

**INTEGRASI *VARIABLE RENEWABLE ENERGY* DALAM
PERENCANAAN DAN OPERASI SISTEM TENAGA LISTRIK
MENUJU TRANSISI ENERGI BERKELANJUTAN**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam bidang Perencanaan dan Operasi Sistem Tenaga
pada Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
Pada tanggal 1 Februari 2024**

**oleh:
Prof. Ir. Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D. IPU.**

Bismillahirrahmanirrohim,

Yang terhormat

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas Gadjah Mada,

Rektor dan para Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada,

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar, UGM,

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik, UGM,

Ketua dan Sekretaris serta anggota Senat Fakultas Teknik, UGM

Dekan dan para Wakil Dekan Fakultas Teknik, UGM,

Rekan-rekan dosen dan seluruh civitas akademika UGM

Seluruh tamu undangan, alumni, mitra kerja, mahasiswa yang berbahagia serta keluarga yang saya cintai.

Assalamu'alaikum warohmatulloohi wabarokatuh

Selamat pagi, salam sejahtera untuk kita semua.

Alhamdulillah puji syukur ke hadirat Allah subhanahu wa ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan taufik dan nikmat yang telah dikaruniakan kepada kita sehingga kita dapat hadir secara daring maupun luring dalam acara pidato pengukuhan jabatan guru besar di Rapat Terbuka Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada. Selanjutnya, saya mengucapkan terima kasih kepada Rektor dan Ketua Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada, yang telah memberikan kesempatan untuk menyampaikan pidato pengukuhan sebagai bentuk tanggung jawab ilmiah atas amanah jabatan guru besar dalam bidang ilmu Perencanaan dan Operasi Sistem Tenaga. Dalam kesempatan ini, izinkan saya menyampaikan pidato pengukuhan yang berjudul:

Integrasi *Variable Renewable Energy* dalam Perencanaan dan Operasi Sistem Tenaga Listrik menuju Transisi Energi Berkelanjutan.

Latar Belakang

Bapak Ibu hadirin yang saya muliakan,

Sistem energi dunia telah mengalami dua kali transisi besar dan kini sedang melalui transisi ketiga (Zhou, Lv and Wen, 2023). Transisi pertama disimbolkan dengan pemanfaatan mesin uap secara luas, terjadi pada pertengahan abad ke-19 yang didorong oleh revolusi industri pertama (Allen, 2012). Ketika itu bahan bakar dominan beralih dari kayu ke batu bara, pola pemanfaatan energi dalam masyarakat dan infrastruktur yang mendasarinya mengalami transisi yang revolusioner. Transisi kedua terjadi pada awal abad ke-20, ketika minyak dan gas menjadi bahan bakar yang lebih dominan dibandingkan batu bara. Revolusi industri kedua menjadi simbol dengan penggunaan mesin pembakaran internal secara massal (Chu and Majumdar, 2012).

Sejak akhir abad ke-20, isu pemanasan global dan perubahan iklim mendapat perhatian yang semakin besar. Berdasarkan International Energy Agency (International Energy Agency (IEA), 2022), bahan bakar fosil telah menyumbang lebih dari 80% emisi karbon global. Untuk itu, para ahli dan pembuat kebijakan mulai mencari sumber energi alternatif energi terbarukan dan teknologi rendah karbon (Galán-Martín *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2022). Transisi ketiga sistem energi global dimulai dengan penggantian bahan bakar fosil dengan energi terbarukan dan peningkatan teknologi yang “kotor” menjadi teknologi “bersih” yang lebih ramah lingkungan. Transisi ke energi terbarukan ini diharapkan dapat membawa manfaat sosio-ekonomi global yang signifikan pada tahun 2050, seperti peningkatan pertumbuhan ekonomi (2,5%), penciptaan lapangan kerja (0,2%) dan kesejahteraan manusia (13,5%) (IRENA, 2020).

Ada berbagai konsensus global yang menyepakati bahwa sistem energi harus bertransisi menuju masa depan yang rendah karbon dan lebih bersih dan Indonesia berkomitmen tergabung dalam konsensus tersebut. Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang terbit pada tahun 2014 memberikan target bauran energi terbarukan nasional sebesar 23% di tahun 2025 dan 31% di tahun 2050. Pada tahun 2016, *Nationally Determined Contribution (NDC)* (Government of Indonesia, 2016) juga terbit sebagai respon dari Konferensi *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) ke-21 tahun 2015.

Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 29% dengan skenario *Business as Usual (BaU)* pada tahun 2030 dan 41% dengan bantuan internasional. Komitmen ini diperkuat melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change* (Masripatin *et al.*, 2017).

Pada tahun 2017, pemerintah menerbitkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang merupakan amanat Undang-Undang (UU) Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi. Pada peraturan ini, pembangkit listrik mendapat porsi terbesar untuk mencapai target bauran energi terbarukan. Untuk mendukung kebijakan tersebut, Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) disusun pada tahun 2019 yang kemudian dijadikan acuan untuk penyusunan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030. Dua dokumen tersebut telah mempertimbangkan energi yang lebih bersih dalam penyusunannya. Misalnya dalam RUKN 2019-2038, PLTU menggunakan *clean coal technology (CCT)* dan penggunaan BBM hanya untuk menyediakan pasokan listrik yang bersifat mendesak. Sementara pada RUPTL, berbagai strategi dilakukan untuk meningkatkan bauran energi terbarukan di sektor pembangkit listrik.

Empat tahun kemudian, pemerintah menerbitkan *Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience (LTS-LCCR)* dengan meningkatkan ambisi pengurangan emisi gas rumah kaca. Komitmen ini diperkuat pada September 2022 dengan terbitnya tiga dokumen, yaitu (1) Perpres 112/2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik, (2) *Enhanced NDC* sebagai pembaruan dari NDC dengan meningkatkan target pengurangan emisi dari 29% menjadi 31,89% (BaU) dan dari 41% menjadi 43,2% (dengan bantuan internasional), serta (3) *An Energy Sector Roadmap to Net Zero Emissions in Indonesia* yang dipublikasikan oleh Kementerian ESDM dan IEA. Dengan target tersebut, sektor ketenagalistrikan menjadi tulang punggung dalam penurunan emisi karena sektor ketenagalistrikan memproduksi 34% dari total emisi CO₂ (United Nations Climate Change (UNCC), 2019; Ritchie and Roser, 2020). Oleh karena itu, sektor ketenagalistrikan di

Indonesia memegang peranan penting dalam upaya pengurangan emisi CO₂ untuk mendukung proses transisi energi. Dalam upaya pengurangan emisi tersebut, perencanaan sistem tenaga listrik pada masa transisi energi menuju *nett-zero emission* dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan memegang peranan kunci (International Energy Agency, 2019).

Perencanaan penyediaan energi listrik yang berkelanjutan dalam rangka transisi menuju energi bersih dengan memanfaatkan energi terbarukan perlu dianalisis dengan pendekatan lima dimensi, yaitu dimensi lingkungan hidup, ekonomi, sosial, teknis, dan kelembagaan/politik. Transisi energi memerlukan pendekatan serta teknologi baru untuk memanfaatkan secara maksimal sumber-sumber energi terbarukan yang melimpah, khususnya potensi energi terbarukan *intermittent* atau *variable renewable energy (VRE)*. Bauran yang optimal antara energi terbarukan dengan energi fosil tak terbarukan yang jumlahnya terbatas, dilakukan dengan melakukan optimasi perencanaan sistem yang bertujuan untuk meminimalkan biaya dan dampak lingkungan namun tetap menjaga batasan teknis operasi seperti kualitas, stabilitas, dan fleksibilitas sistem pasokan listrik (Kabeyi MJB and Olanrewaju OA, 2022). Pemenuhan atas batasan-batasan teknis operasi sistem yang sekaligus dipenuhi pada saat perencanaan sistem jangka panjang tersebut, merupakan karakteristik dari perencanaan sistem tenaga dengan bauran VRE yang tinggi.

Penelitian dalam bidang perencanaan sistem tenaga listrik dalam rangka mencari strategi menuju dekarbonisasi yang optimal di Indonesia menjadi topik yang menarik dibahas mengingat berbagai kekhasan sistem ketenagalistrikan di Indonesia. Kekhasan ini salah satunya terkait karakteristik Indonesia sebagai negara kepulauan dengan persebaran penduduk, persebaran kebutuhan energi listrik dan ketersediaan potensi energi yang tidak merata antar pulau. Karakteristik lainnya adalah sebagai negara iklim tropis dengan ketersediaan berbagai potensi sumber energi terbarukan baik yang *intermittent/VRE* maupun *non-VRE*. Potensi energi terbarukan jenis *VRE*, baik itu energi surya, angin maupun energi laut, memiliki karakteristik intermitensi yang khas dan berbeda dengan negara lain yang non-tropis. Perubahan iklim yang berpotensi berpengaruh terhadap ketersediaan sumber

energi terbarukan dalam jangka panjang juga menjadi isu penting dalam perencanaan sistem tenaga listrik menuju transisi energi bersih. Di samping itu, ada berbagai karakteristik lain baik yang bersifat kondisi teknis, sosial, ekonomi, maupun regulasi dan kebijakan saat ini yang menjadikan penyusunan skenario perencanaan penyediaan energi listrik dapat didekati dari berbagai sudut pandang dan asumsi. Berbagai karakteristik yang disebutkan di atas menjadi tantangan yang harus diatasi pada saat tahapan perencanaan sistem untuk memastikan semua indikator penyediaan energi listrik yang aman, handal, berkualitas dan ekonomis dapat dicapai pada saat tahapan operasi sistem tenaga.

Bapak Ibu hadirin yang saya muliakan,

Salah satu faktor penting dalam perencanaan sistem kelistrikan kepulauan Indonesia pada era transisi menuju energi bersih adalah ketersediaan potensi sumber energi terbarukan pada masing-masing sistem atau pulau. Pusat Studi Energi UGM telah melakukan kajian pemetaan potensi energi terbarukan dan pengembangan pembangkit di setiap pulau dengan detail berbasis *Geographic Information System* (GIS), (PSE UGM, 2023). Perhitungan potensi energi terbarukan yang telah dilakukan meliputi energi surya, energi angin, energi panas bumi, energi kelautan, energi air, bioenergi yang meliputi biomassa dan biogas. Perhitungan energi surya dilakukan dengan mengidentifikasi lokasi-lokasi yang memiliki *Global Horizontal Irradiation* (GHI) menunjukkan bahwa total potensi energi surya di Indonesia adalah sebesar 122,43 GW. Sementara itu, perhitungan potensi energi angin yang dilakukan dengan mengidentifikasi lokasi-lokasi yang memiliki kecepatan angin di atas 5 m/s, menghasilkan total potensi 3,850.79 GW. Perhitungan energi panas bumi dilakukan dengan mengumpulkan data sumber daya panas bumi berdasarkan pemetaan yang dilakukan oleh Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral 2017. Berdasarkan data tersebut, Provinsi Jawa Barat memiliki potensi yang besar sebesar 1859 MWe yang terdiri dari potensi spekulatif sebesar 1125 MWe dan potensi hipotesis sebesar 734 MWe.

