Pengembangan Pembangkit Listrik Tersebar Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi

Asep Najmurokhman^{#1}, Zul Fakhri[#], Muhamad Reza^{*2}

[#]Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani
Jl. Terusan Jenderal Sudirman PO Box 148, Cimahi, 40533, Jawa Barat, Indonesia

¹asepnajmu@yahoo.com

^{*}Solvina International AB
Gruvgatan 37 S-421 30 Västra Frölunda, Gothenburg, Sweden

²muhamad.reza@solvina.com

Abstract— Dipicu oleh berkembangnya kesadaran masyarakat akan pembangkitan energi listrik yang ramah lingkungan, berkembanglah teknologi pembangkit listrik tersebar skala kecil dan titik berat pada pemanfaatan pembangkit listrik kecil Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi (EBTKE) yang langsung terhubung ke jaringan distribusi. Untuk mengantisipasi masalah yang muncul dari berkembangnya teknologi ini, terutama di Indonesia, Jurusan Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani (Unjani) membuat pengembangan penelitian Pembangkit Listrik Tersebar Tenaga EBTKE Skala Kecil yang kemudian dipresentasikan di makalah ini.

Keywords— Pembangkit Listrik Tersebar (*Distributed Generation*), Skala Kecil, EBTKE, Program Penelitian

I. PENDAHULUAN

Beberapa faktor telah mendorong semakin berkembangnya pemanfaatan berbagai teknologi energi alternatif berbasis energi baru terbarukan dan konversi energi (EBTKE) untuk pembangkitan tenaga listrik: (i) cadangan energi yang bersumber dari fosil seperti minyak bumi, gas dan batubara yang diperkirakan akan terus berkurang, (ii) kesadaran akan perlunya mengurangi emisi gas carbon dioksida ke atmosfer yang berasal dari pembakaran bahan bakar berbasis fosil dan segala konsekuensi turunan dari kedua faktor ini.

Di Indonesia, dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN 2017 -2026 (Sesuai Keputusan Menteri ESDM No. 1415 K/20/MEM/2017 No. 1415 K/20/MEM/2017) [1], pengembangan pembangkit EBTKE dilakukan termasuk dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan dari jenis energi aliran dan terjunan air, energi panas bumi termasuk yang skala kecil dan modular, biofuel, energi angin, energi sinar matahari, biomassa, sampah dan lain-lain. Khusus mengenai Pembangkit Listrik EBTKE Tenaga Surya (PLTS), dilakukan pengembangan PLTS

menggunakan panel surya untuk melistriki komunitas terpencil yang jauh dari jaringan listrik nasional pada daerah tertinggal, pulau-pulau terdepan yang berbatasan dengan negara tetangga dan pulau-pulau terluar lainnya, artinya sebagai pembangkit listrik tersebar (*distributed generation*), termasuk pengembangan mikrogrid untuk daerah-daerah terisolasi yang dalam 2-3 tahun ke depan belum direncanakan untuk dibangun distribusi atau pembangkit termal.

Dalam beberapa tahun ke belakang, program studi Teknik Elektro Unjani [2] aktif dalam melakukan penelitian di bidang Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi (EBTKE), terutama terkait pembangkitan listrik tenaga surya (PLTS) [3][4][5] dan EBTKE berbasis biomassa [6][7].

Pada [3] diuraikan perancangan penaik tegangan DC-DC Converter untuk diimplementasikan di sistem PLTS. [4] memaparkan pembuatan prototipe sistem penjejak matahari untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari oleh sel surya. Dengan memanfaatkan sensor cahaya, mikrokontroler sebagai pengendali utama, motor DC sebagai penggerak sel surya, dan panel surya diperoleh hasil bahwa panel surya yang disertai dengan sistem penjejak matahari memberikan keluaran energi listrik lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya yang statis. Prototipe PLTS dengan modul sel surya berukuran 120 cm x 30 cm yang tersusun dari 35 keping sensor fotovoltaiik yang menghasilkan tegangan bolak-balik dengan digunakannya akumulator dan inverter telah berhasil diuji yang hasilnya dipaparkan di dalam [5].

Di dalam [6] dan [7] dipaparkan hasil penelitian tentang pemanfaatan biomassa yang digasifikasi menjadi sumber energi berbahan dasar janggel jagung dan batok kelapa.

II. PEMBANGKIT LISTRIK TERSEBAR EBTKE

Ide pembangkit listrik tersebar sudah mulai berkembang di akhir tahun 90-an yang dipicu oleh berkembangnya pembangkit listrik tenaga energi baru terbarukan dan konversi energi (EBTKE) terutama di Eropa, sebagai akibat meningkatnya kesadaran masyarakat akan kelestarian lingkungan termasuk dalam proses pembangkitan tenaga listrik.

