Optimisasi Bauran Pembangkit Sistem Kelistrikan Kalimantan dengan Mempertimbangkan Ketidakpastian
Potensi Hidro dan Integrasi PLTN Menggunakan LEAP
Lalu Kevin Alejandro Mandrayudha, Ir. Ahmad Adhiim Muthahhari, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN i

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ii

HALAMAN MOTTO iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR SINGKATAN xiii

INTISARI xv

ABSTRACT xvi

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Batasan Masalah 4
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Sistematika Penulisan 5

BAB 2 LANDASAN TEORI 7

2.1 Tinjauan Pustaka 7
2.2 Dasar Teori 11
2.2.1 Fungsi Objektif Rencana Pengembangan Pembangkit 11
2.2.2 Sistem Kelistrikan Kalimantan 12
2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) 14
2.2.4 Pengaruh Musim Kemarau dan El Niño terhadap PLTA 15
2.2.5 Ketidakpastian Pembangunan PLTA 16
2.2.6 Perencanaan Pembangkit dan Sistem Operasi 16

Optimisasi Bauran Pembangkit Sistem Kelistrikan Kalimantan dengan Mempertimbangkan Ketidakpastian
Potensi Hidro dan Integrasi PLTN Menggunakan LEAP
Lalu Kevin Alejandro Mandrayudha, Ir. Ahmad Adhiim Muthahhari, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.7 Kandidat Pembangkit Pengganti: PLTN, PLTS, Gas, dan BECCS 17
2.2.8 Keandalan Sistem 18
2.2.9 LEAP (*Low Emissions Analysis Platform*) 19
2.2.10 Fungsi Objektif pada Mode Optimasi LEAP 22
2.2.11 Perhitungan Biaya pada LEAP 22
2.3 Hipotesis 24

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 25
3.1 Tahapan Penelitian 25
3.1.1 Studi Literatur 26
3.1.2 Pengumpulan Data 26
3.1.3 Pengolahan Data Input 27
3.1.4 Pembangunan Model dalam LEAP 27
3.1.5 Verifikasi Input Model 28
3.1.6 Perancangan Skenario Simulasi 28
3.1.7 Simulasi dan Optimasi Skenario 28
3.1.8 Analisis Hasil 29
3.1.9 Penyusunan Kesimpulan dan Rekomendasi 29
3.2 Alat dan Bahan 29
3.2.1 Alat 29
3.2.2 Bahan 30
3.3 Sumber Data Parameter Simulasi 31
3.3.1 Karakteristik Pembangkit 31
3.3.2 Kapasitas Pembangkit Eksisting Sistem Kalimantan 33
3.3.3 Rencana Pengembangan Pembangkit 34
3.3.4 Potensi Sumber Energi Terbarukan Berdasarkan RUKN 35
3.4 Pemodelan PLTS+BESS sebagai *Bundle Process* 36
3.4.1 Justifikasi Pendekatan *Bundle* 36
3.4.2 Perhitungan Sistem *Loss* PLTS+BESS *Bundle* 37
3.4.3 Parameter PLTS-BESS_Bundle 38
3.5 Pemodelan Retrofit PLTU menjadi PLTU-CCS 39
3.5.1 Justifikasi Hukum dan Teknis 39
3.5.2 Cohort PLTU yang Memenuhi Syarat Retrofit 39
3.5.3 Parameter PLTU-CCS Retrofit 40
3.6 Konfigurasi *Capacity Credit* 40
3.7 Profil Beban Harian dan Pendekatan Pembangkit VRE 41
3.7.1 Profil Beban Sistem Kalimantan 41

