UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Keandalan Gardu Induk GISTET Priok pada Sistem Transmisi PT PLN (PERSERO) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Barat
Adytia, Prof. Ir. Tumiran, M.Eng., Ph.D., IPU; Ir. Lesnanto Multa Putranto S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., SMIEEE
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... *i*
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING ..... *ii*
HALAMAN PENGESAHAN TESIS ..... *iii*
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ..... *iv*
PRAKATA ..... *v*
DAFTAR ISI ..... *vi*
DAFTAR TABEL ..... *viii*
DAFTAR GAMBAR ..... *ix*
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN ..... *xi*
ABSTRAK ..... *xiii*
ABSTRACT ..... *xiv*
BAB I *1*
PENDAHULUAN *1*
1.1 Latar Belakang **1**
1.2 Rumusan Masalah **2**
1.3 Batasan Penelitian **3**
1.4 Tujuan Penelitian **3**
1.5 Keaslian dan Kontribusi Penelitian **3**
1.6 Manfaat Penelitian **4**
1.7 Sistematika Penulisan **5**
BAB II *7*
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI *7*
2.1 Tinjauan Pustaka **7**
2.2 Landasan Teori **8**
2.2.1 Konsep Keandalan 9
2.2.2 Konfigurasi Gardu Induk 13
2.2.3 Sistem Proteksi pada Gardu Induk 19
2.2.4 Metode Evaluasi Keandalan dalam Sistem Tenaga Listrik 24
2.3 Kerangka Konseptual Penelitian **26**
2.4 Hipotesis **28**
BAB III *29*
METODE PENELITIAN *29*
3.1 Jenis Penelitian **29**

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Keandalan Gardu Induk GISTET Priok pada Sistem Transmisi PT PLN (PERSERO) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Barat
Adytia, Prof. Ir. Tumiran, M.Eng., Ph.D., IPU; Ir. Lesnanto Multa Putranto S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., SMIEEE
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2 Alat dan Bahan 30
3.2.1 Alat Penelitian 31
3.2.2 Bahan 31
3.3 Tahapan Penelitian 32
3.4 Sumber dan Teknik Pengumpulan Data 34
3.4.1 Data Primer 34
3.4.2 Data Sekunder 35
3.5 Analisis Data 35
3.5.1 Konsep Dasar *Fault Tree Analysis* 36
3.5.2 Konsep Dasar Event Tree Analysis 37
3.5.3 Kombinasi Analisis Aliran Daya 41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 44
4.1 Evaluasi Keandalan pada Gardu Induk Konfigurasi *One and a Half Circuit Breaker* 45
4.1.1 Konfigurasi Gardu Induk 45
4.1.2 Prinsip Kerja Sistem Proteksi dan *Event Tree* 47
4.1.3 Perhitungan *Event Tree* 55
4.2 Evaluasi Keandalan pada Gardu Induk Konfigurasi *Double Busbar* 56
4.2.1 Konfigurasi Gardu Induk 56
4.2.2 Prinsip Kerja Sistem Proteksi dan *Event Tree* 57
4.2.3 Perhitungan Event Tree 64
4.3 Analisis Perbandingan Hasil 66
4.4 Studi Kasus pada GISTET 500kV Priok 69
4.5 Sintesis Hasil dan Pembahasan 73
BAB V 76
KESIMPULAN DAN SARAN 76
5.1 Kesimpulan 76
5.2 Saran 77
DAFTAR PUSTAKA 79
LAMPIRAN 81

