



UNIVERSITAS INDONESIA

***PERUMUSAN MODEL INTEGRASI PLTB
DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA
SEASONAL DAILY VARIABILITY & UNCERTAINTY
BERBASIS HYBRID ARTIFICIAL INTELLIGENCE
(STUDI KASUS PADA SISTEM TENAGA LISTRIK SULAWESI
BAGIAN SELATAN)***

DISERTASI

DHANY HARMEIDY BARUS

1806260355

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM S3 TEKNIK ELEKTRO**

**DEPOK
2022**



UNIVERSITAS INDONESIA

***PERUMUSAN MODEL INTEGRASI PLTB
DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA
SEASONAL DAILY VARIABILITY & UNCERTAINTY
BERBASIS HYBRID ARTIFICIAL INTELLIGENCE
(STUDI KASUS PADA SISTEM TENAGA LISTRIK SULAWESI
BAGIAN SELATAN)***

DISERTASI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor

DHANY HARMEIDY BARUS

1806260355

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM S3 TEKNIK ELEKTRO**

**DEPOK
2022**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Dhany Harmeidy Barus
NPM : 1806260355

Tanda Tangan :



Tanggal : Februari 2022

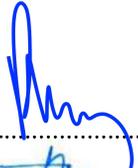
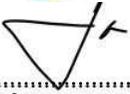
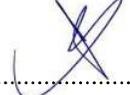
HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh :

Nama : Dhany Harmeidy Barus
NPM : 1806260355
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Disertasi : Perumusan Model Integrasi PLTB dengan Menggunakan algoritma Seasonal Daily Variability & Uncertainty berbasis Hybrid Artificial Intelligence (studi kasus pada Sistem Tenaga Listrik Sulawesi Bagian Selatan)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Doktor pada program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Promotor	: Prof Ir Rinaldy Dalimi, MSc, PhD	(..... )
Kopromotor	: Prof Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA	(..... )
Tim Penguji	: Prof Dr Ir Iwa Garniwa MK, MT (Ketua)	(..... )
	Prof Dr Ir Adi Surjosatyo, MEng (Anggota)	(..... )
	Dr Ir Uno Bintang Sudibyo, DEA IPM (Anggota)	(..... )
	Dr Ing Budi Sudiarto, ST, MT (Anggota)	(..... )
	Dr Ir Andhika Prastawa, MSEE (Anggota)	(..... )



Ditandatangani secara elektronik oleh
Dr. Ir. Andhika Prastawa, MS.EE
196502201989111003

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : Februari 2022

HALAMAN PERSEMBAHAN

Teriring rasa syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, buku disertasi ini saya persembahkan untuk:

