

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI (P)



ANALISIS INJEKSI *EMBEDDED GENERATIONS: PHOTOVOLTAIC* DAN
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) PADA *GRID SYSTEM*

Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun

HADI SUYONO, S.T., M.T., PH.D (NIDN. 0020057304)
MUHAMMAD FAUZAN EDY PURNOMO, S.T., M.T. (NIDN. 0009067103)
Ir. HARI SANTOSO, M.S. (NIDN. 0005125304)

Dibiayai oleh :
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi,
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Melalui DIPA Universitas Brawijaya
Nomor : DIPA-023.04.2.414989/2013, Tanggal 5 Desember 2012, dan berdasarkan
SK Rektor Universitas Brawijaya Nomor : 295/SK/2013 tanggal 12 Juni 2013

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Nopember 2013

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Analisis Injeksi *Embedded Generations, Photovoltaic*
dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)
pada *Grid System*

Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D
NIDN : 0020057304
Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
Program Studi : Teknik Elektro
Nomor HP : 081910389325
Alamat surel (e-mail) : hadis@ub.ac.id

Anggota (1)

Nama Lengkap : M. Fauzan Edy Purnomo, S.T., M.T.
NIDN : 0009067103
Perguruan Tinggi : Universitas Brawijaya

Anggota (2)

Nama Lengkap : Ir. Hari Santoso, M.S.
NIDN : 0005125304
Perguruan Tinggi : Universitas Brawijaya

Institusi Mitra (jika ada)

Nama Institusi Mitra : NIL
Alamat : NIL
Penanggung Jawab : NIL
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp. 50.000.000,-
Biaya Keseluruhan : Rp. 105.000.000,-

Malang, 30- 11 - 2013

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik

Ketua,



(Prof. Dr. Mohammad Bisri, M.S.)
NIP. 19681126 198609 1 001

(Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.)
NIP. 19730520 200801 1 013

Menyetujui,
Pjs. Ketua LPPM UB



(Prof. Dr. Ir. Siti Chuzaemi, M.S.)
NIP. 19530514 198002 2 001

ABSTRAK

Photovoltaic (PV) sebagai sumber energi matahari belum banyak digunakan secara umum di Indonesia sedangkan pembangkit listrik mikro/mini hidro (PLTM) sudah banyak diimplementasikan pada sistem distribusi di Indonesia. Pada penelitian ini, jumlah daya PLTM dan pembangkit PV yang bisa diinjeksikan pada sistem distribusi dianalisis sehingga rugi daya sistem, tegangan dan aliran daya tetap sesuai dengan standar operasi SPLN dan IEEE. Analisis *steady-state* dilakukan untuk menentukan pengaruh injeksi pembangkit PLTM dan PV ini dengan studi kasus sistem Gardu Induk Turen, dimana pembangkit PLTM Ampel Gading 2x6MVA diinjeksikan ke dalam sistem melalui tegangan 20kV dengan jarak 33KMs. Di lain pihak injeksi PV ke dalam sistem adalah sebesar 0.5MW.

Berdasarkan ketersediaan air untuk operasi PLTM Ampel Gading dan kemungkinan ketersediaan radiasi matahari, analisis dibagi menjadi 6 Skenario yaitu: 1) Skenario 1: Minihydro (0 MW), PV (0 MW); 2) Skenario 2: Minihydro (2x 4.125 MW), PV (0 MW); 3) Skenario 3 Minihydro (1x4.125 MW), PV (0 MW); 4) Skenario 4 Minihydro (1x4.125 MW), PV (0.45 MW); 5) Skenario 5 Minihydro (1x4.125 MW), PV (0.25 MW); dan 6) Skenario 6 Minihydro (1x4.125 MW), PV (0.125 MW).

Dari keenam Skenario tersebut analisis keadaan tunak dilakukan melalui analisis studi aliran beban untuk mendapatkan profil tegangan dan rugi daya pada sistem. Untuk Skenario 1-3 dimana sistem hanya mengandalkan suplai daya dari sistem Grid dan PLTM, profil tegangan sistem 20kV mengalami jatuh tegangan sampai dibawah 0.95p.u. Profil tegangan akan mengalami perbaikan dengan injeksi PV sebesar 0.5MVA pada sistem dengan persentase injeksi 90%, 50% dan 25%, dimana keseluruhan profil tegangan adalah di atas 0.95 p.u. Dengan berkurangnya injeksi PV (asumsi pada 50% dan 25% pembebanan), tegangan mengalami penurunan kurang lebih 0.4%-1% dibandingkan dengan injeksi PV 90%.

