

PETA JALAN PENDIDIKAN REKAYASA ENERGI BAGI INDONESIA -- SEBUAH PROPOSAL

Leonard Lisapaly¹, Togar Harapan Pangaribuan², Atmonobudi Soebagio³

^{1,2,3}Magister Teknik Elektro, Pasca Sarjana, Universitas Kristen Indonesia

Jl, Mayjen Sutoyo No,2, Cawang, Jakarta Timur, Indonesia

Email : leonard.lisapaly@uki.ac.id

Abstrak

Indonesia telah meratifikasi 17 (tujuh belas) Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (PB) yang dianjurkan oleh PBB kepada seluruh negara. Pembangunan itu sendiri tidak dapat dilakukan tanpa ketersediaan energi listrik dan bahan bakar. Sayangnya mayoritas energi listrik dan transportasi bergantung dari bahan bakar fosil, yang akan habis 30 tahun ke depan. Disamping cadangannya yang semakin berkurang, bahan bakar fosil merupakan penyumbang emisi CO₂ terbesar di dunia. Untuk mengembangkan energi listrik dari energi terbarukan, Indonesia perlu menyiapkan tenaga ahli dan operatornya melalui pendidikan menengah maupun tinggi untuk melakukan riset, pengoperasian, maupun pengembangannya ke depan. Makalah ini menawarkan peta jalan pendidikan tinggi serta arah riset dan pengembangannya di bidang rekayasa energi terbarukan.

Kata Kunci: energi terbarukan, pembangunan berkelanjutan, energi, keberlanjutan.

Abstracts

Indonesia has ratified 17 Sustainable Development Goals (SDG) recommended by the United Nations to all countries. The development itself cannot be carried out without the availability of electricity and fuel. Unfortunately, most of the electricity and transportation depend on fossil fuels, which will run out in the next 30 years. Besides its diminishing reserves, fossil fuels are the largest contributor to CO₂ emissions in the world. To develop electricity from renewable energy, Indonesia needs to prepare its experts and operators through mid and high education to carry out research, operations and future development. This paper offers a road map for higher education and its direction of research and development in the field of renewable energy engineering.

Keywords: renewable energy, sustainable development, energy, sustainability.

I. PENDAHULUAN

Pendidikan menjadi sentral keberhasilan 8 Tujuan Pembangunan Milenial (TPM) yang telah berakhir pada tahun 2015 yang lalu. Namun demikian TPM telah dilanjutkan oleh Pembangunan Berkelanjutan dengan 17 tujuannya (TPB) sampai 2030. Pembangunan Berkelanjutan memiliki 3 pilar utama, yaitu: *Sosial Politik, Ekonomi dan Lingkungan*. Sementara, dorongan untuk memasukkan Kebudayaan atau Budaya menjadi pilar ke-4 semakin menguat dalam tulisan-tulisan yang membahas ketiga pilar tersebut. Dari 17 tujuan PB, energi melekat pada sebagian besar

tujuan tersebut. Dengan kata lain tidak ada pembangunan apapun yang tidak memerlukan energi. Bahkan *semangat* yang bersifat non-fisik pun sering digolongkan sebagai fondasi energi di dalam diri manusia.

Perubahan iklim sebagai dampak dari pemanasan global membuat ketergantungan manusia pada energi, apapun wujudnya, semakin meningkat. Sebaliknya, pemanfaatan energi, d.h.i. bahan bakar fosil sebagai energi primer yang ketersediaannya di bumi semakin menipis, merupakan ancaman serius karena menghasilkan limbah berupa gas karbon

dioksida. Kondisi inilah yang membuat perhatian dunia untuk mencari energi penggantinya yang tak pernah habis, terjangkau harganya, dan ramah lingkungan.