Perhitungan potensi energi laut dilakukan untuk tiga jenis energi yaitu gelombang, arus dan *ocean thermal energy conversion* (OTEC). Berdasarkan ketiga jenis energi tersebut, Provinsi Nusa Tenggara Barat

memiliki potensi terbesar sekitar 8.707 MW; disusul dengan provinsi Jawa Barat memiliki potensi sekitar 2.998 MW.

Untuk perhitungan potensi energi hidro, pada tahun 1983 kajian yang dilakukan oleh *Hydro Power Potential Study* (HPPS) menyebutkan bahwa Indonesia memiliki potensi energi air hingga 75 GW. Sementara pada laporan *Master Plan Study for Hydro Power Development in Indonesia* oleh Nippon Koei pada tahun 2011, potensi tenaga air di Indonesia telah direvisi menjadi 26,3 GW. Terbaru, pada tahun 2023, Ditjen Ketenagalistrikan Kementerian ESDM melalui Draft RUKN 2023-2060 menyatakan bahwa potensi hidro di Indonesia mencapai 95 GW dengan pemanfaatan saat ini sebesar 6,67 GW (Ditjen Gatrik, 2023).

Jika dilihat dari hasil pemetaan potensi energi terbarukan yang telah dijelaskan di atas, terlihat bahwa potensi energi terbarukan tersebar secara tidak merata. Berdasarkan Rancangan RUKN tahun 2023, potensi energi baru terbarukan (EBT) Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Jawa-Bali dan Maluku Papua Nusa Tenggara (Mapana) berturut turut adalah 1,2 TW, 554 GW, 716 GW, 249 GW dan 918 GW. Dari potensi tersebut, pemanfaatan hingga tahun 2060 direncanakan sebesar 17% dari total potensi EBT di Indonesia. Pemanfaatan sumber daya ini disesuaikan dengan kebutuhan listrik di masing-masing sistem. Kebutuhan listrik sistem Jawa-Bali saat ini mencapai 71,02% dari kebutuhan nasional, sementara Sumatera 16,98%, Kalimantan 4,57%, Sulawesi 4,97% dan Mapana 2,46% (Statistik PLN, 2022). Berdasarkan data ini terlihat bahwa potensi EBT tersebar di berbagai lokasi, yang berarti pada lokasi dengan kebutuhan listrik tinggi belum tentu potensi EBT juga tinggi. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagaimana perencanaan sistem tenaga listrik yang mempertimbangkan kemungkinan interkoneksi antar sistem dan antar pulau sehingga setiap potensi EBT dapat dimanfaatkan secara optimal dengan tetap mempertimbangkan aspek keandalan, keamanan operasi, kualitas serta keekonomian.

Bapak Ibu hadirin yang saya muliakan,

Potensi EBT yang telah dijelaskan sebelumnya, selama ini dihitung tanpa memperhitungkan adanya dampak dari perubahan iklim.

Telah dilakukan penelitian terkait dampak perubahan iklim dan tata guna lahan terhadap potensi *hydro power* di delapan lokasi calon PLTA di Sulawesi berdasarkan RUPTL 2021-2030. Penelitian ini memberikan hasil bahwa empat dari delapan lokasi diprediksi tidak akan mampu menghasilkan daya sesuai dengan daya yang direncanakan (Novitasari *et al.*, 2023). Variabel perubahan iklim yang digunakan dalam penelitian ini adalah perubahan temperatur lingkungan dan jumlah hari hujan dalam 40 tahun terakhir, yaitu tahun 1981-2020.

Tantangan lain yang berkembang terkait pemanfaatan energi terbarukan adalah adanya persaingan dengan dengan sektor lain. Pada tahun 2011, diadakan *International Conference* dengan topik *The Water, Energy, and Food Security Nexus Green Economy* (Endo *et al.*, 2015). *United Nation Food and Agriculture Organization* (FAO) menjelaskan *water-energy-food nexus* (WEF nexus) adalah konsep untuk menggambarkan dan mengatasi karakteristik global yang kompleks dan saling terkait antar sumber daya, dimana manusia bergantung pada ketiga variabel tersebut untuk mencapai tujuan sosial, ekonomi, dan lingkungan (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014). Lebih jauh, para peneliti juga mulai memasukkan faktor perubahan iklim (*climate*) dan lahan (*land*) yang berpengaruh terhadap ketiga faktor WEF. Mengintegrasikan lima aspek ini untuk mendukung ketahanan energi nasional menjadi tantangan besar bagi Indonesia, sehingga perlu pendekatan berbeda untuk menganalisis keterkaitannya. Pendekatan sistem dinamik dilakukan untuk melihat keterkaitan antarvariabel iklim, energi, air dan pangan pada tahun 2020 dengan mengintegrasikan hubungan antarvariabel, diantaranya kebutuhan listrik, emisi karbon dioksida, kebutuhan penambahan suplai listrik dan ketersediaan air (Novitasari, Sarjiya and Budiarto, 2020).

Strategi peningkatan bauran energi terbarukan pada sistem ketenagalistrikan Indonesia

Bapak Ibu hadirin yang saya muliakan

Sampai dengan paruh pertama tahun 2023, capaian bauran energi terbarukan Indonesia baru mencapai 12,5% dengan target tahun 2025 mencapai 23%. Capaian dan besarnya gap menuju target bauran tahun

2025 ini menunjukkan besarnya tantangan yang dihadapi dalam transisi energi. Masing-masing sistem ketenagalistrikan di Indonesia memiliki tantangan yang berbeda untuk mencapai bauran energi terbarukan. Sebagai contoh Sistem Jawa-Bali, yang merupakan sistem ketenagalistrikan terbesar di Indonesia, memiliki sumber energi terbarukan yang terbatas sehingga memerlukan upaya khusus untuk meningkatkan bauran EBT-nya. Penelitian tentang berbagai skenario untuk mencapai target bauran EBT di Sistem Jawa-Bali telah dilakukan. Skenario pertama dengan hanya menggunakan sumber EBT yang terdapat di daerah Jawa-Bali, menyebabkan peningkatan LCOE sebesar 2,3% menjadi 8,95 cents USD/kWh. Pada skenario tersebut juga menunjukkan bahwa energi nuklir berperan penting terhadap pencapaian target EBT di Jawa-Bali (Sarjiya, Budi and Putranto, 2020). Skenario kedua adalah dengan mempertimbangkan adanya opsi interkoneksi *High Voltage Direct Current* (HVDC) ke Pulau Sumba, sebagai pulau dengan intensitas energi matahari tertinggi di Indonesia. Penggunaan opsi interkoneksi tersebut akan meningkatkan LCOE menjadi 9,22 cents USD/kWh (Sarjiya *et al.*, 2022). Kedua skenario tersebut menunjukkan bahwa peningkatan bauran energi baru dan terbarukan akan meningkatkan LCOE sehingga diperlukan upaya khusus untuk mendorongnya. Salah satunya adalah penerapan *carbon tax* dan *carbon limit* (Sarjiya, Putranto, Budi, *et al.*, 2023).

Pentingnya interkoneksi antar sistem dalam rangka mendorong peningkatan bauran energi terbarukan juga terlihat pada beberapa sistem yang lain. Sebagai contoh, sistem kelistrikan Sulawesi menghadapi tantangan berupa sistem yang masih terpisah antara Sulawesi bagian utara dan selatan dengan sumber EBT yang tersebar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menginterkoneksi kedua sistem kelistrikan di pulau Sulawesi tersebut merupakan strategi optimal untuk mencapai target bauran EBT (Sarjiya, Putranto, Tumiran, *et al.*, 2023).

Perencanaan sistem kelistrikan untuk skala kecil pada berbagai wilayah kepulauan di Indonesia seperti kepulauan Maluku, Papua, dan Nusa Tenggara memiliki tantangan tersendiri. Sebagai salah satu contoh, sistem kelistrikan Maluku dengan ratio elektrifikasi yang masih rendah sebesar 79,62% perlu ditingkatkan untuk memacu pertumbuhan

ekonomi. Terdapat beberapa tantangan yang menghambat rencana pengembangan pembangkitan di Maluku, misalnya distribusi penduduk yang tidak merata dan sumber energi terbarukan yang tersebar tidak merata. Dengan mempertimbangkan tantangan tersebut, berdasarkan kajian yang dilakukan oleh LKFT-UGM bekerja sama dengan PT PLN Kantor Pusat, tiga sumber EBT yang memegang peranan penting di Maluku adalah biomasa, surya, dan angin. Dan untuk mengurangi intermitensi dari surya dan angin, dapat menggunakan pembangkit listrik hybrid (Tumiran *et al.*, 2019).

Pentingnya interkoneksi antar pulau untuk mendorong peningkatan bauran energi terbarukan juga sudah terlihat dalam perencanaan energi nasional. Skenario perencanaan penyediaan energi listrik nasional jangka panjang dalam rangka menuju target pemerintah NZE 2060, seperti yang tertuang dalam dokumen rancangan RUKN 2023-2060, telah mempertimbangkan opsi interkoneksi antar pulau. Dalam dokumen tersebut, berbagai skenario interkoneksi antar pulau yang menghubungkan pulau-pulau besar dan kecil, mulai dari Sumatera-Jawa-Kalimantan-Sulawesi dan bahkan pengembangan skenario interkoneksi mencapai beberapa sistem di kepulauan Nusa Tenggara.

Sebagai salah satu upaya untuk mendukung pengembangan teknologi interkoneksi, kami team peneliti dari Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi UGM bekerjasama dengan peneliti dari PT PLN serta Aalborg University Denmark sedang melakukan penelitian dengan judul " HVDC GREEN: HVDC GRid for intErconnEcting Nusantara" dengan pendanaan dari DANIDA Denmark. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan strategi dan skema kontrol pada teknologi multi-terminal HVDC, sebagai salah satu opsi teknologi interkoneksi antar pulau.

Tantangan intermitensi dalam perencanaan dan operasi sistem tenaga listrik

Bapak Ibu hadirin yang saya muliakan,

Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) pembangkit energi terbarukan ditargetkan berkontribusi sebesar 23% sebagai sumber pemasok energi dalam proses pembangkitan listrik

pada tahun 2025 (RUEN, 2017) dan dalam target terbaru bauran energi terbarukan diharapkan mencapai paling sedikit 34% dari total pembangkitan listrik pada tahun 2030 (Sekretariat JETP Indonesia, 2023). Dalam dokumen perencanaan tersebut, energi surya dan energi angin yang merupakan jenis pembangkit *VRE*, memiliki porsi besar dalam pemenuhan target bauran energi sektor kelistrikan nasional.

