

**OPTIMALISASI DAYA KELUARAN PEMBANGKIT LISTRIK
MIKRO HYDRO (PLTMH) MELALUI CURRENT COMPENSATOR
(POWER OPTIMALIZATION FOR MICRO-HYDRO POWER PLANT
BY USING CURRENT COMPENSATOR)**

Slamet Riyadi, Leonardus Heru P.

Laboratorium Elektronika Daya, Teknik Elektro – FTI, Unika Soegijapranata

ABSTRACT

Micro-Hydro Power Plants (PLTMH) have been built in some countries in Indonesia as alternative ways to generate electricity for any regions which have no electricity from PLN. Electric energy generated by PLTMH are commonly used for loads such as electric motors, lamps, heaters, etc. This consumption will result in some power components appear, these are active power, reactive power and harmonics so the efficiency will be poor and finally the amount of power that used by the people will be smaller. In this research a device called current compensator is installed in parallel connection to the system to recovery reactive and harmonic power component. This compensator will inject current components that force the generator only supply active power component. This condition will increase the efficiency. The core of a current compensator is power converter that is implemented by high speed static switches. They are controlled automatically to adapt the real condition. Analysis and laboratory experimental works are done to validate.

Keywords : *active power, reactive power, harmonics, compensator*

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan faktor dominan yang mendorong pertumbuhan ekonomi bangsa Indonesia sehingga Pemerintah terus berusaha agar energi listrik dapat menjangkau seluruh lapisan masyarakat. Bagi masyarakat di pedesaan, karena kondisi geografis dan keterbatasan PLN maka hingga saat ini belum dapat teraliri listrik sehingga tingkat pertumbuhan ekonominya tidak secepat daerah di mana sudah tersedia energi listrik. Berbagai langkah telah dilakukan oleh masyarakat secara swadaya maupun dengan bantuan Pemerintah Daerah guna mendapatkan energi listrik. Beberapa pembangkit listrik skala kecil telah dapat diupayakan, di antaranya adalah PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro).

Suatu PLTMH sebenarnya merupakan skala kecil dari PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) yaitu suatu pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran air guna memutar turbin air. Walaupun sangat bergantung pada kondisi musim tetapi jenis pembangkit ini sangat murah dalam operasionalnya. PLTMH dapat dibangun dari skala untuk memenuhi kebutuhan listrik beberapa penduduk hingga kebutuhan listrik untuk beberapa desa dan umumnya terpisah dengan sistem PLN

PLTMH yang dibangun di suatu area belum tentu akan mampu memenuhi kebutuhan listrik bagi seluruh masyarakat di area tersebut, hal ini sangat ditentukan oleh tersedianya aliran sungai yang tersedia. Oleh karena itu, energi listrik yang telah dibangkitkan harus mampu diubah menjadi daya yang dapat

dimanfaatkan oleh konsumen (masyarakat). Hal ini menunjukkan betapa pentingnya untuk mengubah daya semu (VA) menjadi daya nyata (Watt) semaksimal mungkin. Jika nilai Watt semakin tinggi maka akan semakin banyak masyarakat yang dapat menikmati energi listrik suatu PLTMH. Dengan demikian langkah menerapkan teknologi yang mampu mengoptimalkan daya keluaran suatu PLTMH sangat diperlukan.

Suatu *compensator* pada prinsipnya merupakan suatu piranti konverter yang menggunakan saklar statis berkecepatan tinggi (dapat dipakai MOSFET atau IGBT) dan mulai berkembang sejak dekade 80-an. Sejak mulai banyak digunakan beban motor listrik, lampu SEL maupun beban modern lainnya maka dampak negatifnya mulai dirasakan karena jika diabaikan akan memperpendek umur peralatan [Lai dan Key,1997], [Grusz, 1990]. Untuk mengurangi pengaruh dari beban yang menyerap daya reaktif dan harmonisa maka telah dilakukan beberapa antisipasi, antara lain dengan menggunakan komponen pasif (induktor dan kapasitor) untuk memperbaiki walaupun ukuran menjadi besar [Al-Zamil dan Torrey, 2001]. Konverter dapat diterapkan sebagai *compensator* jenis tegangan (*voltage*) untuk mengurangi beban seperti di atas, dalam implementasinya dipasang secara seri [Wang, dkk. 2001]. Penulis juga telah mengembangkan konverter sebagai *compensator* jenis arus (*current*) untuk melakukan reduksi terhadap distorsi akibat beban tak linier. Konverter jenis ini dipasang di sisi beban [Riyadi, dkk. 2004], [Riyadi dan Haroen, 2005].