Industri listrik yang berbasis bahan bakar fosil tidaklah sejalan dengan tujuan PB, yang salah satu tujuannya adalah menyejahterakan seluruh umat manusia di dunia. Sayangnya, sebagian besar industri energi, baik energi listrik maupun bahan bakar, tidak sejalan dengan prinsip PB, yaitu menyejahterakan seluruh manusia. *Daniel Franklin* mengatakan bahwa industri energi akan terlihat kurang akrab di masa depan, bila tidak menjauh dari ketergantungannya pada bahan bakar yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Peningkatan besar dalam teknologi baterai akan membantu penyimpanan energi terdistribusi, di rumah-rumah serta bisnis akan menyebar [1].

Menurut *Klaus Schwab* [2]:

Pertemuan data dengan penyimpanan komputasi yang besar dan kekuatan kognitif akan mengubah industri dan masyarakat di setiap tingkat, menciptakan peluang yang dulunya tak terbayangkan dari kesehatan dan pendidikan ke pertanian, manufaktur, dan layanan.

International Energy Agency (IEA) [3] mendefinisikan keamanan energi sebagai: “*ketersediaan sumber energi yang tidak terputus pada harga yang terjangkau*”. Keamanan energi memiliki banyak aspek: *keamanan energi jangka panjang* terutama berkaitan dengan investasi tepat waktu untuk memasok energi sejalan dengan perkembangan ekonomi dan kebutuhan lingkungan. Di sisi lain, *keamanan energi jangka pendek* berfokus pada kemampuan sistem energi untuk segera bereaksi terhadap perubahan tiba-tiba dalam keseimbangan penawaran-permintaan.

Pendekatan “holistik” dalam korelasi antara *keamanan energi* dengan *perubahan iklim (PI)*, secara naratif adalah: “*pertumbuhan penggunaan energi oleh manusia yang berasal*

dari bahan bakar fosil yang menyebabkan pemanasan global”. Oleh sebab itu PI harus diakui sangat terkait dengan masalah keamanan internasional. Jika demikian, narasi holistik tadi menjadi berlanjut, yaitu bahwa PI tidak hanya sekedar sebuah ancaman terhadap keamanan global melainkan juga sebuah *pelipat ganda* ancaman, bila dikaitkan dengan keamanan energi. Berangkat dari analogi bahwa “migrasi massal pengungsi untuk berlindung dari bencana ekologi dapat mendestabilisasi wilayah-wilayah yang didatangi”, *solusi terhadap PI harus merupakan bagian atau paket dari strategi keamanan energi nasional dan internasional*. Dari korelasi tersebut, upaya membangun kemandirian energi listrik harus berlangsung secara *serentak* dengan tekad Pemerintah untuk menurunkan emisi karbon yang sebesar 26% itu. Target pencapaian Indonesia tersebut disampaikan oleh Presiden Susilo Bambang Yudoyono di Konferensi Perubahan Iklim di Kopenhagen, bulan Desember 2009 yang lalu. Sebaliknya, terlalu banyak memfokuskan terhadap yang satu akan memperparah yang lain [4].

Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional menetapkan target untuk pemanfaatan energi terbarukan untuk mencapai 23% dari total bauran energi pada tahun 2025, dan 31% dari total bauran energi pada tahun 2050. Dewan Energi Nasional meramalkan bahwa batubara akan habis sama sekali pada tahun 2025, sementara cadangan bahan bakar fosil (69%) akan benar-benar mengering pada tahun 2050. Akibatnya, semua energi fosil (batu bara, minyak dan gas) akan harus diimpor [5].

Dari pembahasan di atas, penyediaan energi listrik bagi pembangunan nasional secara berkelanjutan menjadi sangat penting karena harus berwawasan lingkungan, selalu tersedia secara berkelanjutan dan terjangkau harganya. Karena alasan tersebut, sumber energi yang akan dikonversikan sebagai energi listrik harus tersedia di Indonesia, yang merupakan negara kepulauan dengan banyak gunung berapi. Jenis energi pengganti energi fosil harus bersifat terbarukan dan ramah lingkungan.

