

LAPORAN TAHUNAN
PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI

Tahun ke-2 dari Rencana 3 Tahun



**Prototipe Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Berbasis
Angin-Surya Menggunakan Strategi Pengendalian Optimal**

Tim Peneliti:

Dr. Ramadoni Syahputra, S.T., M.T.

(NIDN: 0510107403/Prodi Teknik Elektro/Ketua)

Drs. Sudarisman, M.S., Ph.D.

(NIDN: 0002055901/Prodi Teknik Mesin/Anggota)

Ir. Agus Jamal, M.Eng.

(NIDN: 0529086601/Prodi Teknik Elektro/Anggota)

Dibiayai oleh

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat

Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi

Sesuai Surat Perjanjian No. 169/SP2H/PPM/KOPV/II/2018, 15 Februari 2018

SP DIPA-042.06.1.4015161/2018 Tertanggal 5 Desember 2017

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

2018

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Prototipe Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Berbasis Angin-Surya Menggunakan Strategi Pengendalian Optimal

Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : Dr RAMADONI SYAHPUTRA, S.T, M.T
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
NIDN : 0510107403
Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
Program Studi : Teknik Elektro
Nomor HP : 081215526565
Alamat surel (e-mail) : ramadons@ymail.com; ramadoni@umy.ac.id

Anggota (1)
Nama Lengkap : Drs SUDARISMAN M.Sc., Ph.D
NIDN : 0002055901
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Anggota (2)
Nama Lengkap : Ir AGUS JAMAL M.Eng
NIDN : 0529086601
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Institusi Mitra (jika ada)
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 3 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 140,000,000
Biaya Keseluruhan : Rp 528,500,000



Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik UMY

(Dr. AZAUL KHASAN, S.T., M.T., Ph.D.)
NIP/NIK 19720524199804123037

D.I. YOGYAKARTA, 3 - 11 - 2018

Ketua,

(Dr. RAMADONI SYAHPUTRA, S.T, M.T)
NIP/NIK 19741010201010123056



Menyetujui,
Kepala LP3M UMY

(Dr. Ir. GATOT SUPANGKAT, M.P.)
NIP/NIK 196210231991031003

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	.....	ii
DAFTAR ISI	.....	iii
RINGKASAN	.....	iv
BAB 1. PENDAHULUAN	.....	1
1.1. Latar Belakang dan Permasalahan yang akan Diteliti	.....	1
1.2. Perumusan Masalah yang akan Diteliti	.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	.....	3
1.4. Urgensi (Keutamaan) Penelitian	.....	3
1.5. Rencana Target Capaian Tahunan	.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	.....	5
2.1. <i>State of the Art</i> dalam Bidang yang Diteliti	.....	5
2.2. Peta Jalan (<i>Roadmap</i>) Penelitian Mengacu kepada RIP UMY	.....	7
2.3. Studi Pendahuluan yang Sudah Dilaksanakan	.....	10
2.4. Hasil yang Sudah Dicapai	.....	11
BAB 3. METODE PENELITIAN	.....	13
3.1. Rencana Penelitian Selama 3 Tahun	.....	13
3.2. Jalan Penelitian dan Indikator Capaian	.....	14
3.2.2. Penelitian yang Akan Dilakukan pada Tahun Kedua	.....	15
3.2.3. Penelitian yang Akan Dilakukan pada Tahun Ketiga	.....	16
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	15
4.1. Hasil Penelitian	.....	15
4.2. Pembahasan	.....	20
BAB 5. KESIMPULAN	.....	24
REFERENSI	.....	25
LAMPIRAN		

RINGKASAN

Penelitian ini mempunyai tujuan jangka panjang yaitu menghasilkan prototipe pembangkit listrik energi terbarukan berbasis angin-surya menggunakan strategi pengendalian optimal. Pemilihan energi angin dan surya adalah karena merupakan sumber energi yang sangat potensial khususnya di wilayah pulau Jawa bagian selatan. Guna mencapai tujuan tersebut dibutuhkan waktu tiga tahun untuk merealisasikannya. Pada tahun pertama penelitian telah dilakukan rancang-bangun, pengujian, dan analisis pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan strategi pengendalian optimal. Pengendalian optimal dilakukan pada pembangkitan daya maksimum PLTS dengan penjejakan sinar surya *dual-axis* berbasis keluaran tegangan dan arusnya. Metode optimisasi pengendalian optimal ini menerapkan algoritma *particle swarm optimization* (PSO). Selanjutnya pada tahun kedua telah dirancang-bangun konverter daya (*rectifier* dan *inverter*) untuk pembangkit listrik energi tebarukan surya dan angin. Konverter daya (khususnya *inverter*) dirancang menggunakan teknik *pulse width modulation* sehingga menghasilkan tegangan keluaran sinus murni. Pada tahun ketiga penelitian akan dilakukan rancang-bangun pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dengan strategi pengendalian optimal. Strategi pengendali dilakukan agar PLTB menghasilkan daya paling maksimum berdasarkan arah angin yang menerpa bilah-bilah turbin. Pada tahun ketiga juga dilakukan penggabungan PLTS dan PLTB menjadi pembangkit listrik hibrid dalam suatu mikrogrid. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro UMY dan di Pantai Baru, Bantul.