- ♥ Istriku tercinta, Meilya Normawaty Simanjuntak SH. MKn, anak-anakku terkasih: Benjamin Dhameita Nataniel Barus dan Carolyn Dhameita Valentina Barus;
- ♥ Orang tua tercinta yang tak henti-hentinya mendukung dan mendoakan: Ayahanda Prof. Dr. Tonel Barus dan Ibunda Dr. Tini Sembiring, MS;
- ♥ Kedua mertua terkasih yang terus mendoakan: St. Rotlan Simanjuntak, SE dan Marlina Sibuea;
- ♥ Abang dan adikku beserta keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan: Dr. dr. Melvin Nova Gunawanto Barus, M.Ked(OG) SpOG(K)-KFM, Hartanta Novriady Barus, ST, MSc, dan Dr. Arlinta Christy Barus, ST, M.InfoTech;
- ♥ Adik iparku beserta keluarga yang terus mendoakan: Samuel Romulo Simanjuntak, S.Hut, M.Si, Bintang Simanjuntak, ST, dan Srie Maduma Yohana S.Hum;
- ♥ Keluarga besar grup Kembaren SimpGud, Sola Gratia, Persekutuan SMANSA 94, serta Nav Demu, yang ikut mendoakan serta mendukung selama ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya, sehingga buku disertasi ini dalam rangka untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Doktor pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia ini dapat diselesaikan. Dengan segala kerendahan hati, saya menyadari bahwa penulisan buku disertasi ini dapat diselesaikan tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Berkenaan dengan hal tersebut, penulis hendak menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof Ir Rinaldy Dalimi, MSc, PhD selaku promotor yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan dan membimbing penelitian dan penyusunan laporan ini.
2. Prof Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA selaku ko-promotor yang telah banyak memberikan kritik dan saran, serta dukungan baik ide maupun semangat untuk penyelesaian penelitian ini.
3. Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, MT, Prof. Dr. Ir. Adi Surjosatyo, MEng, Dr. Ir. Uno Bintang Sudiby, DEA IPM, Dr. Ing. Budi Sudiarto, ST, MT, Dr. Ir. Andhika Prastawa, MSEE selaku dewan penguji pada sidang Promosi yang telah memberi koreksi dan saran untuk kelengkapan laporan ini.
4. Direktur SDM PT PLN (Persero) dan EVP Pengembangan Talenta yang telah memberikan izin mengikuti pendidikan formal jenis restitusi jenjang Doktoral (S3) jalur riset terhitung mulai 16 Juli 2019 sampai dengan saat ini.
5. Direktur Bisnis Regional Jawa Madura Bali PT PLN (Persero) dan EVP Transmisi Regional Jawa, Madura dan Bali yang ikut mendukung dan memberi semangat hingga terselesaikannya studi doktoral ini.
6. General Manager PT PLN (Persero) UIP2B Jamali yang selama ini mendukung penuh penyelesaian studi doktoral (S3) baik secara moril secara materiil. Juga kepada rekan-rekan Senior Manager dan MUP2B yang ikut mendukung dan memberi semangat hingga terselesaikannya studi doktoral ini.
7. Rekan-rekan Kantor Induk PT PLN (Persero) UIP2B Jamali khususnya Bidang Teknik atas dukungan moril dan semangat selama ini hingga terselesaikannya studi doktoral ini

8. Rekan-rekan mahasiswa program S3 Departemen Teknik Elektro FT UI atas segala bantuan dan sarana bertukar pikiran selama masa studi.
9. Semua pihak, secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas bantuan dan perhatiannya selama penyusunan disertasi ini.

Akhirnya, semoga segala bantuan yang telah diberikan semua pihak di atas menjadi amalan yang bermanfaat dan mendapatkan balasan dari Tuhan Yang Maha Esa dan semoga disertasi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu, pengetahuan, dan teknologi.

Depok, Februari 2022

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA
ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Dhany Harmeidy Barus
NPM : 1806260355
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Disertasi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Perumusan Model Integrasi PLTB dengan Menggunakan algoritma Seasonal
Daily Variability & Uncertainty berbasis Hybrid Artificial Intelligence
(studi kasus pada Sistem Tenaga Listrik Sulawesi Bagian Selatan)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Februari 2022

Yang menyatakan



(Dhany Harmeidy Barus)

ABSTRAK

Nama : Dhany Harmeidy Barus
Program Studi : S3 Teknik Elektro
Judul Disertasi : Perumusan Model Integrasi PLTB dengan Menggunakan Algoritma Seasonal Daily Variability dan Uncertainty berbasis Hybrid Artificial Intelligence (studi kasus pada Sistem Tenaga Listrik Sulawesi Bagian Selatan)
Promotor : Prof. Ir. Rinaldy Dalimi, M.Sc., Ph.D
Kopromotor : Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan salah satu energi terbarukan yang cukup populer dan sudah banyak dikembangkan karena kelebihanannya sebagai energi bersih, berbahan bakar murah, serta biaya investasinya yang cenderung semakin ekonomis. Tetapi di sisi lain PLTB termasuk pembangkit bersifat intermiten yang disebabkan adanya fluktuasi alami (*variability*) dan kesalahan prediksi (*uncertainty*) dari daya keluaran PLTB tersebut. Kondisi ini berpotensi menyebabkan gangguan sistem serta pemadaman listrik konsumen yang cukup besar, bahkan sampai terjadi *blackout*. Untuk itu diperlukan model integrasi PLTB yang tepat dalam menentukan kebutuhan tambahan cadangan operasi yang optimal sebagai antisipasi sifat intermiten PLTB tersebut, sehingga sistem tenaga listrik dapat tetap beroperasi secara andal dan ekonomis.