Indonesia, dengan penduduknya yang berjumlah lebih dari 256 juta jiwa, sepatutnya menggarisbawahi akan perlunya meningkatkan kemandirian energi, termasuk energi listrik, secara strategis dan berkelanjutan. Meskipun negara ini masih memiliki cadangan bahan bakar fosil dan energi panas bumi, perencanaan yang disusun untuk meningkatkan keamanan energi nasional perlu dilakukan dengan cermat dan terintegrasi. Semakin tinggi tingkat keamanan energi sebuah negara, semakin kuat pula ketahanan nasionalnya di bidang ekonomi, sosial, dan politik. Keamanan energi sebuah negara merupakan unsur penting dalam membangun kemandirian energi secara berkelanjutan.

II. KONVERSI ENERGI DARI BERBAGAI ENERGI

Sumber energi kita adalah alam itu sendiri. Energi yang terkandung dalam sumber daya alam sebelum menjalani konversi atau transformasi buatan manusia, didefinisikan sebagai *energi primer*. Sumber-sumber itu dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori: yang mengalir dan yang tersimpan. Sumber energi yang mengalir adalah: cahaya matahari, angin, dan gelombang. Sedangkan yang tergolong tersimpan adalah: bahan bakar fosil, biomassa, inti atom terbelah, dan panas yang tersimpan di lapisan kulit bumi.

Sumber-sumber energi primer dapat dikonversikan ke dalam bentuk energi yang bermanfaat dan digunakan dalam kehidupan sehari-hari, yaitu: listrik, panas, dan bahan bakar.

Tabel 1. Konversi energi ke energi lain.

Dari Ke	Elektromagnetik	Kimia	Termal	Kinetik	Listrik	Nuklir	Gravitasi
Elektromagnetik		Emisi cahaya saat reaksi kimia	Radiasi termal	Muatan percepatan Phosphor	Radiasi elektromagnetik Cahaya listrik	Reaksi gamma Bom nuklir	
Kimia	Fotosintesa Fotokimia	Pemrosesan kimia	Mendidih Disosiasi	Disosiasi oleh radiolisis	Elektrolisa	Katalisis radiasi	
Termal	Penyerapan matahari	Pembakaran	Pertukaran panas	Gesekan	Pemanasan resistansi	Fissi Fusi	
Kinetik	Radiometer	Metabolisme Otot	Ekspansi termal Pembakaran internal	Roda gigi	Motor Hambatan listrik	Radioaktivitas Bom nuklir	Obyek jatuh
Listrik	Sel surya Fotoelektrik - sitas	Sel bahan bakar Baterai	Termo listrik Termionik	Generator konvension al		Baterai nuklir	
Nuklir	Reaksi neutron						

	gamma						
Gravitasi				Obyek naik			
Sumber: Vaclav Smil, <i>Energy: Beginner's Guide</i> , One World, 2017. [6]							

III. POTENSI ENERGI TERBARUKAN DI INDONESIA

Ketergantungan pembangkitan energi listrik pada satu jenis sumber energi atau bahan bakar, yang sangat terbatas cadangannya di bumi ini, bukanlah solusi untuk meningkatkan keamanan energi listrik suatu negara. Hanya dengan mengandalkan sumber-sumber energi yang bervariasi jenis dan memiliki cadangan yang tak terhingga jumlahnya, maka kita dapat meningkatkan keamanan energi ini secara jangka panjang dan berkelanjutan. Energi matahari yang jatuh ke permukaan bumi sangat besar, bahkan *14.000 kali lebih besar* dari kebutuhan seluruh manusia di bumi yang hanya berjumlah 50.000 Terrawattjam (TWh) setiap tahunnya [7].