Masuknya pembangkit listrik *VRE* dengan karakteristik *intermittent* dalam jumlah besar pada sistem jaringan listrik (*grid*) akan memberikan tantangan dalam operasi sistem tenaga listrik untuk mempertahankan keseimbangan daya dan pembangkitan. Salah satu dampak dari masuknya *VRE* dapat menyebabkan perubahan kapasitas ramping dan variabilitas beban (Meen *et al.*, 2017). Hasil kajian penetrasi *VRE* pada sistem Jawa-Bali dengan batasan berupa ramping dan variabilitas beban yang tidak melebihi potensi ramping pembangkit sistem dan tidak melanggar batasan *technical minimum load* (TML) pembangkit telah dilaporkan pada paper Pramono dan Isnandar (Pramono and Isnandar, 2017). Karakteristik intermitensi dari pembangkit *VRE* tersebut dapat dikendalikan melalui penyediaan fleksibilitas sistem. Fleksibilitas sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik dalam mengatur pembangkitan dan pembebanan listrik dengan mempertimbangkan berbagai variabilitas dan ketidakpastian (Atribowo, Sarjiya *et al.*, 2022).

Sistem penyimpanan energi baterai sebagai sumber fleksibilitas

Bapak Ibu hadirin yang saya muliakan,

Salah satu teknologi fleksibilitas sebagai daya dukung integrasi pembangkit *VRE* ke sistem *grid* adalah sistem penyimpanan energi atau *energy storage system* (ESS) (Babatunde *et al.*, 2020). Prinsip kerja ESS adalah mengubah energi listrik dari jaringan sistem (*grid*) yang dapat disimpan dan dialirkan kembali ketika dibutuhkan (Das *et al.*, 2018). Teknologi ESS dapat dintegrasikan dalam sistem tenaga listrik skala *grid* untuk menjaga performa sistem dalam menghadapi masuknya penetrasi pembangkit *VRE* yang tinggi. *Battery energy storage system* (*BESS*) merupakan salah satu jenis penyimpanan energi yang banyak digunakan untuk menunjang masuknya pembangkit *VRE*

skala besar (Sheibani *et al.*, 2018). Pemasangan BESS pada suatu sistem untuk mendukung masuknya pembangkit *intermittent* perlu dianalisis secara cermat sehingga diperoleh kapasitas dan lokasi baterai yang optimal (Apribowo, Sarjiya *et al.*, 2022). Beberapa poin penting yang menjadi isu perencanaan optimalisasi kapasitas BESS pada skala *grid* diantaranya: (1) model optimisasi dan algoritmanya; (2) aplikasi BESS; (3) teknologi BESS yang digunakan; (4) fungsi obyektif optimisasi; dan (5) pemodelan degradasi baterai (Apribowo, Sarjiya *et al.*, 2022).

Hasil penelitian optimalisasi BESS untuk mendukung masuknya pembangkit VRE telah berhasil melakukan optimalisasi kapasitas dan lokasi BESS yang terintegrasi dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan menggunakan pendekatan model deterministik (Apribowo, Sarjiya *et al.*, 2022). Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kapasitas dan lokasi BESS dalam meningkatkan fleksibilitas sistem dengan mempertimbangkan penggunaan teknologi baterai *second life battery* (SLB) atau *retired battery* yang diimplementasikan pada sistem IEEE 24-bus. Baterai SLB merupakan baterai bekas penggunaan dari baterai kendaraan listrik (*electric vehicle*) yang masih dapat digunakan kembali. Spesifikasi baterai SLB yang disimulasikan masih memiliki tingkat kesehatan baterai (SoH) kurang lebih 60% dan masa pakai kurang lebih 6 tahun (Horesh *et al.*, 2021; Steckel, Kendall and Ambrose, 2021).

Perencanaan sistem tenaga mempertimbangkan degradasi baterai *Bapak Ibu hadirin yang saya muliakan,*

Menurut Severson (Severson *et al.*, 2019) degradasi baterai berkaitan dengan masa pakai baterai. Jika masa pakai baterai dapat diprediksi maka dapat membuka peluang baru dalam produksi, penggunaan, dan pengoptimalan baterai. Selain itu, BESS memainkan peranan penting untuk meningkatkan efisiensi energi dan dapat menjaga sistem operasi yang stabil di jaringan sistem tenaga listrik (Zheng, Hill and Dong, 2017). Jika biaya degradasi baterai akibat siklus pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) tidak dipertimbangkan pada saat merumuskan masalah untuk manajemen energi secara *real-time*, maka biaya operasional pengelolaan energi

akan meningkat karena dampak dari masa pakai baterai. Dengan demikian biaya listrik yang sebenarnya tidak tercerminkan (Xu *et al.*, 2018). Bahkan menurut Cardoso *et al.* (Cardoso *et al.*, 2018) berdasarkan hasil penelitiannya, total penghematan biaya listrik tahunan dari PV dan BESS dapat dikurangi sebesar 5-12% hanya berdasarkan pada pertimbangan batasan kekangan degradasi baterai. Secara umum efek degradasi baterai disebabkan oleh dua faktor. Pertama, hilangnya ion lithium karena pembentukan *solid electrolyte interface* (SEI). Kedua, efek degradasi baterai disebabkan hilangnya partikel elektroda (Wang *et al.*, 2011). Hilangnya partikel elektroda menyebabkan perubahan resistensi internal meningkat, mengurangi kapasitas dan efisiensi, serta akhirnya memperpendek masa pakai baterai (Ahmadi *et al.*, 2014; Smith *et al.*, 2017)

Model degradasi baterai berfungsi sebagai kekangan dalam perencanaan sistem tenaga listrik berpengaruh terhadap keseimbangan daya antara pembangkit dan beban. Secara simultan penetrasi pembangkit VRE skala besar dan kenaikan beban tahunan, akan mempengaruhi siklus hidup (*cycle life*) BESS. Dengan mempertimbangkan siklus hidup BESS, hasil optimasi perencanaan sistem tenaga listrik akan merekomendasikan pergantian BESS setelah beroperasi pada tahun tertentu (Apribowo *et al.*, 2024). Berdasarkan model optimasi perencanaan sistem tenaga listrik dengan BESS, faktor-faktor degradasi baterai yang dipertimbangkan meliputi *state of charge* (SOC), *depth of discharge* (DOD), dan siklus hidup. Selain itu, degradasi baterai juga berdampak pada total biaya perencanaan kapasitas BESS pada sistem tenaga listrik yang optimal. Investigasi model degradasi baterai diharapkan dapat meningkatkan fleksibilitas sistem tenaga listrik, meningkatkan *load factors* sistem, dan mengurangi biaya perencanaan sistem tenaga listrik.

Integrasi energi VRE pada sistem distribusi

Bapak Ibu hadirin yang saya muliakan,

Untuk mendorong bauran energi terbarukan, selain diintegrasikan ke level transmisi untuk pembangkit berkapasitas besar, integrasi energi terbarukan juga dapat dilakukan melalui sistem distribusi dalam bentuk *distributed generation* (DG). Strategi peningkatan bauran energi

melalui integrasi DG pada sistem distribusi banyak dilakukan diberbagai negara dengan beberapa latar belakang, salah satunya adalah potensi EBT yang tidak tersedia pada kapasitas yang besar. Selain itu, manfaat dari integrasi DG pada sistem distribusi diantaranya dapat meningkatkan efisiensi melalui pengurangan susut jaringan transmisi dan distribusi, peningkatan keandalan sistem, perbaikan stabilitas dan keamanan operasi sistem, dan lain-lain.

Selain dampak positif terkait transisi energi, penetrasi EBT juga dapat berpotensi menimbulkan dampak negatif pada jaringan tegangan rendah. Dalam hal ini, pertumbuhan pesat dari pembangkit listrik terdistribusi berbasis EBT seperti PLTS, pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), dan lain-lain memerlukan perubahan cara pengelolaan sistem distribusi. Penetrasi pembangkit listrik berbasis EBT yang semakin meningkat dapat menyebabkan pelanggaran tegangan pada jaringan tegangan rendah, serta berpotensi menyebabkan aliran daya listrik terbalik, yaitu aliran menuju ke sisi tegangan tinggi. Penyebab peningkatan penetrasi EBT, misalkan untuk PLTS atap, didorong oleh harga PLTS yang semakin murah, visi mengurangi emisi CO₂, perkembangan teknologi manufaktur PLTS, dan dukungan regulasi pemerintah. Kondisi ini dapat membatasi jumlah EBT yang dapat dipenetrasikan ke jaringan distribusi, sehingga memerlukan penelitian mengenai investigasi dampaknya ke jaringan listrik dan strategi mitigasinya.

Karena investigasi dampak dilakukan jauh sebelum dampak negatifnya muncul, metode yang umum dikerjakan adalah prediksi kapasitas hosting, yaitu kapasitas maksimum dari jaringan distribusi untuk menerima penetrasi EBT sebelum munculnya dampak negatif pertama. Suatu studi prediksi kapasitas hosting di salah satu penyulang di Yogyakarta menunjukkan bahwa aliran daya balik membatasi jumlah PLTS atap yang dapat dipenetrasikan (Atmaja, Sarjiya, Putranto, and Santoso, 2019a). Selain itu, terdapat temuan penelitian bahwa semakin tinggi penetrasi PLTS atap, maka faktor daya yang teramati di sisi gardu induk akan menurun. Hal ini diakibatkan karena umumnya, PLTS atap yang dipenetrasikan hanya mengirimkan daya aktif ke jaringan distribusi. Jika PLTS atap yang dipenetrasikan mempunyai kendali daya reaktif melalui *smart inverter* dari sistem PLTS-nya, maka hal

tersebut dapat mengurangi dampak penurunan nilai faktor daya di gardu induknya (Atmaja, Sarjiya, Putranto, and Pramono, 2019b). Lebih jauh lagi, kendali tersebut dapat mengurangi dampak kenaikan tegangan pada sistem distribusi yang tegangannya sensitif terhadap kenaikan penetrasi PLTS atap, seperti sistem distribusi IEEE 123-bus.

Karena penetrasi PLTS atap mempunyai ketidakpastian lokasi penetrasi dan ukuran daya PLTS, ditambah dengan variabilitas iradiasi matahari dan permintaan beban, suatu proses acak stokastik yang tepat sangatlah penting dalam menghasilkan hasil prediksi kapasitas hosting yang mendekati akurasi kondisi aktual (Atmaja, Sarjiya, and Putranto, 2020).

Melalui penerapan strategi-strategi mitigasi dan pengurangan dampak negatif tersebut, resiko penetrasi EBT yang pesat ke jaringan distribusi tenaga listrik dapat dikendalikan. Selanjutnya, peningkatan akurasi dari metode-metode pemodelan penetrasi sebelumnya, yaitu Monte Carlo, perlu ditingkatkan. Salah satunya adalah dengan mengembangkan metode penentuan kapasitas hosting menggunakan basis model Markov chain (Atmaja, Sarjiya, and Putranto, 2023). Model Markov chain yang memiliki matriks probabilitas transisi terbukti dapat meningkatkan akurasi metode penentuan kapasitas hosting dibandingkan model Monte Carlo yang melakukan proses acak secara bebas tanpa membentuk pola penetrasi EBT dari data historis penetrasi. Peningkatan akurasi ini memberikan kontribusi dengan melakukan pengendalian resiko dampak negatif penetrasi EBT berbasis model kapasitas hosting. Hal ini dapat memberikan pedoman kepada perencana dan operator sistem distribusi dalam menghadapi peningkatan penetrasi EBT yang pesat, serta mendukung visi transisi energi yang berkelanjutan.

