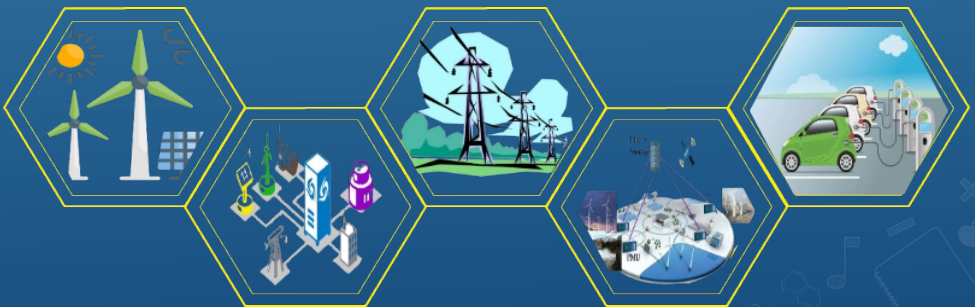




BRIN
BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

TEKNOLOGI JARINGAN LISTRIK CERDAS UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS SISTEM TENAGA LISTRIK DALAM MENDUKUNG TRANSISI ENERGI DI INDONESIA

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
KEPAKARAN DINAMIKA DAN STABILITAS
SISTEM TENAGA LISTRIK**



OLEH:

CUK SUPRIYADI ALI NANDAR

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

**TEKNOLOGI JARINGAN LISTRIK CERDAS
UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS SISTEM
TENAGA LISTRIK DALAM MENDUKUNG
TRANSISI ENERGI DI INDONESIA**

Diterbitkan pertama pada 2024 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**TEKNOLOGI JARINGAN LISTRIK CERDAS
UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS SISTEM
TENAGA LISTRIK DALAM MENDUKUNG
TRANSISI ENERGI DI INDONESIA**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
KEPAKARAN DINAMIKA DAN STABILITAS
SISTEM TENAGA LISTRIK**

OLEH:
CUK SUPRIYADI ALI NANDAR

Reviewer:

Prof. Ir. Amiral Aziz, M.Sc.

Prof. Dr. Ir. Rizqon Fajar, M.Sc.

Prof. Ir. Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D., IPU.

Penerbit BRIN

© 2024 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Teknologi Jaringan Listrik Cerdas untuk Meningkatkan Stabilitas Sistem Tenaga Listrik dalam Mendukung Transisi Energi di Indonesia/Cuk Supriyadi Ali Nandar. Jakarta: Penerbit BRIN, 2024.

vii + 85 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN (*e-book*)

- | | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| 1. Transisi Energi | 2. Jaringan Listrik Cerdas |
| 3. Wide Area Monitoring | 4. Stabilitas Sistem Tenaga Listrik |

639.31

Copy editor : S. Imam Setyawan
Penata Isi : S. Imam Setyawan
Desainer Sampul : S. Imam Setyawan


Edisi pertama : Juni 2024





Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B. J. Habibie, Jl. M. H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: +62 811-1064-6770

E-mail: penerbit@brin.go.id

Website: penerbit.brin.go.id

 PenerbitBRIN

 @Penerbit_BRIN

 @penerbit.brin

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	vii
BIODATA RINGKAS.....	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
I. PENDAHULUAN	7
II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI JARINGAN LISTRIK CERDAS PADA MASA LALU, MASA KINI, DAN MASA DEPAN	17
A. Teknologi Jaringan Listrik Cerdas Masa Lalu	17
B. Teknologi Jaringan Listrik Cerdas Masa Kini.....	18
C. Teknologi Jaringan Listrik Cerdas Masa Depan	22
III. RISET JARINGAN LISTRIK CERDAS UNTUK PENINGKATAN KUALITAS SISTEM TENAGA LISTRIK	27
A. Riset Robust Control pada Jaringan Listrik Cerdas	29
B. Riset <i>Wide Area Monitoring</i> dan kendali pada Jaringan Listrik Cerdas	30
C. Riset <i>Adaptif Robust Control</i> pada Jaringan Listrik Cerdas	33
D. Riset dan Pengembangan <i>Smart Demand</i>	37
E. Peran Teknologi AI/ML pada <i>Smart Grid</i>	39
IV. RELEVANSI, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI PENGEMBANGAN JARINGAN LISTRIK CERDAS PADA SISTEM TENAGA LISTRIK DI INDONESIA.....	41
V. KESIMPULAN	47
VI. PENUTUP.....	49

UCAPAN TERIMA KASIH	51
DAFTAR PUSTAKA	55
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH	67
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Roadmap Energi Terbarukan Indonesia menuju Net Zero Emission.....	8
Gambar 2. Perbandingan jaringan tenaga listrik konvensional dan smart grid.....	12
Gambar 3. Perkembangan smart grid dari konvensional ke smart grid 2.0 di masa depan	28
Gambar 4. Sistem stabilisasi berbasis wide area monitoring.....	31
Gambar 5. Diagram arsitektur kontrol adaptif dan robust.	35
Gambar 6. Respon sistem sebelum dan setelah robust controller	36
Gambar 7. Strategi Pengembangan miniatur smart grid dan perdagangan karbon di KST B.J Habibie - BRIN (pendanaan RIIM dan rencana kerjasama dengan PLN Litbang).....	43

BIODATA RINGKAS



Cuk Supriyadi Ali Nandar, lahir di Blora, pada tanggal 15 Januari 1980 adalah anak kelima dari Bapak Muh. Tasrim dan Ibu Munawaroh. Menikah dengan Dewi Pusparini dan dikaruniai empat orang anak, yaitu Nur Aini Malihah, Katara Velda Naila, Muhammad Wafi Hikaru dan Abdurrahman Husein Alfarizi.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 2/M Tahun 2023 tanggal 25 Januari 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai 25 Januari 2023.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Nomor 136/I/HK/2024, tanggal 10 Mei 2024 tentang Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan orasi Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri 1 Gagakan, tahun 1992, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Cepu, tahun 1995, Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Muntilan, tahun 1998. Memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro dari Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta tahun 2002, gelar Magister Teknik di bidang Teknik Elektro dari King Mongkut's Institute of

Technology Ladkrabang tahun 2007, dan gelar Doktor di bidang Elektrikal dari Kyushu University tahun 2013.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: *introduction to Ansys Maxwell Singapore & ANSYS Maxwell : Advanced Electric Motor CAE Training* (2020), *Training on Maintenance & testing of Electrical Network Components* di TUV UAE (2016), *Training on Motors and Transformers* di TUV UAE (2016), *Short research on Application of PMU in Power System Monitoring* di Jepang (2015), *Long Term Training for ASEAN University Network/ Southeast Asia Engineering Education Development Network* di Jepang (2010-2013), *Wind and Photovoltaics hybrid systems with micro grids* di Jerman (2009) dan *Exchange Program for east Asian Young Researchers* di Jepang (2009)

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Bagian Program dan Anggaran, Pusat Teknologi Industri Permesinan (tahun 2016– 2021), Kepala Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi- Organisasi Riset Energi dan Manufaktur- BRIN (tahun 2022–sekarang).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Madya golongan IV/c tahun 2021 dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan IV/d bidang Elektro dan Elektronika tahun 2023.

Menghasilkan 71 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal

dan prosiding. Sebanyak 64 KTI ditulis dalam bahasa Inggris, dan Kekayaan Intelektual sebanyak 17 Paten

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing dan penguji mahasiswa S-2, dan S-3 di Swiss German University (SGU), Institut Teknologi Sepuluh November (ITS), Universitas Gadjah Mada (UGM), dan Universiti Teknologi Malaysia (UTM).

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai anggota Perhimpunan Periset Indonesia (2023 – sekarang), pengurus Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia (2023–sekarang), Anggota Indonesia Solar Energy Research Group (2023–sekarang) dan anggota Himpunan Peneliti Indonesia (2021–2022).

Menerima tanda penghargaan Satyalancana Pembangunan dari Presiden RI (tahun 2021), Satyalancana Wira Karya dari Presiden RI (tahun 2019), Satyalancana Karya Satya X Tahun (tahun 2016) dari Presiden RI.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur kehadiran Allah Yang Mahakuasa atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah Pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

TEKNOLOGI JARINGAN LISTRIK CERDAS UNTUK
MENINGKATKAN STABILITAS SISTEM TENAGA
LISTRIK DALAM MENDUKUNG TRANSISI ENERGI DI
INDONESIA

Pada orasi ini, akan disampaikan *state of the art* tentang perkembangan dan capaian, peluang, serta tantangan penelitian teknologi jaringan listrik cerdas dalam mendukung transisi energi di Indonesia. Hasil riset-riset tersebut dapat dijadikan sebagai alternatif solusi dalam peningkatan stabilitas sistem tenaga listrik kedepan yang sedang bertransformasi dari struktur konvensional menjadi struktur jaringan listrik cerdas (*smart grid*) yang semakin kompleks.

Orasi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman dan perspektif arah riset smart grid untuk mendukung peta jalan penerapan *smart grid* di Indonesia. Pengembangan miniatur *smart grid* pada kawasan khusus sangat diperlukan sebagai laboratorium penerapan smart grid baik dari sisi teknis, tekno-ekonomi maupun regulasi sebelum teknologi *smart grid* diaplikasikan di sistem yang lebih besar. Dengan demikian, teknologi *smart grid* dapat diujicoba secara riil dalam skala kecil dengan lebih mudah, murah dan aman. Indonesia sebagai negara berkembang tentu akan menghadapi tantangan terkait penerapan *smart grid* sebagai konsep baru dari jaringan Listrik. Untuk itu pembangunan smart grid harus melibatkan semua stakeholder dan sinergi antara pembuat kebijakan baik pemerintah pusat maupun pemerintah daerah, swasta, pemilik teknologi, perbankan, periset dan akademisi sehingga smart grid dapat berkontribusi besar dalam mendukung suksesnya transisi energi menuju *net zero emission* pada tahun 2060.

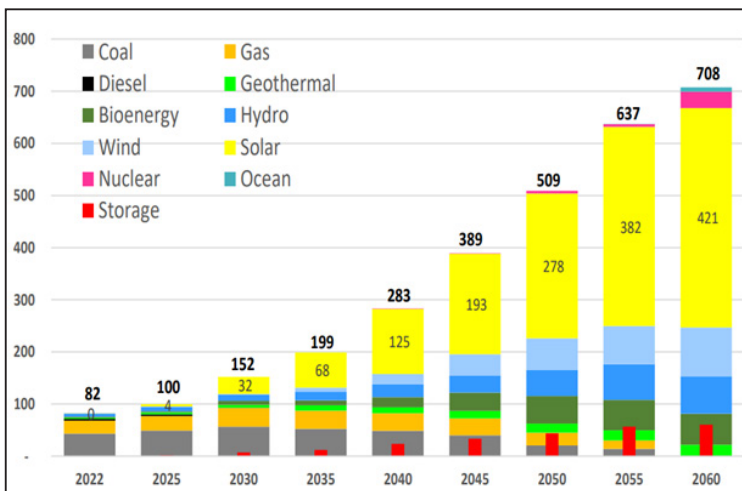
I. PENDAHULUAN

Di tengah tantangan global terkait perubahan iklim, Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk mengurangi tingkat emisi gas rumah kaca. Upaya dekarbonisasi di Indonesia tidak hanya sebatas kewajiban global, tetapi juga langkah krusial untuk melindungi keberlanjutan lingkungan, ekonomi, dan kesejahteraan masyarakat. Pemerintah Indonesia sedang melaksanakan berbagai langkah strategis untuk mencapai target *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat (UNFCCC, 2022). Untuk mencapai target tersebut, Indonesia memprioritaskan sektor kehutanan dan tata guna lahan serta sektor energi sebagai sektor-sektor yang memberikan kontribusi terbesar terhadap target penurunan emisi dimana sektor energi ditargetkan menyumbang 15,5 persen atau 446 Mton CO₂e (Bappenas, 2022).

Pada sektor energi, tantangan penyediaan energi listrik di Indonesia diantaranya adalah sebagai berikut : 1) Efisiensi operasional yang masih rendah dengan rugi-rugi transmisi dan distribusi masih tinggi serta biaya pokok penyediaan (BPP) masih relatif tinggi dibandingkan dengan rata-rata ASEAN; 2) Keandalan pelayanan yang masih rendah; 3) Energi bersih (*CO₂ emission reduction*), dimana sektor ketenagalistrikan masih memproduksi emisi yang sangat besar; serta 4) Keberlanjutan (*sustainability*), dimana saat ini produksi listrik masih didominasi

oleh energi fosil dan perlu transformasi ke energi terbarukan (PLN, 2020).

Saat ini Indonesia sedang menyusun peta jalan pemanfaatan energi terbarukan sampai 2060 dengan target kapasitas energi surya 421 GW, bayu 94 GW, hidro 72 GW, bioenergy 60 GW, nuklir 31 GW, panas bumi 22 GW dan energi laut 8 GW pada tahun 2060 seperti ditunjukkan pada Gambar 1 (ESDM,2022). Penggunaan energi terbarukan secara ekstensif diharapkan dapat mengurangi permasalahan lingkungan dan sumber daya. Namun karena kapasitas terbesar sumber energi terbarukan yang terpasang bersifat intermitten maka dibutuhkan banyak perubahan mendasar pada sistem tenaga listrik dalam hal perencanaan dan pengoperasiannya untuk menjaga keandalan dan kualitas layanan energi.



Sumber : ESDM (2022)

Gambar 1. Roadmap Energi Terbarukan Indonesia menuju Net Zero Emission

Tantangan stabilitas dan operasi sistem tenaga listrik dengan adanya penetrasi energi terbarukan yang tinggi ke sistem jaringan listrik adalah sebagai berikut.

1) Ketidakstabilan tegangan (*Voltage instability*)

Permasalahan tegangan sistem tenaga listrik pada umumnya terjadi pada kondisi beban puncak, adanya gangguan dan / atau kekurangan daya reaktif. Di antara berbagai faktor yang mempengaruhi masalah stabilitas tegangan adalah cadangan daya reaktif yang tidak mencukupi. Dalam hal penetrasi energi terbarukan, ketidakstabilan tegangan disebabkan oleh kelebihan daya dari pembangkit energi terbarukan di penyulang/*feeder* (Bao, 2023).

2) Kelebihan daya listrik (*excess power*)

Pasokan daya energi terbarukan dalam jumlah besar dan tidak stabil dapat menyebabkan kelebihan daya pada sistem tenaga listrik. Kondisi ini dapat terjadi ketika Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berada pada daya puncak di siang hari dan / atau Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) menerima kecepatan angin yang optimal. Kelebihan daya ini akan meningkatkan potensi ketidakstabilan pada sistem tenaga listrik.

3) Penyimpangan frekuensi (*Frequency deviation*)

Frekuensi pada sistem tenaga listrik menggambarkan keseimbangan antara daya pasokan dan daya beban. Intermitensi energi terbarukan pada jaringan listrik dapat menyebabkan ketidakseimbangan daya yang membuat

kontrol frekuensi menjadi lebih sulit. Oleh karena itu mekanisme kontrol frekuensi yang handal sangat dibutuhkan.

4) Osilasi frekuensi rendah (*Low frequency oscillations*)

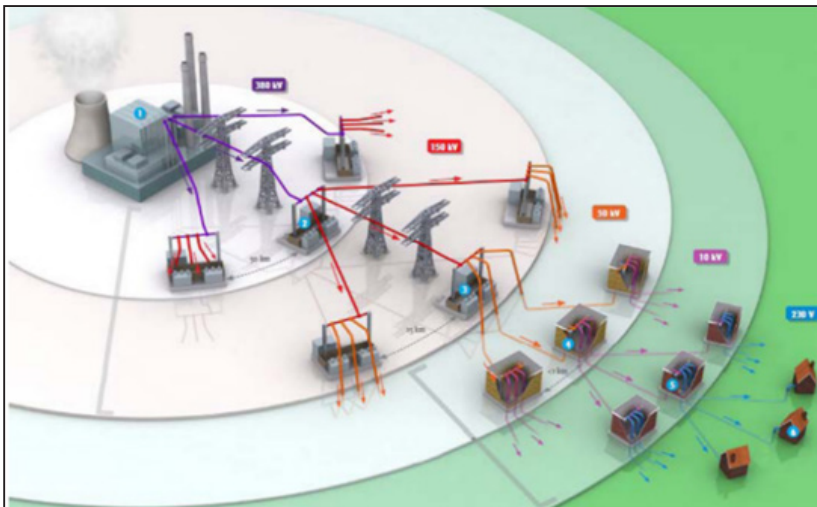
Sistem inersia sangat terkait dengan permasalahan osilasi frekuensi rendah yang dapat menyebabkan kegagalan sistem. Pada sistem konvensional, tugas mencegah osilasi frekuensi rendah dilakukan oleh generator sinkron, dengan pengaturan parameter kendali tegangan otomatis yang sesuai.