Dari luas wilayah Indonesia yang sebesar 4.798.600 km², ternyata hanya 1.910.931 km² yang berupa daratan (39,8%). Selebihnya berupa *laut dalam* dan *laut dangkal* yang potensinya sebagai sumber energi alternatif belum dimanfaatkan secara maksimal. Sekurang-kurangnya ada empat macam potensi energi laut yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik, yaitu: (a) *energi gelombang*, (b) *energi pasang surut*, (c) *energi arus di bawah permukaan*, dan (d) *energi yang diperoleh dari perbedaan suhu antara permukaan dan dasar laut*. Total panjang pantai Indonesia adalah 104.000 kilometer, dan berpotensi menghasilkan energi dari gelombang laut sebesar 10-30 kW per meter panjang pantai.

Meskipun kecepatan angin rata-rata di Indonesia hanya berkisar 5,5 m/detik, atau 19,8 km/jam, kecepatan angin di daerah pesisir lebih tinggi dari kecepatan rata-rata tersebut. Potensi energi angin yang telah dimanfaatkan adalah sebesar 162,2 MW. Lompatan sebesar 147 MW adalah berasal dari PLTB di Sidenreng-Rapang (75 MW) yang telah selesai

dibangun dan PLTB Jeneponto (72 MW) yang baru sebagian selesai.

Berdasarkan asumsi pertumbuhan ekonomi rata-rata sekitar 6,7% per tahun (sesuai RPJMN 2015-2019), maka Indonesia membutuhkan tambahan kapasitas pembangkit rata-rata 7 GW per tahun dan tambahan jaringan transmisi rata-rata 9.000 kms per tahun. Pada akhir tahun 2019, diharapkan, rasio elektrifikasi Indonesia mencapai 97,35%, meningkat 13% dibanding tahun 2014. Untuk meningkatkan angka rasio elektrifikasi, pemerintah juga telah melaksanakan program-program pro rakyat yang pendanaannya melalui APBN, seperti program listrik perdesaan yang membangun jaringan distribusi hingga pelosok-pelosok desa, serta program instalasi listrik gratis untuk masyarakat tidak mampu dan nelayan. Kebutuhan pasokan listrik 5 tahun ke depan diperkirakan membutuhkan tambahan kapasitas terpasang pembangkit listrik sebesar 42,9 GW sehingga kapasitas terpasang dari tahun 2014 sebesar 53,6 GW menjadi 96,5 GW dengan penggunaan bahan bakar minyak yang ditargetkan sebesar 2,04%. Untuk mendukung penyaluran tenaga listrik maka dibutuhkan tambahan jaringan transmisi sekitar 46.000 kms sampai akhir tahun 2019 tersebut. [8]

IV. KEBIJAKAN UNTUK MENDORONG PELANGGAN PLN MEMILIKI PLTS SENDIRI

Rencana Strategis (Renstra) Direktorat Ketenagalistrikan Tahun 2015-2019 masih menitik beratkan pemenuhan kebutuhan listrik nasional dengan membangun pembangkit-pembangkit konvensional; meskipun sudah ada sejumlah PLTB dengan kapasitas total 162,2 MW. Pencapaian pemenuhan kebutuhan listrik di setiap provinsi telah di atas 90%, bahkan beberapa provinsi sudah

berada di atas 95%. Hanya DKI Jakarta yang telah mencapai 100%.

Meskipun target pemerataan penyaluran listrik telah cukup tinggi, pembangunan pembangkit-pembangkit listrik masih didominasi oleh PLTU yang menggunakan batubara. Penggunaan batubara untuk pembangkitan listrik meningkat karena adanya kebijakan untuk mengganti penggunaan BBM bagi PLTU minyak. Artinya, emisi karbon dioksida di atmosfer Indonesia semakin meningkat dari sebelumnya.