Meskipun demikian, pembangkit listrik tersebar didefinisikan hanya sebagai pembangkit tenaga listrik yang tersambung langsung ke jaringan distribusi listrik dan tidak berada dibawah kontrol pusat kendali operasi sistem tenaga listrik nasional, artinya tidak terbatas hanya pada pembangkit listrik tenaga EBTKE saja. Secara khusus, terkait dengan skala pembangkitan listrik, pembangkit listrik tersebar skala kecil ini didefinisikan memiliki kapasitas pembangkitan listrik mulai ~1 kW hingga beberapa kurang dari 50 MW, tanpa membatasi sumber energinya [8]. Gambar 1 memperlihatkan ilustrasi pengklasifikasian pembangkit listrik tersebar skala kecil berdasarkan karakter sumber energi, keluaran daya listrik, dan sambungan ke jaringan distribusi seperti yang tercantum dalam [8].

Gambar 1 ilustrasi pengklasifikasian pembangkit listrik tersebar skala kecil

Namun demikian, mengingat ide awal pengembangan pembangkit listrik tersebar skala kecil ini dipicu oleh perkembangan pembangkit listrik EBTKE maka banyak dari penelitian pembangkit listrik tersebar yang menitikberatkan area penelitiannya pada penggunaan sumber

EBTKE, termasuk yang diprogramkan di Jurusan Teknik Elektro Unjani.

III. TANTANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TERSEBAR EBTKE

Di antara penelitian pembangkitan listrik EBTKE yang sedang dikembangkan di Jurusan Teknik Elektro Unjani adalah yang bersumberkan pada:

- (i) tenaga surya fotovoltaik [3]-[5],
- (ii) tenaga bayu,
- (iii) biomassa [6],[7].

yang memiliki tantangan-tantangan yang berbeda-beda.

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik

Pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik memiliki keluaran daya dengan karakter stokastik. Gambar 2 misalnya memperlihatkan contoh keluaran daya listrik dari pembangkit listrik tenaga surya berskala 2 MW di Kalifornia Selatan, Amerika Serikat [9].

Gambar 2 Keluaran daya listrik dari pembangkit listrik tenaga surya berskala 2 MW di Kalifornia Selatan, Amerika Serikat [8].

Dari karakter sambungannya, pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik yang menghasilkan listrik dalam bentuk listrik arus searah (DC) terhubung melalui elektronika daya sebagaimana diagram yang terlihat pada Gambar 3.

Gambar 3 Pembangkit listrik arus searah (dc) terhubung ke jaringan listrik tegangan bolak-balik (ac) melalui perangkat elektronika daya [8].

B. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pembangkit listrik tenaga bayu memiliki keluaran daya dengan karakter stokastik. Gambar 4 misalnya memperlihatkan contoh keluaran daya listrik dari pembangkit listrik bayu dari pengukuran yang dilakukan di antara 21-31 Desember di Jerman [10].

Dari karakter sambungannya, pembangkit listrik tenaga bayu dapat dihubungkan langsung ke jaringan listrik tegangan bolak-balik atau melalui perangkat elektronika daya, sebagaimana terlihat misalnya pada Gambar 5. Karakter sambungan yang dipilih bergantung dari teknologi dan desain spesifik atas turbin angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik [8].

Gambar 4 Contoh keluaran daya dari hasil pengukuran di Jerman untuk (a) turbin angin tunggal, (b) satu grup pembangkit listrik tenaga angin dan (c) seluruh wind turbin di Jerman [10].

Gambar 5 Pembangkit listrik yang menghasilkan daya listrik bertegangan bolak-balik (ac) terhubung ke jaringan melalui perangkat elektronika daya [8].

Ada dua situasi di mana perangkat elektronika daya diperlukan untuk menghubungkan pembangkit listrik yang menghasilkan daya listrik bertegangan bolak-balik dengan jaringan yang juga bertegangan bolak-balik, yaitu [8]:

- Pada saat tegangan bolak-balik yang dihasilkan berfrekuensi tinggi (di atas frekuensi jaringan).
- Bila sumber energi utama menyebabkan penggerak utama menggerakkan generator listrik pada kecepatan bervariasi sehingga menghasilkan listrik bertegangan bolak-balik dengan frekuensi yang juga bervariasi.