Berdasarkan analisis rugi-rugi daya (*power losses*), Skenario 2 dengan injeksi Minihydro (2x4.125 MW) tanpa pembangkit PV (0 MW), memberikan nilai rugi-rugi daya yang besar yaitu 3.35% untuk daya aktif dan 14.93% untuk daya reaktif dari total pembangkitan. Hal ini disebabkan karena PLTM Ampelgading ke GI Turen diinjeksikan melalui double circuit dengan jarak yang relatif jauh yaitu

sekitar 33 kMs. Dengan jauhnya jarak PLTM Ampelgading dengan GI Turen dan struktur jaringan *double circuit* ini akan menyebabkan jatuh tegangan dan rugi daya akan semakin besar. Semakin besar daya yang ditransfer semakin besar juga jatuh tegangan dan rugi daya yang dihasilkan. Dengan injeksi PV yaitu Skenario 4-6, rugi-rugi daya akan mengalami penurunan yaitu dengan rugi daya rata-rata adalah sebesar 1.66% untuk daya aktif dan 10.2% untuk daya reaktif dari total pembangkitan. Injeksi PLTM dan PV memberikan perbaikan profil tegangan dan pengurangan rugi-rugi daya pada sistem.

ABSTRACT

Photovoltaic (PV) as a power source of solar energy has not been widely used in Indonesia, while micro/mini hydro power generating unit has been widely implemented in the distribution system. In this study, the amount of PV power generation and micro power plants that can be injected into the distribution system is analyzed so that the system power losses, voltage and power flow remains in compliance with the operating standards of IEEE and SPLN. Steady-state analysis was performed to determine the effect of injection of micro power generators and PV systems with Study case of Turen Substation, where micro power plants Ampel Gading 2x8MVA injected into the system through 20kV with a distance of 33kms. On the other hand PV power injection into the system is assumed about 0.5MW.

Based on the availability of water for the operation of micro power Ampel Gading and the possibility of the availability of solar irradiation, the analysis is divided into six cases, namely: 1) Scenario 1: minihydro (0 MW), PV (0 MW), 2) Scenario 2: minihydro (2x 4,125 MW), PV (0 MW); 3) Scenario 3: minihydro (1x4,125 MW), PV (0 MW), 4) Scenario 4: minihydro (1x4,125 MW), PV (0.45 MW), 5) Scenario 5: minihydro (1x4,125 MW), PV (0.25 MW), and 6) Scenario 6: minihydro (1x4,125 MW), PV (0.125 MW).

Of the six cases the steady-state analysis is done through the analysis of load flow studies to obtain the voltage profile and power losses in the system. For the Scenario 1-3 where the Power system is supplied from the grid and minihydro power of Ampelgading, voltage profiles 20kV decrease to below 0.95pu for most busses. This is due to Turen Substation and minihydro Power of Ampelgading was injected through a double circuit with a relatively far distance of 33 kms. This situation will cause a voltage drop and power loss will be high. The increasing of power transfer will impact to the increasing of the voltage drop and power loss. Voltage profile will be improved by the penetration of 0.5MVA the PV system by injection percentages of 90%, 50% and 25%, the overall profile of the voltage above 0.95pu. With the reduction of PV injection (assuming the 50 % and 25 % of loading), the voltage decreased approximately 0.4% - 1% compared with 90% of PV injection.

Based on the analysis of power losses (power losses). Scenario 2 with injection minihydro (2x4,125 MW) without generating PV (0 MW), giving the highest power loss of about 3.35% and 14.93% for active to reactive power with respect to

the total generation. With the injection of PV for 4-6 cases, the power losses would be decreased by an average power loss are about 1.66% and 10.2% for active and reactive powers with respect to the total of generation. Injection of micro power plants and PV provide the improvement of the voltage profile and reduction of power losses in the grid system.