Pada penelitian ini dilakukan langkah mengoptimalkan daya keluaran suatu PLTMH melalui suatu alat yang dinamakan *current compensator*. *Compensator* yang menggunakan suatu

konverter statis mampu menginjeksikan daya reaktif dan harmonisa sehingga daya nyata keluaran dari PLTMH akan diupayakan mendekati nilai VA-nya.

BAHAN DAN METODA

Suatu generator AC dengan rating 220V/50Hz pada kondisi ideal akan menghasilkan tegangan AC yang memiliki arti fisik berupa gelombang sinusoidal dengan nilai puncak sebesar $220\sqrt{2}$ Volt dengan perioda sebesar 20 mili dt (dalam 1 detik terjadi 50 buah gelombang sinusoidal). Jika generator dihubungkan dengan peralatan listrik maka akan mengalir arus (bolak-balik) dari generator ke beban atau sebaliknya.

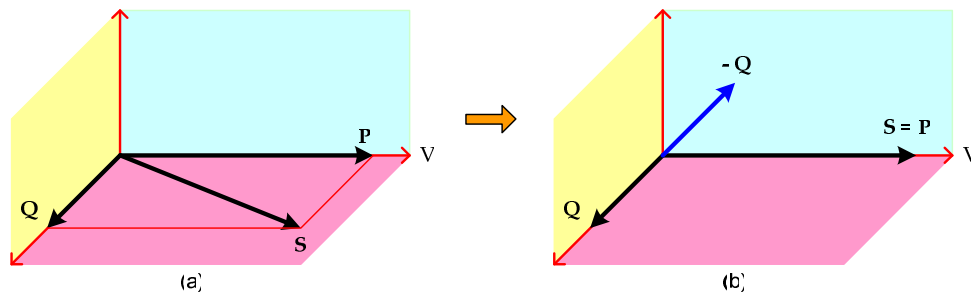
Arus yang bersifat resistif akan memiliki gelombang dengan bentuk sama tetapi dengan amplituda berbeda, kondisi ini mengandung arti bahwa daya yang dihasilkan selalu mengalir dari sumber tegangan ke sisi beban. Secara vektor diagram daya maka nilai daya nyata (P) akan sama dengan nilai daya semu (S). Kondisi memiliki arti bahwa seluruh arus yang mengalir dari/ke generator akan menghasilkan daya yang dapat dimanfaatkan. Beban-beban listrik yang memiliki karakteristik seperti ini adalah : lampu bolam dan pemanas (*heater*) [Lai dan Key,1997]. Sedangkan arus induktif memiliki sifat tergeser dari tegangan fasa tetapi masih memiliki bentuk gelombang sama dengan tegangan. Arus induktif ini memiliki pergeseran sudut fasa sebesar 90 derajat terhadap tegangannya sehingga akan menghasilkan nilai daya sesaat yang berubah dari positif dan negatif tetapi nilai rata-ratanya sama dengan nol, kondisi ini mengandung arti bahwa daya yang dihasilkan akan mengalir dari generator ke sisi beban dan sebaliknya. Diagram vektor pada pembebanan induktif menunjukkan seluruh arus akan diubah menjadi daya reaktif yang tidak

dapat dimanfaatkan menjadi kerja maka dengan demikian daya yang bermanfaat (P) akan sama dengan nol.

Berbeda dengan arus resistif dan arus induktif, arus harmonisa memiliki bentuk yang berbeda dengan gelombang tegangannya. Menurut Fourier, setiap gelombang periodik dapat dinyatakan dengan jumlah gelombang-gelombang sinusoidal. Arus harmonisa ini akan menghasilkan nilai daya sesaat yang berubah dari positif dan negatif tetapi nilai rata-ratanya sama dengan nol, kondisi ini mengandung arti bahwa daya yang dihasilkan akan mengalir dari sumber tegangan ke sisi beban dan sebaliknya [Riyadi, dkk. 2004]. Dalam implementasi beban yang mengandung komponen harmonisa sering dinamakan beban tak linier. Beban tak linier jenis kapasitif sering dijumpai dalam peralatan listrik yang menggunakan penyearah dioda dengan tapis kapasitor pada sisi keluarannya sedangkan beban tak linier jenis induktif sering dijumpai dalam peralatan listrik yang menggunakan penyearah thyristor/dioda dengan tapis

induktor pada sisi keluarannya [Grusz, 1990].