Ada juga situasi ketika turbin angin yang menggunakan generator induksi disambungkan langsung ke jaringan dengan perangkat elektronika daya sebagaimana terlihat pada Gambar 6.

Gambar 6 Turbin angin yang menggunakan generator induksi disambungkan langsung ke jaringan dengan perangkat elektronika daya [8].

C. Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa

Istilah biomassa menggambarkan semua bahan organik yang dihasilkan oleh fotosintesis. Biomassa dianggap sebagai pengganti untuk bahan bakar fosil. Jenis generator yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga biomassa dapat merupakan hasil modifikasi dari pembangkit listrik klasik tenaga bahan bakar fosil, sehingga listrik yang dibangkitkan dapat langsung disambungkan ke jaringan listrik sebagaimana tergambar di Gambar 7.

Gambar 7 Pembangkit listrik (tersebar skala kecil) yang disambungkan secara langsung ke jaringan distribusi listrik tegangan bolak-balik [8].

IV. PENGEMBANGAN PENELITIAN PEMBANGKITAN LISTRIK EBTKE TERSEBAR SKALA KECIL

Berdasarkan potensi sumber daya baik dosen maupun fasilitas yang tersedia, kegiatan penelitian lanjutan terkait EBTKE yang dikembangkan oleh Jurusan Teknik Elektro Unjani meliputi hal-hal berikut:

- Metode yang efektif untuk pengubahan energi listrik dari sebuah fotovoltaik, didalamnya termasuk pendekatan kecerdasan buatan seperti logika fuzzy dalam metode kendalinya.
- Mengembangkan dan memanfaatkan perangkat lunak yang dapat dimanfaatkan dalam proses pembelajaran mahasiswa terkait EBTKE.
- Studi efek harmonisa saat integrasi sistem fotovoltaik yang dibangun ke dalam sistem jaringan (grid).
- Pemanfaatan jaringan komunikasi dalam membangun sistem akuisisi data besaran-besaran listrik.
- Membangun *pilot project* implementasi EBTKE skala kecil di lingkup masyarakat yang masih belum terjangkau secara maksimal oleh jaringan listrik pemerintah.

Sebagai langkah awal, penelitian difokuskan pada area PLTS dengan panel surya yang dirancang untuk dilakukan menggunakan algoritma penelitian sebagai berikut.

- **Masalah:** Variasi keluaran daya listrik pada PLTS skala kecil dan tersebar
- **Data pendukung:** Radiasi matahari di daerah penelitian, spesifikasi teknis panel surya yang digunakan, pola konsumsi listrik di daerah penelitian
- **Metoda:** Penelitian akan dilakukan dengan mensimulasikan keluaran daya listrik PLTS dengan masukan data pendukung. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat simulasi SIMPOW®.
- **Pembahasan:** Simulasi variasi keluaran daya listrik PLTS digunakan untuk mendesain beberapa skenario operasi PLTS termasuk dalam penggunaan teknologi penyimpanan energi (batere) dan sistem kendalinya.
- **Hasil yang diharapkan:** Desain PLTS yang optimal mengatasi variasi keluaran daya

Hasil penelitian yang sedang dikembangkan terkait dengan PLTS adalah sistem monitoring kondisi PLTS melalui jaringan komunikasi seperti yang diberikan dalam Gambar 8.

Gambar 8. Sistem monitoring data tegangan PLTS [11]

Selain itu, prototipe turbin angin juga telah dibuat dan bentuknya diberikan pada Gambar 9. Turbin angin tersebut dapat berputar secara mantap pada kecepatan 11000 rpm.

Gambar 9. Prototipe turbin angin [12]

V. SIMULATION POWER SYSTEMS SOFTWARE SIMPOW®

"Mengukur adalah untuk mengetahui" (Lord Kelvin 1824-1907). Tidak ada cara lain mempersiapkan mahasiswa teknik dengan sebanyak mungkin pengetahuan selama pendidikan, kecuali dengan pengalaman langsung (*hands on experience*) sehingga mahasiswa memahami melampaui buku teks teoritis atau catatan kuliah sehingga pada akhirnya akan lebih adaptif terutama terhadap kebutuhan dari industri. Untuk lebih meningkatkan kompetensi dan fleksibilitas mahasiswa dalam mempelajari sistem ketenagalistrikan terkait pembangkit listrik tersebar berbasis EBTKE ini, Jurusan Teknik Elektro Unjani menjajaki juga kerjasama dengan Solvina AB, perusahaan internasional dari Swedia, yang memiliki software analisis sistem tenaga listrik kelas dunia SIMPOW®.