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Keandalan Gardu Induk GISTET Priok pada Sistem Transmisi PT PLN (PERSERO) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Barat
Adytia, Prof. Ir. Tumiran, M.Eng., Ph.D., IPU; Ir. Lesnanto Multa Putranto S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., SMIEEE
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Statistik Kegagalan Komponen Sistem Tenaga Listrik 12
Tabel 2.2 Perbandingan Biaya Relatif dari Konfigurasi Gardu Induk 19
Tabel 2.3 Standar Penggunaan Relai Diferensial di Sistem Jawa Bali 21
Tabel 2.4 Kerangka Konseptual Penelitian 27
Tabel 3.1 Kondisi akhir (*end state*) dari *Event Tree* Gangguan Penghantar 39
Tabel 4.1 Deskripsi Unit Pembangkit dan Saluran Transmisi yang Terhubung ke Gardu Induk 45
Tabel 4.2 Prinsip Proteksi pada Gardu Induk dengan Konfigurasi *One and a Half Circuit Breaker* 54
Tabel 4.3 Data Zona Proteksi pada Gardu Induk dengan Konfigurasi *One and a Half Circuit Breaker* 55
Tabel 4.4 Prinsip Proteksi pada Gardu Induk dengan Konfigurasi *Double Busbar* 64
Tabel 4.5 Data Zona Proteksi pada Gardu Induk dengan Konfigurasi *Double Busbar* .. 65
Tabel 4.6 Perbandingan Indeks Keandalan pada Konfigurasi *One and a Half Circuit Breaker* dan *Double Busbar* 67
Tabel 4.7 Indeks Keandalan Bay pada Gardu Induk GISTET 500kV Priok 71
Tabel 4.8 Hasil Integrasi Analisis Keandalan dengan Skenario Aliran Daya pada Gardu Induk GISTET 500kV Priok 72

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Keandalan Gardu Induk GISTET Priok pada Sistem Transmisi PT PLN (PERSERO) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Barat
Adytia, Prof. Ir. Tumiran, M.Eng., Ph.D., IPU; Ir. Lesnanto Multa Putranto S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., SMIEEE
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Waktu Kerja Komponen dengan Dua Kondisi Kerja 9
Gambar 2.2 Konfigurasi Gardu Induk *Double Busbar* 14
Gambar 2.3 Konfigurasi Gardu Induk *One and a Half Circuit Breaker* 14
Gambar 2.4 Konfigurasi Gardu Induk *Ring Bus* 15
Gambar 2.5 Konfigurasi Gardu Induk *Single Busbar* 16
Gambar 2.6 Konfigurasi Gardu Induk *Main and Transfer Bus* 17
Gambar 2.7 Konfigurasi Gardu Induk *Double Bus Double Breaker* 18
Gambar 2.8 Skema Proteksi Relai Diferensial 22
Gambar 2.9 Skema Proteksi Relai Jarak 23
Gambar 2.10 Skema Proteksi Busbar 23
Gambar 2.11 Rangkaian Logika Proteksi *Circuit Breaker Failure* 24
Gambar 2.12 Contoh Penerapan *Event Tree* 26
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian 33
Gambar 3.2 *Fault Tree* pada Sistem Konfigurasi Seri 37
Gambar 3.3 Contoh Gangguan pada Zona Proteksi Penghantar 38
Gambar 3.4 Struktur *Event Tree* pada Gangguan Zona Proteksi Penghantar 39
Gambar 3.5 Kalkulasi Indeks Keandalan pada Struktur *Event Tree* 40
Gambar 4.1 Konfigurasi Gardu Induk *One and a Half Circuit Breaker* 46
Gambar 4.2 Zona Proteksi Busbar pada Gardu Induk *One and a Half Circuit Breaker* 48
Gambar 4.3 *Event Tree* untuk Gangguan pada Zona Busbar A 48
Gambar 4.4 Zona Proteksi Generator pada Gardu Induk One and a Half Circuit Breaker 49
Gambar 4.5 *Event Tree* untuk Gangguan pada Zona G1 50
Gambar 4.6 Zona Proteksi Generator pada Gardu Induk *One and a Half Circuit Breaker* 51
Gambar 4.7 *Event Tree* untuk Gangguan pada Zona L1 51
Gambar 4.8 Zona Proteksi Transformator pada Gardu Induk *One and a Half Circuit Breaker* 52
Gambar 4.9 *Event Tree* untuk Gangguan pada Zona L4 53
Gambar 4.10 Konfigurasi Gardu Induk *Double Busbar* 57
Gambar 4.11 Zona Proteksi Busbar pada Gardu Induk *Double Busbar* 58

