UNIVERSITAS GADJAH MADA
Optimalisasi Perencanaan Pengembangan Pembangkit Jangka Panjang di Sistem Kalimantan dengan Dominasi Pembangkit Hidro
Reza Aulia Ibrahim, Dr. Ir. Avrin Nur Widiastuti, S.T., M. Eng., IPM., ASEAN Eng.; Prof. Ir. Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D.,
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv
PRAKATA v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN xiii
ABSTRAK xv
ABSTRACT xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Penelitian 3
1.5 Keaslian dan Kontribusi Penelitian 5
1.6 Manfaat Penelitian 7
1.7 Sistematika Penulisan 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 9
2.1 Tinjauan Pustaka 9
2.2 Landasan Teori 10
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik 10
2.2.2 Strategi Pengembangan Sistem Ketenagalistrikan 13
2.2.3 Analisis Optimalisasi Pengembangan Pembangkit (GEP) 14
2.2.4 Aspek Ekonomi, Lingkungan, dan Keandalan dalam GEP 18
BAB III METODE PENELITIAN 20
3.1 Alat dan Bahan 20
3.1.1 Alat Penelitian 20
3.1.2 Bahan 20
3.2 Model *Generation Expansion Planning* 32
3.2.1 Struktur Model Optimisasi 32
3.2.2 Skenario Pengembangan 33
3.2.3 Implementasi Model pada PLEXOS 34
3.3 Tahapan Penelitian 35

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimalisasi Perencanaan Pengembangan Pembangkit Jangka Panjang di Sistem Kalimantan dengan Dominasi Pembangkit Hidro
Reza Aulia Ibrahim, Dr. Ir. Avrin Nur Widiastuti, S.T., M. Eng., IPM., ASEAN Eng.; Prof. Ir. Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D.,
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Hasil Perencanaan Ekspansi Pembangkit 39
4.2 Analisis Bauran Energi (*Energy Mix*) 43
4.3 Analisis Biaya Pembangkitan 48
4.4 Analisis Emisi Karbon 50
4.5 Analisis Keandalan Sistem 52
4.6 Pembahasan 57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 60
5.1 Kesimpulan 60
5.2 Saran 61
DAFTAR PUSTAKA 62
LAMPIRAN 65

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimalisasi Perencanaan Pengembangan Pembangkit Jangka Panjang di Sistem Kalimantan dengan Dominasi Pembangkit Hidro
Reza Aulia Ibrahim, Dr. Ir. Avrin Nur Widiastuti, S.T., M. Eng., IPM., ASEAN Eng.; Prof. Ir. Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D.,
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 1 *State-of-Art* Penelitian *Generation Expansion Planning* 5

Tabel 2 Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik (GWh) dan Beban Puncak (MW) Sistem Kalimantan Tahun 2025 - 2050 22

Tabel 3 Data Pembangkit Eksisting Sistem Kalimantan [6] 24

Tabel 4 Parameter Teknis dan Ekonomi Pembangkit 26

Tabel 5 Data Asumsi Biaya Bahan Bakar 27

Tabel 6 Data Asumsi Faktor Emisi 27

Tabel 7 Profil Operasi PLTA Kalimantan 28

Tabel 8 Daftar Potensi PLTA di Kalimantan 29

Tabel 9 Jadwal Penelitian 38

Tabel 10 Kapasitas Pembangkit 2025-2050 Skenario *Hydro-Intensive* (MW) 39

Tabel 11 Kapasitas Pembangkit 2025-2050 Skenario *Hydro-Constrained* (MW) 40

Tabel 12 Kapasitas Pembangkit 2025-2050 Skenario *CCS-Enabled* (MW) 42

Tabel 13 Produksi Energi 2025-2050 Skenario *Hydro-Intensive* (GWh) 43

Tabel 14 Produksi Energi 2025-2050 Skenario *Hydro-Constrained* (GWh) 44

Tabel 15 Produksi Energi 2025-2050 Skenario *CCS-Enabled* (GWh) 46

Tabel 16 Perbandingan Biaya Pembangkitan Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* (Rp/kWh) 48

Tabel 17 Perbandingan Emisi CO_2 Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* (Mton) 50

Tabel 18 Perbandingan *Reserve Margin* Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* (%) 52

Tabel 19 Perbandingan LOLP Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* (%) 53