Namun dengan meningkatnya penetrasi energi terbarukan ke jaringan sistem tenaga listrik, respons inersia sistem tenaga listrik menjadi menurun (Mullane, 2006), sehingga penelitian untuk menganalisis dampak unit pembangkit energi terbarukan terhadap *low frequency oscillation* dalam sistem tenaga listrik menjadi sangat relevan.

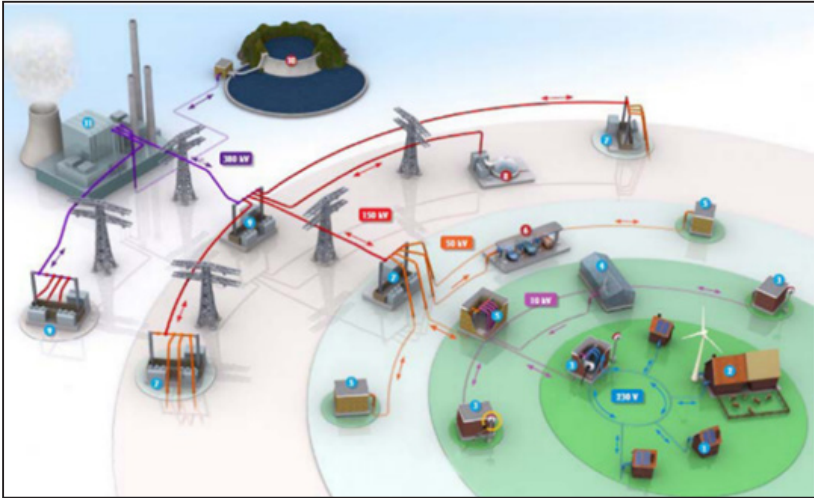
Untuk menjawab tantangan tersebut, salah satu solusi adalah perlu adanya transformasi dari struktur sistem tenaga listrik konvensional ke sistem tenaga jaringan listrik cerdas (*smart grid*). Sistem tenaga listrik konvensional telah ada selama lebih dari 50 tahun, telah ditingkatkan kemampuannya selama bertahun-tahun dan memberikan sejumlah keuntungan (Schavemaker, 2008). Namun, selama beberapa tahun terakhir, pengoperasian sistem tenaga listrik perlu menghadirkan peningkatan keselamatan, keandalan, efisiensi dan kualitas pasokan tenaga listrik karena adanya tuntutan aspek ekonomi, politik, lingkungan, dan sosial. *Smart grid* sebagai salah satu solusi teknologi merupakan

penggabungan teknologi informasi, sensor, kontrol, teknologi kecerdasan buatan (*artificial intelligence/AI*) dan *machine learning* (ML) dan komunikasi digital dua arah pada proses ketenagalistrikan mulai dari pembangkitan, transmisi, distribusi dan retail/konsumen seperti terlihat pada Gambar 2 (Cuk Supriyadi, 2013).

Perubahan mendasar dalam desain dan paradigma operasional sistem kelistrikan konvensional dan *smart grid*, yaitu: dari sumber daya terpusat ke sumber daya terdistribusi, dari arah aliran daya yang dapat diprediksi ke arah yang tidak dapat diprediksi, dari jaringan pasif ke jaringan aktif yang memungkinkan partisipasi *demand* dalam pengoperasian sistem tenaga Listrik (Cuk Supriyadi, 2010; 2013). Dalam konteks ini, jaringan listrik akan lebih dinamis dalam konfigurasi dan operasionalnya, yang akan menghadirkan banyak peluang tidak hanya untuk optimasi tetapi juga banyak tantangan teknis baru.



(a) Jaringan Listrik Konvensional



(b) Jaringan smart grid

Sumber : Cuk Supriyadi Ali Nandar (2013) di olah dari www.kennisinbeeld.nl

Gambar 2. Perbandingan jaringan tenaga listrik konvensional dan smart grid

Pada aspek teknis stabilitas sistem tenaga listrik, rendahnya kemampuan sistem dalam meredam mode osilasi elektromekanis (*electromechanical oscillation modes*) bisa menyebabkan masalah serius pada osilasi frekuensi rendah (*low frequency oscillations*) dalam sistem tenaga listrik. Untuk mengatasi masalah tersebut, sangat diperlukan teknik *robust PID/Lead-lag control* yang menggabungkan 2 (dua) pendekatan yaitu pemanfaatan struktur kontroler eksisting serta menggunakan metode tuning parameter untuk mendapatkan *robust controller* berbasis *artificial intelligence* dan *machine learning* seperti meta-heuristik algoritma genetika, *particle swarm optimization* dll. Hasil studi simulasi menunjukkan bahwa kontroler yang

dihasilkan bersifat *robust* terhadap berbagai kondisi operasi dengan struktur kontroler yang sederhana karena memanfaatkan tipe controller eksisting (Cuk Supriyadi, 2008; 2022).

Selain itu, dengan perkembangan sistem tenaga listrik, ketidakpastian semakin bertambah karena adanya deregulasi kontrak tenaga listrik yang kompleks, kondisi pembangkitan dan pembebanan yang beragam, struktur jaringan yang tidak dapat diprediksi, penetrasi energi terbarukan dll, menjadikan pengoperasian sistem tenaga listrik menjadi lebih sulit. Oleh karena itu, *wide area monitoring and control* menjadi isu utama dalam menjaga stabilitas sistem tenaga listrik dengan baik. Monitoring sistem tenaga listrik secara *real-time* menggunakan *Phasor Measurement Unit* (PMU) yang disinkronisasikan oleh *Global Positioning System* (GPS) telah diterapkan pada sistem tenaga listrik untuk peningkatan kapasitas transmisi, estimasi keadaan sistem tenaga listrik, perlindungan area yang luas dan pengendalian darurat dll. Riset penerapan *wide area robust control* menggunakan PMU telah dilakukan dengan melakukan uji simulasi pada interkoneksi sistem tenaga listrik dengan penetrasi energi terbarukan yang tinggi pada berbagai kondisi operasi (Cuk Supriyadi, 2008;2011; I Ngamroo & Cuk Supriyadi, 2010).

Demand side management merupakan fungsi penting dari *smartgrid* untuk meningkatkan efisiensi, menurunkan biaya operasional sistem tenaga listrik serta memungkinkan pemasok energi untuk mengurangi permintaan beban puncak. Pemanfaatan baterai pada kendaraan listrik merupakan salah

satu teknik dalam *demand side management* yang dapat diterapkan. Penggunaan masif kendaraan listrik sebagai beban listrik baru akan sangat mempengaruhi pengoperasian jaringan listrik. Namun kendaraan listrik yang terhubung ke jaringan listrik juga dapat membantu mensuplai daya listrik dari baterai kendaraan sehingga mengurangi beban pembangkit listrik. Riset-riset kendaraan listrik serta komponen-komponen utamanya termasuk *charging station* sangat dibutuhkan di Indonesia (Asih Kurniasari, Cuk Supriyadi, 2023).

Dalam riset-riset yang telah dilakukan tersebut, terdapat 4 kata kunci penting, yaitu *net zero emission*, *smart grid*, *wide area monitoring*, dan stabilitas sistem tenaga listrik. Oleh karena itu, judul orasi ilmiah ini adalah “Teknologi Jaringan Listrik Cerdas (*Smartgrid*) untuk Mendukung Transisi Energi Indonesia. Dalam orasi ini, *net zero emission* difokuskan pada sektor energi energi terbarukan yang dapat berkontribusi pada penurunan emisi karbon, namun karakteristik intermitensi energi terbarukan memberikan tantangan tersendiri dalam kestabilan sistem. Dengan teknologi *smart grid* tersebut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi, keandalan dan ketahanan melalui otomasi dan digitalisasi disepanjang mata rantai sistem ketenagalistrikan (Digitalisasi), meningkatkan keterlibatan pelanggan menjadi “Prosumer” (Desentralisasi), serta menaikkan penetrasi energi terbarukan melalui grid yang fleksibel (Dekarbonisasi).

Berikut sistematika naskah orasi ilmiah ini, Bab 1 merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, perjalanan riset, serta solusi atas permasalahan pada *smartgrid*. Bab 2 mencakup

perkembangan *smartgrid* masa lalu, sekarang, dan yang akan datang yang merupakan perspektif perkembangan iptek dan kemajuan ilmiah teknologi *smartgrid*. Bab 3 menjelaskan kontribusi ilmiah dalam teknologi *smart grid* yang telah dipublikasi dalam bentuk luaran karya ilmiah, Bab 4 Kontribusi umum berupa relevansi, implikasi, atau rekomendasi yang muncul dari kontribusi ilmiah dibidang *smart grid*. Bab 5 adalah kesimpulan yang berisi pernyataan-pernyataan (*claims*) ilmiah terkait hasil riset yang telah dilakukan, serta bab 6 merupakan penutup terkait tantangan di masa depan pemanfaatan teknologi *smartgrid* di Indonesia.

II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI JARINGAN LISTRIK CERDAS PADA MASA LALU, MASA KINI, DAN MASA DEPAN

Penerapan teknologi *smart grid* dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJPM) sudah ditetapkan dalam pengembangan sistem di Jawa-Bali. Targetnya adalah setiap tahun dari tahun 2020 sampai 2024 diinstal lima sistem baru di Jawa-Bali sehingga dalam lima tahun akan dibangun dua puluh lima sistem *smart grid* baru (ESDM, 2021). Namun teknologi *smart grid* sudah mulai dikenalkan di Indonesia sebelum tahun 2020 dimana perkembangan teknologi *smart grid* dari masa ke masa dapat dijelaskan sebagai berikut.

A. Teknologi Jaringan Listrik Cerdas Masa Lalu

Pelaksanaan cikal bakal teknologi jaringan listrik cerdas (*smart grid*) di Indonesia dimulai pada tahun 2014 dengan penerapan teknologi komunikasi dua arah menggunakan SMS untuk BTS dan *Adv. Billboard* di Jakarta (PLN, 2020). Sebelumnya Indonesia masih menerapkan sistem tenaga listrik konvensional. Pada jaringan listrik tradisional memiliki beberapa kelemahan, salah satunya terkait dengan keandalan (*reliability*). Rendahnya keandalan suatu jaringan listrik ditandai dengan tingginya frekuensi terjadinya pemadaman listrik. Pemadaman listrik ini tentunya sangat merugikan baik bagi pihak penyedia listrik

maupun konsumen. Seringnya pemadaman listrik berkaitan erat dengan sifat dari jaringan listrik tradisional, yaitu masih belum teraplikasikannya teknologi otomasi dan informasi, sehingga sulit mendeteksi tanda-tanda terjadinya kegagalan pada jaringan listrik. Selain keandalan, efisiensi dari proses transmisi dan distribusi listrik pada jaringan tradisional juga masih menjadi masalah.

Aspek-aspek yang menjadi kekurangan jaringan listrik tradisional melahirkan urgensi dalam pengembangan jaringan listrik yang lebih baik. Salah satu konsep jaringan listrik yang telah dimodernisasi adalah konsep jaringan listrik pintar atau *smart grid* yang mengintegrasikan teknologi otomasi, teknologi informasi dan telekomunikasi yang memungkinkan adanya komunikasi dua arah antara produsen dan konsumen listrik. Penggunaan teknologi ini bertujuan untuk meningkatkan pengawasan, pengendalian dan komunikasi dalam rantai pasok listrik sehingga efisiensi listrik dapat ditingkatkan dan keandalan jaringan listrik dapat lebih baik.

B. Teknologi Jaringan Listrik Cerdas Masa Kini

Sistem tenaga listrik konvensional mempunyai keterbatasan dalam memproses dan menganalisis data dalam jumlah besar yang kini menjadi suatu keharusan dalam sistem *smart grid*. Oleh karena itu, peran Kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence* - AI) dan Pembelajaran mesin (*Machine Learning* -ML) sangat dibutuhkan dalam aplikasi *smart grid*. Penerapan teknik AI dan ML dapat dilakukan setidaknya pada empat bidang penting yaitu

perkiraan beban, penilaian stabilitas jaringan listrik, deteksi fault, dan masalah keamanan. *Smart grid* yang memanfaatkan algoritma AI dan ML untuk menganalisis data dan membuat keputusan cerdas dapat meningkatkan efisiensi energi, mekanisme *demand response*, mengurangi rugi-rugi transmisi, meminimalkan *down time*, dan mendorong optimalisasi penggunaan sumber energi baru dan energi terbarukan. Integrasi AI dan ML pada *smartgrid* juga menghasilkan infrastruktur jaringan listrik yang lebih berkelanjutan dan andal (Omitaomu, 2021).

Penerapan teknologi *smart grid* masa kini untuk menggantikan jaringan listrik konvensional diharapkan dapat mencapai beberapa tujuan, yaitu meningkatkan keandalan, kualitas, produktivitas, dan efisiensi jaringan listrik, Penggunaan sensor dan perangkat telekomunikasi pada jaringan listrik dapat berperan dalam meningkatkan pemantauan jaringan secara *real-time*, terutama dalam mendeteksi tanda-tanda anomali pada jaringan dan menyeimbangkan pasokan dan permintaan dengan lebih cepat.

Pada era 2021-2025, teknologi *smart grid* di Indonesia digunakan untuk mendukung tujuan tersebut diantaranya adalah sebagai berikut (PLN, 2020).

- 1) Digitalisasi pembangkit untuk peningkatan efisiensi

Digitalisasi pembangkit perlu dilakukan di seluruh lini mulai dari pemantauan, pengendalian, dan optimalisasi pembangkit. Digitalisasi ini dapat meningkatkan keandalan,

efisiensi, dan daya saing pembangkit melalui penggunaan platform digital.

Dari sisi keandalan sistem, digitalisasi pembangkit juga dapat meningkatkan *equivalent availability factor* (EAF) sekaligus menurunkan tingkat pemadaman/ *equivalent forced outage rate* (EFOR). Selain itu dapat meningkatkan efisiensi pembangkit, menurunkan *specific fuel consumption* (SFC), menurunkan *net plant heat rate* (NPHR), dan meningkatkan kualitas pelayanan listrik kepada pelanggan. Otomasi gardu transmisi dan distribusi secara selektif untuk peningkatan *power quality*;

- 2) Melakukan *distribution grid* ;
- 3) Management untuk peningkatan keandalan, efisiensi dan respons yang lebih cepat;
- 4) Membangun infrastruktur dan *e-mobility* untuk kendaraan listrik;
- 5) Mengimplementasikan *smart micro grid* untuk menurunkan biaya pokok penyediaan (BPP) di daerah terpencil, dan
- 6) Implementasi *Advanced metering infrastructure* (AMI) secara bertahap

AMI merupakan keseluruhan infrastruktur mulai dari *smart meter* hingga jaringan komunikasi dua arah untuk mengontrol peralatan, mengumpulkan semua informasi dan mentransfer energi secara *real time*. Dengan kata lain, AMI membuat mudah komunikasi dua arah antara pelanggan dan penyedia yang

merupakan tulang punggung *smart grid*. Tujuan utama AMI adalah membaca serta mendeteksi kesalahan data, masalah jaringan, pembuatan profil beban, dll.

Beberapa contoh keberhasilan penerapan teknologi *smartgrid* pada sistem pembangkit tenaga listrik pada saat ini adalah sebagai berikut (PLN, 2020).

- 1) Tahun 2015 (PLN, NEDO) : Penerapan teknologi *demand response* melalui *power quality* dan insentif tarif di kawasan industri (teknologi *smart community*) dalam bentuk integrasi ICT dengan skema bisnis tertentu untuk menunjang mekanisme *Demand response* di Karawang, Jawa Barat,
- 2) Tahun 2016 (BPPT/BRIN, NEDO, PLN) : Penerapan teknologi *smart micro grid* di Pulau Sumba, NTT untuk menguji penetrasi VRE (*variable renewable energy*) dengan grid melalui aplikasi *smart grid* ICT mendukung integrasi *micro grid* PV inverter ke grid secara bertahap,
- 3) Tahun 2017 (PLN, Telkom) : Penerapan teknologi *two-ways communication* dengan mekanisme simulasi bisnis untuk layanan data/multimedia dan *smart home* menggunakan jaringan seluler (3G/4G) di BSD Serpong untuk menguji teknologi komunikasi pada *smart meter*,
- 4) Tahun 2018 (PLN, KEPCO) : Pengujian teknologi AMI skala riil dengan melakukan instalasi 300-an meter dua arah di area Cengkareng menggunakan teknologi BPLC,

- 5) Tahun 2019 (PLN, USAID) : *Smart micro grid* di Pulau Sumba, NTT untuk menguji *smart load dispatching devices* untuk mengantisipasi intermitensi PLTS dengan ADS (*Automatic Dispatch System*) untuk Hybrid Diesel dan PV Solar.

