



**EVALUASI KINERJA *DROOP CONTROL* DAN *VIRTUAL
SYNCHRONOUS MACHINE* PADA *GRID-FORMING
INVERTER* UNTUK NANOGRID PESISIR BERBASIS ENERGI
GELOMBANG LAUT**

SKRIPSI

MAHMUDIN DIMAS HAMDANI

2210314055

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
2026**



EVALUASI KINERJA *DROOP CONTROL* DAN *VIRTUAL SYNCHRONOUS MACHINE* PADA *GRID-FORMING INVERTER* UNTUK NANOGRID PESISIR BERBASIS ENERGI GELOMBANG LAUT

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

**MAHMUDIN DIMAS HAMDANI
2210314055**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
2026**

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi diajukan oleh :

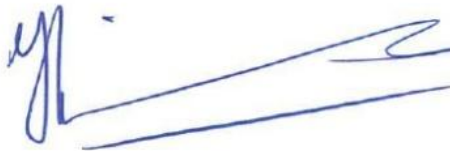
Nama : Mahmudin Dimas Hamdani

NIM : 2210314055

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : EVALUASI KINERJA *DROOP CONTROL* DAN *VIRTUAL SYNCHRONOUS MACHINE* PADA *GRID-FORMING INVERTER* UNTUK NANOGRID PESISIR BERBASIS ENERGI GELOMBANG LAUT

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.



Dr. Ir. Henry Binsar Hamonangan Sitorus, S.T., M.T.
Penguji Utama



Nur Fauziah, S.T., M.T.
Penguji Lembaga



Ir. Ferdyanto, S.T., M.T.
Penguji I (Pembimbing)



Dr. Eng. Ir. Teguh Firmansyah,
S.T., M.T., IPM
Dekan Fakultas Teknik

Luh Krisnawati, S.T., M.T.

Koordinator Program Studi
Teknik Elektro

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal Ujian : 23 Juli 2026

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI

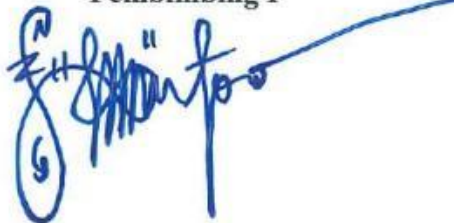
EVALUASI KINERJA *DROOP CONTROL* DAN *VIRTUAL SYNCHRONOUS MACHINE* PADA *GRID-FORMING INVERTER* UNTUK NANOGRIID PESISIR BERBASIS ENERGI GELOMBANG LAUT

MAHMUDIN DIMAS HAMDANI

NIM. 2210314055

Disetujui oleh,

Pembimbing I



Ir. Ferdyanto, S.T., M.T.

Pembimbing II



Luh Krisnawati, S.T., M.T.

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta



Luh Krisnawati, S.T., M.T.

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan semua sumber yang dikutip maupun digunakan sebagai rujukan telah saya nyatakan benar.

Nama : Mahmudin Dimas Hamdani

NIM : 2210314055

Program Studi : Teknik Elektro

Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 23 Juli 2026

Yang menyatakan,



Mahmudin Dimas Hamdani

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta
saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Mahmudin Dimas Hamdani

NIM : 2210314055

Fakultas : Fakultas Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan
kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti
Noneksklusif (Non Exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang
berjudul :

EVALUASI KINERJA *DROOP CONTROL* DAN *VIRTUAL SYNCHRONOUS MACHINE* PADA *GRID-FORMING INVERTER* UNTUK NANOGRID PESISIR BERBASIS ENERGI GELOMBANG LAUT

Dengan Hak Bebas Royalti ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta
berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk
pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Skripsi/PKL saya
selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai
pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 23 Juli 2026
Yang menyatakan,



Mahmudin Dimas Hamdani

**EVALUASI KINERJA *DROOP CONTROL* DAN *VIRTUAL SYNCHRONOUS MACHINE* PADA *GRID-FORMING INVERTER* UNTUK NANOGRID
PESISIR BERBASIS ENERGI GELOMBANG LAUT**