Tabel 20 Hasil Analisis Sensitivitas *Reserve Margin* Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* (%) 55

Tabel 21 Hasil Analisis Sensitivitas LOLP Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* (%) 56

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimalisasi Perencanaan Pengembangan Pembangkit Jangka Panjang di Sistem Kalimantan dengan Dominasi Pembangkit Hidro
Reza Aulia Ibrahim, Dr. Ir. Avrin Nur Widiastuti, S.T., M. Eng., IPM., ASEAN Eng.; Prof. Ir. Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D.,
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 22 Perbandingan Hasil Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* Tahun 2050 58

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimalisasi Perencanaan Pengembangan Pembangkit Jangka Panjang di Sistem Kalimantan dengan Dominasi Pembangkit Hidro
Reza Aulia Ibrahim, Dr. Ir. Avrin Nur Widiastuti, S.T., M. Eng., IPM., ASEAN Eng.; Prof. Ir. Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D.,
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Elemen Dasar Sistem Tenaga Listrik [18] 11

Gambar 2 Rencana Pengembangan Sistem Kelistrikan Kalimantan Tahun 2025-2034 [6] 12

Gambar 3 Grafik Proyeksi Kebutuhan Energi (GWh) dan Beban Puncak (MW) Kalimantan Tahun 2025 – 2050 22

Gambar 4 Komposisi Pembangkit Eksisting Berdasarkan Teknologi Pembangkit 24

Gambar 5 Profil Operasi PLTA Kalimantan 28

Gambar 6 Flowchart Penelitian 37

Gambar 7 Grafik Kapasitas Pembangkit 2025-2050 per Tahun Skenario *Hydro-Intensive* 40

Gambar 8 Grafik Kapasitas Pembangkit 2025-2050 per Tahun Skenario *Hydro-Constrained* 41

Gambar 9 Grafik Kapasitas Pembangkit 2025-2050 per Tahun Skenario *CCS-Enabled* 43

Gambar 10 Grafik Produksi Energi 2025-2050 per Tahun Skenario *Hydro-Intensive* ... 44

Gambar 11 Grafik Produksi Energi 2025-2050 per Tahun Skenario *Hydro-Constrained* 45

Gambar 12 Grafik Produksi Energi 2025-2050 per Tahun Skenario *CCS-Enabled* 46

Gambar 13 Perbandingan Bauran Energi Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained* dan *CCS-Enabled* Tahun 2050 47

Gambar 14 Grafik Perbandingan Biaya Pembangkitan Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* 49

Gambar 15 Grafik Perbandingan Emisi Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* 51

Gambar 16 Grafik Perbandingan *Reserve Margin* Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* 53

Gambar 17 Grafik Perbandingan LOLP Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* 54

Gambar 18 Grafik Hasil Analisis Sensitivitas *Reserve Margin* Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* 55

Gambar 19 Grafik Hasil Analisis Sensitivitas LOLP Skenario *Hydro-Intensive*, *Hydro-Constrained*, dan *CCS-Enabled* 56

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimalisasi Perencanaan Pengembangan Pembangkit Jangka Panjang di Sistem Kalimantan dengan Dominasi Pembangkit Hidro
Reza Aulia Ibrahim, Dr. Ir. Avrin Nur Widiastuti, S.T., M. Eng., IPM., ASEAN Eng.; Prof. Ir. Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D.,
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 20 Struktur Model *Generation Expansion Planning* pada PLEXOS..... 65

Gambar 21 Konfigurasi Model Simulasi pada PLEXOS 65

Gambar 22 Implementasi *Data Generator* pada Model *Generation Expansion Planning* 65

Gambar 23 Konfigurasi Keandalan pada PLEXOS..... 66

Gambar 24 Konfigurasi *Planning Horizon* Skenario *Hydro-Intensive* pada Model *Generation Expansion Planning*..... 66

Gambar 25 Konfigurasi *Planning Horizon* Skenario *Hydro-Constrained* pada Model *Generation Expansion Planning*..... 66

Gambar 26 Konfigurasi *Planning Horizon* Skenario *CCS-Enabled* pada Model *Generation Expansion Planning*..... 67

Gambar 27 Contoh Keluaran Produksi Energi Listrik Skenario *Hydro-Intensive* Berdasarkan Jenis Pembangkit pada PLEXOS..... 67

Gambar 28 Contoh Keluaran Produksi Energi Listrik Skenario *Hydro-Constrained* Berdasarkan Jenis Pembangkit pada PLEXOS..... 67