C. Teknologi Jaringan Listrik Cerdas Masa Depan

Perkembangan teknologi *smart grid* di Indonesia kedepan mempunyai tujuan ke arah jaringan listrik yang memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kegagalan (*resiliency*), *customer engagement*, *sustainability* dan *self healing* (PLN, 2020).

Untuk itu perlu kegiatan-kegiatan untuk mencapai tujuan tersebut yaitu dengan meng-*upgrade supervisory control and data acquisition* (SCADA) menjadi *wide area monitoring protection and control* (WAMPAC), *distributed energy resources*, *integrasi energy storage*, mengimplementasikan *dynamic line rating* serta mekanisme *demand response*.

1. *Wide area monitoring protection and control*

Sistem tenaga Listrik modern memprioritaskan stabilitas operasi, karena pembangkit listrik terdistribusi akan meningkat secara luas, dan jaringan tenaga listrik diperluas dengan memasang jalur transmisi baru, dll., yang pada akhirnya menyebabkan rumitnya pengoperasian dan pengendalian jaringan tenaga listrik. Kurangnya pemantauan (*monitoring*) dan pengendalian

(*control*) yang tepat dapat menyebabkan kegagalan jaringan yang sangat besar yang dikenal sebagai pemadaman listrik (*black out*). Kemacetan (*Congestion*) dan kompleksitas dalam jaringan telah mendorong jaringan listrik untuk meningkatkan pemantauan dan pengendalian yang tepat melalui *Wide Area Monitoring Protection and Control* (WAMPAC).

WAMPACS bukan merupakan pengganti SCADA, namun sistem WAMPACS dapat menjadi satu kesatuan komponen terintegrasi SCADA atau merupakan *upgrade* SCADA dengan pemasangan *phasor measurement unit* (PMU) yang disinkronisasikan dengan *Global Positioning System* (GPS), dimana teknologi SCADA sebelumnya bergantung pada RTU yang tidak tersinkronisasi.

WAMPAC memungkinkan terwujudnya fungsi-fungsi baru dan *advanced* untuk mendukung pengembangan dan pengendalian jaringan transmisi dan distribusi, yaitu evaluasi stabilitas jaringan, *ampacity* dan mendeteksi kondisi jaringan kritis (Cuk Supriyadi, 2008; I Ngamroo & Cuk Supriyadi, 2009; 2010; 2011).

2. *Distributed energy resources*

Smart grid memungkinkan adanya aliran listrik dua arah. Dalam jaringan listrik konvensional, listrik hanya dapat mengalir satu arah, yaitu dari pembangkit ke konsumen. Namun, pada *smart grid*, listrik juga dapat mengalir dari konsumen ke produsen. Dengan meningkatnya penggunaan energi terbarukan, terutama panel surya, konsumen pun dapat menghasilkan listrik sendiri.

Jika listrik yang dihasilkan oleh panel surya yang dimiliki konsumen melebihi jumlah beban listrik yang dibutuhkan, maka konsumen dapat menjualnya ke produsen dengan mengalirkan listrik tersebut ke *grid*. Artinya, *smart grid* memungkinkan adanya desentralisasi pembangkitan listrik (Cuk Supriyadi, 2013; 2021). *Smart grid* diharapkan dapat jadi pemicu pertumbuhan pembangkitan listrik dari energi terbarukan, sehingga diharapkan dapat berkontribusi mengurangi emisi sebesar 446 Mton CO₂e pada tahun 2030 (Bappenas, 2022).

3. Integrasi Energy Storage untuk penetrasi Variable Renewable Energy (VRE) dan kestabilan sistem

Sistem penyimpanan energi listrik (*energy storage*) memegang peranan yang sangat penting dalam *smart grid*. Dalam sistem distribusi tenaga listrik modern dimana kebutuhan listrik yang lebih besar diperoleh dari energi terbarukan, maka *energy storage* sangat penting untuk menyimpan energi pada saat beban di luar jam sibuk dan melepaskannya pada saat beban puncak. Selain itu, *energy storage* juga mampu memasok daya aktif dan reaktif secara bersamaan dan cepat, dapat mengkompensasi fluktuasi energi terbarukan, dan dapat meredam permasalahan *low frequency oscillations* pada jaringan listrik interkoneksi (Cuk Supriyadi, 2008; Tumiran, Cuk Supriyadi, 2011). Aplikasi *energy storage* juga mencakup pengaturan beban, stabilisasi transmisi, *uninterruptible power supply* (UPS), kompensasi daya, kontrol tegangan dan peningkatan kualitas daya pelanggan, dll. Selain itu, *energy storage* juga telah berhasil diterapkan untuk memecahkan banyak masalah dalam sistem

tenaga seperti peningkatan dinamika sistem tenaga, kontrol frekuensi dalam sistem tenaga interkoneksi (Cuk Supriyadi, 2011), peningkatan kualitas daya (Chu, 2001), stabilisasi *sub-synchronous oscillations* pada turbin-generator (Devotta, 1999), *load leveling* dan lain lain.

4. *Dynamic line rating* (DLR) untuk meningkatkan ketahanan dan kemampuan *self healing*

Dynamic line rating adalah teknologi yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi transmisi dan kapasitas sistem tenaga eksisting tanpa mengubah struktur sistem serta tetap memenuhi spesifikasi teknis yang ada. Ini adalah metode yang ekonomis dan layak untuk peningkatan permintaan listrik dan integrasi energi baru. Keterbatasan utama teknologi akuisisi data saluran transmisi menjadi tantangan tersendiri. Permasalahan yang ada pada teknologi DLR ditunjukkan dari empat aspek: perolehan data, analisis persepsi, arsitektur aplikasi, dan praktik rekayasa, seperti kualitas perolehan data yang rendah, ketergantungan analisis persepsi pada parameter dan data yang dikumpulkan. tinggi, arsitektur aplikasi loop terbuka, analisis keamanan jaringan listrik secara keseluruhan kurang memadai (Yu Hou, 2020). Untuk itu, studi terkait DLR masih terbuka luas untuk meningkatkan efektivitas dalam peningkatan ketahanan jaringan listrik dan kemampuan *self healing*.

5. *Demand response*

Demand response mendorong pelanggan berperan aktif dalam mengatur beban listrik untuk menyeimbangkan jumlah pasokan dan permintaan yang pada umumnya melalui harga atau insentif moneter. *Demand response* juga merupakan sumber fleksibilitas yang penting dalam mengelola dampak penetrasi variabel energi terbarukan serta meningkatnya permintaan listrik terhadap stabilitas dan keandalan jaringan listrik. Fleksibilitas ini akan menjadi semakin penting karena jaringan listrik semakin didominasi oleh variabel energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga angin dan surya.

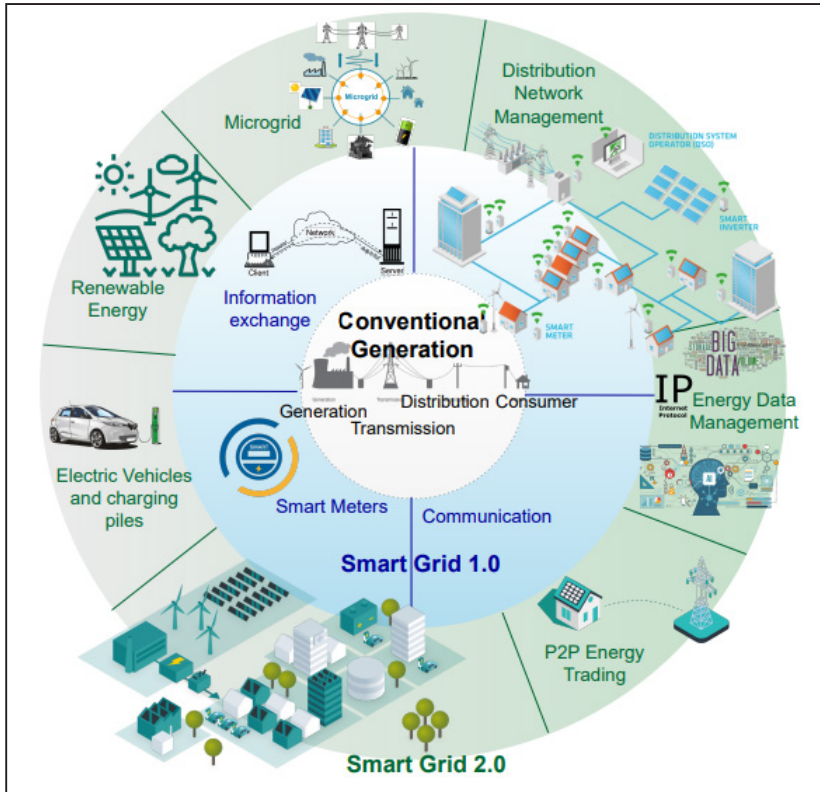
Demand response didasarkan pada dua mekanisme utama: program berbasis harga (atau implisit *Demand response*), yang menggunakan harga dan tarif untuk memberikan insentif kepada konsumen agar mengalihkan konsumsi listrik, dan program berbasis insentif (atau eksplisit *Demand response*), yang memberikan pembayaran langsung kepada konsumen yang mengalihkan permintaan listrik sebagai bagian dari program *Demand response*. Regulasi pendukung sangat diperlukan untuk kelancaran pelaksanaan *Demand response*.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi *smart grid* di Indonesia saat ini akan lebih fokus pada keandalan, efisiensi, pengalaman pelanggan, dan produktivitas jaringan. Sementara *smart grid* masa depan akan fokus pada ketahanan, keterlibatan pelanggan (*customer engagement*), keberlanjutan, dan *self-healing* (PLN, 2020).

III. RISET JARINGAN LISTRIK CERDAS UNTUK PENINGKATAN KUALITAS SISTEM TENAGA LISTRIK

Teknologi Jaringan Listrik Cerdas (*smart grid*) telah diidentifikasi sebagai inisiatif yang menarik dalam mengintegrasikan teknologi pembangkit energi terbarukan ke dalam jaringan listrik. Hal ini memungkinkan akses energi yang efisien dan andal dengan integrasi teknologi komputasi, AI, ML dan komunikasi digital (Mollah, 2020). Kekhawatiran terkait pembangkit listrik konvensional berbasis bahan bakar fosil atas kontribusinya yang tinggi terhadap pencemaran lingkungan dan terbatasnya sumber daya energi telah mengarahkan sektor listrik menuju alternatif energi ramah lingkungan selama beberapa dekade terakhir (Tabaa, 2020). Selain itu, *losses* yang tinggi pada transmisi listrik jarak jauh serta penurunan kualitas listrik memerlukan alternatif solusi melalui pembangkitan listrik terdistribusi.

Pemanfaatan lebih banyak sumber energi terbarukan dalam skala besar telah membawa dinamika dan tantangan baru dalam *smart grid*, sehingga menuntut perubahan paradigma dari sistem jaringan terpusat menuju sistem terdesentralisasi dan otomatis sesuai dengan konsep *Smart Grid 2.0*, yang juga disebut sebagai *energy internet* (EI) dalam beberapa literatur seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (Kabalci, 2019). Hal ini bertujuan untuk berbagi energi dan informasi sehingga memungkinkan integrasi energi terbarukan ke jaringan listrik (Miglani, 2020).



Sumber : Charithri Yapa (2021).

Gambar 3. Perkembangan smart grid dari konvensional ke smart grid 2.0 di masa depan

Berikut ini adalah beberapa hasil riset teknologi kunci *smart grid* yang berperan dalam peningkatan kualitas sistem tenaga listrik modern:

A. Riset *Robust Control* pada Jaringan Listrik Cerdas

Karakteristik sistem yang tidak linier, variasi konfigurasi sistem tenaga listrik yang disebabkan gangguan yang tidak dapat diprediksi, kondisi pembebanan dll, dapat menyebabkan berbagai ketidakpastian dalam sistem tenaga listrik. Kontroler yang dirancang tanpa mempertimbangkan ketidakpastian sistem dalam pemodelan, maka ketahanan kontroler terhadap ketidakpastian sistem tidak dapat dijamin. Hal ini dapat meningkatkan potensi kegagalan kontroler dalam melakukan stabilisasi sistem tenaga listrik. Untuk meningkatkan ketahanan controller tersebut terhadap ketidakpastian sistem, maka *feedback system uncertainties* (Gu, 2005) digunakan untuk memodelkan semua kemungkinan ketidakpastian sistem yang tidak terstruktur. Teknologi AI dan ML dimanfaatkan untuk melakukan optimasi parameter controller yang telah memasukkan ketidakpastian sistem dalam pemodelan.

Metode *robust control* yang dikembangkan telah disimulasikan pada sistem *isolated area* dalam bentuk *smart microgrid* (Cuk Supriyadi, 2008; 2009; 2011; 2012; Wahyudie, Cuk Supriyadi, 2017), pada jaringan interkoneksi pada berbagai kondisi kerja dan gangguan (Cuk Supriyadi, 2007; 2008; 2010; 2011), serta dilakukan uji simulasi pada jaringan interkoneksi dengan penetrasi energi terbarukan yang tinggi dan berbagai

jenis *energy storage* terhadap *system uncertainties* dalam sistem tenaga listrik (Cuk Supriyadi, 2007; 2008; 2009; 2011).

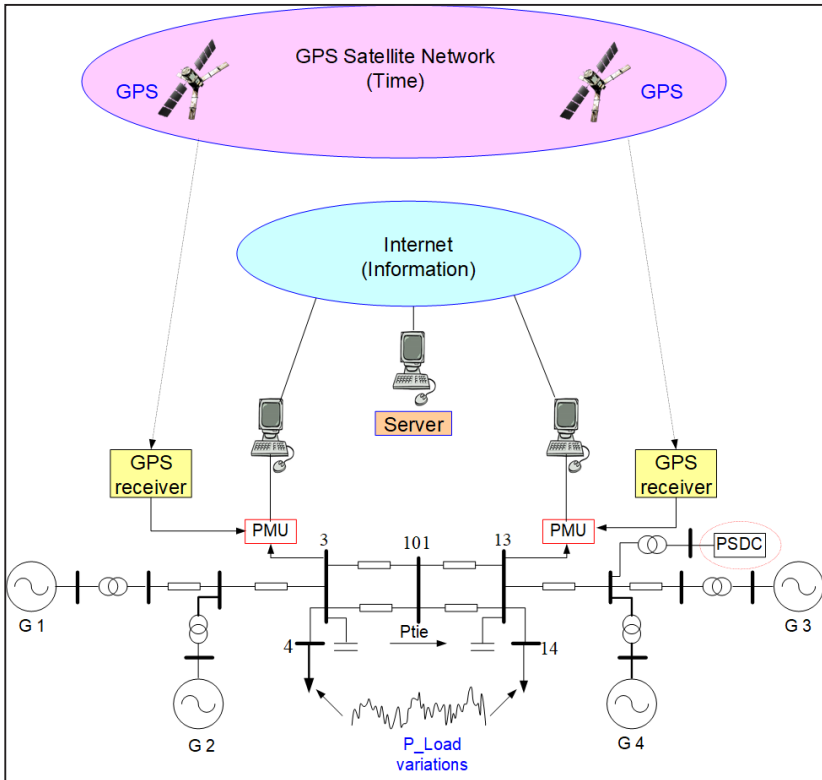
Hasil studi simulasi menunjukkan bahwa metode *robust control* yang diusulkan dapat meningkatkan kestabilan sistem tenaga listrik yang sangat baik terhadap ketidakpastian sistem dengan perubahan kondisi kerja sistem sampai 30% dari kondisi normal (Cuk Supriyadi, 2011). Keunggulan riset ini adalah memanfaatkan struktur kontroler eksisting seperti *Proportional – Integral – Derivative* (PID), *lead/lag controller* sehingga operator sistem tenaga listrik tidak memerlukan biaya investasi tambahan dengan peningkatan kualitas stabilisasi yang tinggi dan *robust*. Riset ini telah menghasilkan 22 publikasi internasional.

B. Riset *Wide Area Monitoring* dan kendali pada Jaringan Listrik Cerdas

Awal mula aplikasi *phasor measurement unit* (PMU) dilakukan oleh *Virginia Tech* dan *Cornell University* dengan memulai penelitian dalam mengembangkan aplikasi untuk pengukuran fasor. Riset yang diajukan adalah mengoptimalkan data PMU untuk sistem kontrol umpan balik menggunakan pengukuran fasor.

Mekanisme *wide area monitoring* dan *robust control* membutuhkan minimal 2 unit PMU yang dipasang pada sistem tenaga Listrik seperti terlihat pada Gambar 4. PMU no. 1 dipasang pada busbar yang memiliki mode osilasi antar area (*inter area oscillation*) secara signifikan, sementara PMU lainnya dipasang pada busbar sebagai referensi sudut fase. Fasor yang diukur

pada PMU 1 dan PMU 2 ditransmisikan melalui internet ke *server* dan disinkronkan oleh sinyal GPS. Oleh karena itu, data fasor yang diukur dapat dibandingkan satu sama lain tanpa *delay* komunikasi dengan memanfaatkan teknologi AI dan ML.