Saat ini, jumlah pelanggan yang memiliki panel sel surya telah meningkat, meskipun faktanya tetap kecil. Untuk lebih mendorong pertumbuhan, terobosan kebijakan pemerintah diperlukan untuk memotivasi pelanggan untuk memanfaatkan pembangkit listrik alternatif sendiri seperti pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pembangkit listrik tenaga biomassa (PLTBio), dan tenaga mikrohidro (PLTMH). Respon positif akan meningkat seiring harga unit PLTS menjadi lebih terjangkau, seiring dengan peningkatan teknologi produksi panel sel surya.

Berdasarkan *Swanson Law*, harga modul sel surya cenderung turun 19-23% untuk setiap penggandaan volume yang dikirimkan secara kumulatif (produksi). Juga, efisiensi daya panel sel surya cenderung meningkat, yang berarti ukuran panel dan beratnya akan berkurang saat dipasang di atap.

V. PETA JALAN PENDIDIKAN TINGGI REKAYASA ENERGI

Pemerintah tidak dapat diharapkan untuk mengakselerasi penggunaan energi terbarukan dalam memenuhi kebutuhan listrik secara nasional, karena kurangnya SDM yang memiliki kualifikasi sebagai ahli dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Meskipun bidang studi energi listrik cukup banyak, namun keahlian dalam mengonversikan energi terbarukan menjadi energi listrik masih tergolong langka.

Data memperlihatkan bahwa penggunaan energi terbarukan global meningkat cukup pesat dalam 10 tahun sejak tahun 2007.

Perkembangan energi terbarukan di Asia Pasifik menunjukkan fenomena yang sangat menarik. Pada tahun 2007, penggunaan energi terbarukan di Asia Pasifik hanyalah 27,4% dari penggunaan global. Pada tahun 2017, penggunaan energi terbarukan di Asia Pasifik meningkat tajam menjadi 38,8%. Di Indonesia, terjadi tren yang sama. Pada tahun 2007, penggunaan energi terbarukan di Indonesia baru mencapai 0,3% dari penggunaan energi terbarukan global, atau 1% dari penggunaan di Asia Pasifik. Pada tahun 2017, penggunaan energi terbarukan di Indonesia meningkat namun masih rendah dibandingkan penggunaan global ataupun Asia Pasifik. Pada tahun 2017, Indonesia baru mencapai 0,5% penggunaan global atau 1,3% dari Asia Pasifik. Data Kementerian ESDM sendiri memperlihatkan bahwa pada tahun 2017 Indonesia baru dapat mencapai 1,7% dari total potensi energi terbarukan yang ada.

Statistik di atas secara jelas memperlihatkan bahwa penggunaan energi terbarukan di Indonesia masih sangat rendah. Faktor penghambat yang utama adalah aspek pemodal, mengingat biaya produksi energi terbarukan cenderung masih lebih mahal dibandingkan dengan biaya produksi energi konvensional seperti minyak dan gas, serta batubara. Aspek lain yang perlu diperhatikan adalah kurangnya sumber daya manusia (SDM) Indonesia yang cakap dan terampil dalam bidang energi terbarukan, khususnya dalam bidang riset efisiensi konversi energi terbarukan menjadi energi listrik. Kekurangan ini sangat dipengaruhi oleh kurangnya suplai SDM dalam bidang energi terbarukan dari perguruan tinggi di Indonesia.

Sejalan dengan program pengembangan SDM di periode 2019-2024, Pemerintah diharapkan memberi dukungan kepada perguruan tinggi yang menyelenggarakan pendidikan rekayasa energi maupun energi listrik berbasis energi terbarukan dalam bentuk fasilitas laboratorium riset energi terbarukan. Disamping itu, Pemerintah diharapkan melakukan terobosan kebijakan kepada masyarakat pelanggan listrik untuk memiliki PLTS sendiri. Kebijakan ini akan mendorong partisipasi masyarakat

pelanggan untuk menyumbang atau menjual kelebihan listriknya ke PLN. Pelanggan yang memiliki PLTS sendiri (Prosumer) yang terhubung ke jaringan listrik PLN akan membantu meringankan beban pemerintah dalam memenuhi kenaikan kebutuhan listrik dengan membangun PLTU baru, dan sekaligus mengurangi emisi karbon dioksida di atmosfer.