Pada pembebanan resistif akan terjadi kondisi di mana daya semu (S) sama dengan daya nyata (P). Pada kondisi ini maka arus yang mengalir dari generator sepenuhnya diubah menjadi daya nyata atau dengan kata lain bahwa daya yang dihasilkan akan dapat dimanfaatkan menjadi kerja yang berguna. Sedangkan pada jenis pembebanan selain resistif maka akan muncul komponen daya lainnya, yaitu daya reaktif (Q) dan daya harmonisa (H) di mana komponen daya ini akan bolak-balik dari sumber ke beban dan sebaliknya. Komponen daya ini sebenarnya merupakan daya yang terperangkap dalam sistem dan tidak dapat dimanfaatkan menjadi kerja. Mengalirnya komponen daya tak bermanfaat ini akan menyebabkan keluaran dari suatu generator jauh di bawah nilai *rating*-nya. Sehingga akan pemakaian daya keluaran generator dapat optimal maka harus dicapai kondisi di mana daya nyata sama dengan daya semu ($P = S$).



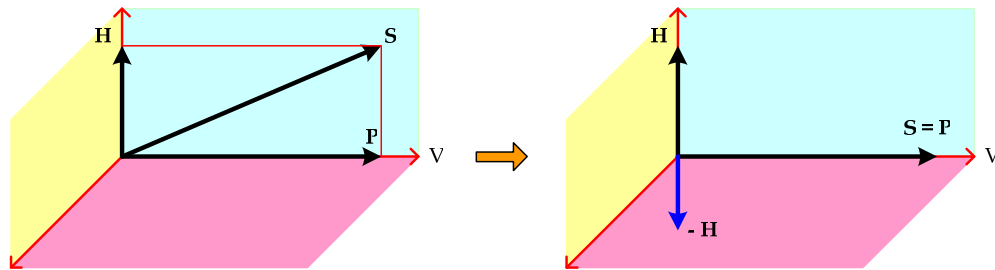
Gb-1. Perbaikan pada sistem dengan pembebanan resistif-induktif (a) sebelum perbaikan (b) sesudah perbaikan

Perbaikan sistem dengan pembebanan resistif-induktif dilakukan melalui injeksi daya reaktif sebesar (-Q) sehingga nilai S akan sama dengan P. Sedangkan perbaikan sistem dengan

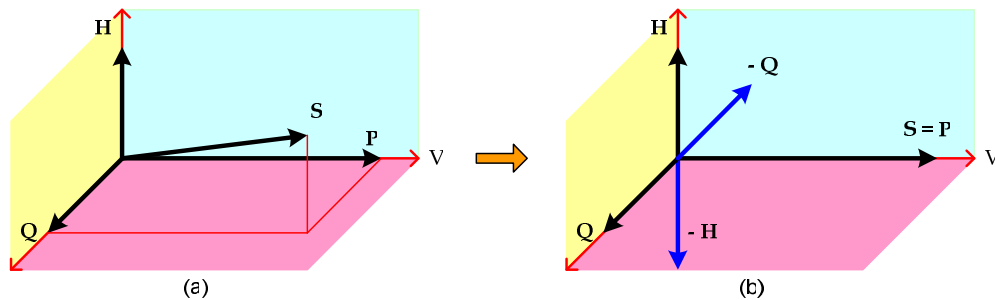
pembebanan resistif-harmonisa melalui injeksi daya harmonisa sebesar (-H) sehingga nilai S akan sama dengan P. Perbaikan sistem dengan pembebanan resistif-reaktif-harmonisa dilakukan

melalui injeksi komponen daya reaktif (-Q) dan daya harmonisa (-H) [Riyadi dan

Haroen, 2005].



Gb-2. Perbaikan pada sistem dengan pembebanan resistif-harmonisa (a) sebelum perbaikan (b) sesudah perbaikan