Kata-kata Kunci: PLTS, Konverter Daya, PLTB, Mikrogrid, PSO, Pengendalian Optimal.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Permasalahan yang akan Diteliti

Pemerintah Indonesia menargetkan kontribusi energi terbarukan mencapai 23% pada tahun 2025, sebagaimana tertuang dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (Setneg RI, 2014). Pada saat itu diharapkan kontribusi minyak bumi dapat ditekan hingga kurang dari 25%. Target penggunaan energi terbarukan ini ditingkatkan menjadi 31% di tahun 2050, dimana pada saat yang sama peran minyak bumi di bawah 20%. Guna memenuhi target ini, sumber energi terbarukan yang menjadi andalan di antaranya adalah sumber energi angin dan surya. Hal ini tidak terlepas dari kondisi cadangan minyak bumi yang akan habis pada 13 tahun ke depan dengan asumsi produksi 288 juta barel per tahun. Sementara cadangan terbukti gas sebanyak 100,3 triliun standard cubic feet diperkirakan hanya mampu bertahan dalam tempo 34 tahun. Pada saat ini daya terpasang sistem kelistrikan nasional adalah 51.620,58 MW. Dari total pembangkit listrik tersebut, kontribusi pembangkit energi terbarukan hanya 10,46% yang terdiri dari pembangkit listrik tenaga air 8,98%, panas bumi 1,46%, serta surya dan angin 0,02% (Syahputra dkk, 2012a; Syahputra dkk, 2015). Selebihnya sebesar 89,54% adalah pembangkit listrik konvensional berbahan bakar minyak, gas, dan batubara. Untuk mencapai target 23% pembangkit energi terbarukan dalam kurun waktu 9 tahun ke depan bukanlah pekerjaan ringan. Dibutuhkan peran seluruh komponen bangsa untuk mewujudkannya, salah satunya adalah peran akademisi. Dalam rangka itulah penelitian ini mencoba memberikan sumbangsih nyata berupa rancang-bangun prototipe pembangkit listrik energi terbarukan berbasis angin-surya menggunakan strategi pengendalian optimal.

Teknologi terkini dalam PLB adalah penggunaan generator magnet permanen berputaran rendah (Yaramasu dkk, 2014; Mendis dkk, 2014) dan pengendalian *blade pitch angle* dan *dummy load* guna menghasilkan daya listrik yang optimal (Shariatpanah dkk, 2013; Chen, 2014; Kim dkk, 2012; Wang dkk, 2015)). Sementara itu PLT Angin di Indonesia umumnya masih menggunakan pengendalian manual dan tanpa pengendalian *blade pitch angle* dan *dummy load*, sehingga belum optimal dalam menghasilkan daya listrik (Syahputra, 2012b; Syahputra, 2014).

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of the Art* dalam Bidang yang Diteliti

Persediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis membuat para ahli berupaya menemukan dan merekayasa sumber-sumber energi alternatif yang potensial (Syahputra, 2012). Masyarakat juga saling berkompetisi mencari modifikasi alat yang bisa dilakukan agar energi yang dihasilkan menjadi efisien. Dewasa ini energi alam yang banyak dikembangkan adalah energi surya dengan menggunakan sel surya (*photovoltaic*) dan energi angin dengan menggunakan turbin angin. Kedua jenis energi ini paling menguntungkan karena ketersediaan sumber daya matahari dan angin yang tidak terbatas (Syahputra, 2014). Sistem pembangkit tersebar tenaga surya yang banyak dikembangkan saat ini tidak terhubung dengan jaringan listrik langsung, tetapi dihubungkan dengan baterai sebagai media penyimpanan. Selain itu terdapat juga sistem yang terhubung dengan jaringan. Sistem ini memerlukan transformator sebagai media penghubung dan alat untuk mengurangi arus bocor. Kendala utama penggunaan transformator ialah dimensi peralatan dan biaya yang tinggi. Metode yang dikembangkan untuk meminimalkan kendala tersebut adalah dengan memodifikasi inverter yang dapat terhubung dengan jaringan. Mendis dkk (2014) mengusulkan sistem yang mampu terhubung ke jaringan tanpa melalui transformator. Sistem ini terdiri dari konverter boost dan inverter transformerless. Konverter *boost* digunakan untuk menaikkan tegangan *photovoltaic* agar lebih tinggi dari tegangan jaringan. *Inverter transformerless* dirancang agar dapat mengalirkan daya secara maksimum. Daya maksimum didapatkan dengan penggunaan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Metode yang digunakan adalah metode *Perturb and Observe*. Metode ini mencari daya maksimum dengan mengubah nilai indeks modulasi inverter transformerless. Sistem mampu bekerja dengan berbagai kondisi seperti perubahan intensitas cahaya dan perubahan tegangan jaringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan keluaran daya maksimum sekitar 97%.

Mohanty, dkk (2016) meneliti tentang perancangan maximum power point tracking (MPPT) untuk sistem energi tenaga surya menggunakan metode grey wolf optimization (GWO). Algoritma ini diimplementasikan menggunakan Matlab-Simulink dan menghasilkan efisiensi hingga 99%. Hasil riset ini belum diaplikasikan langsung

pada produk real, sedang dalam riset yang diusulkan ini metode berbasis sistem cerdas langsung diaplikasikan pada produk real. Ishaque, dkk. (2012) meneliti tentang pengembangan metode maximum power point tracking (MPPT) untuk sistem energi tenaga surya menggunakan modifikasi dari algoritma particle swarm optimization (PSO). Algoritma yang digunakan sederhana dan membutuhkan komputasi yang ringan. Algoritma PSO dikenal sebagai algoritma yang ringan komputasinya sehingga banyak digunakan dalam optimisasi-optimisasi multi-objektif. Manganiello, dkk (2014) melakukan optimisasi metode PV MPPT melalui sistem identifikasi online. Pada riset Manganiello ini tanggapan frekuensi dan impuls sistem dievaluasi menggunakan metode korelasi silang. Metode ini diimplementasikan dengan FPGA.

Pada penelitian Wang, dkk (2014) diusulkan solusi *maximum power point tracking* (MPPT) terdistribusi. Penelitian ini menganalisis MPPT converter yang menghubungkan tiap panel surya, yang disebut sebagai subpanel MPPT converter (SPMC). Sistem SPMC dengan struktur pengendali MPPT unified output juga dilakukan dalam rangka mengurangi biaya dan menyederhanakan sistem MPPT terdistribusi. Kim dkk (2012) mengusulkan suatu tegangan rendah naik-melalui skema untuk sistem tenaga angin generator sinkron magnet permanen (PMSG) di tegangan grid sag. Tegangan dc-link dikendalikan oleh konverter generator pada sisi *non-converter grid*. Berdasarkan hubungan nonlinear kecepatan generator dan tegangan *dc-link*, pengendali tegangan *dc-link* dirancang menggunakan teori umpan balik linierisasi.

Penelitian selanjutnya adalah mengkombinasikan beberapa jenis pembangkit tenaga listrik ke dalam suatu grid skala mikro hingga kecil yang disebut sistem mikrogrid (Syahputra, 2016).

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang telah terpasang di UKM Batik Bantul

Kapasitas pembangkit listrik tenaga surya: 1200 W (1,2 kW).



Gambar 4.1. Proses perakitan pembangkit listrik tenaga surya dengan inverter



Gambar 4.2. Lanjutan proses pemasangan pembangkit listrik tenaga surya



Gambar 4.3. Pemasangan wind turbine 2 kW di lokasi uji Pantai Baru, Bantul



Gambar 4.4. Baterai 12 V, 4 x 100 Ah untuk pengujian pembebanan wind turbine 2 kW di Pantai Baru, Bantul

BAB V

KESIMPULAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tahap kedua, dapat disimpulkan sementara bahwa:

- i. Pembangkit listrik yang telah selesai direalisasikan adalah pembangkit listrik tenaga angin yang telah diimplementasikan di UKM batik di kabupaten Bantul sebagai mitra penelitian.
- ii. UKM batik Bantul sangat berterima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, yang telah membiayai penelitian ini dan telah memberikan manfaat bagi UKM batik. UKM batik sangat berharap agar kegiatan penelitian ini dapat berlanjut dalam rangka meningkatkan kapasitas produksi.
- iii. Wind turbine 1 kW yang diuji di Pantai Baru, Bantul, menghasilkan daya generator tertinggi pada pukul 12.40 WIB yaitu sebesar 384,48 watt. Hal ini disebabkan laju angin relatif tinggi yaitu 8,76 m/s. Pada kondisi puncak ini dihasilkan tegangan AC generator (phasa ke phasa) sebesar 40,00 volt, tegangan DC generator setelah disearahkan menjadi 53,40 volt, dan arus beban yang mengisi baterai adalah 7,20 ampere. Efisiensi generator adalah sebesar 38,4% pada kondisi puncak.
- iv. Wind turbine 1 kW yang diuji di Pantai Baru, Bantul, menghasilkan daya generator tertinggi pada pukul 10.50 WIB yaitu sebesar 421,60 watt. Hal ini disebabkan laju angin relatif tinggi yaitu 9,53 m/s. Pada kondisi puncak ini dihasilkan tegangan AC generator (phasa ke phasa) sebesar 39,00 volt, tegangan DC generator setelah disearahkan menjadi 49,60 volt, dan arus beban yang mengisi baterai adalah 8,50 ampere. Pada kondisi ini wind turbine 1 kW mempunyai efisiensi generator sebesar 42,1%.

REFERENSI

- Chen, J., Chen, J., and Gong, C. (2014). On Optimizing the Aerodynamic Load Acting on the Turbine Shaft of PMSG-Based Direct-Drive Wind Energy Conversion System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(8), 4022-4031.
- Ishaque, K., Salam, Z., Amjad, M., and Mekhilef, S. (2012). An Improved Particle Swarm Optimization (PSO)-Based MPPT for PV With Reduced Steady-State Oscillation. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 27(8), 342-353.
- Jlassi, I., Estima, J.O., Khil, S.K.E., Bellaaj, N.M., and Cardoso, A.J.M. (2015). Multiple Open-Circuit Faults Diagnosis in Back-to-Back Converters of PMSG Drives for Wind Turbine Systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(5), 2689-2702.
- Kim, K.H., Jeung, Y.C., Lee, D.C., and Kim, H.G. (2012). LVRT Scheme of PMSG Wind Power Systems Based on Feedback Linearization. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(5), 2376-2384.
- Lee, J.S., and Lee, K.B. (2015). Open-Switch Fault Tolerance Control for a Three-Level NPC/T-Type Rectifier in Wind Turbine Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(2), 1012-1021.
- Manganiello, P., Ricco, M., Petrone, G., Monmasson, E., and Spagnuolo, G. (2014). Optimization of Perturbative PV MPPT Methods Through Online System Identification. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(12), 1045-1061.
- Mendis, N., Muttaqi, K.M., and Perera, S. (2014). Management of Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage and Synchronous Condenser for Isolated Operation of PMSG Based Variable-Speed Wind Turbine Generating Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(2), 944-953.
- Mohanty, S., Subudhi, B., and Ray, P.K. (2016). A New MPPT Design Using Grey Wolf Optimization Technique for Photovoltaic System Under Partial Shading Conditions. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 7(1), 24-36
- Nabulsi, A., and Dhaouadi, R. (2012). Efficiency Optimization of a DSP-Based Standalone PV System Using Fuzzy Logic and Dual-MPPT Control. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 8(3),
- Setneg RI. (2014). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan energi nasional. *Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia*, Jakarta.
- Syahputra, R. (2012a). Distributed Generation: State of the arts dalam Penyediaan Energi Listrik. *LP3M-UMY*, Yogyakarta.
- Syahputra, R. (2012b). Fuzzy Multi-Objective Approach for the Improvement of Distribution Network Efficiency by Considering DG. *IJCSIT*, 4(2), 57-68.
- Syahputra, R., Robandi, I., and Ashari, M. (2014). Performance Analysis of Wind Turbine as a Distributed Generation Unit in Distribution System. *IJCSIT*, 6(3), 39-56.
- Syahputra, R., Robandi, I., and Ashari, M. (2015). Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generation Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm. *IREE*, 10(2), 293-304.
- Shariatpanah, H., Fadaeinedjad, R., and Rashidinejad, M. (2013) A New Model for PMSG-Based Wind Turbine With Yaw Control. *IEEE Trans on Energy Conv.*, 28(4), 929-937.
- Van, T.L., Nguyen, T.H., and Lee, D.C. (2015) Advanced Pitch Angle Control Based on Fuzzy for Variable-Speed Wind Turbine. *IEEE Trans on Energy Conversion*, 30(1), 578-587.
- Wang, F., Wu, X., Lee, F.C., Wang, Z., Kong, P., and Zhuo, F. (2014). Analysis of Unified Output MPPT Control in Subpanel PV Converter System. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 29(3), 325-337.