Dengan semakin berkembangnya teknologi informasi dan komunikasi (ICT), sistem jaringan listrik akan dapat dioperasikan secara cerdas dengan teknologi tersebut dan beralih menjadi *smart grid systems*. Tabel 2 memperlihatkan berbagai energi terbarukan, teknologi dan keilmuan pendukungnya, serta sejumlah riset dan pengembangannya.

Tabel 2. Rekayasa Energi, Keilmuan, dan Penelitian & Pengembangan

No.	Jenis Teknologi	Fungsi	Mata Kuliah	Penelitian & Pengembangan
1.	Photovoltaic Cells	Mengubah energi foton menjadi energi listrik.	<ul style="list-style-type: none"> • Fisika /Material semikonduktor. • Elektronika daya. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menaikkan efisiensi konversi energi matahari menjadi energi listrik. bahan (mis. Silikon kristal, film tipis); • konsep PV tingkat lanjut (mis. Sel organik, kepekaan zat warna, kuantum / generasi ketiga); • membangun dan konsep integrasi lainnya.
2.	Energi Kelautan	Mengubah energi gelombang dan arus laut menjadi energi kinetik. Gradien salinitas	<ul style="list-style-type: none"> • Konversi energi gelombang. • Daya pasang-surut laut. • Konversi energi termal laut. • Kimia kelautan 	<ul style="list-style-type: none"> • Perangkat mengapung atau melenggang. • Kolom air berosilasi. • Gelombang dan Prangkat pemfokus. • Membangun bendungan di muara yang memiliki pasang tinggi dan memanfaatkan arus balik untuk menggerakkan turbin air. • Memanfaatkan aliran pasang-surut lepas pantai. • Memanfaatkan perbedaan antara suhu di dasar dan permukaan laut. • Tabrakan air tawar dan air asin menyediakan energi dalam jumlah besar, yang ingin ditangkap oleh teknologi ini.
3.	Sel bahan bakar (<i>Fuel cells</i>)	Perangkat elektrokimia, yg pada prinsipnya mirip dengan baterai primer, yang mengubah energi bahan kimia, reaksi	<ul style="list-style-type: none"> • Elektro kimia 	<ul style="list-style-type: none"> • Polimer Elektrolit atau Sel Bahan Bakar Membran Pertukaran Proton (PEMFC). • Sel Bahan Bakar Metanol Langsung (DMFC). • Molten Carbonate Fuel Cells

		langsung menjadi listrik, dengan <i>panas</i> dan <i>air</i> sebagai produk sampingan.		(MFCs). <ul style="list-style-type: none"> Sel Bahan Bakar Oksida Padat (SOFC).
4.	Infrastruktur hidrogen	Produksi hydrogen, penyimpan, dan transportasinya.	<ul style="list-style-type: none"> Kimia industri. 	<ul style="list-style-type: none"> Pembaruan gas karbon. Elektrilisis air. Produksi biologis. Fotoelektrolisis.
5.	Penyimpan energi	<ul style="list-style-type: none"> Mempertahankan kualitas daya. Sebagai energi penghubung. Manajemen energi. 	<ul style="list-style-type: none"> Teknologi baterai. Penyimpan energi mekanis. Elektro kimia. 	<ul style="list-style-type: none"> baterai aliran redoks, kapasitor super. <i>Ion Lithium</i>, Baterai <i>Li-S</i> superkonduktor penyimpan energi magnetik.
6.	Teknologi energi yang sudah mapan.	<ol style="list-style-type: none"> Energi angin. Energi nabati. Energi air, karena gravitasi bumi). Energi panasbumi. Energi panas matahari. 	<ul style="list-style-type: none"> Turbin angin. Kimia nabati. Turbin air. Turbin uap. Fisika matahari. 	<ul style="list-style-type: none"> Turbin angin poros horizontal dan vertical. Hub. Gear box. Generator sinkron/induksi Konstruksi Tower. Energi nabati sebagai energi primer. Turbin air. Steam turbine.
7.	Sistem Jaringan Cerdas.	Dengan dukungan Big Data Technology dan ICT , sistem ini memiliki potensi <i>menurunkan emisi karbon, meningkatkan keandalan suplai listrik, serta meningkatkan efisiensi infrastruktur energi</i> kita. Secara khusus, jaringan ini menyatu dengan jaringan informasi dan telekomunikasi demi memperbaiki <i>stabilitas, efisiensi, dan kekokohan</i> sistem	<ul style="list-style-type: none"> Telekomunikasi satelit, Computer science Computer Engineering. FACTS. Elektronika daya lanjutan. 	<ul style="list-style-type: none"> Big data technology. Internet of Things. ICT. Artificial Intelligence. UPFC, VSC, STATCOM, SVC, TCSC, SCCL, Phase Shifter.