Tantangan dan peluang ke depan

Bapak Ibu hadirin yang saya muliakan,

Dalam era transisi energi Indonesia menuju sumber energi yang lebih ramah lingkungan, penelitian tentang perencanaan dan operasi sistem tenaga listrik dengan target penetrasi VRE yang tinggi dengan memperhatikan karakteristik setempat, menghadapi banyak tantangan yang membutuhkan penelitian lebih lanjut.

- Pada sisi sumber energi, ketidakpastian sumber daya VRE yang dipengaruhi oleh perubahan iklim menjadi tantangan tersendiri dalam pemodelan untuk memproyeksi suplai VRE di masa mendatang. Metode-metode baru perlu dikembangkan dalam melakukan pemodelan perencanaan pengembangan pembangkit untuk memitigasi ketidakpastian sumber daya VRE. Pengembangan lain yang bisa dilakukan terkait dengan akurasi data pada sumber VRE. Dengan perubahan iklim yang semakin tidak bisa diprediksi, akurasi data menjadi tantangan yang dihadapi oleh sebagian besar peneliti. Dua sektor tersebut setidaknya dapat dikembangkan untuk menjadi peluang penelitian di masa mendatang.
- Integrasi VRE pada level penetrasi yang semakin besar membutuhkan tingkat fleksibilitas sistem yang tinggi. Perencanaan penyediaan fleksibilitas sistem yang optimal dapat dilakukan melalui pemilihan berbagai alternatif sumber fleksibilitas seperti pemanfaatan infrastruktur jaringan (perbaikan infrastruktur jaringan, interkoneksi antar sistem tenaga, teknologi FACTS Devices), penggunaan teknologi untuk meningkatkan fleksibilitas unit pembangkit (AGC, inersia, *droop*, retrofit, repurpose, penambahan *flexible generating unit*), penggunaan teknologi penyimpanan energi (BESS, hidrogen, *pumped-hydro storage*), dan implementasi *demand side response*. Dalam perencanaan sistem, pemilihan masing-masing sumber fleksibilitas tersebut harus disesuaikan dengan level integrasi VRE pada suatu sistem.
- Penelitian khususnya terkait dengan optimalisasi BESS, menjadi sangat krusial. Integrasi pembangkit listrik VRE dalam jumlah besar pada sistem jaringan listrik akan memberikan tantangan *utility* dalam melakukan perencanaan sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan banyak aspek. Penelitian selanjutnya terkait optimasi BESS dapat dikembangkan pada perspektif jangka panjang (*long-term*) dengan mempertimbangkan ketidakpastian dari VRE dan pembebanannya, sehingga dapat mempengaruhi nilai degradasi baterai.

Penutup

Bapak/Ibu yang saya muliakan,

Sebagai bagian akhir dari pidato ini, dapat disampaikan bahwa dalam rangka menuju transisi energi yang berkelanjutan di Indonesia, diperlukan pemanfaatan secara optimal seluruh potensi energi baik terbarukan maupun non-terbarukan. Dengan karakteristik intermitensinya, integrasi potensi *variable renewable energy* ke dalam grid untuk memenuhi kebutuhan energi nasional menghadapi banyak tantangan. Menghadapi tantangan tersebut, diperlukan inovasi dalam perencanaan dan operasi sistem tenaga untuk memastikan layanan energi listrik yang handal, aman, berkualitas dapat diberikan kepada konsumen dengan biaya penyediaan yang ekonomis. Inovasi dalam perencanaan sistem tenaga listrik terkait penyediaan fleksibilitas sistem menjadi salah satu kunci utama dalam keberhasilan integrasi VRE. Berbagai alternatif teknologi penyedia fleksibilitas tersedia untuk berbagai level kebutuhan sistem. Penelitian dalam bidang perencanaan dan operasi sistem tenaga untuk mendukung integrasi *variable renewable energy* dalam sistem ketenagalistrikan yang sesuai dengan karakteristik potensi energi serta karakteristik sistemnya perlu terus dikembangkan untuk mendukung transisi energi yang berkelanjutan.

Bapak/Ibu yang saya muliakan,

Sebelum menutup pidato pengukuhan ini, izinkan saya untuk mengungkapkan rasa syukur ke hadirat Allah subhanahu wa ta'ala, karena capaian guru besar yang saya raih ini pada dasarnya hanya atas kehendak dan ketentuan-Nya.

Selanjutnya, saya mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, yang telah memberikan kepercayaan jabatan guru besar dalam bidang ilmu perencanaan dan operasi sistem tenaga di Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Rektor, Senat Akademik, Dewan Guru Besar, Dekan dan Senat Fakultas Teknik, Komisi V Senat Fakultas Teknik, serta Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada, yang telah

memproses dan memberikan persetujuan usulan pengangkatan saya dalam jabatan guru besar.

Ucapan terima kasih dan penghargaan juga saya sampaikan kepada semua Bapak/Ibu guru saya di SD Negeri Pengkol Gulurejo Lendah Kab Kulon Progo, SMPN Brosot Galur Kab Kulon Progo, dan SMAN 1 Yogyakarta yang telah mendidik, memberikan bekal ilmu dan adab sebagai bekal untuk studi pada jenjang perguruan tinggi.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada kepada semua Bapak/Ibu dosen senior guru-guru saya di Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi atas dasar-dasar ilmu dan sikap mental yang ditanamkan kepada saya sehingga saya memiliki bekal untuk terus mengembangkan diri dalam bidang teknik elektro. Ucapan terima kasih secara khusus saya sampaikan untuk para pembimbing saya. Kepada Prof. Sasongko Pramono Hadi, saya sampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya karena telah membimbing saya sejak mengerjakan skripsi dan thesis, atas keteladanan dan bimbingan yang diberikan sejak saya menjadi dosen muda dan terus memberikan nasehat dan masukan ketika menjadi pengurus departemen dan hingga saat ini. Kepada Prof. Tumiran, , saya sampaikan penghargaan dan terima kasih atas motivasi, bimbingan, nasehat, arahan, dan kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menjadi pengurus departemen begitu saya pulang dari studi lanjut serta keteladanan yang diberikan untuk mengembangkan diri dalam membangun jaringan kerjasama dengan berbagai mitra baik nasional maupun internasional. Kepada Prof. Lukito Edi Nugroho, saya sampaikan terima kasih atas keteladanan yang diberikan selama membangun organisasi di departemen. Berkat inisiasi Prof Lukito selama menjabat sebagai Ketua Jurusan dalam melakukan reorganisasi sehingga terbentuk sistem yang efisien sehingga mampu membawa departemen melambung tinggi. Terima kasih juga kepada Ir. I Nengah Sumerti, Prof Hamzah Berahim (alm) dan Dr. Ir. Rudy Hartanto yang telah ikut membentuk diri saya atas perannya masing-masing sebagai dosen pembimbing skripsi, thesis dan pembimbing akademik. Terima kasih kepada guru-guru saya, dosen senior yang telah purna karya: Prof. Ir. T Haryono, Ir Rida Ismu Windyarto, Ir. HC Yohanes, Ir. I Nengah Sumert, Ir. Bambang Sutopo, M.Phil, Ir. Priyatmadi, MT, Ir, Harnoko, MT, Ir Wahyu Dewanto, Ir.

Bambang Sugiyantoro, Ir. Teguh Santoso, Pak Ir. Tiyono, MT. Pada kesempatan ini, saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pembimbing studi doktoral saya, Prof. Bundhit Eua-arporn yang saat ini menjabat sebagai *President of Chulalongkorn University*, yang telah membimbing, memberikan arahan dan keteladanan selama saya menjalani program doktoral dan itu menjadi bekal yang kuat bagi saya sebagai seorang dosen dan peneliti dalam bidang operasi dan perencanaan sistem tenaga listrik.

Ijinkan pada kesempatan ini saya juga menyampaikan ucapan terima kasih secara khusus kepada almarhum Bapak Tujianto, guru SD saya, serta almarhum Bapak Parjono. Almarhum berdua sangat berjasa dalam awal proses pendidikan saya. Atas jasa-jasa almarhum berdua, saya diarahkan dan dicarikan sekolah SMP dan SMA terbaik sebagai tempat pondasi awal pengembangan diri saya. Terima kasih secara khusus juga saya sampaikan kepada Paklik Miskidi dan Bulik Sutini (alm) serta keluarga atas dukungannya selama saya menjalani pendidikan SMA sampai lulus kuliah.

Kepada Ketua dan Sekretaris departemen, Prof Hanung Adi Nugroho dan Dr Lesnanto Multa Putranto, dan jajaran pengurus departemen, teman-teman dosen dan karyawan beserta keluarga besar Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, saya mengucapkan banyak terima kasih atas semua dukungan dan doa yang diberikan selama ini. Secara khusus, saya mengucapkan terima kasih kepada Prof. Sasongko Pramono Hadi, dan Prof. Deendarlianto, yang telah bersedia meluangkan waktu dan memberikan masukan untuk naskah pidato ini. Terima kasih juga kepada Mbak Ratna Endah, Mbak Sekar Tristi Apriza, dan Bapak Ibu tim SDM di tingkat Departemen, Fakultas dan Universitas yang telah mengawal dengan baik sehingga proses kenaikan pangkat dan jabatan dapat berjalan dengan lancar.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan untuk Bapak Ibu dosen dosen bidang keminatan sistem tenaga listrik yang selama ini tergabung dalam grup belajar bersama yang mengasyikkan: Prof Sasongko sebagai ketua kelompok belajar yang selalu sabar dan riang gembira, Prof Tumiran yang selalu mendorong dan memotivasi untuk kolaborasi, Dr. Muhammad Isnaeni yang dengan pemahaman ilmu dasar yang kuat hampir selalu bisa menemukan akar masalah

keelektroan, para jagoan dosen muda Dr. Lesnanto, Dr Roni Irnawan, Dr Husni Rois Ali sebagai sumber belajar ilmu sistem tenaga listrik kekinian, serta Mas Yusuf Susilo Wijoyo, sebagai sumber belajar tarif listrik nasional, dan belajar dari Bu Apink yang bisa dekat dengan semua kalangan baik dosen-tendik-mahasiswa.