SIMPOW® adalah *software* terintegrasi untuk simulasi sistem tenaga listrik dengan kekhasan pada simulasi sistem dinamis dalam domain waktu dan domain frekuensi. SIMPOW® dilengkapi dengan bahasa pemrograman yang memungkinkan

pengguna membuat model dan metode dengan sangat rinci, sehingga tepat untuk digunakan di dunia penelitian (*R&D*) dan pendidikan (akademia) ketika berbagai model dan metode baru hendak dimodelkan dan disimulasikan. Fitur simulasi dan analisis SIMPOW[®] memastikan perencanaan, peningkatan dan pemanfaatan jaringan tenaga listrik yang efisien untuk produksi, transmisi dan distribusi tenaga listrik juga untuk industri-industri seperti industri logam dan baja, industri kertas, industri kimia, industri minyak dan gas, dan lain-lain, sehingga setelah lulus, mahasiswa akan memiliki peluang untuk bekerja di dunia industri yang lebih luas.

SIMPOW[®] dikembangkan oleh ABB Swedia dan merupakan salah satu elemen terpenting dalam pengembangan teknologi HVDC dan FACTS, yang kemudian juga digunakan oleh perusahaan listrik dan utilitas, kereta api, konsultan teknologi, lembaga penelitian dan universitas di seluruh dunia. Saat ini, SIMPOW[®] dimiliki oleh Solvina AB Sweden setelah Solvina membuat keputusan strategis untuk membeli SIMPOW[®] bersamaan dengan merekrut individu-individu kunci di balik pengembangan SIMPOW[®] yang beralih ke Solvina. Khusus untuk Indonesia dan Asia Tenggara, Solvina menempatkan sumber daya yang cukup besar untuk pengembangan lebih lanjut program ini dan khususnya Solvina membayangkan membawa SIMPOW[®] lebih dekat ke komunitas sistem tenaga yang berkembang pesat di Asia Tenggara. Sebagai bagian dari komitmen Solvina terhadap pemberdayaan mahasiswa teknik dan akademisi di kawasan Asia Tenggara, Solvina memberikan dukungan untuk penggunaan SIMPOW[®] di wilayah ini dengan mengembangkan dan melibatkan entitas lokal di Indonesia termasuk inilah yang menjadi motivasi Solvina untuk bekerjasama dengan Jurusan Teknik Elektro Unjani, terutama dalam pengembangan penelitian yang terfokus pada Pembangkit Listrik Tersebar EBTKE Skala Kecil. Tabel I menunjukkan fitur analisa tenaga listrik yang terkandung dalam SIMPOW[®]. Di dunia internasional, SIMPOW[®] sudah banyak digunakan dalam penelitian terkait EBTKE [13]-[16].

VI. KESIMPULAN.

Untuk mengantisipasi masalah yang muncul dari berkembangnya teknologi pembangkit listrik tersebar skala kecil memanfaatkan pembangkit listrik kecil Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi (EBTKE) di Indonesia, Jurusan Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani (Unjani) membuat pengembangan penelitian yang terfokus pada Pembangkit Listrik Tersebar Tenaga EBTKE Skala Kecil.

Di antara penelitian pembangkitan listrik EBTKE yang sedang dikembangkan di Jurusan Teknik Elektro Unjani adalah yang bersumberkan pada (i) tenaga surya fotovoltaik, (ii) tenaga bayu, dan (iii) biomassa yang memiliki tantangan-tantangan yang berbeda-beda.

Selanjutnya titik berat penelitian ditekankan pada metode yang efektif dalam konversi energi, pengembangan dan pemanfaatan perangkat lunak dalam menunjang pembelajaran tentang EBTKE, studi efek harmonisa saat integrasi ke dalam sistem grid, pemanfaatan jaringan komunikasi dalam akuisisi data, serta membangun *pilot project* penerapan EBTKE skala kecil di lingkungan masyarakat tertentu.

TABEL I
FITUR ANALISIS TENAGA LISTRIK SIMPOW[®]

Fitur	Detail
Aliran Daya	Perhitungan keseimbangan aliran daya, pengaturan transformator tap, keadaan awal untuk pengoperasian dinamis, dll.
Hubung Singkat	Penentuan besar arus gangguan misalnya untuk memeriksa kapasitas termal dan elektromekanis dari gardu induk, kabel, dan untuk pengaturan rele proteksi.
Kestabilan Transien	Kestabilan Transien dengan menggunakan model fasor untuk pengecekan kelayakan dan penyetelan regulator dalam meningkatkan kemampuan transmisi daya dan memperbaiki stabilitas transien.
Kestabilan Mesin	Simulasi kinerja dinamis detail mesin induksi dan mesin sinkron selama kondisi start dan perubahan beban, misalnya di pembangkit listrik industri dengan berbagai jenis, ukuran dan desain generator diesel dan turbin gas.
Analisa Linear	Penentuan <i>eigenvalue</i> untuk analisis resonansi, analisis sensitivitas, dan analisis modal untuk menampilkan <i>eigenvector</i> . Fungsi analisis linier juga terdiri dari perhitungan distribusi harmonis dan pemindaian frekuensi. Yang terakhir dapat diterapkan pada rentang frekuensi yang dipilih.