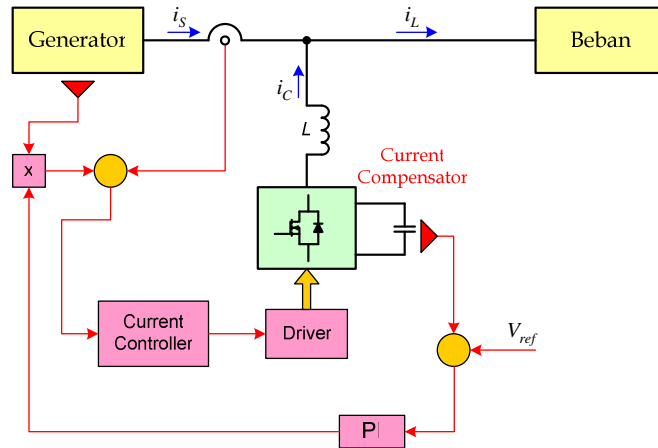
Gb-3. Perbaikan pada sistem dengan pembebanan resistif-induktif-harmonisa (a) sebelum perbaikan (b) sesudah perbaikan

HASIL

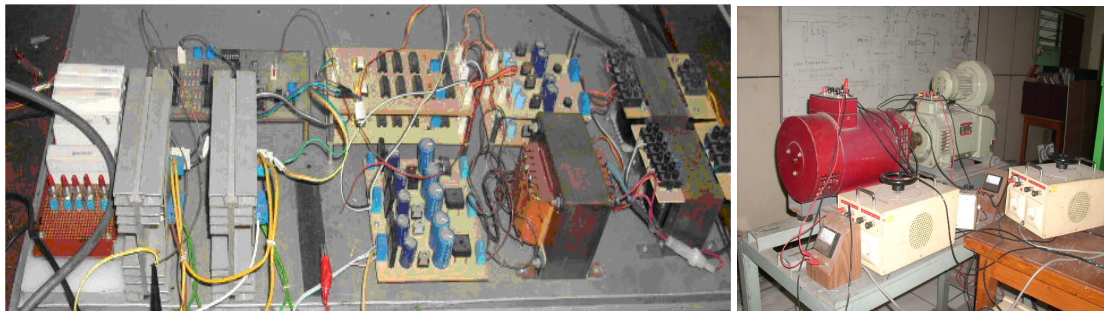
Pada Gb-4 disajikan skema *current compensator* yang dipasang paralel antara generator dan beban. Suatu *current compensator* terdiri dari saklar statis dengan induktor dan kapasitor. Tegangan generator akan dideteksi untuk dipergunakan sebagai dasar referensi. Arus referensi dibentuk dengan mengalikan tegangan generator dan keluaran kontroler PI. Konstanta pengali ini akan mengindikasikan nilai tegangan kapasitor yang konstan, di mana pada kondisi ini terjadi keseimbangan daya dalam sistem. Selanjutnya nilai arus

referensi akan dibandingkan dengan nilai arus sumber serta selisihnya (nilai *error*) akan dijadikan sebagai sinyal masukan bagi *current controller*. Didasarkan pada pulsa PWM yang keluar dari *current controller* maka saklar statis akan dikendalikan.

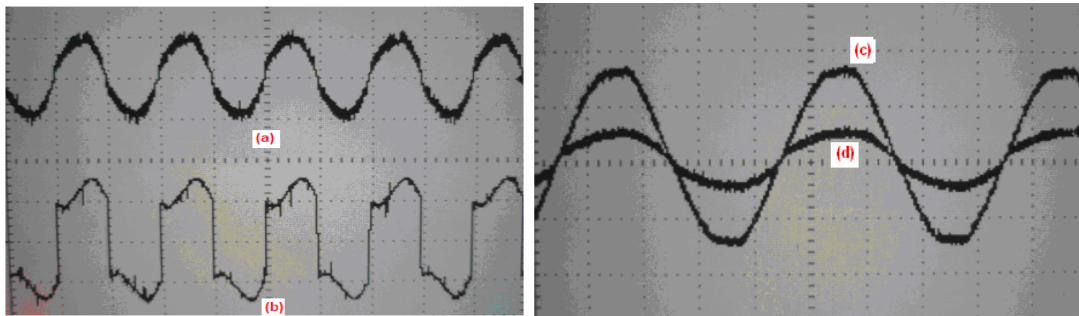
Dalam penelitian ini *current compensator* difungsikan untuk memberikan dan menyerap daya reaktif dan harmonisa dari beban listrik yang menghasilkan daya jenis itu. Kapasitor (C) pada *current compensator* berguna untuk menyimpan energi sesaat.