Mahmudin Dimas Hamdani

ABSTRAK

Pemanfaatan *Wave Energy Converter* (WEC) pada nanogrid *islanded* memerlukan inverter *grid-forming* yang mampu mempertahankan kestabilan tegangan dan frekuensi ketika terjadi fluktuasi daya sumber dan perubahan beban. Penelitian ini membandingkan kinerja *Droop Control* dan *Virtual Synchronous Machine* (VSM) melalui pemodelan MATLAB/Simulink. Profil daya WEC ekuivalen dibentuk berdasarkan *matriks daya* listrik NREL RM5 dan variasi temporal spektrum Bretschneider. Sebanyak 18 simulasi dilakukan pada skenario variasi daya WEC, perubahan beban, dan gangguan kombinasi. Evaluasi mencakup deviasi frekuensi maksimum, *Rate of Change of Frequency* (RoCoF), waktu *settling*, deviasi tegangan RMS, deviasi tegangan *DC-link*, THD_v, dan kompleksitas struktur kontrol. Hasil menunjukkan bahwa VSM secara umum lebih baik dalam membatasi perubahan frekuensi dan tegangan. Pada gangguan *load step*, VSM menghasilkan deviasi frekuensi maksimum sekitar 0.242 Hz dengan waktu *settling* 26 s, sedangkan *Droop Control* menghasilkan sekitar 0.355 Hz dengan waktu *settling* 31 s. Seluruh nilai THD_v berada di bawah batas 8%. Meskipun VSM memberikan respons dinamis yang lebih baik, *Droop Control* memiliki struktur dan proses penalaan yang lebih sederhana. Dengan demikian, pemilihan metode kontrol perlu disesuaikan dengan prioritas kestabilan dinamis, kualitas daya, dan kompleksitas implementasi.

Kata kunci: *Droop Control, Grid-Forming Inverter, Virtual Synchronous Machine, Wave Energy Converter.*

PERFORMANCE EVALUATION OF DROOP CONTROL AND VIRTUAL SYNCHRONOUS MACHINE IN A GRID-FORMING INVERTER FOR AN OCEAN-WAVE-ENERGY-BASED COASTAL NANOGRID

Mahmudin Dimas Hamdani

ABSTRACT

The utilization of a Wave Energy Converter (WEC) in an islanded nanogrid requires a grid-forming inverter capable of maintaining voltage and frequency stability under source-power fluctuations and load changes. This study compares the performance of Droop Control and a Virtual Synchronous Machine (VSM) through MATLAB/Simulink modeling. The equivalent WEC power profiles were developed based on the NREL RM5 electrical power matrix, with temporal variations generated using the Bretschneider spectrum. A total of 18 simulations were conducted under WEC power variation, load-change, and combined-disturbance scenarios. The evaluation covered maximum frequency deviation, maximum Rate of Change of Frequency (RoCoF), frequency settling time, maximum RMS voltage deviation, maximum DC-link voltage deviation, Total Harmonic Distortion of Voltage (THD_v), and control-structure complexity. The results indicate that VSM generally performs better in limiting frequency and voltage variations. During the load-step disturbance, VSM produced a maximum frequency deviation of approximately 0.242 Hz with a settling time of 26 s, whereas Droop Control produced approximately 0.355 Hz with a settling time of 31 s. All THD_v values remained below the 8% limit. Although VSM provides better dynamic performance, Droop Control has a simpler structure and tuning process. Therefore, the selection of the control method should be based on the priorities of dynamic stability, power quality, and implementation complexity.

Keywords: *Droop Control, Grid-Forming Inverter, Virtual Synchronous Machine, Wave Energy Converter.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan rida-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul "*Evaluasi Kinerja Droop Control dan Virtual Synchronous Machine pada Grid-Forming Inverter untuk Nanogrid Pesisir Berbasis Energi Gelombang Laut*". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan program Sarjana Teknik (S.T.) Teknik Elektro di Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta.