- Wang, Y., Meng, J., Zhang, X., and Xu, L. (2015). Control of PMSG-Based Wind Turbines for System Inertial Response and Power Oscillation Damping. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 6(2), 565-574.
- Yaramasu, V., Wu, B., Alepuz, S., and Kouro, S. (2014). Predictive Control for Low-Voltage Ride-Through Enhancement of Three-Level-Boost and NPC-Converter-Based PMSG Wind Turbine. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(12), 6832-6843.

LAMPIRAN

FORMULIR EVALUASI ATAS CAPAIAN LUARAN KEGIATAN

Ketua : Dr. Ramadoni Syahputra
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Judul : Prototipe Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Berbasis Angin-Surya Menggunakan Strategi Pengendalian Optimal
Waktu Kegiatan : Tahun ke-2 dari rencana 3 tahun

Luaran yang direncanakan dan capaian tertulis dalam proposal:

No	Luaran yang Direncanakan	Capaian
1	Laporan Penelitian	100%
2	Publikasi di Jurnal Internasional (<i>Sudah Terbit</i>)	100%
3	Publikasi di Seminar Internasional (<i>Accepted/Terdaftar</i>)	95%
4	Paten (HKI) (<i>Terdaftar</i>)	100%
5	Purwarupa (<i>Produk</i>)	100%
6	Buku Ajar Ber-ISBN (<i>Sudah Terbit</i>)	100%

CAPAIAN (Lampirkan bukti-bukti luaran dari kegiatan dengan judul yang tertulis di atas, bukan dari kegiatan penelitian dengan judul lain sebelumnya)

1. PUBLIKASI ILMIAH

	Keterangan
Nama jurnal yang dituju	JATIT (Journal of Theoretical and Applied Information Technology)
Klasifikasi jurnal	Jurnal Internasional terindeks Scopus (Q3)
<i>Impact factor</i> jurnal	0,17
Judul artikel	DESIGN OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING BASED ON ADAPTIVE NEURO-FUZZY SYSTEM FOR SOLAR ARRAY SYSTEM
Status naskah:	
- Sudah Terbit (<i>Published</i>)	√

2. PEMBICARA PADA PERTEMUAN ILMIAH (SEMINAR/SIMPOSIUM)

	Internasional
Judul Makalah	Efficiency Improvement of Wind Power System Using Maximum Power Point Tracking Based on Modified Perturb and Observe Method
Nama Pertemuan Ilmiah	Seminar Internasional ICIMECE 2018 di Surakarta
Tempat Pelaksanaan	Surakarta (UNS)
Waktu Pelaksanaan	Nopember 2018
- <i>Accepted</i>	√

3. PATEN (HKI)

HKI (Paten), <i>Terdaftar</i> 15 Agustus 2018	Seperangkat rangkaian penjejak edar matahari berbasis sensor tegangan listrik PLTS
Nomor Pendaftaran e-filling	WFP2018049664 (15 Agustus 2018)
Nomor Permohonan	SID201806188

4. PURWARUPA (*PROTOTYPE*)

Judul	Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Penjejukan Edar Matahari Berbasis Sensor Tegangan Listrik
Status	Produk
TKT	5 (Skala Laboratorium dan uji di tempat yang relevan)
Tempat Uji	Lab Teknik Mesin Fak Teknik UMY

5. BUKU AJAR

Judul	Rekayasa dan Pengkondisian Energi Terbarukan
Status	Terbit ber-ISBN
Penerbit	LP3M UMY
No. ISBN	978-602-5450-08-2

6. CAPAIAN LAINNYA

PENGHARGAAN	Nominasi SINTA 2018 (Peringkat 3 Nasional) Kategori Penulis PTS
-------------	--

Yogyakarta, 2 Nopember 2018

Ketua,


(Dr. Ramadoni Syahputra)

BUKTI LUARAN