RINGKASAN

Perkembangan dan kebutuhan energi listrik yang terus meningkat saat ini memerlukan kontinuitas pelayanan yang memenuhi syarat teknis (*engineering*) dan ekonomis (*economic*). Karena itu perlu adanya suatu pemikiran untuk memperbanyak sumber-sumber pembangkit alternatif yang tidak saja menghasilkan energi listrik tetapi juga mempunyai pengaruh yang kecil terhadap lingkungan. Salah satu alternatifnya adalah dengan pengembangan energi baru dan terbarukan termasuk di dalamnya solar energy (*photovoltaic*), pembangkit listrik tenaga air, *wind energy*, *biomass*, dan lain-lain. Sistem pembangkit yang dikembangkan sekarang ini termasuk berskala kecil ditinjau dari daya keluarannya tetapi diharapkan dapat *masive* dari segi jumlah. Sistem pembangkit yang kecil tersebut biasanya terinterkoneksi pada sistem distribusi tenaga listrik disebut dengan *Embedded Generation* atau *Dispersed Generation*.

Photovoltaic (PV) sebagai sumber energi matahari belum banyak digunakan secara umum di Indonesia, berbeda dengan di Australia dan Eropa yang sudah setiap rumah menggunakan energi PV, sedangkan pembangkit listrik mikro/mini hidro (PLTM) sudah banyak diimplementasikan pada sistem distribusi di Indonesia. Karena itu perlu adanya suatu penelitian untuk menentukan jumlah/besar daya yang bisa diinjeksikan PLTM dan pembangkit PV sehingga rugi daya sistem, tegangan dan aliran daya sesuai dengan standar operasi nasional dengan SPLN sedangkan standar operasi internasional yang digunakan adalah IEEE.

Berikut standar parameter (IEEE Std 446-1980): pembebanan trafo (load demand): $\leq 90\%$, *unbalanced current* (I): 5%-20%, *unbalanced jurusan* $>10\%$; *unbalanced voltage* (V): 2.5%-5%, *unbalanced tegangan* $> 5\%$; Regulasi Tegangan: +5%, -10% to +10%, -15% (IEEE Std 446-1980), JTM = 5 %, JTR = 4 %, Trafo = 3 % (SPLN no. 72, 1987), tegangan pelayanan +5 %, -10 % (SPLN no. 1, 1995).

Analisis *steady-state* dibuat dan dianalisis untuk menentukan pengaruh injeksi pembangkit PLTM dan PV ini. Sebagai studi kasus dalam menyelesaikan persoalan sistem hibrida antara PLTM dan PV ini adalah sistem Gardu Induk Turen, dimana pembangkit PLTM Ampel Gading 2x6MVA diinjeksikan ke dalam sistem melalui tegangan 20kV dengan jarak 33kMs. Dilain pihak injeksi PV ke dalam sistem adalah sebesar 0.5MW. Berdasarkan ketersediaan air untuk operasi

PLTM Ampel Gading dan kemungkinan ketersediaan radiasi matahari, analisis kemudian dipilah menjadi 6 Skenario yaitu: 1) Skenario 1: Minihydro (0 MW), PV (0 MW); 2) Skenario 2: Minihydro (2x 4.125 MW), PV (0 MW); 3) Skenario 3 Minihydro (1x4.125 MW), PV (0 MW); 4) Skenario 4 Minihydro (1x4.125 MW), PV (0.45 MW); 5) Skenario 5 Minihydro (1x4.125 MW), PV (0.25 MW); dan 6) Skenario 6 Minihydro (1x4.125 MW), PV (0.125 MW).

Dari keenam Skenario tersebut analisis keadaan tunak dilakukan melalui analisis studi aliran beban untuk mendapatkan profil tegangan dan rugi daya pada sistem. Untuk Skenario 1-3 dimana sistem hanya mengandalkan suplai daya dari sistem Grid dan PLTM, profil tegangan sistem 20kV mengalami jatuh tegangan sampai dibawah 0.95p.u. Profil tegangan akan mengalami perbaikan dengan injeksi PV sebesar 0.5MVA pada sistem dengan persentase injeksi 90%, 50% dan 25%, dimana keseluruhan profil tegangan adalah di atas 0.95 p.u. Dengan berkurangnya injeksi PV (asumsi pada 50% dan 25% pembebanan), tegangan mengalami penurunan kurang lebih 0.4%-1% dibandingkan dengan injeksi PV 90%.