Selesainya tugas akhir ini tidak lepas dari doa, kerja keras, serta dukungan berharga dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih dan hormat yang mendalam kepada:

1. Allah SWT, atas segala rahmat, kekuatan, petunjuk, dan rida-Nya yang telah memberikan kemudahan serta kelancaran bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Ibu Sutini, sosok ibu luar biasa hebat yang menjadi muara dari segala keluh kesah, pelabuhan paling tenang di kala badai melanda, wujud nyata surga, dan alasan utama bagi penulis untuk tidak pernah menyerah. Tulisan ini adalah tanda bakti dan terima kasih penulis yang mendalam untuk ibu. Terima kasih sudah melahirkan, berjuang melampaui batas demi mendukung setiap tumbuh kembang penulis hingga sampai di titik ini. Kesuksesan dan segala hal baik yang penulis dapatkan adalah karena ketulusan doa ibu. Semoga ibu selalu diberikan kesehatan agar penulis dapat mengabdikan dan membalas segala hal baik dan pengorbanan yang telah ibu berikan sampai saat ini.
3. Bapak Mahmudi, pahlawan yang menjadi panutan, teladan, serta pilar yang mengajarkan arti dari sebuah tanggung jawab bagi penulis. Tulisan ini juga merupakan tanda bakti dan terima kasih penulis yang mendalam untuk bapak. Terima kasih atas kerja keras, pengorbanan, keteguhan hati, dalam berjuang melampaui batas serta mengusahkan seluruh jiwa dan raga demi mendukung setiap tumbuh kembang penulis hingga sampai di titik ini. Semoga karya ini dapat menjadi kebanggaan untuk bapak,

sebagaimana bapak yang selalu menjadi kebanggaan terbesar bagi penulis.

4. Bapak Ir. Ferdyanto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I sekaligus Penanggung Jawab Laboratorium Teknik Tenaga Listrik UPNVJ. Penulis menghaturkan rasa hormat dan terima kasih yang tak terhingga atas kesabaran luar biasa, waktu, serta bimbingan akademis yang sangat mendalam dari awal hingga akhir penyusunan Tugas Akhir ini. Arahan, ketelitian, dan visi ilmiah yang Bapak berikan tidak hanya mengarahkan penelitian ini menjadi jauh lebih baik, tetapi juga memberikan wawasan baru yang sangat bernilai bagi penulis. Terima kasih juga atas bimbingan dan kesempatan yang diberikan selama penulis beraktivitas di Laboratorium Teknik Tenaga Listrik.
5. Ibu Luh Krisnawati, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II sekaligus Koordinator Program Studi S1 Teknik Elektro UPNVJ. Terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan, ilmu, serta saran-saran berharga yang telah Ibu berikan sepanjang penyusunan skripsi ini. Penulis juga menghaturkan apresiasi mendalam atas segala perhatian, arahan, dan dukungan penuh Ibu dalam membantu kelancaran proses penelitian hingga tahap akhir skripsi ini.
6. Teman-teman di Laboratorium Teknik Tenaga Listrik. Terima kasih atas solidaritas, bantuan, serta berbagai informasi krusial yang sangat membantu selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini. Perjuangan bersama di laboratorium akan selalu menjadi cerita terbaik dalam perjalanan perkuliahan penulis.
7. Weni Yunitasari, terima kasih yang sedalam-dalamnya atas dukungan penuh, kesabaran, dan kehadirannya yang selalu menjadi penenang di masa-masa sulit. Terima kasih telah menjadi sosok yang paling mengerti, senantiasa menyemangati, dan berhasil memulihkan mental penulis. Dukunganmu adalah energi tambahan yang sangat berarti.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat

bermanfaat bagi pembaca, perkembangan ilmu pengetahuan, serta kemajuan teknologi elektro di Indonesia.

Depok, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Nanogrid Pesisir Berbasis Energi Gelombang	12
2.2.1 Nanogrid.....	12
2.2.2 Karakteristik Stabilitas Mode <i>Islanded</i>	13
2.2.3 WEC pada Nanogrid Pesisir.....	14
2.3 Energi Gelombang Laut dan Representasi Spektral	15
2.3.1 Energi Gelombang Laut	16
2.3.2 Parameter <i>Sea State</i>	16
2.3.3 Spektrum Bretschneider dan Gelombang Tak Beraturan	18
2.3.4 Keterkaitan Kondisi Gelombang dengan Masukan WEC	20