Kami sampaikan terima kasih juga kepada teman-teman pengurus Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia (FORTEI) periode 2018-2020 dan pengurus IEEE PES Indonesia Chapter 2015-2018 atas dukungan dan kerjasamanya sehingga kita bisa melaksanakan amanah dengan baik. Terima kasih kami sampaikan juga kepada kolega seperjuangan anggota Evaluation Accrediation Committee (EAC) IABEE, organisasi dimana saya belajar banyak dari interaksi yang terjalin selama ini sejak proses awal pembentukan, hingga saat ini IABEE sudah *full signatory member Washington Accord* dan IABEE berperan besar dalam proses kemajuan akreditasi internasional di Indonesia.

Terima kasih kepada teman-teman seangkatan sejak dari SDN Pengkol lulusan 87, SMPN Brosot 90, SMAN 1 Teladan 93, dan Teknik Elektro UGM angkatan 93 yang telah menjadi bagian penting dalam proses belajar bersama selama ini. Terima kasih saya sampaikan kepada bimbingan skripsi, thesis, dan disertasi, khususnya alumni dan mahasiswa doktoral bimbingan saya: Dr. Hidayat, Dr. Priambudi Pujiatmo, Dr. Rahmat Al Hasyibi, Dr Rizki Firmansyah, Mas Joyo, Mbak Novi, Mas Chico, Mas Jimmy, dan Mas Wahri, Mas Yusuf, dan Bu Apink atas semangat dan kerja kerasnya sehingga banyak capaian publikasi internasional bereputasi yang dapat kita diraih.

Sebagai dosen yang dituntut untuk terus mengasah kepekaan dalam penyelesaian permasalahan nyata di dunia ketenagalistrikan khususnya bidang perencanaan dan operasi sistem tenaga, saya sampaikan terima kasih dan apresiasi setinggi-tingginya kepada manajemen PT PLN (Persero), dari pimpinan tertinggi Dirut PLN dan jajaran Direksi PLN Kantor Pusat, para pimpinan PLN di kantor unit serta anak usahanya PLN, baik itu PT PLN Nusantara Power, PT PLN Indonesia Power, PT PLN EPI, PLNE yang telah memberikan kesempatan kepada saya, para dosen dan mahasiswa UGM untuk terus belajar dan melakukan penelitian berdasarkan kasus-kasus nyata di PT

PLN. Ilmu dan pemahaman yang diperoleh dari interaksi selama ini sangat bermanfaat untuk memperkaya dan meningkatkan kualitas proses pembelajaran di kampus.

Terima kasih sebesar-besarnya saya haturkan kepada bapak saya, Bpk Pujidiyono (alm) dan ibu saya, Ibu Sumirah, yang telah mengasuh, membesarkan, mendidik, memberikan keteladanan dan menumpahkan semua kasih sayangnya kepada saya. Meski Bapak (alm) dan Ibu tidak bisa membaca menulis, tidak pernah merasakan bangku sekolah, dan bahkan dengan kondisi pendapatan keluarga yang sangat terbatas dimana Bapak (alm) sebagai buruh tobong labur/gamping dan Ibu sebagai penjaja gula jawa dengan berjalan menyusuri jalan-jalan di kota Yogyakarta, Bapak dan Ibu waktu itu berani membuat keputusan untuk mengizinkan dan membiayai saya melanjutkan sekolah lanjutan selepas lulus dari SMP Brosot. Alhamdulillah atas dukungan dan doa Bapak dan Ibu serta atas ijin dan kehendak Allah Swt, saya bisa masuk SMA 1 Yogyakarta dan kemudian melanjutkan kuliah di Teknik Elektro UGM. Semoga Allah Swt selalu memberikan rahmat, hidayah, kasih sayang dan ampunan atas semua dosa-dosanya kepada Bapak (alm) dan Ibu. Semoga jerih payah Bpk dan Ibu mendidik dan membesarkan saya tercatat sebagai amalan jariyah. Terima kasih juga kepada kakak-kakakku, Mbak Yanti, Mbak Leginah dan Mbak Senen serta adikku, dik Suparsih, yang telah banyak berkorban dan ikut membantu perekonomian keluarga supaya saya bisa terus lanjut sekolah hingga jenjang perguruan tinggi. Secara khusus saya mohon maaf kepada adikku, Suparsih, yang waktu itu terpaksa tidak bisa melanjutkan ke bangku SMA, meskipun dengan nilai ujian SMP yang sangat baik, karena kondisi ekonomi keluarga yang tidak memungkinkan untuk membiayai sekolah kita berdua secara bersamaan, yang satu mau masuk SMA dan yang satu mau masuk kuliah diwaktu yang bersamaan. Semoga pengorbanan kakak-kakak dan adikku mendapat imbalan kebaikan yang lebih banyak dari Allah Swt.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Bapak dan Ibu mertua, Bpk Dunwi Yusuf dan Ibu Mardijah atas ijin yang diberikan sehingga saya bisa menikahi putri cantiknya, meskipun tahu bahwa saya tidak punya modal apa-apa untuk menikah. Terima kasih saya

sampaikan juga kepada adik iparku, Om Aan dan tante Mutik, yang selalu siap siaga direpoti, atas support dan dukungannya sehingga meskipun saya sering tugas keluar kota, tapi urusan jemput-mengjemput anak dan hal emergency lainnya tetap aman terkendali.

Akhirnya, terima kasih tak terhingga kepada istri cantikku, Widya Fatmawati, atas kesabarannya selama mendampingi saya selama ini yang dalam kondisi suka dan duka dengan segala kekurangan saya, dan atas semua pengorbanannya untuk mendedikasikan waktu dan tenaga untuk secara penuh buat mengurus anak-anak dan keluarga kita. Kepada anak-anakku, Raihana Yasmin Fadhila, Kaisa Minhalina Dayani, dan Qiana Farah Safina, kalian adalah amanah dan anugerah terbaik untuk ayah dan bunda dari Allah Swt. Terima kasih untuk selalu berusaha menjaga sholatnya, dan menjadi anak-anak yang sholehah. Semoga Allah Swt memberikan limpahan rahmat, perlindungan, kesehatan, kebahagiaan dan keberkahan kepada keluarga kita.

Bapak-Ibu yang saya muliakan,

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah Swt, saya mengakhiri pidato pengukuhan guru besar saya. Atas nama pribadi dan seluruh anggota keluarga, saya mengucapkan apresiasi dan terima kasih kepada seluruh hadirin yang telah dengan sabar menyimak dan mendengarkan pidato pengukuhan ini, baik yang berada di Balai Senat Universitas Gadjah Mada maupun yang mengikuti secara daring. Terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu yang telah membantu dan berperan secara langsung atau tidak langsung sehingga pencapaian ini dapat terwujud. Semoga Allah subhanahu wa ta'ala senantiasa meridhoi dan memberkahi setiap langkah kita.

Wassalamu 'alaykum warohmatulloohi wabarokaatuh.

Referensi

- Aditya, F.M.R. et al. (2017) ‘PV Operation on the Low Demand Condition in the Java-Bali System’, in 2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power System , pp. 91–94.
- Allen, R. C. (2012) ‘Backward into the future: The shift to coal and implications for the next energy transition’, *Energy Policy*, 50, pp. 17–23. doi: 10.1016/j.enpol.2012.03.020.
- Ahmadi, L. et al. (2014) ‘Energy efficiency of Li-ion battery packs re-used in stationary power applications’, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 8, pp. 9–17. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2014.06.006>.
- Apribowo, C.H.B., Sarjiya, Hadi, S.P. and Wijaya, F.D. (2022) ‘Optimal Planning of Battery Energy Storage Systems by Considering Battery Degradation due to Ambient Temperature: A Review, Challenges, and New Perspective’, *Batteries*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/batteries8120290>.
- Apribowo, C.H.B., Sarjiya, Hadi, S.P. and Danang Wijaya, F. (2022) ‘Optimal Sizing and Siting of Battery Energy Storage Systems with Retired Battery’, in *ICT-PEP 2022 - International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power: Advanced Technology for Transitioning to Sustainable Energy and Modern Power Systems*, Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 327–332. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICT-PEP57242.2022.9988958>.
- Apribowo, C.H.B., Sarjiya, Hadi, S.P., Wijaya, F.D., and Setyonegoro, Mokhammad Isnaeni B. (2023) ‘Optimal Allocation of Vanadium Redox Flow Battery Storage Systems With Integrated Variable Renewable Energy’, in *2023 15th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering, ICITEE 2023*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 375–380. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICITEE59582.2023.10317686>.
- Apribowo, C.H.B., Hadi, S.P., Wijaya, F.D., Setyonegoro, Mokhammad Isnaeni B., and Sarjiya (2024) ‘Early prediction of

- battery degradation in grid-scale battery energy storage system using extreme gradient boosting algorithm’, *Results in Engineering*, 21, p. 101709. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101709>.
- Apribowo, C.H.B., Sarjiya, Hadi, S.P. and Wijaya, F.D. (2022) ‘Integration of Battery Energy Storage System to Increase Flexibility and Penetration Renewable Energy in Indonesia: A Brief Review’, in ICPERE 2022 - 5th International Conference on Power Engineering and Renewable Energy, Proceedings.
- Atmaja, W. Y., Sarjiya, Putranto, L. M., & Pramono, E. Y. (2019). Hosting Capacity Improvement Using Reactive Power Control Strategy of Rooftop PV Inverters. The 7th International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), 213–217.
- Atmaja, W. Y., Sarjiya, Putranto, L. M., & Santoso, S. (2019). Rooftop Photovoltaic Hosting Capacity Assessment: A Case Study of Rural Distribution Grids in Yogyakarta, Indonesia. Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Informatics, 2019-July, 448–453.
- Atmaja, W. Y., Sarjiya, & Putranto, L. M. (2020). Evaluation of Rooftop Photovoltaic Allocation Strategies of Hosting Capacity Analysis in Low-Voltage Grid. AIP Conference Proceedings, 2255(1), 020022.1–020022.6.
- Atmaja, W. Y., Sarjiya, & Putranto, L. M. (2021a). A Voltage Rise Mitigation Control Scheme of Utility-Scale Battery in High PV Penetration. 2021 3rd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems, ICHVEPS 2021, 634–639. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS53178.2021.9601108>
- Atmaja, W. Y., Sarjiya, & Putranto, L. M. (2021b). Evaluation of Reactive Power Control for High PV Penetration on Low-Voltage Distribution Network. 2021 13th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering, ICITEE 2021, 104–109. <https://doi.org/10.1109/ICITEE53064.2021.9611863>
- Atmaja, W. Y., Sarjiya, & Putranto, L. M. (2022). Battery energy storage system to reduce voltage rise under high penetration of

- customer-scale photovoltaics. *International Journal of Sustainable Energy*, 41(11), 2150–2168. <https://doi.org/10.1080/14786451.2022.2136176>
- Atmaja, W. Y., Sarjiya, & Putranto, L. M. (2023). Development of PV hosting-capacity prediction method based on Markov Chain for high PV penetration with utility-scale battery storage on low-voltage grid. *International Journal of Sustainable Energy*, 42(1), 1297–1316. <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2261759>
- Babatunde, O.M., Munda, J.L. and Hamam, Y. (2020) ‘Power system flexibility : A review’, *Energy Reports*, 6, pp. 101–106. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.048>.
- Cardoso, G. et al. (2018) ‘Battery aging in multi-energy microgrid design using mixed integer linear programming’, *Applied Energy*, 231, pp. 1059–1069. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.185>.
- Chu, S. and Majumdar, A. (2012) ‘Opportunities and challenges for a sustainable energy future’, *Nature*, 488(7411), pp. 294–303. doi: 10.1038/nature11475.
- Das, C.K. et al. (2018) ‘Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, pp. 1205–1230. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.03.068>.
- Dirjen Gatrik (2023) Rancangan Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN). Jakarta.
- Endo, A. et al. (2015) ‘A review of the current state of research on the water , energy , and food nexus’, *Journal of Hydrology*, 11, pp. 20–30. doi: 10.1016/j.ejrh.2015.11.010.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2014) *The Water-Energy-Food Nexus*. Rome.
- Galán-Martín, Á. et al. (2021) ‘Delaying carbon dioxide removal in the European Union puts climate targets at risk’, *Nature Communications*, 12(1), pp. 1–12. doi: 10.1038/s41467-021-26680-3.
- Government of Indonesia (2016) *Indonesia’s First Nationally Determined Contribution (NDC)*. Jakarta. Available at:

http://ditjenppi.menlhk.go.id/reddplus/images/resources/ndc/terjemahan_NDC.pdf.