Di samping tawaran mata kuliah yang menjadi dasar keahlian, tabel di atas juga menampilkan sejumlah penelitian yang dapat dilakukan di universitas maupun lembaga-lembaga penelitian nasional lainnya.

VI. KESIMPULAN

Energi merupakan kebutuhan yang sangat vital dalam mendukung program PB. Namun, pemanfaatan energi, d.h.i. energi listrik, yang diperoleh dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil justru bertentangan dengan tujuan PB, sehingga harus dihindari dalam memenuhi energi listrik secara nasional maupun global.

Pada era Revolusi Industri 4.0 yang sedang kita jalani, hampir seluruh bidang industri mengalami lompatan teknologi oleh adanya perkembangan ICT yang sangat pesat. Sistem jaringan listrik cerdas (*smart grids*) akan dikembangkan di Indonesia untuk melayani pelanggan, khususnya pelanggan yang memiliki PLTS sendiri

Kebutuhan akan tenaga ahli di bidang konversi energi-energi terbarukan menjadi energi listrik akan semakin meningkat. Konsentrasi program kerja Pemerintah yang berfokus pada Pengembangan SDM berkualitas di periode 2019-2024 diharapkan dapat memfasilitasi perguruan tinggi yang memiliki pendidikan energi listrik berbasis energi terbarukan dalam wujud bantuan pembangunan laboratorium riset untuk keahlian tersebut. Disamping itu, kampanye Pemerintah dalam mendorong pelanggan listrik untuk memiliki PLTS sendiri perlu dilakukan melalui berbagai kebijakannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Franklin D., *Megatech: Technology in 2050*, The Economist, 2018.
- Schwab K., *Shaping the Future of Fourth Industrial Revolution: A Guide to Building a Better World*, Portofolio Penguin, 2018.
- IEA, Definition of Security. <https://www.iea.org/topics/energysecurity/>.
- Soebagio A., “Membangun Kemandirian Energi Listrik serta Menurunkan Emisi karbon secara Simultan dan Berkelanjutan”, dalam Seminar Nasional dan Workshop “Indonesia Menuju Kemandirian Energi Listrik Secara Berkelanjutan dan Ramah Lingkungan, Universitas Kristen Indonesia, 28-30 Maret 2015.
- Soebagio A., B. Widodo, “Government Policy to Encourage Customers to Support Development of Renewable Energy in Indonesia – A Proposal”, *IJSGSET TRANSACTION ON SMART GRID AND SUSTAINABLE ENERGY, VOL. 1, NO. 1, MAY 2017*.
- Smil V, *Energy: Beginners Guides*, 2nd edition, One World, 2017.
- Breeze P., *Power generation Technologies*, Elsevier-Newnes, 2005.
- Breeze P., *Power generation Technologies*, Elsevier-Newnes, 2005.
- Yin Jijun et.al., *Unified Power Flow Controller Technology and Application*, Elsevier – Academic Press, 2017.
- Hingorani N.G., “High Power Electronics and Flexible AC Transmission Systems”, *IEEE Power Engineering*, Rev. 8 (7), 1988, 3-4.
- Yu W., *Modeling and Simulation of UPFC*, Nanchang University, 2008.
- Rezan Demir-Cakan (editor), *LI-S Batteries: The Challenges, Chemistry, Materials, and Future Perspectives*, World Scientific, 2017.
- Rao A., *Sustainable Energy Conversion and Coproducts: Principles, Technologies, and Equipment*, Wiley, 2015.
- Elliot D, *Sea Power – How We Can Tap Wave and Tidal Power, from the book Sustainable Energy: Opportunities and Limitations*, D. Elliot (Editor), Palgrave Macmillan, 2010.
- Sen Gupta S, A.F. Zobaa, K. S. Sherpa, A.K. Bhoi (Editors), “Advances in Smart Grid and Renewable Energy”, *Proceedings of ETAEERE-2016*, Springer, 2018.
- Mukhopadhyay B, R.K. Mandal, Application of Artificial Intelligence-Based Techniques in Controlling the STATCOM Used for Compensation for