2.4 <i>Wave Energy Converter (WEC)</i> dan <i>Power Take-Off (PTO)</i>	21
2.4.1 Jenis WEC dan Posisi RM5	21
2.4.2 Prinsip Kerja RM5	22
2.4.3 <i>Power Take-Off</i> dan Rantai Konversi Daya RM5	23
2.4.4 Matriks Daya Listrik RM5	24
2.5 Rantai Konversi <i>Wave-to-Wire</i> dan Antarmuka Kelistrikan.....	25
2.5.1 Konsep <i>Wave-to-Wire</i>	26
2.5.2 Generator, Penyearah, dan Sumber DC Ekuivalen	27
2.5.3 <i>DC-link</i> dan Keseimbangan Energi.....	27
2.5.4 Inverter Tiga Fasa Berbasis PWM	28
2.5.5 Filter Seri RL dan Evaluasi PCC.....	29
2.6 Kualitas Daya dan Kriteria Kinerja Nanogrid <i>Islanded</i>	30
2.6.1 Dinamika Stabilitas Inersia Rendah	30
2.6.2 Stabilitas Tegangan PCC dan <i>DC-link</i>	31
2.6.3 Harmonisa dan <i>THD_v</i>	32
2.7 <i>Grid-forming</i> Inverter.....	34
2.7.1 Inverter	34
2.7.2 Klasifikasi Inverter	35
2.7.3 Arsitektur Kontrol Inverter GFM	37
2.8 Metode Kontrol Inverter.....	38
2.8.1 <i>Droop Control</i>	38
2.8.2 <i>Virtual Synchronous Machine</i>	40
2.8.3 Kerangka Perbandingan	42
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	45
3.1 Kerangka Penelitian	45
3.2 Pemodelan Sistem	46
3.2.1 Struktur Model Simulasi	47
3.2.2 Diagram Alir Simulasi.....	48
3.3 Pembentukan Profil Daya WEC Ekuivalen Berbasis Matriks Daya RM5.....	49
3.3.1 Penetapan Titik Operasi Berdasarkan Matriks Daya RM5	49
3.3.2 Penskalaan Daya dan Penentuan Tinggi Gelombang.....	50

3.3.3 Pembentukan Variasi Temporal.....	51
3.3.4 Pembentukan dan Validasi Profil Daya WEC	52
3.4 Pemodelan Sumber DC Ekuivalen dan <i>DC-Link</i>	56
3.4.1 Dinamika <i>DC-Link</i>	56
3.4.2 Pembentukan Referensi Arus Sumber DC Terkontrol	57
3.4.3 Keluaran <i>DC-Link</i> dan Antarmuka ke Inverter	59
3.5 Pemodelan Inverter <i>Grid-Forming</i> dan Sistem Kontrol.....	60
3.5.1 Struktur Inverter dan Filter Keluaran	60
3.5.2 Pengukuran Besaran pada PCC.....	61
3.5.3 Kontrol Primer <i>Droop</i>	62
3.5.4 Kontrol Primer VSM.....	63
3.5.5 Pembentukan Sudut Fasa, Referensi Modulasi, dan Pulsa PWM	65
3.6 Skenario Pengujian.....	65
3.6.1 Skenario Variasi Daya WEC	66
3.6.2 Skenario Perubahan Beban.....	67
3.6.3 Skenario Kombinasi	69
3.6.4 Jumlah Simulasi	70
3.7 Metrik Evaluasi dan Cara Perhitungan.....	70
3.7.1 Metrik Stabilitas Frekuensi	73
3.7.2 Metrik Stabilitas Tegangan PCC	75
3.7.3 Metrik Kestabilan <i>DC-link</i>	75
3.7.4 Metrik Kualitas Daya	76
3.7.5 Parameter Pendukung.....	77
3.7.6 Kriteria Evaluasi Kompleksitas Struktur Kontrol	77
3.8 Metode Analisis dan Penyajian Hasil.....	78
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	81
4.1 Konfigurasi Simulasi.....	81
4.1.1 Struktur Sistem dan Strategi Kontrol	81
4.1.2 Skenario Pengujian Akhir.....	84
4.1.3 Parameter Simulasi Daya WEC dan Variasi Beban	85
4.1.4 Parameter Pengukuran dan Titik Evaluasi	87