- Horesh, N. et al. (2021) ‘Driving to the future of energy storage: Techno-economic analysis of a novel method to recondition second life electric vehicle batteries’, *Applied Energy*, 295(April). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117007>.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICPERE56870.2022.10037530>.
- International Energy Agency (IEA) (2022) ‘Global Energy review: CO2 Emissions in 2021’, *Global Energy Review: CO2 Emissions in 2021*, pp. 1–3. Available at: <https://www.iea.org/news/global-co2-emissions-rebounded-to-their-highest-level-in-history-in-2021>.
- IRENA (2020) *Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050*, International Renewable Energy Agency. Available at: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>.
- Masripatin, N. et al. (2017) *Implementation Strategy of NDC (Nationally Determined Contribution)*. Jakarta.
- Novitasari, D. et al. (2023) ‘The climate and land-use changes impact on water availability for hydropower plants in Indonesia’, *Energy Strategy Reviews*, 46(December 2022), p. 101043. doi: 10.1016/j.esr.2022.101043.
- Novitasari, D., Sarjiya and Budiarto, R. (2020) ‘Integration Challenges of Climate-Energy-Water- Food Nexus in Indonesia ’ s Power Generation Sector’, in 2020 FORTEI-International Conference on Electrical Engineering. IEEE Explore, pp. 35–40.
- Pramono, E.Y. and Isnandar, S. (2017) ‘Criteria for Integration of Intermittent Renewable Energy to the Java Bali Grid’, in 2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power System. Bali: IEEE, pp. 91–94.
- Rauf, H., Khalid, M. and Arshad, N. (2022) ‘Machine learning in state of health and remaining useful life estimation: Theoretical and technological development in battery degradation modelling’,

- Renewable and Sustainable Energy Reviews, 156, p. 111903. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111903>.
- RUEN (2017) Rencana Umum Energi Nasional.
- Sarjiya et al. (2022) ‘Assessing Potential Scenarios for Achieving New and Renewable Energy Targets in Java-Bali Power System, Indonesia’, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(2), pp. 502–515. doi: 10.32479/ijeep.12852.
- Sarjiya, Putranto, L. M., Tumiran, et al. (2023) ‘Generation expansion planning with a renewable energy target and interconnection option: A case study of the Sulawesi region, Indonesia’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183(December 2021), p. 113489. doi: 10.1016/j.rser.2023.113489.
- Sarjiya, Putranto, L. M., Budi, R. F. S., et al. (2023) ‘Role of the energy-carbon-economy nexus and CO2 abatement cost in supporting energy policy analysis: A multi-scenario analysis of the Java-Bali system’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 187(December 2021), p. 113708. doi: 10.1016/j.rser.2023.113708.
- Sarjiya, Budi, R. F. S. and Putranto, L. M. (2020) ‘Achieving New and Renewable Energy Target: A Case Study of Java-Bali Power System, Indonesia’, in *2020 2nd International Conference on Smart Power & Internet Energy Systems*, pp. 1–6.
- Sekretariat JETP Indonesia (2023) Rencana Investasi dan Kebijakan Komprehensif (CIPP) JETP. Available at: https://jetp-id.org/storage/official-jetp-cipp-2023-vshare_f_id-1703731480.pdf.
- Severson, K.A. et al. (2019) ‘Data-driven prediction of battery cycle life before capacity degradation’, *Nature Energy*, 4(5), pp. 383–391. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0356-8>.
- Sheibani, M.R. et al. (2018) ‘Energy storage system expansion planning in power systems: a review’, pp. 1203–1221. Available at: <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2018.0089>.
- Smith, K. et al. (2017) ‘Life prediction model for grid-connected Li-ion battery energy storage system’, *Proceedings of the American Control Conference*, pp. 4062–4068. Available at: <https://doi.org/10.23919/ACC.2017.7963578>.

- Steckel, T., Kendall, A. and Ambrose, H. (2021) ‘Applying levelized cost of storage methodology to utility-scale second-life lithium-ion battery energy storage systems’, *Applied Energy*, 300(July). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117309>
- Tsai, C., Beza, T.M. and Molla, E.M. (2020) ‘Analysis and Sizing of Mini-Grid Hybrid Renewable Energy System for Islands’, *IEEE Access*, 8, pp. 70013–70029. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983172>.
- Tumiran et al. (2019) ‘The Masterplan for Developing Electricity Systems for Archipelagic Area by Considering Local Energy Resources: A Case Study of Maluku Islands’, *Proceedings of 2019 the 7th International Conference on Smart Energy Grid Engineering, SEGE 2019*, pp. 290–293. doi: 10.1109/SEGE.2019.8859915.
- Wang, J. et al. (2011) ‘Cycle-life model for graphite-LiFePO₄ cells’, *Journal of Power Sources*, 196(8), pp. 3942–3948. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.11.134>.
- Wu, Y.K., Chang, L.T., Hsieh, T.Y. and Jan, B.S., 2017, May. A review of flexibility requirement of electric generators in high wind power penetration systems. In *2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)* (pp. 1890–1893). IEEE.
- Xu, B. et al. (2018) ‘Factoring the Cycle Aging Cost of Batteries Participating in Electricity Markets’, pp. 1–1. Available at: <https://doi.org/10.1109/pesgm.2018.8586232>.
- Zheng, Y., Hill, D.J. and Dong, Z.Y. (2017) ‘Multi-Agent Optimal Allocation of Energy Storage Systems in Distribution Systems’, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8(4), pp. 1715–1725. Available at: <https://doi.org/10.1109/TSTE.2017.2705838>.
- Zhou, P. et al. (2022) ‘Energy transition management towards a low-carbon world’, *Frontiers of Engineering Management*, 9(3), pp. 499–503. doi: 10.1007/s42524-022-0201-9.
- Zhou, P., Lv, Y. and Wen, W. (2023) ‘The Low-Carbon Transition of Energy Systems: A Bibliometric Review from an Engineering Management Perspective’, *Engineering*, (xxxx). doi: 10.1016/j.eng.2022.11.010.

BIODATA

Nama : Prof. Ir. Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D., IPU.
 Jabatan Fungsional/ Gol : Guru Besar/ IVc
 NIP : 197307061999031005
 Tempat, Tanggal Lahir : Kulon Progo, 6 Juli 1973
 Alamat Rumah : Cluster Pelem Astri No 12, Pelem Wulung,
 Banguntapan, Bantul
 No. Telp. : 08157900530
 Alamat Kantor : 1. Departemen Teknik Elektro dan
 Teknologi Informasi, Fakultas Teknik,
 Universitas Gadjah Mada
 2. Pusat Studi Energi Universitas Gadjah
 Mada
 Alamat e-mail : sarjiya@ugm.ac.id

Data Keluarga

Istri : dr. Widya Fatmawati
 Anak: 1. Raihana Yasmin Fadhila
 2. Kaisa Minhalina Dayani
 3. Qiana Farah Safina

Riwayat Pendidikan

1998 : Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
 Universitas Gadjah Mada.
 2001 : Magister Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
 Universitas Gadjah Mada.

- 2008 : *Doctor of Philosophy*, Electrical Engineering, Chulalongkorn University.
- 2018 : Pendidikan Profesi, Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Asosiasi Profesional

1. *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE)
2. Persatuan Insinyur Indonesia (PII)

Riwayat Kerja dan Jabatan

- 2008 – 2013 : PPJ Kemahasiswaan, Alumni dan Kerjasama di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia.
- 2013 – 2015 : Ketua Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia.
- 2015 – 2017 : Kepala Laboratorium Sistem Tenaga Listrik, Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia.
- 2015 – 2018 : Chairman, IEEE Power and Energy Society (PES) Indonesia Chapter.
- 2016 – saat ini : Evaluation Accreditation Committee of Indonesian Accreditation Board for Engineering Education (IABEE).
- 2017 – 2020 : Ketua Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia.
- 2018 – 2020 : Ketua Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia (FORTEI).
- 2021 – 2022 : Wakil Kepala Pusat Studi Energi, Universitas Gadjah Mada.
- 2022 – 2023 : Coordinator, Center of Excellence in Green Energy, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- 2022 – saat ini : Kepala Pusat Studi Energi, Universitas Gadjah Mada.