Sumber : Cuk Supriyadi dkk (2010)

Gambar 4. Sistem stabilisasi berbasis wide area monitoring

Teknologi filter *discrete fourier transform* (DFT) digunakan untuk menghilangkan *noise* pada data. Setelah *noise* dieliminasi, maka data murni akan diekstraksi ulang dengan menggunakan *inverse DFT* (IDFT) ke komponen frekuensi tanpa *noise* pada data osilasi lokal maupun *noise* frekuensi tinggi. Dengan demikian, data yang sudah terfilter tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan mode osilasi dominan yang akan dimanfaatkan untuk identifikasi sistem. Dengan cara ini, kita dapat memodelkan sistem tanpa harus mengetahui data sistem yang kompleks dan pada umumnya parameter tersebut tidak dapat kita peroleh secara lengkap.

Untuk menguji metode tersebut, sejumlah studi simulasi telah dilakukan pada sistem tenaga listrik dengan penetrasi energi terbarukan kapasitas tinggi (Cuk Supriyadi, 2008; I Ngamroo & Cuk Supriyadi, 2009; Cuk Supriyadi, 2010; 2011). Riset ini menghasilkan 6 publikasi internasional.

Riset tersebut telah memanfaatkan 2 teknologi sekaligus yaitu teknologi *wide area monitoring* dan teknologi *robust control* dengan memanfaatkan teknologi AI dan ML dengan keunggulan sebagai berikut:

- 1) Metode ini dapat digunakan pada sistem tenaga jaringan interkoneksi dengan berbagai konfigurasi, tidak hanya untuk sistem jaringan struktur longitudinal;
- 2) Teknologi ini dapat melakukan identifikasi sistem tanpa mengetahui parameter sistem secara keseluruhan, dapat mengeliminasi *noise* sinyal dibawah 0,2 Hz. dan diatas 0,8

Hz. sehingga sinyal utama dapat menggambarkan kondisi kesehatan sistem tenaga listrik lebih akurat sebagai dasar improvisasi kestabilan sistem tenaga listrik. Pada akhirnya, tanpa ketersediaan semua parameter sistem, data fasor yang diperoleh dari pengukuran menggunakan *wide area monitoring* dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi model dan kemudian untuk mendesain *robust control*;

- 3) Metode yang diusulkan dapat mempermudah *control engineer* karena tidak memerlukan informasi rinci dan model dari sistem tenaga listrik;
- 4) Metode yang diusulkan mampu melakukan optimasi berbagai struktur controller seperti PI, PID, Lead-lag dll. Ini meningkatkan fleksibilitas dan implementasi praktis dari metode yang diusulkan.

C. Riset *Adaptif Robust Control* pada Jaringan Listrik Cerdas

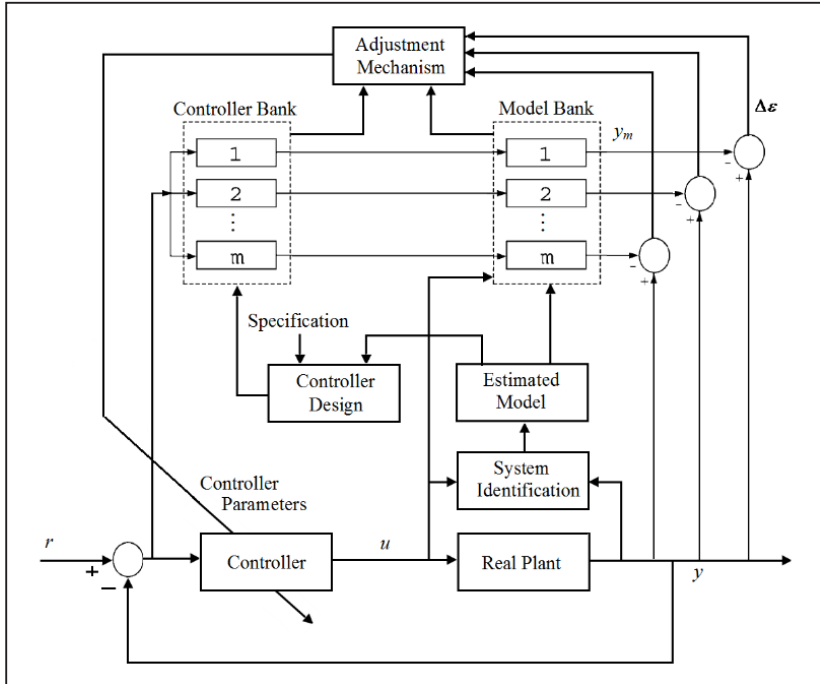
Penetrasi energi terbarukan yang besar dan tidak stabil menyebabkan penyimpangan frekuensi. Jika sebagian besar beban dipasok oleh energi terbarukan jenis *variable renewable energy*, output daya generator konvensional akan berkurang signifikan. Ini menyebabkan pengurangan konstanta inersia total dan membuat kemampuan stabilitasi sistem tenaga listrik menjadi rendah. Untuk mengatasi masalah ini, kontroler seperti *power system stabilizer*, penyimpanan energi, perangkat *Flexible AC Transmission Systems* (FACTS), dll harus dituning dengan benar. Namun ketika variasi konstanta inersia total sangat

besar, kita perlu menggunakan *adaptive controller* yang dapat menyesuaikan sistem tenaga listrik terhadap perubahan kondisi operasi. Sehingga perlu adanya riset terkait *adaptive robust* untuk memperbaiki teknologi kontrol adaptif konvensional.

Dalam kontrol adaptif robust, teknik identifikasi sistem dan metode desain *robust control* digabungkan menjadi desain pengontrol adaptif seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Peran AI dan ML yaitu dalam proses model identifikasi untuk melihat perbedaan antara output sistem daya aktual dan output model secara *real time* dan kontinyu. Ketika terdeteksi perbedaan sistem yang besar, satu set parameter baru dari kontroler akan dipicu untuk beradaptasi dengan situasi baru. Desain *robust control* digunakan untuk menjamin ketahanan kontroler. Beberapa model identifikasi dan parameter kontroler yang dihasilkan akan disimpan dalam memori, sehingga sistem memiliki *bank* model dan parameter kontroler. *Bank* model dan parameter kontroler memberikan keuntungan antara lain sistem tenaga listrik dapat menggunakan kembali model identifikasi tersebut pada saat kondisi operasional yang sama tanpa melakukan identifikasi model dan *re-tuning* parameter kontroler.

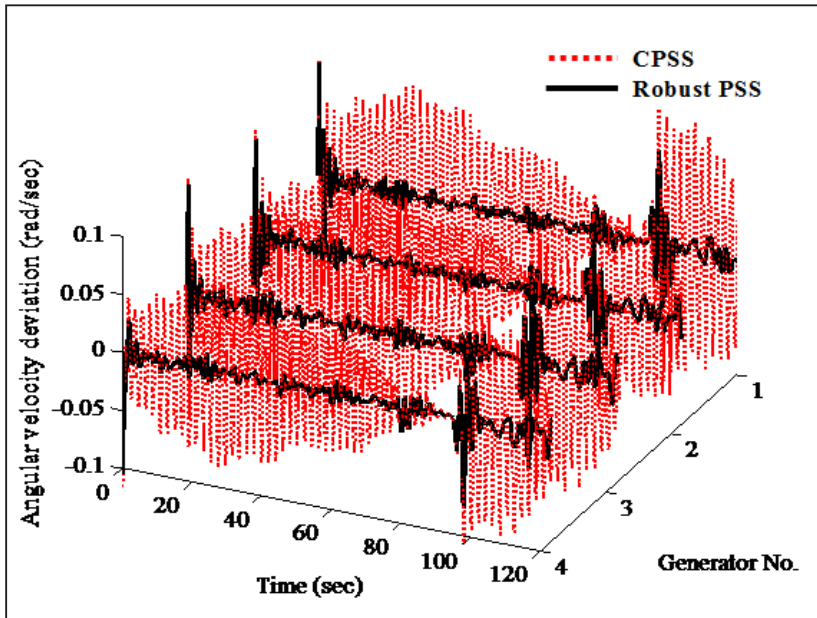
Sejumlah studi simulasi telah dilakukan pada sistem tenaga listrik dengan penetrasi energi terbarukan yang tinggi, hasil simulasi menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat diterapkan pada sistem tenaga listrik yang sangat ekstrem dengan perubahan parameter lebih dari 30% dan perubahan struktur sistem tenaga listrik yang dikarenakan kegagalan ekstrem

atau terlepasnya sumber energi terbarukan yang besar pada sistem tenaga listrik seperti diperlihatkan pada Gambar 6 (Cuk Supriyadi, 2012; 2013; 2014; 2021). Riset ini menghasilkan 6 publikasi internasional.



Sumber : Cuk Supriyadi Ali Nandar dkk (2021)

Gambar 5. Diagram arsitektur kontrol adaptif dan robust.



Sumber: Cuk Supriyadi Ali Nandar dkk. (2013)

Gambar 6. Respon sistem sebelum dan setelah robust controller

Riset ini memiliki memiliki keunggulan fitur sebagai berikut.

- 1) Operator sistem tenaga listrik tetap menggunakan struktur kontroler eksisting (*Proportional – Integral – Derivative* atau *Lead/lag controller*) dengan mempertimbangkan ketahanan dan adaptivitas. Penggunaan struktur kontroler eksisting akan mudah diimplementasikan oleh operator sistem tenaga listrik tanpa tambahan biaya. Dengan mempertimbangkan ketahanan, perubahan parameter kontroler dapat diminimalisir dan perubahan parameter dilakukan pada saat yang tepat saja.

- 2) Model hasil identifikasi dilengkapi dengan kontroler *virtual*. Kelebihan dari fitur ini adalah proses *tuning* parameter kontroler dapat dilakukan tanpa mengganggu kontroler riil yang sedang beroperasi. Kontroler *virtual* dioptimasi dari model matematika sistem sehingga lebih fleksibel dan biaya rendah.
- 3) Sistem yang dikembangkan mampu menyimpan beberapa model dan parameter kontroler yang mewakili berbagai kondisi operasional sistem pada “Bank model identifikasi dan parameter kontroler” Data ini akan digunakan kembali dalam situasi operasi sistem tenaga listrik yang sama tanpa melakukan identifikasi model dan tuning parameter kontroler lagi.
- 4) Jika terdapat lebih dari 1 (satu) kontroler, maka sistem dapat mengidentifikasi dan melakukan *tuning* parameter kontroler secara independen. Sehingga tidak memerlukan sistem komunikasi khusus yang dapat menekan biaya investasi.

D. Riset dan Pengembangan *Smart Demand*

Salah satu inisiatif utama dalam peta jalan pengembangan teknologi *smart grid* di Indonesia adalah membangun infrastruktur kendaraan listrik dan *e-mobility* untuk kendaraan Listrik (PLN, 2020). Secara global, penggunaan kendaraan listrik yang merupakan komponen kunci dalam upaya mencapai mobilitas perkotaan yang berkelanjutan mengalami pertumbuhan yang pesat. Kendaraan listrik dapat memainkan peran utama dalam menyediakan solusi hemat energi dan berkelanjutan

untuk utilitas, kota, dan negara. Ketersediaan stasiun pengisian daya merupakan suatu keharusan untuk meningkatkan adopsi kendaraan listrik.

Dengan adanya infrastruktur pengisian ulang, kendaraan listrik juga dapat membantu mengurangi beban pada *smart grid*, karena kendaraan listrik dapat mengambil daya dari jaringan saat sedang proses pengisian, dan mengembalikan daya saat permintaan tinggi. Ini adalah konsep yang disebut “*vehicle to grid*”. Dengan menggunakan banyak baterai yang dikoneksikan ke *smart grid* di seluruh wilayah layanannya, perusahaan utilitas berpotensi menyuntikkan daya ekstra ke jaringan listrik selama beban puncak (Holland, 2018).

Sejak tahun 2016 sampai saat ini, sedang dilakukan pengembangan komponen utama transportasi listrik yaitu motor propulsi pada sepeda motor listrik, Traktor listrik, perahu listrik dan kapal (Cuk Supriyadi, 2017; Dewi Rianti, Cuk Supriyadi dkk, 2023). Selain itu juga pengembangan *charging system* untuk roda 2, roda 4. Riset ini telah menghasilkan 12 Publikasi dan 4 KI serta memiliki teknologi kunci sebagai berikut.

- 1) Teknologi motor fluks aksial berbasis belitan *printed circuit board* (PCB) pada stator mengurangi material core sekitar 50% dari motor konvensional, mempermudah proses manufakturnya serta peningkatan TKDN sebesar lebih dari 45%.
- 2) Teknologi motor *submersible* yang dapat digunakan pada kapal tanpa pemakaian *gear box* dan pelumasan sehingga lebih ramah lingkungan, menghindari kebocoran oli di laut.

E. Peran Teknologi AI/ML pada *Smart Grid*

Integrasi teknologi AI dan ML dalam *smart grid* menawarkan banyak keuntungan dalam hal efisiensi energi dan manajemen jaringan listrik, diantaranya untuk digitalisasi pembangkit dan jaringan distribusi, perkiraan beban dan manajemen permintaan beban puncak, keandalan dan stabilitas jaringan, *demand response*, deteksi pencurian energi, pengurangan biaya, pemeliharaan proaktif, dan pemodelan pembangkit listrik virtual.

Menurut laporan Badan Energi Internasional, AI dan ML dapat mengurangi konsumsi energi global hingga 10% pada tahun 2040, sehingga memberikan kontribusi yang signifikan dalam menanggulangi perubahan iklim dan mendukung energi keberlanjutan. Meskipun AI dan ML dapat membuat kemajuan signifikan dalam meningkatkan efisiensi energi pada *smart grid*, potensi pengembangan dan peningkatan lebih lanjut sangatlah besar. Masih terdapat beberapa tantangan dalam penerapan AI dan ML. Tantangan utama yang dihadapi adalah privasi dan keamanan data. Peluang penerapan AI dan ML kedepan pada *smart grid* diantaranya adalah integrasi dengan komputasi awan, *fog computing*, *transfer learning*, dan prediksi perilaku konsumen.

IV. RELEVANSI, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI PENGEMBANGAN JARINGAN LISTRIK CERDAS PADA SISTEM TENAGA LISTRIK DI INDONESIA

Pengembangan teknologi *smartgrid* tidak lepas dari penetrasi energi terbarukan yang menjadi tulang punggung pencapaian target *net-zero emission*. Kedepan porsi energi terbarukan akan semakin tinggi sesuai dengan komitmen pemerintah dalam memenuhi target *net zero emission* pada tahun 2060. Keterbatasan energi terbarukan berupa intermensi dan rendahnya sistem inersia dapat menurunkan kehandalan dan kestabilan sistem tenaga listrik. Sehingga permasalahan tersebut harus segera diantisipasi sejak dini. Riset teknologi *smart grid* untuk peningkatan keselamatan, keandalan, efisiensi dan kualitas pasokan tenaga listrik sangat relevan dengan isu-isu tersebut.

Hasil riset metode *robust control* dengan sistem identifikasi sistem tenaga listrik telah diterapkan untuk stabilisasi *pilot plant* pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) skala kecil 3 MW di Kamojang, Jawa Barat yang dibangun oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional. Hasil riset pengaruh intermitensi energi terbarukan PLT Bayu di Selatan Yogyakarta pada *smart grid* telah disimulasikan dengan penggunaan *adaptive robust control* untuk meningkatkan stabilitas sistem tenaga Listrik dengan penetrasi tinggi energi terbarukan yang bersifat fluktuasi. Selain itu hasil riset simulasi tenaga ombak di Pantai Selatan pulau

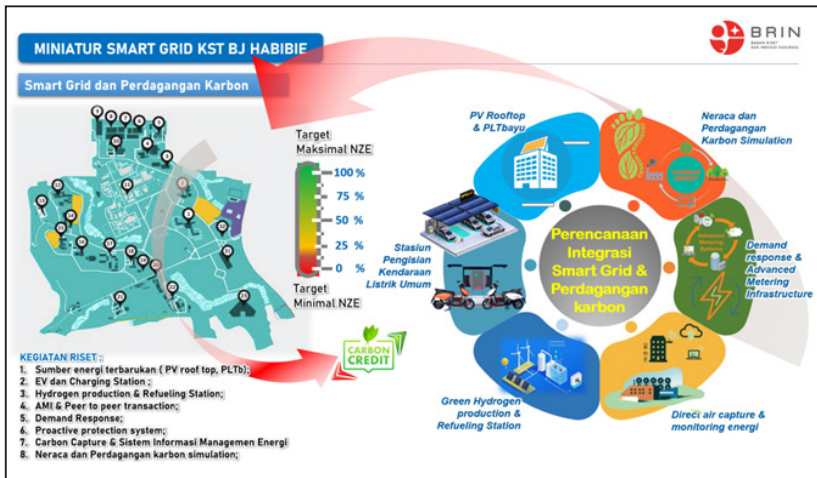
jawa telah dilakukan untuk mengetahui potensi pemanfaatan pembangkit tenaga energi laut sebagai salah satu rujukan pemerintah dalam perencanaan PLT energi laut yang saat ini masih belum berkontribusi dalam energi terbarukan nasional.