Berdasarkan analisis rugi-rugi daya (*power losses*), Skenario 2 dengan injeksi Minihydro (2x4.125 MW) tanpa pembangkit PV (0 MW), memberikan nilai rugi-rugi daya yang besar yaitu 3.35% untuk daya aktif dan 14.93% untuk daya reaktif dari total pembangkitan. Hal ini disebabkan karena PLTM Ampelgading ke GI Turen diinjeksikan melalui double circuit dengan jarak yang relatif jauh yaitu sekitar 33 kMs. Dengan jauhnya jarak PLTM Ampelgading dengan GI Turen dan struktur jaringan *double circuit* ini akan menyebabkan jatuh tegangan dan rugi daya akan semakin besar. Semakin besar daya yang ditransfer semakin besar juga jatuh tegangan dan rugi daya yang dihasilkan. Dengan injeksi PV yaitu Skenario 4-6, rugi-rugi daya akan mengalami penurunan yaitu dengan rugi daya rata-rata adalah sebesar 1.66% untuk daya aktif dan 10.2% untuk daya reaktif dari total pembangkitan. Injeksi PLTM dan PV memberikan perbaikan profil tegangan dan pengurangan rugi-rugi daya pada sistem.

SUMMARY

The increasing of the electrical energy needs today ever-increasing need for continuity of service of qualified technical and economic. Hence the need for a thought to expand alternative sources of power are not only generate electricity but also has little effect on the environment. One alternative is the development of new and renewable energy including solar energy (photovoltaic), hydroelectricity, wind energy, biomass, and others. Generating system developed now includes a small-scale in terms of power output but is expected to be a massive in terms of number. Small power systems are typically interconnected to the electricity distribution system called or Dispersed Generation Embedded Generation.

Photovoltaic (PV) as a source of solar energy has not been widely used in general in Indonesia, unlike in Australia and Europe who have each house using PV energy, while electricity generation micro/mini hydro has been widely implemented in the distribution system in Indonesia. Hence the need for a study to determine the number / of the power that can be injected and micro power plants so that the PV system power loss, voltage and power flow in accordance with the national operating standards of SPLN and international of IEEE.

The following standard parameters (IEEE Std 446-1980): transformer loading: $\leq 90\%$, unbalanced current (I): 5%-20%, unbalanced voltage (V): 2.5%-5%, unbalanced voltage $> 5\%$; voltage Regulation: +5%, -10% to +10%, -15% (SPLN no. 72, 1987), the service voltage +5%, -10% (SPLN no. 1, 1995).

Steady-state analysis was performed to determine the effect of injection of micro power generators and PV systems with Study case of Turen Substation, where micro power plants Ampel Gading 2x6MVA injected into the system through 20kV with a distance of 33kms. On the other hand PV power injection into the system is assumed about 0.5MW. Based on the availability of water for the operation of micro power Ampel Gading and the possibility of the availability of solar irradiation, the analysis is divided into six cases, namely: 1) Scenario 1: minihydro (0 MW), PV (0 MW), 2) Scenario 2: minihydro (2x 4,125 MW), PV (0 MW); 3) Scenario 3 minihydro (1x4,125 MW), PV (0 MW), 4) Scenario 4 minihydro (1x4,125 MW), PV (0.45 MW), 5) Scenario 5 minihydro (1x4,125 MW), PV (0.25 MW), and 6) Scenario 6 minihydro (1x4,125 MW), PV (0.125 MW).

Of the six cases the steady-state analysis is done through the analysis of load flow studies to obtain the voltage profile and power losses in the system. For the Scenario 1-3 where the Power system is supplied from the grid and minihydro power of Ampelgading, voltage profiles 20kV decrease to below 0.95pu for most busses. This is due to Turen Substation and minihydro Power of Ampelgading was injected through a double circuit with a relatively far distance of 33 kMs. This situation will cause a voltage drop and power loss will be high. The increasing of power transfer will impact to the increasing of the voltage drop and power loss. Voltage profile will be improved by the penetration of 0.5MVA the PV system by injection percentages of 90%, 50% and 25%, the overall profile of the voltage above 0.95pu. With the reduction of PV injection (assuming the 50 % and 25 % of loading), the voltage decreased approximately 0.4% - 1% compared with 90% of PV injection.

