ANALISIS SYNTHETIC INERTIA (SI) PADA VSC-HVDC UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN DAN INTEGRASI ENERGI
TERBARUKAN DI SISTEM TENAGA LISTRIK
Azriel Sakti Raja Manihuruk, Ir. Roni Irnawan, , S.T., M.Sc., Ph.D., SMIEEE.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv
HALAMAN PERSEMBAHAN v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR SINGKATAN xv
INTISARI xvi
ABSTRACT xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori 7
2.1 Tinjauan Pustaka 7
2.2 Dasar Teori 9
2.2.1 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik 9
2.2.2 Stabilitas Sudut Rotor 10
2.2.3 Stabilitas Tegangan 12
2.2.4 Stabilitas Frekuensi 13
2.3 Inersia pada Sistem Tenaga 14
2.3.1 Persamaan Ayun (*Swing Equation*) 15
2.3.2 Fenomena Inersia Rendah (*Low Inertia*) 16
2.3.3 Teknologi VSC-HVDC 17
2.3.3.1 Prinsip Kerja 18
2.3.3.2 Kapasitor DC 19
2.3.3.3 Kapabilitas Kendali Daya Aktif dan Reaktif 19
2.4 Klasifikasi Pengendalian Konverter 21
2.4.1 *Grid Following* (GFL) 22

UNIVERSITAS GADJAH MADA
ANALISIS SYNTHETIC INERTIA (SI) PADA VSC-HVDC UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN DAN INTEGRASI ENERGI
TERBARUKAN DI SISTEM TENAGA LISTRIK
Azriel Sakti Raja Manihuruk, Ir. Roni Irnawan, , S.T., M.Sc., Ph.D., SMIEEE.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.4.2 *Grid Forming* (GFM) 23
2.5 Arsitektur Kendali Hierarki Konverter 25
2.5.1 *Upper Level Control* 26
2.5.2 *Lower Level Control* 28
2.6 Inersia Sintetis (*Synthetic Inertia*) 28
2.6.1 Konsep Dasar dan Topologi Kendali 29
2.6.2 Pemodelan Matematis Inersia Sintetis 30
2.7 DIgSILENT PowerFactory 32
2.7.1 Simulasi Dinamis/RMS 33
2.7.2 Pemodelan Dinamis 33
2.7.3 *DIgSILENT Simulation Language* (DSL) 34
BAB III Metode Penelitian 35
3.1 Metode yang Digunakan 35
3.2 Diagram Alir Penelitian 36
3.3 Pemodelan Sistem Uji 39
3.3.1 Topologi Jaringan dan Skenario Aliran Daya 40
3.3.2 Pemodelan Stasiun Konverter VSC-HVDC 41
3.3.3 Pemodelan Pembangkit Konvensional Generator Sinkron 45
3.3.4 Pemodelan Pembangkit Energi Terbarukan (EBT) 47
3.3.5 Pemodelan Beban Kelistrikan 50
3.3.6 Pemodelan Generator Sinkron Substitusi (Skenario *Base Case*) ... 51
3.4 Desain dan Implementasi Kontrol *Synthetic Inertia* 53
3.4.1 Posisi SI dalam Hierarki Kontrol Konverter 54
3.4.2 Formulasi Matematis Kontrol SI berbasis *Generator Emulation* ... 56
3.4.3 Pemodelan Menggunakan *DIgSILENT Simulation Language* (DSL) 58
3.4.4 Batasan Operasi dan Manajemen Energi *DC-link* 59
3.5 Skenario dan Indikator Pengujian 61
3.5.1 Indikator Penilaian Stabilitas dan Respons Dinamis 61
3.5.2 Konfigurasi Skenario Komparatif 63
3.5.3 Skenario Gangguan Transien (*Disturbance Event*) 65
BAB IV Hasil dan Pembahasan 68
4.1 Validasi Kondisi Tunak Sistem (*Steady-State Validation*) 68
4.2 Validasi Konsep (*Proof of Concept*): Karakteristik *Generator Emulation* ($H_{syn} = 4$ detik) 69
4.2.1 Skenario Operasi Normal Tanpa Gangguan 69
4.2.2 Skenario Pelepasan Pembangkit Sinkron (*Switch Event*) 71
4.2.3 Skenario Penambahan Beban Mendadak (*Load Step Event*) 73
4.2.4 Skenario Intermitensi Pasokan Angin (*Wind Fluctuation*) 74
4.3 Analisis Komparatif Skenario Pelepasan Pembangkit Sinkron (*Switch Event*) 76

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
ANALISIS SYNTHETIC INERTIA (SI) PADA VSC-HVDC UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN DAN INTEGRASI ENERGI TERBARUKAN DI SISTEM TENAGA LISTRIK
Azriel Sakti Raja Manihuruk, Ir. Roni Irnawan, , S.T., M.Sc., Ph.D., SMIEEE.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3.1 Indikator Kinerja Makro (Stabilitas Jaringan Sistem) 76
4.3.2 Indikator Kinerja Mikro (Respons Dinamis dan Keamanan Konverter) 78
4.3.3 Dinamika Distribusi Daya Pembangkit Internal (*Load Sharing*) ... 80
4.4 Analisis Komparatif Skenario Penambahan Beban Mendadak (*Load Step Event*) 83
4.4.1 Indikator Kinerja Makro (Stabilitas Jaringan Sistem) 83
4.4.2 Indikator Kinerja Mikro (Respons Dinamis dan Keamanan Konverter) 85
4.4.3 Dinamika Distribusi Daya Pembangkit Internal (*Load Sharing*) ... 88
4.5 Analisis Komparatif Skenario Fluktuasi Daya Injeksi Intermiten (*Wind Fluctuation*) 92
4.5.1 Indikator Kinerja Makro (Stabilitas Jaringan Sistem) 92
4.5.2 Indikator Kinerja Mikro (Respons Dinamis dan Keamanan Konverter) 94
4.5.3 Dinamika Distribusi Daya Pembangkit Internal (*Load Sharing*) ... 96
4.6 Analisis Kecukupan Energi Kapasitor *DC-Link* 100
4.7 Sintesis Komparatif dan Penentuan Konstanta Inersia Optimal 101
BAB V Kesimpulan dan Saran 103
5.1 Kesimpulan 103
5.2 Saran 104
DAFTAR PUSTAKA 105
L.1 Listing Kode Program (DSL) L-107