Hasil riset pengembangan motor listrik induksi *submersible* telah diaplikasikan untuk *electric bow thruster* pada kapal kontainer 100 Teus dan kapal kenavigasian oleh Kementerian Perhubungan melalui Industri manufaktur mitra PT. Risea propulsion Indonesia. Sedangkan hasil riset desain dan prototipe motor listrik non induksi juga telah melalui uji laboratorium dan dimanfaatkan oleh mitra manufaktur PT. Octagon dan PT. PLN engineering pada uji coba konversi perahu listrik.

Hasil-hasil riset yang telah diperoleh juga dapat mendukung peta jalan pemanfaatan energi terbarukan sampai 2060 dalam pencapaian target *net-zero emission* dan mendukung pemerintah dalam pelaksanaan regulasi untuk pengembangan *smart grid* yang tertuang pada Keputusan Menteri (Kepmen) ESDM Nomor 143 K/20/MEM/2019, Kepmen ESDM Nomor 39 K/20/MEM/2019, Peraturan Presiden Nomor 18/2020 serta pelaksanaan program *smart grid* dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) tahun 2021-2030.

Berdasarkan peta jalan pengembangan *smart grid* di Indonesia (PLN, 2020), dimana pada tahun 2026 dan seterusnya, teknologi *smart grid* akan lebih ditekankan pada Ketahanan (*resiliency*), keterlibatan pelanggan (*customer engagement*), keberlanjutan (*sustainability*), dan penyembuhan diri (*self healing*). Untuk mendukung realisasi peta jalan tersebut, peluang riset yang akan

dilakukan oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional ditunjukkan pada Tabel 1. Kawasan Sains dan Teknologi BJ Habibie - BRIN dapat dijadikan sebagai miniatur riset dan ujicoba berbagai fitur teknologi *smart grid* sebelum diimplementasikan di skala lebih besar seperti diperlihatkan pada Gambar 7.



Sumber: Kegiatan Riset Cuk Supriyadi Ali Nandar dkk. (2023-2026)

Gambar 7. Strategi Pengembangan miniatur smart grid dan perdagangan karbon di KST B.J Habibie - BRIN (pendanaan RIIM dan rencana kerjasama dengan PLN Litbang)

Tabel 1. Peta jalan riset teknologi *smart grid* di BRIN

Tujuan	2021-2025	2026 dan seterusnya
	Keandalan, efisiensi, <i>customer experience</i> dan produktivitas grid	Ketahanan (<i>resiliency</i>), keterlibatan pelanggan (<i>customer engagement</i>), keberlanjutan (<i>sustainability</i>), dan penyembuhan diri (<i>self healing</i>)
Aktivitas Riset	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Riset Proyeksi dan Interkoneksi <i>Distributed Energy Resources</i> (mis. PV atap, turbin gas mikro, hidrogen, energi angin dll) ▪ Riset Integrasi berbagai <i>Energy Storage</i> untuk integrasi energi terbarukan intermiten dan kestabilan sistem ▪ Riset monitoring dan optimasi <i>Smart Micro Grid</i> untuk di daerah terpencil ▪ Riset <i>Wide Area Monitoring System, Kendali dan preventive protection</i> untuk meningkatkan ketahanan sistem ▪ Riset manajemen jaringan distribusi untuk peningkatan keandalan, efisiensi dan respon yang lebih cepat ▪ Riset <i>dynamic line rating</i> untuk meningkatkan ketahanan dan kemampuan <i>self healing</i> ▪ Riset infrastruktur EV dan <i>e-mobility</i> untuk transportasi listrik ▪ Riset mekanisme <i>demand respons</i> melibatkan pelanggan skala besar untuk efisiensi sistem ▪ Riset AMI dan peer to peer transaction ▪ Riset carbon capture dan sistem informasi manajemen energi untuk peningkatan efisiensi ▪ Riset Neraca dan Perdagangan Karbon 	

Indonesia sebagai negara berkembang tentu akan menghadapi tantangan terkait penerapan *smartgrid* sebagai konsep baru dari jaringan listrik. Tantangan dalam mengembangkan *smart grid* di Indonesia dibagi menjadi 4 sektor, yaitu teknologi, kebijakan dan regulasi, pelanggan serta sumber daya manusia (Denny Haryanto, 2021). Pada kesempatan ini, mengingat teknologi *smart grid* yang dapat digunakan untuk mendukung program *net zero emission* maka rekomendasi yang dapat diusulkan adalah:

- 1) pembuatan miniatur penerapan teknologi *smatgrid* pada kawasan khusus sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam penerapan teknologi *smart grid* pada lingkungan aktual yang lebih besar;
- 2) pelaksanaan petajalan yang telah disusun secara konsisten sehingga perkembangan teknologi *smart grid* dalam memberikan manfaat yang nyata sesuai dengan perkembangan sistem tenaga listrik modern;
- 3) Pemerintah harus terus mencari solusi menghadapi sejumlah tantangan dalam pengembangan teknologi *smart grid*. Selain regulasi yang ada, salah satu caranya adalah dengan menginisiasi skema pendanaan melalui sektor perbankan dalam pembiayaan pembangunan infrastruktur tersebut. *Smart grid* menawarkan tarif yang dinamis untuk memotivasi pengguna melakukan penghematan. Hal itu membutuhkan kebijakan pendukung oleh pemerintah terkait penyesuaian tarif antara lain, tarif dinamis, tarif variabel, tarif *time of the day* (ToD), tarif *rule-based* dan lainnya termasuk program *Demand response* (Datta,2014). Kebijakan *feed-in tariff*

juga dibutuhkan untuk mengakomodir jual beli energi listrik dari sumber EBET;

- 4) Pemberian insentif terhadap pengguna EBET juga harus dilakukan dalam rangka percepatan pemanfaatan EBET, dan
- 5) Standarisasi juga merupakan isu penting dalam penerapan *smart grid*, oleh karena itu pemerintah melalui Badan Standarisasi Nasional (BSN) harus membuat standarisasi *smart grid* atau mengadopsi standar yang sudah digunakan secara internasional.

V. KESIMPULAN

Sektor energi ditargetkan berkontribusi sebesar 15,5% terhadap target *net zero emission* tahun 2060 sehingga pemanfaatan energi terbarukan menjadi suatu keharusan dengan segala tantangannya. Hasil riset teknologi *smart grid* diharapkan dapat menjadi solusi terhadap permasalahan fluktuasi, ketahanan, keandalan, efisiensi, dan produktivitas jaringan.

Pemanfaatan teknologi *adaptive robust control* dapat meningkatkan kestabilan sistem tenaga listrik pada kondisi operasi yang sangat ekstrem yaitu sistem mengalami perubahan parameter lebih dari 30% terhadap kondisi operasi normal.

Penggunaan teknologi *Wide area monitoring* mampu melakukan pengukuran jaringan listrik pada area yang luas dan melintasi batas kendali tradisional. Teknologi ini dapat mengeliminasi *noise* data sistem dibawah 0,2 Hz. dan diatas 0,8 Hz. sehingga data utama dapat digunakan untuk meningkatkan stabilitas, memonitor kejadian-kejadian situasional pada area yang luas, dan menggunakannya sebagai dasar analisis lanjutan secara akurat tanpa perlu mengetahui semua parameter sistem tenaga listrik yang kompleks.

Selain itu, pengembangan pada sisi *demand* juga sangat penting dalam sistem *smart grid*. Pengembangan komponen motor propulsi *PCB based axial flux* sebagai jantung kendaraan listrik sangat dibutuhkan oleh industri. Pemanfaatan teknologi ini diharapkan dapat mengurangi pemakaian *material core* dan *winding* sekitar 50% dengan capaian TKDN lebih dari 45%.

Teknologi *machine learning*, *artificial intelligence*, dan *IOT* mempunyai peran penting dalam pengembangan teknologi *smart grid* diatas sehingga penerapannya akan semakin mudah, akurat, cepat, dan murah.

VI. PENUTUP

Tantangan kedepan pengembangan *smart grid* adalah untuk menjawab isu-isu terkait transisi energi yaitu *decarbonization*, *digitalization*, *decentralization*, dan *deregulation*, sekaligus menjawab tantangan penyediaan tenaga listrik di Indonesia yang memperhatikan aspek *efficiency/losses*, *reliability*, *resiliency* dan *sustainability*.

Pemerintah berkomitmen dan mendorong perkembangan *smart grid* di Indonesia dengan melakukan beberapa pilot project *smart grid*, memasukkan proyek *smart grid* dalam RPJPM sebagai salah satu PSN (Proyek Strategis Nasional) sesuai PERPRES No. 18 tahun 2020.

Peran *Artificial Intelligent* (AI) dan *Machine Learning* (ML) sangat penting dalam aplikasi *smart grid*. Algoritma AI dan ML dapat digunakan untuk menganalisis data dan membuat keputusan cerdas untuk meningkatkan efisiensi energi, keandalan, *customer experience* dan produktivitas jaringan listrik. Selain itu, AI dan ML dapat mendukung implementasi *smart grid* dalam peningkatan ketahanan (*resiliency*), *customer engagement*, *sustainability* dan *self healing* sistem jaringan kelistrikan.

Harapan ke depan adalah pembangunan *smart grid* yang melibatkan semua stakeholder dan sinergi antara pembuat kebijakan baik Pemerintah pusat maupun Pemerintah daerah, swasta, pemilik teknologi, perbankan, dan akademisi untuk mengintegrasikan teknologi *smart grid* dengan kurikulum pendidikan guna mendukung riset. Sehingga *smart grid* dapat berkontribusi dalam mendukung program pemerintah mencapai target *net zero emission* (NZE) pada tahun 2060.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada akhir orasi, perkenankan saya menyampaikan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas berkat yang dilimpahkan-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan orasi ini dan mengemban amanah kepala pusat riset di Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi (PRKKE), Organisasi Riset Energi dan Manufaktur, Badan Riset dan Inovasi Nasional sebagai bagian dari pengabdian saya kepada-Nya. Pada kesempatan yang berbahagia ini, perkenankan saya menyampaikan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Prof. Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Wakil Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., DESD., ASEAN Eng.; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D, dan para anggota Majelis Pengukuhan Profesor Riset serta Tim Penelaah Naskah Orasi, Prof. Ir. Amiral Aziz, M.Sc., APU, Prof. Dr. Ir. Rizqon Fajar, M.Sc., Prof. Ir. Sarjiya, S.T., MT., Ph.D., IPU.

Terima kasih kepada Sekretaris Utama BRIN, Nur Tri Aries Suestiningtyas, M.A.; Kepala Organisasi Riset Energi dan Manufaktur – Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Haznan Abimanyu, M.Sc.; Kepala BOSDM BRIN, Ratih Retno

Wulandari, S.Sos., M.Si.; Prof. Dr. Ir. Lamhot Parulian Manalu, Msi.; Para Kepala Pusat Riset, Koordinator dan sekretaris di lingkungan Organisasi Riset Energi dan Manufaktur, dan Panitia Pelaksana Pengukuhan Profesor Riset serta pihak-pihak lain yang berkenaan dengan penyelesaian naskah orasi ilmiah ini.

Dalam menjalani pendidikan, tak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada guru-guru SD, SMP, dan SMA yang telah membimbing dalam menempuh pendidikan dasar. Ucapan terima kasih kepada Prof. Issarachai Ngamroo yang telah membimbing penulis sampai jenjang S2 di KMTIL. Prof. Tadahiro Goda yang memberikan bimbingan dalam penyelesaian studi S3 di Kyushu University.

Saya menghaturkan sungkem dan terima kasih kepada kedua orang tua, Bapak Muh Tasrim (alm.) dan Ibu Munawaroh (alm.), yang telah sabar dan penuh ikhlas dalam membesarkan, membimbing, mendidik, dan memberikan doa atas pencapaian saya selama ini. Untuk istriku, Dewi Pusparini, dan anak-anakku, Nur Aini Malihah, Katara Velda Naila, Muhammad Wafi Hikaru, dan Abdurrahman Husein Alfarizi, terima kasih atas kesabaran, dukungan, dan doanya untuk Bapak dalam meniti karier sebagai peneliti. Terima kasih kepada Bapak Moh. Mochtar, Bulik Jamiyati yang telah membimbing sejak masa SMA sampai sekarang, Bapak/Ibu mertua, Bapak Suprandojo (alm.), Ibu Titin Wariyanti, kepada kakak-kakak dan adik-adik tercinta atas dukungan serta doanya.

Terima kasih kepada para peneliti, perekayasa, teknisi, litkayasa, dan jabatan fungsional lainnya di PRKKE atas

dukungannya. Kepada para undangan, hadirin, dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah hadir memberikan dukungan kepada saya, saya ucapkan terima kasih. Akhir kata, semoga orasi ilmiah saya bermanfaat untuk pengembangan teknologi *smart grid* yang berkelanjutan di bidang energi di Indonesia. Semoga Allah SWT melindungi dan memberkati kita semua, Aamiin YRA

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, P. (2023), *Percepat Pencapaian Target NDC, Pemerintah Optimalkan Sumber EBT untuk Interkoneksi Jaringan Listrik*, ESDM Siaran Pers. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2023/06/02/3487/percepat.pencapaian.target.ndc.pemerintah.optimalkan.sumber.ebt.untuk.interkoneksi.jaringan.listrik>
- A. Miglani, N. Kumar, V. Chamola, S. Zeadally (2020). Blockchain for Internet of Energy Management: Review, Solutions, and Challenges. *International Journal on Computer Communications*, 151, 395–418. doi:10.1016/j.comcom.2020.01.014
- Asep A.S, **Cuk Supriyadi, A.N.**, Dewi R.M, Katri Y (2018). A 250 kW Three Phase Induction Motor Design for Electric Bow Thruster. *Proceeding in 2018 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science* (247-252). doi: 10.1109/ICECOS.2018.8605242.
- Asep A.S, **Cuk Supriyadi, A.N.**, Katri Y, Dewi R.M (2017). Electric propulsion system and overhead line test track design for high floor trolley bus. *Proceeding in 2017 International Conference on Electrical Engineering and Informatics* (153-158). doi: 10.1109/ICELTICS.2017.8253241.
- Asih, K., Abdul, W.S., Moch Arief, A., Galih, P.D., Danang, Y., Tisha, AA. J., Abdul, A.B., **Cuk Supriyadi, A.N.** (2023), A Method Estimating Plug's Power Usage Pattern for Public Electric Vehicle Charging Stations within Multi-Uncertainty Parameters in Indonesia Urban Area, *International Journal of Evergreen*, 10(3). 1904-1915. DOI:10.5109/7151744.