4.1.5 Ringkasan Konfigurasi Akhir.....	87
4.2 Pengujian Skenario Variasi Daya WEC	89
4.2.1 Respons Sistem pada SS-1	91
4.2.2 Respons Sistem pada SS-2	96
4.2.3 Respons Sistem pada SS-3	100
4.3 Pengujian Skenario Perubahan Beban.....	105
4.3.1 Respons Sistem terhadap <i>Load Step</i>	106
4.3.2 Respons Sistem terhadap Perubahan Faktor Daya	112
4.3.3 Respons Sistem terhadap <i>Load Shedding</i>	117
4.4 Pengujian Skenario Kombinasi	123
4.4.1 Respons Sistem pada SS-1	126
4.4.2 Respons Sistem pada SS-2	131
4.4.3 Respons Sistem pada SS-3	136
4.5 Perbandingan <i>Droop Control</i> dan VSM.....	141
4.5.1 Perbandingan Deviasi Frekuensi Maksimum.....	142
4.5.2 Perbandingan RoCoF Maksimum	143
4.5.3 Perbandingan Waktu <i>Settling</i> Frekuensi pada Skenario Transien	144
4.5.4 Perbandingan Deviasi Tegangan RMS Maksimum.....	145
4.5.5 Perbandingan Deviasi Tegangan <i>DC-link</i> Maksimum	146
4.5.6 Perbandingan THDv.....	147
4.5.7 Perbandingan Daya Aktif WEC, Daya Aktif PCC, dan Daya Reaktif PCC.....	148
4.5.8 Perbandingan Kompleksitas Struktur Kontrol	149
4.6 Sintesis <i>Trade-Off</i> Kinerja Dinamis dan Kompleksitas Struktur Kontrol	150
BAB 5 PENUTUP	156
5.1 Kesimpulan.....	156
5.2 Saran.....	157
DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran daya WEC untuk sistem elektrifikasi pulau	15
Gambar 2.2 Spektrum Bretschneider pada beberapa periode puncak	19
Gambar 2.3 Realisasi elevasi gelombang tidak beraturan dari spektrum Bretschneider.....	20
Gambar 2.4 Konfigurasi oscillating surge Wave Energy Converter RM5	22
Gambar 2.5 Rangkaian hidraulik pada sistem PTO RM5	23
Gambar 2.6 Matriks daya listrik RM5 yang diadaptasi dari Tabel 6 pada [4]	25
Gambar 2.7 Tahapan utama dalam model wave-to-wire WEC	26
Gambar 2.8 Perbandingan THD tegangan dan arus pada variasi frekuensi penyaklaran inverter.....	33
Gambar 2.9 Contoh evaluation board inverter tiga fasa yang menunjukkan power stage dan antarmuka control board	35
Gambar 2.10 Diagram inverter (a) grid-following dan (b) grid-forming	36
Gambar 2.11 Diagram blok rinci kontrol Droop	39
Gambar 2.12 Diagram blok umum kontrol Virtual Synchronous Machine (VSM) [7]	41
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	45
Gambar 3.2 Struktur model simulasi nanogrid berbasis WEC dengan inverter grid-forming	47
Gambar 3.3 Diagram alir simulasi penelitian untuk evaluasi kinerja Droop Control dan VSM pada nanogrid berbasis WEC.	48
Gambar 3.4 Contoh pembentukan profil daya WEC ekuivalen pada SS-2: (a) spektrum Bretschneider, (b) elevasi gelombang, (c) sinyal modulasi ternormalisasi, dan (d) profil daya WEC ekuivalen.....	55
Gambar 4.1 Diagram lengkap model simulasi nanogrid berbasis Wave Energy Converter (WEC) dengan inverter grid-forming, sistem pengukuran PCC, beban, serta blok kontrol Droop dan VSM pada MATLAB/Simulink	82
Gambar 4.2 Subsistem Droop Control untuk pembentukan referensi frekuensi melalui karakteristik daya aktif–frekuensi dan pembentukan amplitudo modulasi berbasis tegangan DC-link	83
Gambar 4.3 Subsistem Virtual Synchronous Machine (VSM) untuk pembentukan referensi modulasi inverter melalui emulasi persamaan ayunan, inersia virtual, dan redaman virtual.....	84
Gambar 4.4 Profil daya masukan WEC selama 300 detik pada kondisi SS-1, SS-2, dan SS-3 sebagai variasi sumber energi gelombang yang digunakan pada pengujian simulasi.....	86
Gambar 4.5 Perbandingan respons frekuensi Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-1.....	92