Gb-4. Skema current compensator



Gb-5. Prototip compensator skala laboratorium dan generator AC sinkron yang diputar motor DC untuk pengganti PLTMH



Gb-6. Hasil pengujian laboratorium (a) arus sumber setelah dipasang compensator (b) arus sumber sebelum dipasang compensator (c) tegangan sumber (d) arus sumber sebelum dipasang compensator

PEMBAHASAN

Untuk melakukan validasi terhadap hasil analisa dan simulasi maka dilakukan perancangan prototip alat skala laboratorium (Gb-5). Untuk mendekati suatu PLTMH maka dipakai suatu generator AC sinkron yang diputar dengan motor DC sedangkan untuk

membatasi agar tegangan yang digunakan tidak terlalu tinggi maka digunakan suatu trafo penurun tegangan. Pada Gb-6 disajikan hasil pengujian laboratorium untuk arus sumber pada kondisi sebelum dan sesudah pemasangan *compensator*. Sebelum pemasangan *compensator* maka arus sumber tidak berbentuk sinusoidal

yang mengindikasikan terkandungnya komponen harmonisa sehingga tidak efisien. Setelah pemasangan *compensator* maka arus sumber menjadi sinusoidal yang memiliki efisiensi lebih baik. *Compensator* yang dipasang selalu menginjeksikan arus untuk terus memaksa arus sumber selalu sinusoidal. Faktor daya yang dapat dijadikan dasar menilai efisiensi pemanfaatan energi dapat dilihat pada gambar tersebut, yaitu tampak gelombang arus dan tegangan yang merupakan dua gelombang sinusoidal yang sefasa. Kondisi ini menunjukkan bahwa faktor daya sistem mendekati satu (sesuai Gb-3b).

Pemanfaatan energi listrik untuk beban-beban yang tidak linier menyebabkan munculnya komponen daya lain di luar komponen daya nyata. Komponen daya tersebut akan mengurangi efisiensi pemanfaatan energi listrik. Kondisi ini ditandai dengan bentuk arus yang tidak sinusoidal. Untuk menaikkan efisiensi pemanfaatan energi listrik yang dihasilkan oleh generator maka dapat dilakukan langkah pemasangan *current compensator* yang dihubungkan secara paralel.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Zamil, A.M. dan Torrey, D. A. (2001) : A Passive Series, Active Shunt Filter for High Power Applications, *IEEE Trans. on Power Electronics*, **vol.16**, **no.1**, 101-109.
- Grusz, T. M. (1990) : A Survey of Neutral Currents in Three-Phase Computer Power Systems, *IEEE Trans. on Industry Applications*, **vol.26**, **no.4**, 719-725.
- Lai, J. S. dan Key, T. S. (1997) : Effectiveness of Harmonic Mitigation Equipment for Commercial Buildings, *IEEE Trans. on Industry Applications*, **vol.33**, **no.4**, 1104-1110.
- Riyadi, S., Haroen, Y., Sudirham, S., Sughartono (2004), A Virtual Instantaneous Power Based Control Method of a Shunt Active Power Filter for Three-Phase Four-Wire Systems, *Proceedings of International*

SIMPULAN

Suatu *compensator* dengan implementasi konverter statis mampu menginjeksikan komponen daya reaktif dan harmonisa. Suatu PLTMH yang umumnya berskala kecil dapat dioptimalkan daya keluarannya yang menurun akibat pemakaian beban tak linier. Optimalisasi ini dilakukan dengan memasang suatu *compensator* secara paralel dengan sistem sehingga *compensator* menginjeksikan daya reaktif dan harmonisa sebesar daya reaktif dan harmonisa yang ditimbulkan oleh beban tak linier. Pada kondisi ini pembangkit (sumber) hanya akan mencatu daya nyata sehingga nilai daya nyata mampu mendekati nilai VA-nya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada BALITBANG PROVINSI JAWA TENGAH atas dukungan biaya penelitian ini dan LPPM Unika Soegijapranata yang telah memberi bantuan demi kelancaran pelaksanaannya.

- Conference on Electric Machines and Systems (ICEMS)*, South Korea
- Riyadi, S., Haroen, Y (2005), A New Control Strategy for Three-Phase Shunt Active Power Filter that based on Source Instantaneous Power, *Proceedings of International Power Engineering Conference (IPEC)*, Singapore
- Riyadi, S dan Haroen, Y. (2005), Analysis of Instantaneous Representative Active Power Equality based Control Method for Three Phase Shunt Active Power Filter, *The Sixth International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)*, Kuala Lumpur, Malaysia
- Wang, Z., Wang, Q., Yao, W., dan Liu, J. (2001) : A Series Active Power Filter Adopting Hybrid Control Approach, *IEEE Trans. on Power Electronics*, **vol.16, no.3**, 301-310.