- A Wahyudie, MA Jama, TB Susilo, O Saeed, **Cuk Supriyadi A.N.**, K Harib (2017), Simple bottom-up hierarchical control strategy for heaving wave energy converters, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 87, 211-221. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.10.010>
- Bao, L., Huang, Z., Xu, W. (2023), Online voltage stability monitoring using VAR reserves,” *International Journal of IEEE Transactions on Power Systems*. 18(4), 1461-1469. DOI: 10.1109/TPWRS.2003.818706
- Bappenas (2022), *Updated NDC Indonesia Untuk Masa Depan Yang Tangguh Iklim*, <http://greengrowth.bappenas.go.id/updated-ndc-indonesia-untuk-masa-depan-yang-tangguh-iklim/>
- Biro Perencanaan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2022), *Peta Jalan Net Zero Emission (NZE) 2060 Sektor Energi*, FGD Skenario Transisi Energi Menuju Net- Zero Emission Tahun 2060, BRIN, Jakarta, 12 Desember 2022.
- Budi N.F, Harry P, M. Adhynugraha, **Cuk Supriyadi A.N.** (2018). Shaft Mechanical Design of 250 kW Electric Motor. *Proceeding in 2018 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (309-314)*. doi: 10.1109/ICECOS.2018.8605227.
- Charithri, Y., Chamitha, d. A., Madhusanka, L., Janaka, E. (2021), Survey on blockchain for future smart grids: Technical aspects, applications, integration challenges and future research. *International Journal of Energy Reports*, 7, 6530-6564. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.09.112>.
- Chu, X., Jiang, X., Lai, Y., Wu, X., and Liu, W. (2001). SMES Control Algorithms for Improving Customer Power Quality. *International Journal of IEEE Trans. on Applied Superconductivity*, 11, 1769-1772. DOI: 10.1109/77.920127
- Cuk Supriyadi, A. N.**, Hashiguchi, T. Goda, T and Tsuji, T. (2012), Design on the Coordinated Robust Controller of SMES and Blade

Pitch for Smart Grid Power System, *International Journal of IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 7 (4), 355-362. <https://doi.org/10.1002/tee.21740>

- Cuk Supriyadi, A.N.**, I. Ngamroo, S. Dechanupaprittha, M. Watanabe, Y. Mitani, T. Hashiguchi and T. Goda (2009). GPS synchronized phasor measurement units based-wide area power system stability control. Proceeding in The 1st AUN/SEED-Net Regional Workshop on Information & Communication Technology, pp.8-14, 3-4 March 2009, Bangkok, Thailand.
- Cuk Supriyadi, A. N.** (2013), *Robustness and Adaptivity Enhanced Controller Design for smart grid power systems with high renewable energy penetration*, Doctoral Thesis, Kyushu University.
- Cuk Supriyadi, A. N.** Ngamroo, I, Sarjiya, Tumiran and Y. Mitani (2010). *Design of Robust Power System Stabilizer in an interconnected Power System with Wind Power Penetrations*. InTech - Open Access Publisher, Austria.
- Cuk Supriyadi, A.N.** Arli, G. etc (2023), Optimization and analysis of excess heat utilization from an exhaust outlet in a waste incinerator plant - Case Study of the hydrodrive incinerator, West Java, Indonesia, *International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application 2024* (accepted)
- Cuk Supriyadi A.N.**, I. Ngamroo, S. Kaitwanidvilai, A. Kunakorn, T. Hashiguchi and T. Goda (2008). Robust Pitch Controller Design in Hybrid Wind-Diesel Power Generation System, *2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, Singapore, 2008, pp. 1054-1059, doi: 10.1109/ICIEA.2008.458267
- Cuk Supriyadi, A.N.**, et. Al (2022). Robust Lead-Lag Controller Design For Power System Stabilizer In An Interconnected Grid With High Renewable Energy Penetration. *Proceeding in 10th International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application* (ICSEEA).

- Cuk Supriyadi A. N.**, I. Ngamroo, S. Kaitwanidvilai, A. Kunakorn, T. Hashiguchi and T. Goda (2008). H_∞ Loop Shaping-based Robust Control Design of PSS and TCSC for Dynamic Stability Enhancement. *2008 5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, Krabi, Thailand, pp. 965-968, doi: 10.1109/ECTICON.2008.4600592.
- Cuk Supriyadi, A.N.**, Issarachai N., Somyot, K., Anantawat, K., Takuhei. H and T. Goda (2008). Robust power system stabilizer design based on genetic algorithm-fixed-structure H_∞ loop shaping control. *Proceeding in the 17th International Federation of Automatic Control*, pp.11086-11091, 6 - 11 July 2008, Seoul, Korea. <https://folk.ntnu.no/skoge/prost/proceedings/ifac2008/data/papers/2070.pdf>
- Cuk Supriyadi, A. N.** Ngamroo, I. Dechanupaprittha, S. Watanabe, M and Mitani, Y (2011). GPS synchronized phasor measurement units based-wide area robust PSS parameters optimization. *International Journal of European Transactions on Electrical Power*, 21(1), 345–362. <https://doi.org/10.1002/etep.446>
- Cuk Supriyadi, A.N.**, I. Ngamroo, Sanchai D., Masayuki W. and Yasunori M, (2008). Wide Area Robust Power System Stabilizer Design using Synchronized Phasor Measurement Units. *Proceeding in EECON31*, 29-31 October 2008, Thailand.
- Cuk Supriyadi, A.N.**, I. Ngamroo, S. Dechanupaprittha, M. Watanabe and Y. Mitani (2008). Wide Area Robust Power System Stabilizer Design based on Synchronized Phasor Measurement Units. *Proceeding in IEEJ-IET Joint Symposium on Advanced Technology in Power Systems*, 3-5 November 2008, Bangkok, Thailand.
- Cuk Supriyadi A.N.**, T. Hashiguchi and T. Goda (2011). Robust Frequency Control in an Isolated Power System using Battery Energy Storage. *Proceeding in 10th International Conference on Sustainable Energy Technologies*, İstanbul, Turkey.

- Cuk Supriyadi, A.N.,** T. Hashiguchi and T. Goda (2012). An Adaptive Control Design for Power System Stabilizer Based on Reference Model, *Proceeding in The international Conference on Electrical Engineering 2012 (ICEE 2012)*, 8-12 July 2012, Kanazawa, Japan.
- Cuk Supriyadi A.N.,** H. Takano, J. Murata, T. Goda, Sarjiya and Tumiran (2013). In-Direct Adaptive Robust PSS Control Design for Interconnected Power Systems with High Renewable Energy Penetration. *Proceeding in 6th AUN/SEED-Net Regional Conference on Energy Engineering (RCEneE)*, 6-7 September 2013, Bandung, Indonesia.
- Cuk Supriyadi, A.N.,** Takano H., Murata J., Goda T., Adaptive robust PSS to enhance stabilization of interconnected power systems with high renewable energy penetration, *International Journal of Renewable Energy*, 63, 767-774. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.044>.
- Cuk Supriyadi A.N.,** H. Takano and J. Murata (2013). An Output Error Model and Robust PSS Design for Interconnected Power Systems, *Proceeding in The International Conference on Intelligent System Application to Power System 2013*.
- Cuk Supriyadi, A.N.** (2013). Robust PI Control of Smart Controllable Load for Frequency Stabilization of Microgrid Power System. *International Journal of Renewable Energy*, 56, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.10.032>.
- Cuk Supriyadi, A.N.,** Hashiguchi, T., and Goda T. (2011). Robust PI-based Frequency Control of Isolated Wind-Diesel Power System with Coordinated Governor, Pitch and Battery Controller, *International Journal of IEEJ Transactions on Electronics, Information, and Systems*, 131 (10), 1679-1687. <https://doi.org/10.1541/ieej.iss.131.1679>
- Cuk Supriyadi, A.N.** (2008). Paramater Optimization of Pitch Controller for Robust Frequency Control in an Isolated Wind-

Diesel Hybrid Power System using Genetic Algorithm. *Journal of TELKOMNIKA*, 6(3), 145 – 154. <http://doi.org/10.12928/telkommika.v6i3.562>

- Cuk Supriyadi A.N.**, Tumiran, I. Ngamroo and T. Goda (2009). Coordinated esign of PSS and AE-based controller for stability improvement in a microgrid system. *Proceeding in The 2009 ASEAN Symposium on Power and Energy Systems*, Paper PS-12, (EEE.RC.ASPES 2009), 28-29 September 2009, Hua Hin, Thailand.
- Cuk Supriyadi A.N.**, T. Hashiguchi and T. Goda (2010). Design of Robust Static Var Compensator to Enhance Voltage Stability in a Smart grid Power System. *Proceeding in 2010 3rd International Conference on Power Electronics and intelligent Transportation System*, 20-21 November 2010, Shenzhen, China.
- Cuk Supriyadi A.N.**, Ngamroo, I., Somyot, K., Anantawat, K., Takuhei, H. and Goda, T. (2007). Robust power system stabilizer design based on genetic algorithm-fixed-structure H_{∞} loop shaping control. *Proceeding in IEEJ-IET Joint Symposium on Advanced Technology in Power Systems*, pp.7-12, 19-20 November 2007, Bangkok, Thailand.
- Cuk Supriyadi, A.N.** (2012), Design of Robust Power System Stabilizer Considering Less Control Energy. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 2(1), 99-106. <http://dx.doi.org/10.11591/ijpeds.v2i1.143>
- Cuk Supriyadi A.N.**, Asep, A.S, Dewi, R, Katri, Y., Sumardi (2017), Rancang Bangun Motor Listrik Submersible pada Aplikasi Bow Thruster Kapal. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 6(4), 455-461. Retrieved from <https://jurnal.ugm.ac.id/v3/JNTETI/article/view/2820>.
- Cuk Supriyadi, A.N** dkk (2023), *Desain Motor Listrik Magnet Permanen Internal Berbentuk V Dengan 40 Segmen Magnet Permanen Pada Slot Rotor*, Paten Terdaftar

- Cuk Supriyadi, A.N** dkk (2022), *Alat Pengendali Pengisian Kendaraan Listrik Roda Empat*, Paten Terdaftar
- Cuk Supriyadi, A.N** dkk (2022), *Tusuk Kontak Dan Kotak Kontak Pengisian Cepat Skuter Listrik Atau Moped Listrik*, Paten Terdaftar
- Cuk Supriyadi, A.N** dkk (2022), *Sistem Pendinginan Motor Listrik menggunakan Air Laut*, Paten terdaftar
- Cuk Supriyadi, A.N.**, and Ngamroo (2008), Parameters Tuning of Robust Power System Stabilizer in an Interconnected Power System with Wind Power Penetrations. *Journal of Cybernetics and Systems*, 1(2).
- Cuk Supriyadi, A.N.**, T. Hashiguchi and T. Goda (2011). Parameter Optimization of PSS and Fly Wheel Controller on Grid Connected Wind and PV System. *Proceeding in The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference on New and Renewable Energy*, Oct 12-13 2011, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- Cuk Supriyadi A. N.** et al. (2008). Inverse additive perturbation-based optimization of robust PSS in an interconnected power system with wind farms. *Proceeding in 2008 SICE Annual Conference*, pp. 237-240, doi: 10.1109/SICE.2008.4654658.
- Cuk Supriyadi, A. N.**, Issarachai, N., Sanchai, D. and Yasunori, M. (2008). Robust SMES Controller Design based on Inverse Additive Perturbation for Stabilization of Interconnected Power Systems with Wind Farms, *Proceeding in EECON31*, 29~31 October 2008, Thailand
- Cuk Supriyadi, A. N.**, Takano H., Murata, J., Goda, T. and Hashiguchi, T. (2012). Adaptive Frequency Control for Hybrid Wind-Diesel power system using system estimator. *Proceeding in 2012 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, Auckland, New Zealand, 2012, pp. 1-6, doi: 10.1109/PowerCon.2012.6401449.

- Cuk Supriyadi, A. N.,** Asep A.S, Katri Y, Dewi R.M (2017),”Development of submersible electric motor propulsion to support maritime sector in Indonesia, *Proceeding in 2017 International Conference on Electrical Engineering and Informatics* (12-17). doi: 10.1109/ICELTICS.2017.8253236
- Cuk Supriyadi A.N,** I. Ngamroo, Sarjiya, Tumiran and Y. Mitani (2010), *Design of Robust Power System Stabilizer in an interconnected Power System with Wind Power Penetrations*. Wind Power Edited by S M Muyeen, ISBN 978-953-7619-81-7, 558 pages, June 2010, InTech - Open Access Publisher, Austria.
- Cuk Supriyadi Ali Nandar** dkk (2023), *Sistem Pembangkit Listrik Organic Rankine Cycle (ORC) Pada Pengolah Sampah Menjadi Energi Listrik (PSEL) Yang Dilengkapi Sistem Online Monitoring*, Paten Terdaftar
- Cuk Supriyadi Ali Nandar** dkk (2022), *Online Monitoring Scada Untuk Turbin Uap Skala Kecil*, Desain Industri Terdaftar
- Cuk Supriyadi Ali Nandar** dkk (2023), *Turbin Hermetik Radial Outflow Tiga Tingkat Dengan Stator Tipe Non Admission*, Paten terdaftar
- Cuk Supriyadi Ali Nandar** dkk (2023), *Organic Rankine Cycle (ORC) Turbogenerator Tipe Radial Dengan Sistem Pendinginan Spiral*, Paten terdaftar
- Datta, A., Mohanty P. and Gujar, M. (2014). Accelerated deployment of Smart Grid technologies in India - Present scenario, challenges and way forward, *Proceeding in Innovative Smart Grid Technologies Conference* (1-5). 2014 IEEE PES. doi: 10.1109/ISGT.2014.6816482.
- Denny, H.S., Riz, R.O.S., Harvei, D.H. (2021), “Pemanfaatan Energi Terbarukan Dengan Menerapkan Smart Grid Sebagai Jaringan Listrik Masa Depan, *Journal Zetroem*, 3(1), 11-17. <https://doi.org/10.36526/ztr.v3i1.1251>

- Devotta, J.B.X., Rabbani, M.G., and Elangovan, S. (1999). Application of Superconducting Magnetic Energy Storage Unit for Damping of Subsynchronous Oscillations in Power Systems. *International Journal of Energy Conversion and Management*, 40, pp.23-37. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(98\)00108-3](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(98)00108-3)
- Devotta, J.B.X. and Rabbani, M.G. (2000). Application of Superconducting Magnetic Energy Storage Unit in Multi-machine Power Systems. *International Journal of Energy Conversion and Management*, 41, 493-504. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00100-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00100-4)
- Dewi, R. M., Lia, A., Arga, I.M., Endra, D.P., Amiruddin, A., Asep, A.S., Agus, K., **Cuk Supriyadi, A.N.** (2023). Reduction of Cogging Torque in Segmented Permanent Magnet BLDC Motor IPM V-Shape by Skewing Stator, *AIP Conference Proceeding*, 2932 (1) .<https://doi.org/10.1063/5.0174906>
- Dewi, R.M, Katri, Y., Lia, A., Amiruddin, A., Endra. D.P., **Cuk Supriyadi, A.N.**, (2023), Design and Optimization of Brushless DC Motor for Electric Boat Thruster. *International Journal of Evergreen*. 10 (3), 1928-1937, <https://doi.org/10.5109/7151773>
- D.W. Gu, et al. (2005). *Robust control design with MATLAB*. Springer, London.
- Dwijaya, F., Endra, D.P., Rudias, H., Budi, N.F., **Cuk Supriyadi, A.N.** (2023). Thermal growth prediction on 4 MW steam turbine casing using finite element method, *AIP Conf. Proc.* 2646 (1). <https://doi.org/10.1063/5.0113778>
- Endra, D.P., Amiruddin, A., Dewi, R.M., Lia, A., Agus, K., **Cuk Supriyadi, A.N.** (2022), Analysis of BLDC Electric Motor Shaft Treatment Model Using Numerical Method, *Jurnal Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 2022, Vol. 16, Hal 30-35. <https://doi.org/10.29122/mipi.v16i1.5263>

- Holland, Glesni (2018), *How sustainable tech is transforming Middle East utilities, Tehawul Tech*. <https://www.tahawultech.com/features/tech-electric-utilities-schneider/>
- Khamda H., **Cuk Supriyadi A.N. (2021)**, Adaptive robust control design to enhance smart grid power system stabilization using wind characteristics in Indonesia. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 12(4), 2182–2190. <http://doi.org/10.11591/ijpeds.v12.i4.pp2182-2190>
- Mah, D. N., van der Vleuten, J. M., Hills, P. and Tao, J. (2012), Consumer perceptions of smart grid development: Results of a Hong Kong survey and policy implications. *International Journal of Energy Policy*, 49. 204–216. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.05.055>.
- Marsalyana, Fandy, S.N., Achmad, R.M., Lambert, H., Nur Cholis, M., Muhammad, I.A., Katri, Y., Faisal, **Cuk Supriyadi, A.N. (2023)**, Design and analysis of 2 kW induction motor for electric motorcycle application. *AIP Conference Proceedings*. 2932. <https://doi.org/10.1063/5.0174849>
- M. B. Mollah, J. Zhao, D. Niyato, K.-Y. Lam, X. Zhang, A. M. Ghias, L. H. Koh, L. Yang (2021). Blockchain for Future Smart Grid: A Comprehensive Survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(1), 18-43. doi: 10.1109/JIOT.2020.2993601
- M. Tabaa, F. Monteiro, H. Bensag, A. Dandache (2020). Green Industrial Internet of Things from a Smart Industry Perspectives. *International Journal on Energy Reports*, 6(6). 430–446. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.09.022>.
- Mullane, A. and O'Malley, M. (2006). Modifying the Inertial Response of Power-Converter Based Wind Turbine Generators. *Proceeding on 2006 3rd IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (121-126)*. IET Publisher, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4123498>

- Ngamroo, I. **Cuk Supriyadi, A. N.**, S. Dechanupaprittha, M. Watanabe and Y. Mitani (2010), Wide area robust SMES controller design using synchronized PMUs for stabilization of interconnected power system with wind farms, *International Journal of IEEJ Transactions on Electrical and Electronics Engineering*, 5(4), 428-438. <https://doi.org/10.1002/tee.20556>
- Ngamroo, I. **Cuk Supriyadi, A.N.** Dechanupaprittha, S. Watanabe, M. Mitani, Y. (2009), A robust SMES controller design for stabilization of inter-area oscillations based on wide area synchronized phasor measurements, *International Journal of Electric Power Systems Research*, 79(12), 1738-1749. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2009.07.014>.
- Ngamroo, I., **Cuk Supriyadi, A.N.**, Sanchai, D., Yasunori, M.(2009). Power Oscillation Suppression by Robust SMES in Power System with Large Wind Power Penetration. *International Journal of Physica C, Superconductivity and It's applications*, 469 (1), 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.physc.2008.11.002>
- Ngamroo, I., **Cuk Supriyadi, A.N.**, Dechanupaprittha and Y. Mitani (2009). Stabilization of tie-line A. N. power oscillations by robust SMES in interconnected power system with large wind farms. *Proceeding in 2009 Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*, Seoul, Korea (South), 2009, pp. 1-4, doi: 10.1109/TD-ASIA.2009.5356850.
- PLN (2020), *Pengembangan Smart Grid di Indonesia*, bahan paparan PLN
- Purnama, P., Fadjrin, B.N., Adynugraha, M.I., **Cuk Supriyadi A.N.** (2019). Karakteristik Dinamik Rotor Bow Thruster 250 KW Menggunakan Pemodelan Euler-Bernoulli Beam, *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri; Journal of Industrial Research and Innovation*, 13(1), 1–8. <https://doi.org/10.29122/mipi.v13i1.13128>
- Santika, E. F. (2024, 18 Januari). Target dan Realisasi Penurunan Emisi CO2 Sektor Energi (2017-2023). Databoks. <https://databoks>.

katadata.co.id/datapublish/2024/01/18/penurunan-emisi-grk-sektor-energi-lampau-target-pada-2023

Schavemaker, P.H and Van, D.S (2008). *Electrical power system essentials*, Wiley & sons, United Kingdom.