Hibah Penelitian (5 tahun terakhir)

- 2019 : Pengembangan Metode Analisis Integrasi PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) Atap Skala Besar pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Nasional
- 2020 : Pemodelan Implementasi Skema Tarif PT. PLN dan Analisis Dampak Skema Tarif PT. PLN terhadap Minat Investasi Independent Power Producer pada Energi Baru Terbarukan
- 2020-2021 : Pengembangan Sistem Energi Terbarukan Hybrid Berbasis PV – Diesel dan Mikroalga di Pulau Semujur, Bangka Belitung
- 2020-2022 : Pemodelan Indo – OSeMOSYS, sebuah program pengembangan pembangkit berbasis open source dengan mempertimbangkan karakteristik wilayah Indonesia dan variable renewable energy (VRE)
- 2020-2021 : Perencanaan pengembangan pembangkit Sistem Jawa-Bali dengan mempertimbangkan pasar ketenagalistrikan, multi objective function dan ketidakpastian pasokan energi baik fosil maupun energi baru terbarukan
- 2021 : Pengembangan Metode Berbasis Data-Driven Stochastic untuk Estimasi Penetrasi PLTS Atap Berdasarkan Kategori Pelanggan dan Kategori Daya Penetrasi
- 2021 : Pemodelan System Dynamics untuk Perencanaan PLTA dengan Mempertimbangkan Keterkaitan Iklim, Energi, Air dan Tata Guna Lahan (Climate-Energy-Water-Land Use Nexus)
- 2021-2022 : Kapasitas Hosting untuk Penetrasi PLTS Atap dan Baterai pada Jaringan Distribusi Menggunakan Markov Chains
- 2022-2023 : Optimalisasi Kapasitas dan Penempatan Sistem Penyimpanan Energi Baterai untuk Mendukung Flexibility Sistem Microgrid-Energi Terbarukan Variabel dengan Mempertimbangkan Battery Degradation

- 2023-2024 : Pendekatan Aliran Daya Probabilistik pada Sistem Distribusi dengan Integrasi Pembangkit Photovoltaic dan Fast Charging Station menggunakan Markov Chain Monte Carlo
- 2023 : Perencanaan Pengembangan Pembangkit Listrik di Daerah Tropis yang Mempertimbangkan *Climate – Land Use – Energy – Water* (CLEW) Nexus dengan Pendekatan *System Dynamics Modelling*

Publikasi di Jurnal Ilmiah (*Selected 5 tahun terakhir*)

1. Pujihatma, P., Hadi, S.P., **Sarjiya**, Rohmat, T.A., “Combined heat and power – multi-objective optimization with an associated petroleum and wet gas utilization constraint,” *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2018
2. Putranto, L.M., **Sarjiya**, Widiastuti, A.N., “Optimizing the preventive and corrective control scheme in integrated variable renewable energy generation,” *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2018
3. Al Hasibi, R.A., Hadi, S.P., **Sarjiya**, “Integrated and simultaneous model of power expansion planning with distributed generation,” *International Review of Electrical Engineering*, 13(2):116, April 2018
4. Priambudi Pujihatma, Sasongko PH, **Sarjiya**, Tri Agung Rohmat, “Integrated gas - electricity network - combined heat and power optimization with associated petroleum and wet gas utilization constraint,” *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2018
5. Priambudi Pujihatma, Sasongko Pramono Hadi, **Sarjiya**, Tri Agung Rohmat, “Combined heat and power-optimal power flow based on thermodynamic model with associated petroleum and wet gas utilization constraints,” *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 9, No. 1, February 2019, pp. 42~54
6. **Sarjiya**, Rizki Firmansyah SB, Sasongko PH, “Game theory for multi-objective and multi-period framework generation expansion

- planning in deregulated markets,” *Energy*, Vol 174, 1 May 2019 page 323-330, publisher : Elsevier
7. Al Hasibi, R.A., Hadi, S.P., **Sarjiya**, “Multi-objective optimization of integrated power system expansion planning with renewable energy-based distributed generation,” *International Review of Electrical Engineering*, 14(1):19, February 2019
 8. Tumiran, Nafis, A.S.T., **Sarjiya**, Putranto, L.M., Indrawan, H., "Determination of PV hosting capacity in rural distribution network: A study case for Bantul area,” *International Journal of Renewable Energy Research*, 9(2), pp. 1116-1124
 9. Mara, P.R, **Sarjiya**, Putranto, L.M., Yasirroni, M., “Determination of maximum grid-connected photovoltaic penetration level based on unit commitment solution,” *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 11(3), 2020
 10. Yusuf Susilo Wijoyo, Sasongko Pramono Hadi, **Sarjiya**, “Wheeling Cost Calculation Review,” *Jurnal National Teknik Elektro dan Teknologi Informasi* Vol 9 No 1 Februari 2020
 11. Tumiran, **Sarjiya**, Putranto, L.M., Priyanto, A., Savitri, I., “Generation expansion planning for high-potential hydropower resources: The case of the Sulawesi electricity system,” *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, Vol 28 (2020), pp. 37-52
 12. Tumiran, Putranto, L.M., **Sarjiya**, “Maximum Penetration Determination of Variable Renewable Energy Generation: A Case in Java-Bali Power Systems,” *Renewable Energy (Elsevier)*, 2021, 163, 561-570
 13. Rizki Firmansyah Setya Budi, **Sarjiya**, Sasongko Pramono Hadi, “Majority Dominant Mixed Strategy Game Theory Model for Deregulated Generation Expansion Planning Problem,” *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 13(1), 2021
 14. Al Hasibi, R.A., Sasongko Pramono hadi, **Sarjiya**, “The integration of renewable-distributed energy resources into electrical power system expansion with intermittency

- consideration”, *International Review on Modelling and Simulation*, Vol 14, Issue No 2, page 89-100, April 2021
15. Rizki Firmansyah Setya Budi, **Sarjiya**, Sasongko Pramono Hadi, “Multi-level game theory model for partially deregulated generation expansion planning,” *Energy (Elsevier)* Vol 237 (15), December 2021
 16. Tumiran, Lesnanto Multa Putranto, Roni Irnawan, **Sarjiya**, Suroso Isnandar, Ira Savitri, “Transmission expansion planning for the optimization of renewable energy integration in the sulawesi electricity system,” *Sustainability (Switzerland)*, 2021, 13(18), 477
 17. Tumiran, Putranto, L.M., **Sarjiya**, ...Priyanto, A., Savitri, I.,, “Generation Expansion Planning Based on Local Renewable Energy Resources: A Case Study of the Isolated Ambon-Seram Power System,” *Sustainability (Switzerland)*, 2022, 14(5), 3032
 18. Syafrudi, Wijaya, F.D., **Sarjiya**, “Data-Flow Programming based Non-Intrusive Load Monitoring for Electricity in Remote Area,” *International Energy Journal*, 2022, 22(1), pp. 35–48
 19. **Sarjiya**, Putranto, L.M., Irnawan, R., Budi, R.F.S., “Assessing Potential Scenarios for Achieving New and Renewable Energy Targets in Java-Bali Power System, Indonesia,” *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2022, 12(2), pp. 502–515
 20. Tumiran, T., Putranto, L.M., Irnawan, R., **Sarjiya**, Priyanto, A., Savitri, I., “Power System Planning Assessment for Optimizing Renewable Energy Integration in the Maluku Electricity System,” *Sustainability (Switzerland)*, 2022, 14(14), 8436
 21. Budi, R.F.S., **Sarjiya**, Hadi, S.P., “The Prospect of Rooftop Photovoltaic Development Considering Global Horizontal Irradiation Uncertainty and Government Policies: A Case of Java Island, Indonesia,” *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2022, 12(4), pp. 104–116
 22. Setya Budi, R.F., **Sarjiya**, Hadi, S.P., “Indonesia's deregulated generation expansion planning model based on mixed strategy game theory model for determining the optimal power purchase agreement,” *Energy (Elsevier)*, 2022, 260
 23. Dwi Novitasari, **Sarjiya**, Sasongko Pramono Hadi, Rachmawan Budiarto, Deendarlianto, “The climate and land-use changes

- impact on water availability for hydropower plants in Indonesia”, *Energy Strategy Reviews*, Vol. 46, March 2023
24. Wijaya, D.D., Syafrudi, **Sarjiya**, “A Strategy to Balance Supply and Demand Fluctuation for RES-Based Microgrids in Isolated Area,” *International Energy Journal*, 2022, 22(4), pp. 327–338
 25. Apribowo, C.H.B., **Sarjiya**, S., Hadi, S.P., Wijaya, F.D., “Optimal Planning of Battery Energy Storage Systems by Considering Battery Degradation due to Ambient Temperature: A Review, Challenges, and New Perspective,” *Batteries*, 2022, 8(12), 290
 26. **Sarjiya**, Lesnanto Multa Putranto, Tumiran, Rizki Firmansyah Setya Budi, Dwi Novitasari, Deendarlianto, “Generation expansion planning with a renewable energy target and interconnection option: A case study of the Sulawesi region, Indonesia,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 183, September 2023
 27. Roni Irnawan, Ahmad Ataka Awalurizqi, Lesnanto Multa Putranto, Husni Rois Ali, Eka Firmansyah, **Sarjiya**, “Model-Free Approach to DC Microgrid Optimal Operation under System Uncertainty Based on Reinforcement Learning,” *Energies*, Vol 16 Issues 14, July 2023
 28. Yusuf Susilo Wijoyo, Sasongko Pramono Hadi, **Sarjiya**, “Applied Power Wheeling Concept Considering Site-Specific and Variability of VRE under Contingency Events,” *Sustainability*, 15 (8), September 2023
 29. Atmaja, W.Y., **Sarjiya**, Putranto, L.M., Development of PV hosting-capacity prediction method based on Markov Chain for high PV penetration with utility-scale battery storage on low-voltage grid,” *International Journal of Sustainable Energy*, 2023, 42(1), pp. 1297–1316
 30. Widiastuti, A.N., Hadi, S.P, **Sarjiya**, “Modified Method to Determine Small Signal Stability Region Boundary for Power System with DFIG,” *International Energy Journal*, 2023, 23(3), pp. 155–172
 31. **Sarjiya**, Lesnanto Multa Putranto, Rizki Firmansyah, Setya Budi, Dwi Novitsari, Tumiran, Deendarlianto. “Role of the energy-carbon-economy nexus and CO2 abatement cost in supporting

- energy policy analysis: A multi-scenario analysis of the Java-Bali system,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 187, 2023
32. Apribowo, Chico Hermanu Brillianto, Hadi, S. P., Wijaya, F. D., Setyonegoro, M. I. B, **Sarjiya**. "Early prediction of battery degradation in grid-scale battery energy storage system using extreme gradient boosting algorithm." *Results in Engineering*, 2023, 101709.
 33. Putra, Jimmy Trio, Setyonegoro, M. I. B, **Sarjiya**. “Modelling of High Uncertainty Photovoltaic Generation in Quasi Dynamic Power Flow on Distribution Systems: A Case Study in Java Island, Indonesia. “*Results in Engineering, Accepted*, 2023.