Optimisasi Bauran Pembangkit Sistem Kelistrikan Kalimantan dengan Mempertimbangkan Ketidakpastian
Potensi Hidro dan Integrasi PLTN Menggunakan LEAP
Lalu Kevin Alejandro Mandrayudha, Ir. Ahmad Adhiim Muthahhari, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.7.2 Pendekatan Pemodelan Pembangkit *Variable Renewable Energy* (VRE) . . . 41
3.8 Mekanisme Optimasi LEAP-NEMO . . . 42
3.8.1 Pendekatan Pemodelan LEAP . . . 42
3.8.2 Fungsi Objektif dan Constraint NEMO . . . 43
3.8.3 Mekanisme Planning Reserve Margin . . . 44
3.8.4 Addition Order, Build Order, dan Supply Curve . . . 44
3.8.5 Resolusi Temporal dan Keterbatasan Indikator Keandalan . . . 45
3.9 Konfigurasi Penambahan Kapasitas Pembangkit Baruan . . . 45
3.9.1 Konfigurasi Pembangkit Kandidat *Baseline* (Skenario *Baseline* dan NZE) . . . 46
3.9.2 Konfigurasi Pembangkit Kandidat Skenario Hidro (Hidro 75%, 50%, 25%) . . . 46
3.9.3 Justifikasi Perubahan pada Konfigurasi Skenario Hidro . . . 47
3.9.4 Process yang Tidak Dimodelkan sebagai Pembangkit Baruan . . . 48
3.10 Proyeksi Demand 2035–2060 . . . 49
3.11 Prinsip Emisi Karbon Netral Biomassa . . . 50
3.12 Rancangan Skenario Simulasi . . . 51
3.12.1 Skenario *Baseline* (Kapasitas Hidro 100%) . . . 53
3.12.2 Skenario Hidro 75% . . . 53
3.12.3 Skenario Hidro 50% . . . 54
3.12.4 Skenario Hidro 25% . . . 54
3.12.5 Skenario NZE (*Net Zero Emission*) . . . 54
3.13 Parameter Evaluasi Antar-Skenario . . . 54
3.13.1 Perhitungan LCOE Post-Processing . . . 55

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN **57**
4.1 Hasil Simulasi Skenario *Baseline* . . . 57
4.1.1 Hasil Perencanaan Kapasitas Skenario *Baseline* . . . 57
4.1.2 Komposisi Bauran 2060 Skenario *Baseline* . . . 59
4.1.3 Keandalan Sistem Skenario *Baseline* . . . 60
4.1.4 Produksi Energi Skenario *Baseline* . . . 61
4.1.5 Biaya dan Emisi Skenario *Baseline* . . . 61
4.2 Hasil Simulasi Skenario Hidro 75% . . . 62
4.2.1 Bauran Kapasitas Skenario Hidro 75% . . . 62
4.2.2 Keandalan, Biaya, dan Emisi Skenario Hidro 75% . . . 64
4.3 Hasil Simulasi Skenario Hidro 50% . . . 64
4.3.1 Bauran Kapasitas Skenario Hidro 50% . . . 65

Optimisasi Bauran Pembangkit Sistem Kelistrikan Kalimantan dengan Mempertimbangkan Ketidakpastian
Potensi Hidro dan Integrasi PLTN Menggunakan LEAP
Lalu Kevin Alejandro Mandrayudha, Ir. Ahmad Adhiim Muthahhari, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3.2 Keandalan, Biaya, dan Emisi Skenario Hidro 50% 67
4.4 Hasil Simulasi Skenario Hidro 25% 67
4.4.1 Bauran Kapasitas Skenario Hidro 25% 67
4.4.2 Keandalan, Biaya, dan Emisi Skenario Hidro 25% 69
4.5 Hasil Simulasi Skenario NZE 69
4.5.1 Bauran Kapasitas dan Trajektori BECCS 70
4.5.2 Pencapaian Emisi Nol pada Skenario NZE 72
4.5.3 Biaya Skenario NZE 72
4.6 Dampak Penurunan Hidro terhadap Bauran Pembangkit 73
4.6.1 Pola Substitusi Empat Tingkatan Pembangkit Pengganti 73
4.6.2 Linearitas Penambahan Kapasitas Pengganti 73
4.6.3 Implikasi Operasional Pola Substitusi 74
4.7 Perbandingan Antar-Skenario 75
4.7.1 Perbandingan Bauran Kapasitas 75
4.7.2 Perbandingan Keandalan Sistem 76
4.7.3 Perbandingan Produksi Energi 77
4.7.4 Perbandingan Biaya 78
4.7.5 Perbandingan Emisi CO_2 78
4.7.6 Perbandingan LCOE Antarskenario 79
4.8 Sintesis Keterkaitan Kapasitas, Energi, Biaya, dan Emisi 82
4.9 Implikasi Kebijakan 83
4.9.1 Diversifikasi sebagai Strategi Mitigasi Risiko Hidro 83
4.9.2 Peran Strategis PLTN SMR 83
4.9.3 Pencapaian NZE 2060 dengan BECCS 84
4.9.4 Konsekuensi Aktivasi PLTGU pada Skenario Hidro Tertekan . . 84

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN **85**
5.1 Kesimpulan 85
5.2 Saran 86

DAFTAR PUSTAKA **87**

LAMPIRAN A **L - 1**

LAMPIRAN **L - 7**
A. Parameter Teknoekonomi Pembangkit . . . . . L - 7
B. Kapasitas Terpasang Tahunan per Skenario . . . . . L - 8
C. Produksi Energi Tahunan per Skenario . . . . . L - 13
D. Emisi CO2 Tahunan per Skenario . . . . . L - 18