Tumiran, **Cuk Supriyadi A.N.** Sarjiya (2011), Power Oscillation Damping Control using Robust Coordinated PSS and TCSC. *Journal of TELKOMNIKA*, 9(1). 65-72. <http://doi.org/10.12928/telkomnika.v9i1.646>

Tumiran (2011). *Control Scheme of Hybrid Wind-Diesel Power Generation System*, Wind Farms, InTech - Open Access Publisher, Austria. doi: 10.5772/15152

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2022), *Enhanced Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia*, https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022_Enhanced%20NDC%20Indonesia.pdf

Yu H., Wei W., Zheng W., Xiaojun D., Qihua Ji, Tong W., Xinqin R. (2020). Research and application of dynamic line rating technology. *Energy Reports* 6:716-730. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.140>.

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

BAGIAN DARI BUKU INTERNASIONAL

1. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, I. Ngamroo, Sarjiya, Tumiran and Y. Mitani, “Design of Robust Power System Stabilizer in an interconnected Power System with Wind Power Penetrations”, Wind Power Edited by S M Muyeen, ISBN 978-953-7619-81-7, 558 pages, June 2010, InTech - Open Access Publisher, Austria.
2. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, T. Hashiguchi, T. Goda and Tumiran, “Control Scheme of Hybrid Wind-Diesel Power Generation System”, Wind Farms, InTech - Open Access Publisher, Austria, 2011.

BUKU NASIONAL

3. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Danang Waluyo, Khamda Herbandono, Teddy Alhady Lubis, Sindu Akhadiarto,” “Rancang Bangun dan Rekayasa Mobile Laboratory Biosafety Level (BSL) 2 –Terobosan Anak Bangsa dala Bidang Kesehatan: Penanganan COVID-19” (ISBN: 978-602-410-167-1) yang diterbitkan oleh BPPT Press (anggota IKAPI No.476/DKI/III/2014) pada bulan Agustus 2020.

BAGIAN DARI BUKU NASIONAL

4. Barman Tambunan, Rudias Harmadi, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, “Rancang Bangun dan Rekayasa Pabrik Gula Modern dan Terpadu/ Bab 3. Pabrik Gula: Dalam Perspektif Teknologi Industri Permesinan” (ISBN: 978-602-410-167-1) yang diterbitkan oleh BPPT Press (anggota IKAPI No.476/DKI/III/2014) pada 2017.

JOURNAL INTERNASIONAL

5. Asih Kurniasari, Abdul Wachid Syamroni, Moch Arief Albachrony, Galih Prasetya Dinanta, Danang Yogisworo, Tisha AA Jamaluddin, Abdul Aziz Basharah, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, “A Method Estimating Plug’s Power Usage Pattern for Public Electric Vehicle Charging Stations within Multi-Uncertainty Parameters in Indonesia Urban Area, Transdisciplinary Research and Education Center for Green Technologies, 10 (3), 1904-1915, Kyushu University, 2023
6. Dewi Rianti Mandasari, Katri Yulianto, Lia Amelia, Amiruddin Aziz, Endra Dwi Purnomo, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**,”Design and Optimization of Brushless DC Motor for Electric Boat Thruster, Transdisciplinary Research and Education Center for Green Technologies, 10 (3), 1928-1937, Kyushu University, 2023
7. Haznan Abimanyu, Ahmad Fudholi, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Henny Sudiby, ”Electrical Efficiency Enhancement of Thermal-Thermoelectric Photovoltaic Hybrid Solar System (PVT-TE) by Thermoelectric Effect”, Sains Malaysiana 51(12)(2022): 4111-4124
8. Ahmad Fudholi, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Haznan Abimanyu, Arief Heru Kuncoro, Henny Sudiby, Widya Fatriasari, ”Jet impingement cooling applications in solar energy technologies:

Systematic literature review,” Thermal Science and Engineering Progress, 34(2022):101445

9. Khamda Herbandono, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**,”Adaptive robust control design to enhance smart grid power system stabilization using wind characteristics in Indonesia,”International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS), 2021
10. Wahyudie, TB Susilo, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, S Fayez, R Errouissi,”Simple Robust PID Tuning for Magnetic Levitation Systems Using Model-free Control and H_∞ Control Strategies, International Journal of Control, Automation and Systems, 1-11, 2021
11. A Wahyudie, TB Susilo, F Alaryani, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, MA Jama, A Daher, “Wave Power Assessment in the Middle Part of the Southern Coast of Java Island”,Journal of Energies 13 (10), 2633,2020
12. A Wahyudie, MA Jama, TB Susilo, O Saeed, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, K Harib, “Simple bot-tom-up hierarchical control strategy for heaving wave energy converters”,International Journal of Electrical Power & Energy Systems 87, 211-221, 2017
13. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, H. Takano, J. Murata and T. Goda, “Adaptive Robust PSS to Enhance Stabilization of Interconnected Power System with High Renewable Energy Penetration”, International Journal of Renewable Energy, Vol. 63, pp. 767-774, March 2014.
14. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, “Robust PI Control of Smart Controllable Load for Frequency Stabilization of Microgrid Power System”, International Journal of Renewable Energy, Vol. 56, pp. 16-23, 2013.
15. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, T. Hashiguchi, T. Goda and T. Tsuji, “Design on the Coordinated Robust Controller of SMES and Blade Pitch for Smart Grid Power System”, International Journal

of IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.7, No. 4, July 2012.

16. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, “Design of Robust Power System Stabilizer Considering Less Control Energy”, International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS), Vol.2, No. 1, March 2012.
17. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Takuhei Hashiguchi and Tadahiro Goda, “Stabilization of Grid Connected Wind and PV System by Coordinated PSS and Battery Controller”, ASEAN Engineering Journal Part D Vol.1 No.1 September 2012
18. **Cuk Supriyadi A. N**, T. Hashiguchi and T. Goda, “ Robust PI-based Frequency Control of Isolated Wind-Diesel Power System with Coordinated Governor, Pitch and Battery Controller”, IEEJ Transactions on Electronics, Information, and Systems, Vol.131, No.10, pp. 1679-1687, 2011.
19. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, I. Ngamroo, S. Dechanupaprittha, M. Watanabe and Y. Mitani, “GPS synchronized phasor measurement units based-wide area robust PSS parameters optimization”, International Journal of *European Transactions on Electrical Power*, Vol. 21, pp. 345–362, 2011.
20. Tumiran, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Sarjiya, “Power Oscillation Damping Control using Robust Coordinated PSS and TCSC”, Journal of TELKOMNIKA, Vol.9, No.1, pp. 65-72, April 2011.
21. I. Ngamroo, **Cuk Supriyadi Ali Nandar.**, S. Dechanupaprittha, M. Watanabe and Y. Mitani, “Wide area robust SMES controller design using synchronized PMUs for stabilization of interconnected power system with wind farms”, *IEEJ Transactions on Electrical and Electronics Engineering*, Vol.5, No.4, pp.428-438, July 2010.
22. I. Ngamroo, **Cuk Supriyadi Ali Nanda**, S. Dechanupaprittha, M. Watanabe, Y. Mitani, “A robust SMES controller design for stabilization of inter-area oscillations based on wide area

synchronized phasor measurements”, *International Journal of Electric Power Systems Research*, Vol. 79, Issue 12, pp. 1738-1749, December 2009.

23. Issarachai Ngamroo, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Sanchai Dechanupaprittha, Yasunori Mitani, “Power Oscillation Suppression by Robust SMES in Power System with Large Wind Power Penetration”, *Journal of Physica C, Superconductivity and It’s applications*, Vol.469, pp. 44–51, 2009.
24. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, and Issarachai Ngamroo, “Parameters Tuning of Robust Power System Stabilizer in an Interconnected Power System with Wind Power Penetrations”, *Journal of Cybernetics and Systems*, Vol. 1, No.2, 2008.
25. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, “Paramater Optimization of Pitch Controller for Robust Frequency Control in an Isolated Wind-Diesel Hybrid Power System using Genetic Algorithm”, *Journal of TELKOMNIKA*, Vol. 6, No. 3 , pp 145 – 154, December 2008.

JOURNAL INASIONAL

26. Endra Dwi Purnomo, Amiruddin Aziz, Dewi Rianti Mandasari, Lia Amelia, Agus Krisnowo, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**,’ Analisa Model Perlakuan Poros Motor Elektrik BLDC Menggunakan Metode Numerik, *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 2022, Vol. 16, Hal 30-35
27. H Purnama, BN Fadjrin, MI Adynugraha, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Karakteristik Dinamik Rotor Bow Thruster 250 Kw Menggunakan Pemodelan Euler-Bernoulli Beam, *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri* 13 (1), 1-8, 2019
28. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Asep A.S, Dewi R, katri Y, Sumardi,” Rancang Bangun Motor Listrik Submersible pada Aplikasi Bow

Thruster Kapal, Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi (JNTETI), 2017

PROSIDING INTERNATIONAL

29. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Arli Guardi etc (2023), Optimization and analysis of excess heat utilization from an exhaust outlet in a waste incinerator plant - Case Study of the hydrodrive incinerator, West Java, Indonesia, International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application 2024 (accepted)
30. AFathoni, HNasution, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**,” Optimization Moisture Content Using Fuzzy Logic Based on Programmable Logic Controller (PLC) for Soap Drying Process, Proceedings of The Conference on Management and Engineering in Industry 5, 2023
31. I Razaqi, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, D Hendriana, “Optimize Nitric Acid Injection PID Control Loop in Ammonium Nitrate-Scrubber System to Reduce Environmental and Human Risk of NH₃ and HNO₃ Fume, Proceedings of The Conference on Management and Engineering in Industry 5, 2023
32. S Irawan, D Hendriana, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Monitoring Engine Oil Pressure with IoT System in Multinational Heavy Equipment Company, Proceedings of The Conference on Management and Engineering in Industry 5, 2023
33. Marsalyna Marsalyna, Fandy Septian Nugroho, Achmad Ridho Mubarak, Lambert Hotma, Nur Cholis Majid, Muhammad Ilham Adhynugraha, Katri Yulianto, Faisal Faisal, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**,” Design and analysis of 2 kW induction motor for electric motorcycle application, AIP Conference Proceedings, 2023

34. Dewi Rianti Mandasari, Lia Amelia, Arga Iman Malakani, Endra Dwi Purnomo, Amiruddin Aziz, Asep Andi Suryandi, Agus Krisnowo, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, “Reduction of cogging torque in segmented permanent magnet BLDC motor IPM V-shape by skewing stator, AIP Conference Proceedings, 2023
35. Dwijaya Febriansyah, Endra Dwi Purnomo, Budi Nofiyantoro Fadjrin, Rudias Harmadi, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, “Thermal growth prediction on 4 MW steam turbine casing using finite element method, AIP Conference Proceedings, 2023
36. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Katri Yulianto, Marsalya, Ahmad Ridho Mubarak, Addy Wahyudie, “Robust Lead-Lag Controller Design For Power System Stabilizer In An Interconnected Grid With High Renewable Energy Penetration”, 10th International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA), 2022
37. Dwijaya Febriansyah, Endra Dwi Poernomo, Rudias Harmadi, Budi Nofiyantoro Fadjrin, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, “Thermal growth prediction on 4 MW steam turbine casing using finite element method”, Annual Applied Science and Engineering Conference 2021 (AASEC 2021)
38. Andri Prasetyo, Hanny J Berchsman, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, “Travel Mis-Operation Prevention Using Automatic Warning System for Excavator” Proceedings of The Conference on Management and Engineering in Industry, 2021
39. Robi Tubagus Yuni, Dena Hendriana, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Monitoring Heavy Equipment Coolant Temperature to Prevent Engine Overheat Using IoT, Proceedings of The Conference on Management and Engineering in Industry, 2021
40. Yohanes Acep Nanang Kardana, Hanny J Berchmans, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Henry Nasution, Dena Hendriana, “Fuel Level Monitoring and Security Warning Tools using IoT

for Komatsu Excavator PC200-8M0”, Proceedings of The Conference on Management and Engineering in Industry, 2020

41. Daniel Christianto, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Widi Setiawan, “Development of Centrifugation Straining Control System for Greek Yogurt Production Based on Weight of Whey Drain”, Proceedings of The Conference on Management and Engineering in Industry, 2020
42. Asep A.S, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Dewi R.M, Katri Y, A 250 kW Three Phase Induction Motor Design for Electric Bow Thruster, IEEE International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS) 2018
43. Budi N.F, Harry P, M. Adhynugraha, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**.”Shaft Mechanical Design of 250 kW Electric Motor, IEEE International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS) 2018
44. Addy Wahyudie, Tri B Susilo, Fatima A Aryani, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, M Jama, A Daher,” Ocean wave power potential assessment along the South Coast of Central Java Island Indonesia”, IEEE International Conference -OCEANS 2017-Anchorage.
45. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Asep A.S, Katri Y, Dewi R.M,”Development of submersible electric motor propulsion to support maritime sector in Indo-nesia, IEEE 2017 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs), 2017
46. Asep A.S, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Katri Y, Dewi R.M,” Electric propulsion system and overhead line test track design for high floor trolley bus”, IEEE 2017 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs), 2017
47. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, H. Takano, J. Murata, T. Goda, Sarjiya and Tumiran, “In-Direct Adaptive Robust PSS Control Design for Interconnected Power Systems with High Renewable

Energy Penetration”, 6th AUN/SEED-Net Regional Conference on Energy Engineering (RCeneE), 6-7 September 2013, Bandung, Indonesia.

48. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, H. Takano and J. Murata, “ An Output Error Model and Robust PSS Design for Interconnected Power Systems”, The International Conference on Intelligent System Application to Power System 2013 (ISAP2013), July 1-4 2013, Tokyo, Japan.
49. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, H. Takano, J. Murata, T. Goda, T. Hashiguchi, “Adaptive Frequency Control for Hybrid Wind-Diesel Power System using System Estimator”, IEEE PES International Conference on Power System Technology (POWERCON 2012), October 30-November 2, 2012, Auckland, New Zealand.
50. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, T. Hashiguchi and T. Goda, “ An Adaptive Control Design for Power System Stabilizer Based on Reference Model”, The international Conference on Electrical Engineering 2012 (ICEE 2012), July 8-12 July 2012, Kanazawa, Japan.
51. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, T. Hashiguchi and T. Goda, “Design of Smart Distributed Load Control for Isolated Renewable Energy Power System”, International Conference on renewable energy: generation and Applications (ICREGA 12), March 4-7 2012, Al-Ain, UAE.
52. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, T. Hashiguchi and T. Goda, “Parameter Optimization of PSS and Fly Wheel Controller on Grid Connected Wind and PV System”, The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference on New and Renewable Energy, Oct 12-13 2011, Ho Chi Minh City, Vietnam.
53. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, T. Hashiguchi and T. Goda, “Robust Frequency Control in an Isolated Power System using Battery Energy Storage”, SET2011, 10th International Conference

on Sustainable Energy Technologies, İstanbul, Turkey, 4-7 September 2011.

54. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, T. Hashiguchi, T. Goda and T. Tsuji, “Parameter Optimization of Governor and Pitch Controller on an Isolated Power System”, IEEJ Conference, March 2011, Osaka, Japan.
55. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, T. Hashiguchi, T. Goda, Sarjiya, D. Wijaya, and Tumiran, “Simulation Study of Control Strategy for Grid Connected PV and Wind Generation Systems”, 28 July 2011, Yogyakarta, Indonesia.
56. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, T. Hashiguchi and T. Goda, “Design of Robust Static Var Compensator to Enhance Voltage Stability in a Smart grid Power System”, 2010 3rd International Conference on Power Electronics and intelligent Transportation System, 20-21 November 2010, Shenzhen, China.
57. I. Ngamroo, **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, S. Dechanupaprittha and Y. Mitani, “ Stabilization of tie-line power oscillations by robust SMES in interconnected power system with large wind farms”, *2009 IEEE Transmission & Distribution Asia Conference & Exposition*, 26-30 October 2009, Seoul, Korea.
58. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, I. Ngamroo and Y. Mitani ” Stabilization of Power Fluctuation in a Microgrid System Using SMES” International Seminar of Doctoral Students on Clean Energy Systems 2009, July 27-28,2009, pp. 9-12, Tobata, Kitakyushu, Japan.
59. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, I. Ngamroo, S. Dechanupaprittha, M. Watanabe, Y. Mitani, T. Hashiguchi and T. Goda, “GPS synchronized phasor measurement units based-wide area power system stability control”, The 1st AUN/SEED-Net Regional Workshop on Information & Communication Technology (RW-ICT 2009), pp.8-14, 3-4 March 2009, Bangkok, Thailand.

60. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Tumiran, I. Ngamroo and T. Goda, “ Coordinated esign of PSS and AE-based controller for stability improvement in a microgrid system”, The 2009 ASEAN Symposium on Power and Energy Systems, Paper PS-12, (EEE. RC.ASPES 2009), 28-29 September 2009, Hua Hin, Thailand.
61. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Issarachai Ngamroo, Somyot Kaitwanidvilai, Anantawat Kunakorn, Takuhei Hashiguchi and Tadahiro Goda, “Robust power system stabilizer design based on genetic algorithm-fixed-structure H_{∞} loop shaping control”, IEEJ-IET Joint Symposium on Advanced Technology in Power Systems, pp.7-12, 19-20 November 2007, Bangkok, Thailand.
62. **Cuk Supriyadi Ali Nandar** , I. Ngamroo,S. Kaitwanidvilai, A. Kunakorn,T. Hashiguchi and T. Goda, “ H_{∞} Loop Shaping-based Robust Control Design of PSS and TCSC for Dynamic Stability Enhancement“ The 5th International Conference in Electrical Engineering/Electronics, Computer, and Information Technology (ECTI 2008), Vol. 2, pp.965-968, 14 – 17 May 2008, Krabi, Thailand.
63. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Issarachai Ngamroo, Somyot Kaitwanidvilai, Anantawat Kunakorn, Takuhei Hashiguchi and Tadahiro Goda, “Robust Pitch Controller Design in Hybrid Wind-Diesel Power Generation System”, The 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Application (ICIEA 2008), Vol. 2, pp.1054-1059, 3 - 5 June 2008, Singapore.
64. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Issarachai Ngamroo, Somyot Kaitwanidvilai, Anantawat Kunakorn, Takuhei Hashiguchi and Tadahiro Goda, “Robust power system stabilizer design based on genetic algorithm-fixed-structure H_{∞} loop shaping control” The 17th International Federation of Automatic Control (IFAC 2008) , pp.11086-11091, 6 - 11 July 2008, Seoul, Korea.

65. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Issarachai Ngamroo, Anantawat Kunakorn, Sanchai Dechanupaprittha, Masayuki Watanabe, Yasunori Mitani, Takuhei Hashiguchi and Tadahiro Goda, “Inverse Additive Perturbation-Based Optimization of Robust PSS in an Interconnected Power System with Wind Farms”, SICE2008 International Conference on Instrumentation, control and Information technology, 20-22 August, 2008, Tokyo, Japan.
66. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, I. Ngamroo, S. Dechanupaprittha, and Y. Mitani, “Suppression of Tie-line Power Oscillation using Robust SMES Controller in Interconnected Power Systems with Wind Farms”, IEEJ-IET Joint Symposium on Advanced Technology in Power Systems, 3-5 November 2008, Bangkok, Thailand.
67. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, I. Ngamroo, S. Dechanupaprittha, M. Watanabe and Y. Mitani, “Wide Area Robust Power System Stabilizer Design based on Synchronized Phasor Measurement Units” IEEJ-IET Joint Symposium on Advanced Technology in Power Systems, 3-5 November 2008, Bangkok, Thailand.
68. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, I. Ngamroo, Sanchai Dechanupaprittha, Masayuki Watanabe and Yasunori Mitani, “Wide Area Robust Power System Stabilizer Design using Synchronized Phasor Measurement Units”, EECON31, 29-31 October 2008, Thailand.
69. **Cuk Supriyadi Ali Nandar**, Issarachai Ngamroo, Sanchai Dechanupaprittha and Yasunori Mitani, “Robust SMES Controller Design based on Inverse Additive Perturbation for Stabilization of Interconnected Power Systems with Wind Farms”, EECON31, 29~31 October 2008, Thailand

PROSIDING NASIONAL

70. Dwi Jaya Febriansyah, Endra Dwi Purnomo, Budi Noviyantoro Fadjrin, Rudias Harmadi, **Cuk Supriyadi Ali Nandar,**” Prediksi Thermal Growth pada Casing Turbin Uap 4 MW dengan menggunakan metode elemen hingga, AIP Conference Proceedings 2646, 050069 (2023)
71. Dewi Rianti Mandasari, Lia Amelia, Arga Iman Malakani, Endra Dwi Purnomo, Amiruddin Aziz, Asep Andi Suryandi, Agus Krisnowo, **Cuk Supriyadi Ali Nandar,** ”Pengurangan Torsi Cogging pada Motor BLDC Magnet Permanen Tersegmentasi IPM V-Shape dengan Skewing Stator, 2022.

KEKAYAAN INTELEKTUAL

1. Metode Analisis Deposit Abu Pada Bahan Bakar Padat Menggunakan Drop Tube Furnace, Paten Terdaftar, 2023
2. Aditif Magnesium Oksida Untuk Mengurangi Terak, Pengotor, Dan Korosi Pada Pembakaran Co-Firing Batubara Dan Biomassa Kelapa Sawit Di Pembangkit Listrik, Paten Terdaftar, 2023
3. Aditif Mineral Berbasis Aluminosilikat Untuk Meminimalisir Masalah Abu Pada Pembakaran Co-Firing Batubara Dan Biomassa Kelapa Sawit Di Pembangkit Listrik, Paten Terdaftar, 2023
4. Desain Motor Listrik Magnet Permanen Internal Berbentuk V Dengan 40 Segmen Magnet Permanen Pada Slot Rotor, Paten Terdaftar, 2023
5. Peralatan Drop Tube Furnace Dengan Jendela Monitoring Dan Injeksi Gas Untuk Proses Pembakaran Batubara Dan Bahan Bakar Alternatif Lainnya, Paten Terdaftar, 2023

6. Penyulingan Air Tenaga Surya Aktif Dengan Kerangka Komposit, Paten Terdaftar, 2023
7. Turbin Hermetik Radial Outflow Tiga Tingkat Dengan Stator Tipe Non Admission, Paten Terdaftar, 2023
8. Organic Rankine Cycle (ORC) Turbogenerator Tipe Radial Dengan Sistem Pendinginan Spiral, Paten Terdaftar, 2023
9. Sistem Pembangkit Listrik Organic Rankine Cycle (ORC) Pada Pengolah Sampah Menjadi Energi Listrik (PSEL) Yang Dilengkapi Sistem Online Monitoring, Paten Terdaftar, 2023
10. Tungku Pirolisis Ulir Putar Multi Umpan, Paten Terdaftar, 2023
11. Alat Penggiling Tebu Rol Berlubang, Paten Terdaftar, 2023
12. Kombinasi Bearing Spindel, Mesin Bubut CNC, Paten Sederhana Terdaftar, September 2022
13. Struktur Utama Alas Mesin (Bed) Pada Mesin Bubut CNC Berbentuk Lamda, Paten Sederhana Terdaftar, September 2022
14. Alat Pengendali Pengisian Kendaraan Listrik Roda Empat, Paten Terdaftar, 2022
15. Tusuk Kontak Dan Kotak Kontak Pengisian Cepat Skuter Listrik Atau Moped Listrik, Paten Terdaftar, 2022
16. Proses Pirolisis Kontinu Sampah Campuran Menjadi Bahan Bakar, Paten Terdaftar, 2022
17. Online Monitoring Scada Untuk Turbin Uap Skala Kecil, Desain Industri Terdaftar, 2021

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data pribadi

Nama Lengkap	: Dr. Cuk Supriyadi Ali Nandar S.T., M.Eng
Tempat, Tanggal Lahir	: Blora, 15 Januari 1980
Anak ke	: 5 dari 6 bersaudara
Jenis Kelamin	: Laki - Laki
Nama Ayah Kandung	: Muh. Tasrim
Nama Ibu Kandung	: Munawaroh
Nama Istri	: Dewi Pusparini, S.Pd.
Jumlah Anak	: 4 (Empat)
Nama Anak	: Nur Aini Malihah Katara Velda Naila Muhammad Wafi Hikaru Abdurrahman Husein Alfarizi
Nama Instansi	: Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi, Organisasi Riset Energi dan Manufaktur, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Judul Orasi	: Teknologi Jaringan Listrik Cerdas Untuk Meningkatkan Stabilitas Sistem Tenaga Listrik dalam Mendukung Transisi Energi di Indonesia

Bidang Kepekaran	: Dinamika dan Stabilitas Sistem Tenaga Listrik
No. SK Pangkat Terakhir	: Kepala BRIN No. 2208/I/KP/2022, tanggal 30 Maret 2022
No. SK Peneliti Ahli Utama	: Keppres No.2/M Tahun 2023 tanggal 9 Januari 2023

B. Pendidikan Formal

No	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1	SD	SDN Gagakan 1	Blora	1992
2	SMP	SMPN 1 Cepu	Blora	1995
3	SMA	SMUN 1 Muntilan	Magelang	1998
4	S-1	UGM	Yogyakarta	2002
5	S-2	KMITL	Thailand	2009
6	S-3	Kyushu University	Jepang	2013

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat	Tahun
1	<i>Introduction to Ansys Maxwell Singapore</i>	Jakarta, Indonesia	2020
2	<i>ANSYS Maxwell : Advanced Electric Motor CAE Training</i>	Jakarta, Indonesia	2020
3	Diklat Teknis Pengenalan Kompetensi Perencanaan dan Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)	Jakarta	2020
4	<i>Industrial Grade IoT Training</i>	Jakarta	2020
5	Pelatihan Asesor Kompetensi	Serpong	2019

6	Bimbingan Teknis Sertifikasi Auditor Teknologi	Bogor	2018
7	<i>Training on Maintenance & testing of Electrical Network Components</i>	Uni Emirates Arab	2016
8	<i>Training on Motors and Transformers</i>	Uni Emirates Arab	2016
9	<i>Short research on Application of PMU in Power System Monitoring, Riset pro Kemenristek</i>	Kyushu Sangyo University, Japan	2015
10	<i>Long Term Training for ASEAN University Network/Southeast Asia Engineering Education Development Network</i>	Kyushu Univ Japan	2010-2013
11	<i>Wind and Photovoltaics hybrid systems with micro grids</i>	Berlin, German	2009
12	<i>Exchange Program for east Asian Young Researchers</i>	Kyushu Institute of Technology, Japan	2009

D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan/ Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1	Kepala Bagian	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)	2016 - 2021
2	Kepala Pusat Riset	Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)	2022 - Sekarang

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1	Peneliti Madya (IV/c)	30 Maret 2021
2	Peneliti Utama (IV/d)	25 Januari 2023

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1	Anggota Audit Teknologi <i>Black out</i> listrik Jawa & Bali 2019	Ka BPPT	2019
2	Anggota Task Force Riset dan Inovasi Teknologi untuk penanganan Covid-19 (TFRIC-19)	Ka BPPT	2020-2021

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1	Saudi Arabia Smart Grid 2016	Pemateri	Jedah, Saudi Arabia	2016
2	ASEAN Smartgrid Congress 6	Pemateri	Chiang mai, Thailand	2023
3	SABRI Winter Project (The Tsinghua Social Practice)	Pemateri	Jakarta, Indonesia	2024

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1	Majalah Ilmiah Pengkajian Industri	BPPT-BRIN	Mitra bestari	2018-2022

I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1	Penulis Tunggal	4
2	Bersama Penulis Lainnya	67
	Total	71

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1	Bahasa Inggris	64
2	Bahasa Indonesia	7
	Total	71

J. Pembinaan Kader Ilmiah

No.	Nama	Instansi	Peran	Tahun
1	Muhammad Ihsan	Universitas Pertamina	Membimbing mahasiswa S1	2024
2	Zulfikar	Universitas Pertamina	Membimbing mahasiswa S1	2024
3	Johannes Nababan	Universitas Pertamina	Membimbing mahasiswa S1	2024
4	Asep Dadan Hermawan	ITS	Membimbing mahasiswa S3	2023
5	Khamda Herbandono	BRIN	Membimbing Fungsional Madya	2021

No.	Nama	Instansi	Peran	Tahun
6	Robi Tubagus Yuni	Swiss German University	Membimbing mahasiswa S2	2021
7	Andri Prasetyo	Swiss German University	Membimbing mahasiswa S2	2021
8	Hafidz Akbar	Swiss German University	Membimbing mahasiswa S2	2021
9	Daniel Christianto	Swiss German University	Membimbing mahasiswa S2	2020
10	Sri Sadono	Swiss German University	Membimbing mahasiswa S2	2020
11	Setyo Haryadi	Swiss German University	Membimbing mahasiswa S2	2020
12	Yohanes Acep Nanang Kardana	Swiss German University	Membimbing mahasiswa S2	2020

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1	Anggota	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)	2011-2013
2	Anggota	Perhimpunan Periset Indonesia (PPI)	2023-sekarang
3	Pengurus	Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia (METI)	2022-Sekarang

4	Pengurus	Indonesia Solar Energy Research Group (ISEREC)	2023-sekarang
5	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia (HIMPENINDO)	2021-2022

L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Tanda Kehormatan Satyalencana Karya Satya 10 Tahun	Presiden RI	2016
2	Tanda Kehormatan Satyalencana Wira Karya	Presiden RI	2019
3	Tanda Kehormatan Satyalencana Wira Karya	Presiden RI	2021
4	Peneliti Muda Berprestasi	Himpenindo	2021

Dalam upaya menghadapi tantangan global terkait perubahan iklim, saat ini pemerintah Indonesia telah berkomitmen mengurangi emisi gas rumah kaca. Upaya dekarbonisasi di Indonesia tidak hanya sebatas kewajiban global, tetapi juga langkah krusial untuk melindungi keberlanjutan lingkungan, ekonomi, dan kesejahteraan masyarakat. Berbagai usaha dilakukan pemerintah Indonesia agar tercapai *Net Zero Emission* (NZE) yang ditargetkan dapat tercapai di tahun 2060. Kontribusi terbesar terhadap target penurunan emisi terdapat pada sektor kehutanan dan tata guna lahan serta sektor energi.

Penggunaan energi terbarukan secara ekstensif diharapkan dapat mengurangi permasalahan lingkungan dan sumber daya. Namun karena kapasitas terbesar sumber energi terbarukan yang terpasang bersifat intermitten maka dibutuhkan banyak perubahan mendasar pada sistem tenaga listrik dalam hal perencanaan dan pengoperasiannya untuk menjaga keandalan dan kualitas layanan energi.

Perubahan mendasar dalam desain dan paradigma operasional sistem kelistrikan konvensional dan *smart grid*, yaitu: dari sumber daya terpusat ke sumber daya terdistribusi, dari arah aliran daya yang dapat diprediksi ke arah yang tidak dapat diprediksi, dari jaringan pasif ke jaringan aktif yang memungkinkan partisipasi demand dalam pengoperasian sistem tenaga Listrik. Dalam konteks ini, jaringan listrik akan lebih dinamis dalam konfigurasi dan operasionalnya, yang akan menghadirkan banyak peluang tidak hanya untuk optimasi tetapi juga banyak tantangan teknis baru.

Naskah ini diharapkan dapat mendorong para periset untuk terus melanjutkan riset kedepan mengenai tantangan pengembangan *smart grid* untuk menjawab isu-isu terkait transisi energi yaitu *decarbonization*, *digitalization*, *decentralization*, dan *deregulation*, sekaligus menjawab tantangan penyediaan tenaga listrik di Indonesia yang memperhatikan aspek *efficiency/losses*, *reliability*, *resiliency* dan *sustainability*.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin-others.1208