Based on the analysis of power losses (power losses). Scenario 2 with injection minihydro (2x4,125 MW) without generating PV (0 MW), giving the highest power loss of about 3.35% and 14.93% for active to reactive power with respect to the total generation. With the injection of PV for 4-6 cases, the power losses would be decreased by an average power loss are about 1.66% and 10.2% for active and reactive powers with respect to the total of generation. Injection of micro power plants and PV provide the improvement of the voltage profile and reduction of power losses in the grid system.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackermann, T., Andersson, G., dan Soder, L. "Distributed generation: a definition", Elsevier, Electric Power Systems Research, no. 57, pp.195-204, 2001.
- ANSI/IEEE Std 446-1995, IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications, Page(s): 1 – 272
- Arrillaga, J. & Arnold, C.P. 1990. Computer Analysis of Power Systems. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Azmy, A.M.; Erlich, I., 2005 "Impact of distributed generation on the stability of electrical power system", IEEE Power Engineering Society General Meeting, Page(s): 1056 - 1063 Vol. 2
- Freitas, Walmir ; Vieira, José C M, Jr. ; Morelato, Andre L. ; Da Silva, Luiz C Pereira ; Da Costa, Vivaldo F. ; Lemos, Filívio A Beconi, 2006, "Comparative analysis between synchronous and induction machines for distributed generation applications", IEEE Transactions on Power Systems, Volume: 21, Issue: 1, Page(s): 301 - 311
- Gow, J.A.; Manning, C.D.: Development of a photovoltaic array model for use in power electronics simulation studies, IEE Proc. Electr. Power Appl., Vol. 146, No.2, March 1999, pp.193-200.
- Hossain, M. J. ; Saha, T. K. ; Mithulanathan, Nadarajah, 2011, Impacts of wind and solar integrations on the dynamic operations of distribution systems, Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2011 21st Australasian, Page(s): 1 - 5
- International Energy Agency-IEA, 2011, World Energy Statistical 2012
- Jenkins N., Allan R, Cossley P., Kirschen D., and Strbac G., Embedded Generation, The Institution of Electrical Engineers, London, 2000
- Liu, S.; Dougal, R.A.: Dynamic Multiphysics Model for Solar Array, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 17, No. 2, June 2002, pp. 285- 294.
- PT. PLN Persero, 2011, Statistik PLN 2011, ISSN: 0852-8179, No. 02401.120722
- Scott, N. C. ; Atkinson, D. J. ; Morrell, J., 2002 "Use of Load Control to Regulate Voltage on Distribution Networks with Embedded Generation", IEEE Transactions on Power Systems, Volume: 17 , Issue: 2, Page(s): 510 - 515
- Seo, H.C., Kim, C.H., Jung, Y.M., dan Jung C.S. "Dynamics of Grids-Connected Photovoltaic System at Fault Conditions", IEEE Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, ISBN: 978-1-4244-5230-9 pp.1-4, 2009.
- Walker, G.: Evaluating MPPT Converter Topologies using a Matlab PV Model, Journal of electrical and electronics engineering, Australia, Vol. 21, pp. 49–55, 2001.
- Woyte A., Vu Van T., Belmans R., Nijs J., 2006, "Voltage fluctuations on distribution level introduced by photovoltaic systems," IEEE Transactions on energy conversion, Vol.21, Issue 1, ISSN 0885-8969, IF 0.716, March; pp. 202-209.

- Velasco, G., Guinjoan, F., Pique, R., Conesa, A., dan J.J. Negróni. "Inverter Power Sizing Consideration in Grid-Connected PV System". 2007, IEEE Power Electronics and Applications European Conference on. ISBN. 978-92-75815-10-8
- Zhu, D.; Broadwater, R.P.; Kwa-Sur Tam; Seguin, R.; Asgeirsson, H.; Impact of DG Placement on Reliability and Efficiency with Time-Varying Loads, IEEE Transactions on Power Systems, Volume: 21 , Issue: 1, 2006 , Page(s): 419 - 427