Penelitian ini bertujuan menentukan model algoritma untuk menghitung kebutuhan tambahan cadangan operasi harian yang dinamis dan optimal pada integrasi PLTB di sistem Sulawesi bagian Selatan (Sulbagsel). Dengan menggunakan usulan algoritma *Multi-Stage Statistical Approach* (MSSA) maka dapat diketahui karakteristik daya keluaran PLTB pada sistem Sulbagsel. Kemudian hasil analisa tersebut diolah dengan menggunakan usulan algoritma *Seasonal Daily Variability and Uncertainty* (SDVU) berbasis *Hybrid Artificial Intelligence* (Hybrid AI) untuk memprediksi pola *variability* dan *uncertainty* dari data yang ada untuk menghitung parameter *Dynamic Confidence Level* (DCL). Hasil DCL tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan optimal tambahan cadangan operasi harian yang dibutuhkan.

Dari beberapa alternatif Hybrid AI yang digunakan, diketahui bahwa kombinasi *Seasonal Auto Regressive Moving Average* (SARIMA) dan *Long Short-Term Memory* (LSTM) menghasilkan prediksi yang paling akurat dan konsisten, baik untuk data *variability* maupun *uncertainty*. Dampak signifikan dari penelitian ini ditunjukkan dengan adanya potensi penghematan biaya bahan bakar pembangkit rata-rata sekitar 250 milyar rupiah per tahun untuk kebutuhan tambahan cadangan operasi saat dibandingkan dengan metoda eksisting yang menggunakan parameter *Static Confidence Level* (SCL) dengan tingkat keandalan yang sama.

Kata kunci :

variability, uncertainty, hybrid AI, SARIMA, LSTM, DCL

ABSTRACT

Name : Dhany Harmeidy Barus
Degree : S3 Electrical Engineering
Title : Formulation of WPP Integration Model by using the Seasonal Daily Variability and Uncertainty Algorithm based on Hybrid Artificial Intelligence (case study in the Southern Sulawesi Power System)
Promotor : Prof. Ir. Rinaldy Dalimi, M.Sc., Ph.D
Copromotor : Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA

Wind Power Plant (WPP) is part of renewable energy which is quite popular and has been widely developed due to its advantages as clean energy, cheap fuel, and decreasing trend of its investment cost. But on the other hand, WPP is part of Variable Renewable Energy (VRE) due to natural fluctuation (variability) and forecast errors (uncertainty) of the wind power output. This situation has the potential to cause significant system disturbance and customer power outages, even blackouts. For this reason, a WPP integration model is needed in determining the optimum operational operating reserve to anticipate of the intermittent nature of the WPP, so that the electric power system can be operated reliably and economically.

This study aims to determine the algorithm model to calculate the need for additional dynamic and optimal daily operational reserves for the integration of WPP in the Southern Sulawesi power system. By using the first proposed method, Multi-Stage Statistical Approach (MSSA) algorithm, the characteristics of the wind power output can be discovered. Then the results of the analysis are processed using the second proposed method, Seasonal Daily Variability and Uncertainty (SDVU) algorithm based on Hybrid Artificial Intelligence (Hybrid AI) to forecast variability and uncertainty patterns of the observed data in calculating Dynamic Confidence Level (DCL) parameters. The DCL results are then used to determine the optimal daily additional operating reserve.

Among the Hybrid AI variants, it is concluded that the combination of Seasonal Auto Regressive Moving Average (SARIMA) and Long Short-Term Memory (LSTM) produces the most accurate and consistent forecast, both for variability and uncertainty data. The significant impact of this research is indicated by the potential cost savings of around 250 billion rupiah per year on average for additional operational reserves when compared to the existing method using Static Confidence Level (SCL) parameters with the same level of reliability.

Key words:
variability, uncertainty, hybrid AI, SARIMA, LSTM, DCL