REFERENCES

- [1] PLN, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN 2017-2026 (Sesuai Keputusan Menteri ESDM No. 1415 K/20/MEM/2017 No. 1415 K/20/MEM/2017), [Online] <http://www.pln.co.id>
- [2] [Online] <http://www.unjani.ac.id/statis-23-tenik-elektro-unjani.html>
- [3] A. Fathurachman, A. Najmurrokhman, Kusnandar, "Perancangan Boost Converter Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya", Seminar Nasional IPTEK Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia, Jun. 2015.
- [4] A. Najmurrokhman, M. Fajrin, "Perancangan Prototipe Sistem Penjejak Matahari untuk Mengoptimalkan Penyerapan Energi Surya pada Solar Cell", Seminar Nasional Energi, Vol. 1, Sumedang, Jawa Barat, Indonesia, Nov. 2010.
- [5] A. Najmurrokhman, E. Taryana, K. Mayasari, M. Fajrin, "Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Matahari", Seminar Nasional Sains dan Teknologi dalam Penanganan Energi, Vol. 1, Cimahi, Indonesia, May. 2010.
- [6] Suhartono, I. Maulana, Y. M. Maulana, "Pemanfaatan Janggal Jagung dan Batok Kelapa Menjadi Gas Mempan Bakar untuk Mensubstitusi Elpiji Melalui Proses Gasifikasi", Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia, Mar. 2015.
- [7] Suhartono, B. D. Prasetyo, I. N. Azizah, "Synthetic Gas (Syngas) Production in Downdraft Corncob Gasifier and its Application as Fuel using Conventional Domestic (LPG) Stove", *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 11, No. 8, Apr. 2016.
- [8] M. Reza, "Stability Analysis of Transmission Systems with High Penetration of Distributed Generation", PhD Dissertation at Delft University of Technology, Delft, the Netherlands, 2006.
- [9] J. Enslin, "Solutions for Integrating PV into the Grid", *Electric Light & Power*, 5 January 2011 [Available Online at http://www.elp.com/articles/powergrid_international/print/volume-16/issue-5/features/solutions-for-integrating-pv-into-the-grid.html].
- [10] R. Piwko, P. Meibom, H. Holttinen, B. Shi, N. Miller, Y. Chi, W. Wang, "Penetrating Insights", *IEEE Power & Energy Magazine*, March/April, 2012 [Available Online at <http://magazine.ieee-pes.org/marchapril-2012/penetrating-insights>]
- [11] H. R. Iskandar, Y. B. Zainal, A. Purwadi, "Studi Karakteristik Kurva I-V dan P-V pada Sistem PLTS terhubung Jaringan PLN Satu Fasa 220 VAC 50 Hz menggunakan Tracking DC Logger dan Low Cost Monitoring System", Seminar Nasional Peranan Ipteks Menuju Industri Masa Depan, 27 Juli 2017, ITP Padang.
- [12] D. B. Saefudin dan W. Pisen, "Perancangan dan Manufaktur Model Turbin Angin Sumbu Horizontal", Laporan Penelitian Tahun 2016.
- [13] S. Engström, "Wind Farms Influence on Stability in an area with High Concentration of Hydropower Plants", Master thesis, Uppsala University and Vattenfall Research and Development AB, 2011.
- [14] M. Wang-Hansen, R. Josefsson, H. Mehmedovic. *Frequency Controlling Wind Power – modeling of control strategies*. Elforsk Report 12:43. Energimyndigheten Sweden, June 2016.
- [15] H. R. Chamorro, M. Ghandhari, R. Eriksson, "Wind Power Impact on Power System Frequency Response", North American Power Symposium (NAPS), Manhattan, Kansas, USA, Sep. 2013.
- [16] Ø. Sagosen, M. Molinas, "Large scale regional adoption of electric vehicles in Norway and the potential for using wind power as source", International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), 2013, Alghero, Italy, Jun. 2013.