diturunkan :

- Prototip alat yang dirancang mampu melakukan pembagian pembebanan dengan sistem kelistrikan PLN dan mereduksi kandungan harmonisa akibat pemasangan beban tak linier.
- Pembagian pembebanan dan reduksi harmonisa dapat dipilih dengan menentukan posisi pendeteksi arus dan tapis.
- Arus sumber yang terjadi masih mengandung *spike* yang dapat diatur melalui pemilihan nilai induktor pada inverter MLP.

SARAN

Guna mendukung implementasi dan kelanjutan pengembangan prototip ini maka beberapa saran juga disampaikan, yaitu

- Hubungan koneksi secara langsung dengan sistem PLN yang memiliki tegangan efektif 220 Volt mengharuskan tersedianya tegangan searah modul surya di atas nilai puncak tegangan PLN
- Realisasi konsep ini membutuhkan jumlah modul surya lebih banyak untuk hubungan seri dan akhirnya berdampak pada masalah biaya

DAFTAR PUSTAKA

- Boegli, U., Ulmi, R. 1986. *Realization of a New Inverter Circuit for Direct Photovoltaic Energy feedback into the Public Grid*. IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. IA-22, No. 2
- Gabler, H. 2004. *Off-Grid Electricity Supply with Photovoltaic Solar Energy – Current Trends in Household Electrification*. International PVSEC-14, Bangkok, Thailand
- Kremer, P. 2001. *Photovoltaic Hybrid Systems Enhance Reliability of Power Supply*. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Munich, Germany
- Riyadi, S., Haroen, Y., 2005. *Analysis of Instantaneous Representative Active Power Equality based Control Method for Three Phase Shunt Active Power Filter*. Proceedings of PEDS (Power Electronics and Drive Systems) , Malaysia
- Riyadi, S., Haroen, Y., 2005. *A New Control Strategy for Three-Phase Shunt Active Power Filter that based on Source Instantaneous Power*. Proceedings of IPEC (International Power Engineering Conference), Singapore
- Riyadi, S., Haroen, Y., 2007. *Power Analysis of a Shunt Active Power Filter for Three-Phase Four-Wire System under Unbalanced Main Voltages*. Proceedings of ICEEI (International Conference on Electrical Engineering and Informatics), Indonesia
- Shimizu, T., Hashimoto, O., Kimura, G. 2003. *A Novel High-Performance Utility-Interactive Photovoltaic Inverter System*. IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 18, No. 2
- Wai, R., J., Wang, W., H., Lin, C., Y. 2008. *High-Performance Stand-Alone Photovoltaic Generation System*. IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 55, No. 1