- Voltage Dips, in DFIG-Based Grid-Connected Wind Power System, *Proceedings of ETAEERE-2016*, Springer, 2018, 177-189.
17. Dommeti R., A. Kathi, M. Pasumarthi, "A Design for High-Torque, Low-Speed Vertical Axis Wind Turbine", *Proceedings of ETAEERE-2016*, Springer, 2018, 203-213.
 18. Bostan I., A. Gheorgee, V. Dulgheru, I. Sobor, V. Bostan, A. Sochirean, *Resilient Energy Systems; Renewables: Wind Solar, Hydro*, Springer, 2013.
 19. Duffy A, M. Rogers, L. Ayompe, *Renewable Energy and Energy Efficiency*, Wiley-Blackwell, 2015.
 20. Solanki C.S., *Solar Photovoltaic Technology and Systems: A Manual for Technicians, Trainers and Engineers*, PHI Learning Private Limited, 2017.
 21. Leichenko R., K. O'Brien, *Climate and Society: Transforming the Future*, Polity, 2019.
 22. Institute Physics Report: *The Role of Physics in Renewable Energy RD&D*, A report produced for the Institute of Physics by Future Energy Solutions, October 2005.
 23. Betis G. et.al. "Smart Cities", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 106. No. 4, April 2018.
 24. Qiang Yang et.al., *Smart Power Distribution Systems: Control, Communication, and Optimization*, Book Chapters, Academic Press, 2019.
 25. Armaroli N. et.al., *Energy for Sustainable World: From The oil Ages to a Sun Powered Future*, Wiley-VCH, 2011.
 26. UN Economic and Social Council, *The role of science, technology and innovation in increasing substantially the share of renewable energy by 2030*, Commission on Science and Technology for Development Twenty-first session, Geneva, 14–18 May 2018. Item 3 (a) of the provisional agenda. E/CN.16/2018/2.
 27. Soebagio A., "Manfaat Perkembangan TIK Bagi Pendidikan Tinggi: Tinjauan tentang Arah Pendidikan Teknik Elektro di Indonesia", *Prosiding Seminar Nasional 2018, Renewable and Smart Energy Systems*, UKI Press, 2018, 17-27.
 28. Soebagio A., "Tanggapan atas Rencana Penyusunan Peta jalan bagi Riset dan Pengembangan Teknologi Nuklir di Indonesia", *Book Chapter dengan judul: Tinggalkan Wacana PLTN Fisi, Kita Sambut Energi Terbarukan*, UKI Press, 2018.
 29. Yang Q, T. Yang, W. Li (editors), *Smart Power Distribution Systems: Control, Communication, and Optimization*, Elsevier – Academic Press, 2019