Gambar 4.6 Perbandingan respons tegangan RMS PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-1	92
Gambar 4.7 Perbandingan respons tegangan DC-link Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-1	93
Gambar 4.8 Perbandingan THDv PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-1	94
Gambar 4.9 Perbandingan respons daya aktif WEC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-1	94
Gambar 4.10 Perbandingan daya aktif PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-1	95
Gambar 4.11 Perbandingan daya reaktif PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-1	95
Gambar 4.12 Perbandingan respons frekuensi Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-2	96
Gambar 4.13 Perbandingan respons tegangan RMS PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-2	97
Gambar 4.14 Perbandingan respons tegangan DC-link Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-2	97
Gambar 4.15 Perbandingan THDv PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-2	98
Gambar 4.16 Perbandingan respons daya aktif WEC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-2	99
Gambar 4.17 Perbandingan daya aktif PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-2	99
Gambar 4.18 Perbandingan daya reaktif PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-2	100
Gambar 4.19 Perbandingan respons frekuensi Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-3	101
Gambar 4.20 Perbandingan respons tegangan RMS PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-3	101
Gambar 4.21 Perbandingan respons tegangan DC-link Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-3	102
Gambar 4.22 Perbandingan THDv PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-3	103
Gambar 4.23 Perbandingan respons daya aktif WEC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-3	103
Gambar 4.24 Perbandingan daya aktif PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-3	104
Gambar 4.25 Perbandingan daya reaktif PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1 SS-3	104
Gambar 4.26 Perbandingan respons frekuensi Droop Control dan VSM pada Skenario 2 load step	108

Gambar 4.27 Perbandingan respons tegangan RMS PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 2 load step	108
Gambar 4.28 Perbandingan respons tegangan DC-link Droop Control dan VSM pada Skenario 2 load step	109
Gambar 4.29 Perbandingan THDv PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 2 load step	110
Gambar 4.30 Perbandingan respons daya aktif WEC Droop Control dan VSM pada Skenario 2 load step	110
Gambar 4.31 Perbandingan daya aktif PCC pada Skenario 2 load step	111
Gambar 4.32 Perbandingan daya reaktif PCC pada Skenario 2 load step	111
Gambar 4.33 Perbandingan respons frekuensi Droop Control dan VSM pada Skenario 2 PF Step	113
Gambar 4.34 Perbandingan respons tegangan RMS PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 2 PF Step	114
Gambar 4.35 Perbandingan respons tegangan DC-link Droop Control dan VSM pada Skenario 2 PF Step	114
Gambar 4.36 Perbandingan THDv PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 2 PF Step	115
Gambar 4.37 Perbandingan respons daya aktif WEC Droop Control dan VSM pada Skenario 2 PF Step	116
Gambar 4.38 Perbandingan daya aktif PCC pada Skenario 2 PF Step	116
Gambar 4.39 Perbandingan daya reaktif PCC pada Skenario 2 PF Step	117
Gambar 4.40 Perbandingan respons frekuensi Droop Control dan VSM pada Skenario 2 Load Shedding	119
Gambar 4.41 Perbandingan respons tegangan RMS PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 2 Load Shedding	119
Gambar 4.42 Perbandingan respons tegangan DC-link Droop Control dan VSM pada Skenario 2 Load Shedding	120
Gambar 4.43 Perbandingan THDv PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 2 Load Shedding	121
Gambar 4.44 Perbandingan respons daya aktif WEC Droop Control dan VSM pada Skenario 2 Load Shedding	121
Gambar 4.45 Perbandingan daya aktif PCC pada Skenario 2 Load Shedding ..	122
Gambar 4.46 Perbandingan daya reaktif PCC pada Skenario 2 Load Shedding ..	122
Gambar 4.47 Perbandingan respons frekuensi Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-1	127
Gambar 4.48 Perbandingan respons tegangan RMS PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-1	128
Gambar 4.49 Perbandingan respons tegangan DC-link Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-1	128
Gambar 4.50 Perbandingan THDv PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-1	129