Gambar 29 Contoh Keluaran Produksi Energi Listrik Skenario *CCS-Enabled* Berdasarkan Jenis Pembangkit pada PLEXOS..... 68

Gambar 30 Contoh Keluaran *Installed Capacity* Skenario *Hydro-Intensive* Berdasarkan Jenis Pembangkit pada PLEXOS..... 68

Gambar 31 Contoh Keluaran *Installed Capacity* Skenario *Hydro-Constrained* Berdasarkan Jenis Pembangkit pada PLEXOS..... 68

Gambar 32 Contoh Keluaran *Installed Capacity* Skenario *CCS-Enabled* Berdasarkan Jenis Pembangkit pada PLEXOS..... 69

Optimalisasi Perencanaan Pengembangan Pembangkit Jangka Panjang di Sistem Kalimantan dengan Dominasi
Pembangkit Hidro
Reza Aulia Ibrahim, Dr. Ir. Avrin Nur Widiastuti, S.T., M. Eng., IPM., ASEAN Eng.; Prof. Ir. Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D.,
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

GEP	*Generation Expansion Planning*
PLTA	Pembangkit Listrik Tenaga Air
BPP	Biaya Pembangkitan
LOLP	Loss of Load Probability
RUPTL	Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik
RUKN	Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional
IKN	Ibu Kota Nusantara
EBT	Energi Baru Terbarukan
COD	*Commercial Operation Date*
CO_2	Karbon Dioksida
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hour
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-hour
$C_{j,t}$	Biaya Minimum untuk Pembangkitan, yang terkait rencana ekspansi j
$\overline{I_{J,t}}$	Jumlah dari Biaya Investasi yang Didiskon
$\overline{F_{J,t}}$	Biaya Bahan Bakar yang Didiskon
$\overline{O\&M_{J,t}}$	Biaya Operasi & Pemeliharaan yang Didiskon
$\overline{O_{J,t}}$	Biaya Energi yang Tidak Disuplai
$\overline{S_{J,t}}$	nilai residu yang didiskon setelah depresiasi selama periode dalam studi
i	*Discount Rate*
t	Jumlah Tahun Antara Tanggal Referensi untuk *Discount* dan tahun ke-1 studi
C_{Cap}^{k}	Jumlah dari Semua Biaya Investasi Modal Unit k
P_{Max}^{k}	Kapasitas Unit k dalam MW
$\delta_{j,t}$	Faktor Nilai Sisa pada Akhir Periode untuk Unit k
$C_{Fuel}^{k,thermal}$	Jumlah dari Semua Biaya Bahan Bakar untuk Unit Pembangkit Termal k
$G_{k,thermal}^{t,h}$	Kapasitas Pembangkitan Unit k
α_h	Probabilitas Kondisi Hidrologi
C_{FOM}^{k}	Biaya O&M Tetap Unit k
C_{VOM}^{k}	Biaya O&M Variabel Unit k
G_{k}^{t}	Ekspektasi Pembangkitan Unit k Pada Tahun t
$ENS_{t,h}$	Jumlah Energi Tak Tersalur (kWh) untuk Kondisi Hidrologi h Tahun t
EA_t	Permintaan Energi (kWh) dalam Sistem pada Tahun t
N_t	Jumlah Total Semua Unit Pembangkit
N_A	Jumlah Unit yang Ditambahkan Berdasarkan Komitmen
N_{Cand}	Jumlah Unit Pembangkit Kandidat yang Ditambahkan ke Sistem Tahun t
N_R	Jumlah Unit yang Pensiun Berdasarkan Komitmen pada Tahun t
a_t	Cadangan Daya Minimum
b_t	Cadangan Daya Maksimum

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimalisasi Perencanaan Pengembangan Pembangkit Jangka Panjang di Sistem Kalimantan dengan Dominasi Pembangkit Hidro
Reza Aulia Ibrahim, Dr. Ir. Avrin Nur Widiastuti, S.T., M. Eng., IPM., ASEAN Eng.; Prof. Ir. Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D.,
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

D_{tp}	Permintaan Puncak
N_k^t	Jumlah dari Semua Unit k pada Tahun t
G_t	Total Pembangkitan dari Semua Unit Pembangkit pada Tahun t
CCS	*Carbon Capture and Storage*