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Keandalan Gardu Induk GISTET Priok pada Sistem Transmisi PT PLN (PERSERO) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Barat
Adytia, Prof. Ir. Tumiran, M.Eng., Ph.D., IPU; Ir. Lesnanto Multa Putranto S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., SMIEEE
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 4.12 *Event Tree* untuk Gangguan pada Zona Busbar B *Double Busbar* 59
Gambar 4.13 Zona Proteksi Generator pada Gardu Induk *Double Busbar* 60
Gambar 4.14 Event Tree untuk Gangguan pada Zona G1 *Double Busbar* 60
Gambar 4.15 Zona Proteksi Penghantar pada Gardu Induk *Double Busbar* 61
Gambar 4.16 *Event Tree* untuk Gangguan pada Zona L1 *Double Busbar* 62
Gambar 4.17 Zona Proteksi Transformator pada Gardu Induk *Double Busbar* 63
Gambar 4.18 *Event Tree* untuk Gangguan pada Zona L4 *Double Busbar* 63
Gambar 4.19 Perbandingan *Failure Frequency* pada Konfigurasi *One and a Half Circuit Breaker* dan *Double Busbar* 68
Gambar 4.20 Perbandingan MTTF pada Konfigurasi *One and a Half Circuit Breaker* dan *Double Busbar* 68
Gambar 4.21 Konfigurasi Gardu Induk GISTET 500kV Priok 70

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Keandalan Gardu Induk GISTET Priok pada Sistem Transmisi PT PLN (PERSERO) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Barat
Adytia, Prof. Ir. Tumiran, M.Eng., Ph.D., IPU; Ir. Lesnanto Multa Putranto S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., SMIEEE
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

λ	Laju kegagalan atau failure rate suatu komponen/sistem dalam periode tertentu
μ	Laju perbaikan atau repair rate suatu komponen/sistem
m	Waktu rata-rata menuju kegagalan
r	Waktu perbaikan rata-rata atau mean time to repair
R(t)	Fungsi keandalan komponen/sistem terhadap waktu t
A	Ketersediaan atau availability komponen/sistem
U	Ketidaktersediaan atau unavailability komponen/sistem
f	Frekuensi kegagalan atau failure frequency
P	Probabilitas suatu kejadian
CB	Circuit Breaker – pemutus tenaga pada sistem tenaga Listrik
PMT	Pemutus Tenaga – peralatan pemutus arus beban maupun arus gangguan
CBF	Circuit Breaker Failure – fungsi proteksi ketika pemutus tenaga gagal membuka
GI	Gardu Induk – instalasi utama penghubung, pengendali, dan proteksi sistem tenaga Listrik
GISTET	Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi
PLN	Perusahaan Listrik Negara
UIT JBB	Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Barat
FOIS	Basis data gangguan atau outage pada sistem tenaga listrik PLN
FTA	Fault Tree Analysis – metode analisis keandalan untuk mengidentifikasi penyebab kejadian puncak
ETA	Event Tree Analysis – metode analisis keandalan untuk mengevaluasi urutan konsekuensi dari kejadian awal
MTTF	Mean Time to Failure – waktu rata-rata menuju kegagalan
MTTR	Mean Time to Repair – waktu rata-rata perbaikan
FOR	Forced Outage Rate – tingkat ketidaktersediaan akibat gangguan paksa
ENS	Energy Not Supplied – energi yang tidak tersuplai akibat gangguan
EENS	Expected Energy Not Supplied – ekspektasi energi yang tidak tersuplai
3/2 CB	One and a Half Circuit Breaker – konfigurasi tiga pemutus tenaga untuk dua sirkit

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Keandalan Gardu Induk GISTET Priok pada Sistem Transmisi PT PLN (PERSERO) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Barat
Adytia, Prof. Ir. Tumiran, M.Eng., Ph.D., IPU; Ir. Lesnanto Multa Putranto S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., SMIEEE
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DS	Disconnecting Switch – saklar pemisah
CT	Current Transformer – transformator arus
PT	Potential Transformer – transformator tegangan
VT	Voltage Transformer – transformator tegangan
LA	Lightning Arrester – peralatan pelindung terhadap surja petir atau tegangan lebih
GIS	Gas Insulated Switchgear – peralatan hubung berisolasi gas
MTU	Material Transmisi Utama
OCR	Overcurrent Relay – relai arus lebih
DEF	Directional Earth Fault – proteksi gangguan tanah berarah
PUTT	Permissive Underreaching Transfer Trip – skema teleproteksi berbasis zona underreach
POTT	Permissive Overreaching Transfer Trip – skema teleproteksi berbasis zona overreach
PSB	Power Swing Blocking – fungsi blokir kerja relai akibat ayunan daya
SUTT	Saluran Udara Tegangan Tinggi
SUTET	Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi
SKTT	Saluran Kabel Tegangan Tinggi
UGM	Universitas Gadjah Mada
NIM	Nomor induk mahasiswa