Gambar 4.51 Perbandingan respons daya aktif WEC Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-1	130
Gambar 4.52 Perbandingan daya aktif PCC pada Skenario 3 SS-1	130
Gambar 4.53 Perbandingan daya reaktif PCC pada Skenario 3 SS-1	131
Gambar 4.54 Perbandingan respons frekuensi Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-2.....	132
Gambar 4.55 Perbandingan respons tegangan RMS PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-2.....	133
Gambar 4.56 Perbandingan respons tegangan DC-link Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-2	133
Gambar 4.57 Perbandingan THDv PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-2.....	134
Gambar 4.58 Perbandingan respons daya aktif WEC Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-2	135
Gambar 4.59 Perbandingan daya aktif PCC pada Skenario 3 SS-2	135
Gambar 4.60 Perbandingan daya reaktif PCC pada Skenario 3 SS-2	136
Gambar 4.61 Perbandingan respons frekuensi Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-3.....	137
Gambar 4.62 Perbandingan respons tegangan RMS PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-3.....	138
Gambar 4.63 Perbandingan respons tegangan DC-link Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-3	138
Gambar 4.64 Perbandingan THDv PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-3	139
Gambar 4.65 Perbandingan respons daya aktif WEC Droop Control dan VSM pada Skenario 3 SS-3	140
Gambar 4.66 Perbandingan daya aktif PCC pada Skenario 3 SS-3	140
Gambar 4.67 Perbandingan daya reaktif PCC pada Skenario 3 SS-3	141
Gambar 4.68 Perbandingan deviasi frekuensi maksimum Droop Control dan VSM pada Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3	142
Gambar 4.69 Perbandingan RoCoF maksimum Droop Control dan VSM pada Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3	143
Gambar 4.70 Perbandingan waktu settling frekuensi Droop Control dan VSM pada skenario transien	144
Gambar 4.71 Perbandingan deviasi tegangan RMS maksimum Droop Control dan VSM pada Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3	145
Gambar 4.72 Perbandingan deviasi tegangan DC-link maksimum Droop Control dan VSM pada Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3	146
Gambar 4.73 Perbandingan THDv Droop Control dan VSM pada Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3.....	147
Gambar 4.74 Perbandingan daya aktif WEC Droop Control dan VSM pada Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3	148

Gambar 4.75 Perbandingan daya aktif PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3	148
Gambar 4.76 Perbandingan daya reaktif PCC Droop Control dan VSM pada Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3	149

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	7
Tabel 2.2 Perbandingan inverter grid-following dan grid-forming berdasarkan literatur [6], [8], [33]	36
Tabel 2.3 Perbandingan teoritis Droop Control dan VSM berdasarkan literatur [6], [7], [8]	43
Tabel 3.1 Titik operasi pembentukan profil daya WEC ekuivalen	51
Tabel 3.2 Klasifikasi variabel penelitian	66
Tabel 3.3 Skenario Variasi Daya	67
Tabel 3.4 Skenario Perubahan Beban	67
Tabel 3.5 Skenario Kombinasi	69
Tabel 3.6 Jumlah Simulasi	70
Tabel 3.7 Keterkaitan tujuan penelitian, parameter terukur, dan metrik evaluasi	71
Tabel 3.8 Rentang waktu pengolahan data pada setiap skenario pengujian	72
Tabel 4.1 Konfigurasi akhir sistem yang digunakan dalam pengujian	87
Tabel 4.2 Hasil pengujian Skenario 1 terhadap variasi daya WEC pada kondisi SS-1, SS-2, dan SS-3	89
Tabel 4.3 Kondisi Awal Sistem Sebelum Gangguan pada Skenario Perubahan Beban	105
Tabel 4.4 Metrik respons sistem terhadap gangguan load step	106
Tabel 4.5 Metrik respons sistem terhadap perubahan faktor daya	112
Tabel 4.6 Metrik respons sistem terhadap Load Shedding	117
Tabel 4.7 Kondisi awal sistem sebelum gangguan pada skenario kombinasi. ...	123
Tabel 4.8 Hasil pengujian skenario kombinasi terhadap penurunan daya WEC dan peningkatan beban pada SS-1, SS-2, dan SS-3	124
Tabel 4.9 Perbandingan kompleksitas loop frekuensi Droop Control dan VSM berdasarkan model simulasi	149
Tabel 4.10 Ringkasan trade-off kinerja dinamis dan kompleksitas struktur kontrol Droop Control dan VSM	151

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Data pendukung metrik hasil simulasi

LAMPIRAN 2 Kode matlab pembentukan masukan WEC

LAMPIRAN 3 Kode matlab pengolahan keluaran simulasi