Book/Book Chapter

1. *Cuk Supriyadi A.N, I. Ngamroo, Sarjiya, Tumiran and Y.Mitani*, “**Design of Robust Power System Stabilizer in an Interconnected Power System with Wind Power Penetrations,**” in the book "Wind Power" edited by S M Muyeen, ISBN 978-953-7619-81-7, InTech, June 6, 2010
2. *Addressing Global Issues With Collective And Concerted Actions: Indonesian Scholar Perspectives for the G20 Forum*; November 2022; ISBN: 978-623-359-110-2; Published by Gajah Mada University Press

Policy Brief

1. **Sarjiya**, Putranto, L.M., Irnawan, R., Tumiran, Budi, RFS., Deendarlianto “The role of the energy–carbon–economy nexus and CO2 abatement cost in supporting energy policy analysis: multi-scenario analysis of a region in Indonesia,” by Loughborough University under the Climate Compatible Growth Programme, presented in UNFCCC *climate* change summit (COP26), November 2021, Glasgow UK
2. **Sarjiya**, Lesnanto, L.M., Tumiran, Budi, RFS, Novitasari, D., Deendarlianto, "Generation Expansion Planning with a Renewable Energy Target and Interconnection Option: A Case Study of the Sulawesi Region, Indonesia,” by Loughborough University under

the Climate Compatible Growth Programme, presented in UNFCCC *climate* change summit (COP26), November 2021, Glasgow UK

3. Novitasari, D, **Sarjiya**, Hadi, S.P., Budiarto, R., “Investigating the Impact of Climate and Land-Use Changes on Water Availability for Hydropower Plant in Indonesia,” funded by Loughborough University under the Climate Compatible Growth Programme, presented in UNFCCC *climate* change summit (COP26), November 2021, Glasgow UK
4. Bertha M Sopha, Wangi P Sari, Dwi Novitasari, Rachmawan Budiarto, **Sarjiya**, “PV Supply Chain Readiness to Support the 2060 Net Zero Emission Goal in Indonesia”, CCG 2022, Version 1, 2022

Pengalaman Kajian Teknis dan Kebijakan

- 2023 : Kajian Penyusunan Rencana Umum Energi Daerah Propinsi Papua Barat Daya
- 2023 : Kajian Model Pendapatan dengan mempertimbangkan faktor-faktor tarif adjustment untuk perhitungan kompensasi
- 2023 : Kajian Dampak Kompensasi Tarif Listrik Sektor Industri, Bisnis dan Rumah Tangga Terhadap Perekonomian
- 2023-2026 : Penelitian Carbon Insetting Project Trough Tree Planting (Mangrove etc), PT.Bank Mandiri Persero
- 2022 : Penelitian Dampak Kompensasi Tarif Listrik Sektor Industri, Bisnis dan Rumah Tangga Terhadap Perekonomian. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2022 : Penelitian Pengembangan Interkoneksi Sistem Kelistrikan Nusa Tenggara dan Potensi Energi Terbarukan. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2022 : Penelitian Analisis Daya Dukung Sistem Kelistrikan Maluku, Papua, dan Nusa Tenggara terhadap Penetrasi Pembangkit Intermiten. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2022 : Penelitian Penentuan Kriteria Keandalan Reserve Margin Pembangkit yang Optimal dan Pengembangan Metode Prioritas Pengadaan Proyek Pembangkit

- Transmisi dan Gardu Induk. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2022 : Penelitian Basic Need dan Kemampuan Bayar Kelompok Pelanggan Listrik Rumah Tangga yang Masuk dalam DTKS. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2022 : Kajian Potensi Penghematan Devisa dan Subsidi dengan Pengalihan Pemanfaatan LPG ke Kompor Induksi. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2022 : Penelitian Dekarbonisasi Program Reduksi GHG PERTAMINA SH IML. PT.Pertamina International Shipping (PIS / IML)
- 2022 : Penelitian MAH Assessment & SECE Register di Pertamina EP , PHR Zona 4 , PHR, PT.Pertamina EP PHR Zona 4
- 2021 : Penelitian Kajian Kelayakan Percepatan Penetrasi Rooftop PV dalam Sistem Kelistrikan ditinjau dari Aspek Teknis, Finansial, dan Legal. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2021 : Kajian Dampak Perubahan Kebijakan Pemerintah dalam Mengelola Domestic Market Obligation (DMO) dan Melepas Harga Batu Bara Mengikuti Mekanisme Pasar terhadap Industri Kelistrikan Nasional. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2021 : Penelitian Analisis Hukum, Bisnis, Ekonomi dan Teknis dalam Penentuan Skema Bisnis Pemanfaatan Brine PLTP. Pertamina Geothermal Energy
- 2021 : Penelitian Studi Kelayakan PLTA Kelay Kalimantan, PT PLN (Persero) Pusat Enjiniring Ketenagalistrikan
- 2021 : Penelitian : 1,000 Islands - Renewable Energy for Electrification Programme Phase 2 (REEP2), GIZ Indonesia
- 2021 : Penelitian Perencanaan Energi untuk Pengembangan Jangka Panjang Industri Periode 2021-2060. Kementerian Perindustrian

- 2021 : Penyusunan Materi Pembelajaran Sub-bidang Pembangkitan, PT PLN (Pesero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan
- 2021 : Penelitian Teknologi Pumped Storage Hydro (PSH) di Indonesia. PT PLN (Pesero) Litbang
- 2021 : Penelitian MAH Assessment & SECE Register di SPU Klamono Pertamina EP Papua. PT. Pertamina EP Papua Zone 14
- 2021 : Penelitian Portopolio Scenario Decarbonation & Green Growth PT. Pertamina (Pesero). PT.Petamina HSSE.
- 2021 : Penelitian Audit Energi CPP Papua Field , PT.Pertamina EP Papua Field , PEPC , Zone 14.
- 2020 : Kajian Reformulasi Tarif Adjustment dan Tarif Layanan Khusus (Golongan L). PT PLN (Pesero) Kantor Pusat
- 2020 : Penelitian Energy Transition Toolkit untuk Indonesia: Studi Kasus di Kalimantan Selatan. OXFAM
- 2020 : Kajian Penyederhanaan Golongan Tarif Tenaga Listrik. PT PLN (Pesero) Kantor Pusat
- 2019-2021 : Penelitian Mastering Energy Supply Focusing on Isolated Area (MESFIA). Erasmus+
- 2019 : Penelitian Pemadaman Total Sistem Kelistrikan Jamali pada 4 Agustus 2019. PT PLN (Pesero) Kantor Pusat
- 2019 : Penelitian Penyusunan Master Plan Pengembangan Sistem Kelistrikan Wilayah Papua dan Maluku 2020-2050. PT PLN (Pesero) Kantor Pusat
- 2018-2019 : Penelitian Perancangan dan Implementasi Pengaturan Sistem Mikrogrid untuk Mendukung Listrik Pedesaan. International Learning Experience (ILE) Programme: Innovation Rolls Royce, Singapore
- 2018 : Penelitian Road Map Kapasitas Integrasi Pembangkit Energi Baru & Terbarukan Intermittent pada Sistem Jawa Bali. PT PLN (Pesero) Kantor Pusat
- 2018 : Penelitian Model Sistem Tata Usaha Jaringan Distribusi PT PLN (Pesero). PT PLN (Pesero) Kantor Pusat

- 2018 : Penelitian Penyusunan Master Plan Pengembangan Sistem Kelistrikan Wilayah Sulawesi 2019-2050. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2018 : Penelitian Kapasitas Integrasi Pembangkit Energi Baru &Terbarukan Intermittent pada Sistem Jawa Bali. PT PLN (Persero) Pusat Pengatur Beban
- 2017 : Penelitian Benefit dan Dukungan Stakeholder Dalam Rangka Rencana Pembangunan SUTET 500 kV Jalur Utara. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2017 : Penelitian RoadMap Energi Baru dan Terbarukan pada Sistem Kelistrikan Indonesia, PT PLN Litbang
- 2016 : Penelitian Benefit Keberadaan SUTET 500 kV Paiton – Depok. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2016 : Penelitian Evaluasi Formula Tariff Adjustment formula PT PLN. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2015 : Penelitian Studi Kelayakan Sistem Hybrid Energi Terbarukan di Pulau Nusa, Sulawesi Utara. Dewan Energi Nasional– Pemerintah Swedia
- 2015 : Penelitian Biaya Interkoneksi Pembangkit ke Jaringan. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2014 : Penelitian Formula Tariff Adjustment PT PLN. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2014 : Penelitian Power Wheeling pada Sistem Transmisi PLN. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2012 : Penelitian RoadMap Listrik Masuk Desa untuk Provinsi Jawa Tengah dan DIY. PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY
- 2012 : Penelitian RoadMap Kelistrikan Kota Bontang 2012-2017. Pemerintah Kota Bontang, Provinsi Kalimantan Timur
- 2012 : Penelitian Desain dan Evaluasi Sistem Proteksi dan Pentanahan. PT Pupuk Iskandar Muda Aceh
- 2012 : Penelitian Dampak dari Rugi-Rugi Kawat Netral pada Proteksi Arus Lebih di Sistem Distribusi Tegangan Menengah. PT PLN Distribusi Jawa Tengah DIY

- 2012 : Penelitian Evaluasi Perancangan dan Operasi Optimal Sistem Hybrid Diesel Generator-PV-Battery di Pulau Bunaken, Provinsi Sulawesi Utara. PT PLN Litbang
- 2011 : Penelitian Dampak Penggunaan Suplai Energi Primer terhadap Pokok Penyediaan Tenaga Listrik. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2011 : Penelitian Analisis Pembangunan PLTU Kundur 2 x 5 MW. PT Timah Tbk
- 2011 : Penelitian Detail Engineering Design PLTMH di Maluku Tengah. PT Surveyor Indonesia dan PT. PLN (Persero) Pikitring Sulawesi Maluku & Papua
- 2009-2010 : Penelitian Survei Kepuasan Pelanggan. PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah & DIY
- 2009 : Penelitian Tarif Dasar Listrik untuk Menuju Tata Kelola Ketenagalistrikan Nasional yang Sehat. PT PLN (Persero) Kantor Pusat
- 2009 : Penelitian Studi Operasi Static Transfer Switch (STS). PT. Chevron Pacific Indonesia
- 2008 : Penelitian Dampak Lingkungan Transmisi HVDC, PT. PLN Pikitring Jawa-Bali-Nusa Tenggara
- 2008 : Penelitian Evaluasi Rencana Sistem Kelistrikan Provinsi DIY
- 2004-2005 : Pembuatan Master Plan Sistem Distribusi 20 kV untuk APJ Yogyakarta dan Surakarta. PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY
- 2004 : Penelitian Penentuan Harga Pokok Pembangkitan Sistem Kelistrikan di Indonesia. Dirjen LPE
- 2004 : Penelitian Penataan Data Pelanggan dan Jaringan Distribusi TM dan Aplikasi Pendukungnya di APJ Yogyakarta. PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY
- 2004 : Penelitian Penentuan Profil Beban Distribusi Jawa Tengah dan DIY. PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY
- 2003 : Pengembangan Sistem Informasi Geografis Kota Yogyakarta, PT PLN (Persero) Unit Jaringan

Yogyakarta. PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY

- 2003 : Penelitian Pola Kebutuhan dan Prioritas Jaringan Tegangan Menengah serta Kapasitas Nominal Trafo Distribusi untuk Pengembangan Listrik Pedesaan. PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY
- 2002 : Penelitian Evaluasi Sistem Kelistrikan PT PLN (Persero) Papua dan Implementasi Sistem Proteksi. PT PLN (Persero) Distribusi Papua dan Maluku
- 2002 : Penelitian Peningkatan Kualitas Pelayanan Pelanggan, PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY. PT PLN (Persero) Wilayah Jawa Tengah dan DIY
- 2002 : Penelitian Energi Baru Terbarukan di Provinsi DIY, Pusat Studi Energi-UGM

Yogyakarta,

Januari 2024

Prof. Ir. Sarjiya, ST, MT, Ph.D., IPU.