

SKRIPSI

**ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN *LOAD SHEDDING*
PADA SAAT TERJADI GENERATOR *OUTAGE* PADA
SISTEM TENAGA LISTRIK PT PERTAMINA
(PERSERO) RU IV CILACAP**

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat
Strata-1 Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta**



Disusun Oleh:

Slamet Setyo Utomo

20130120116

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2017

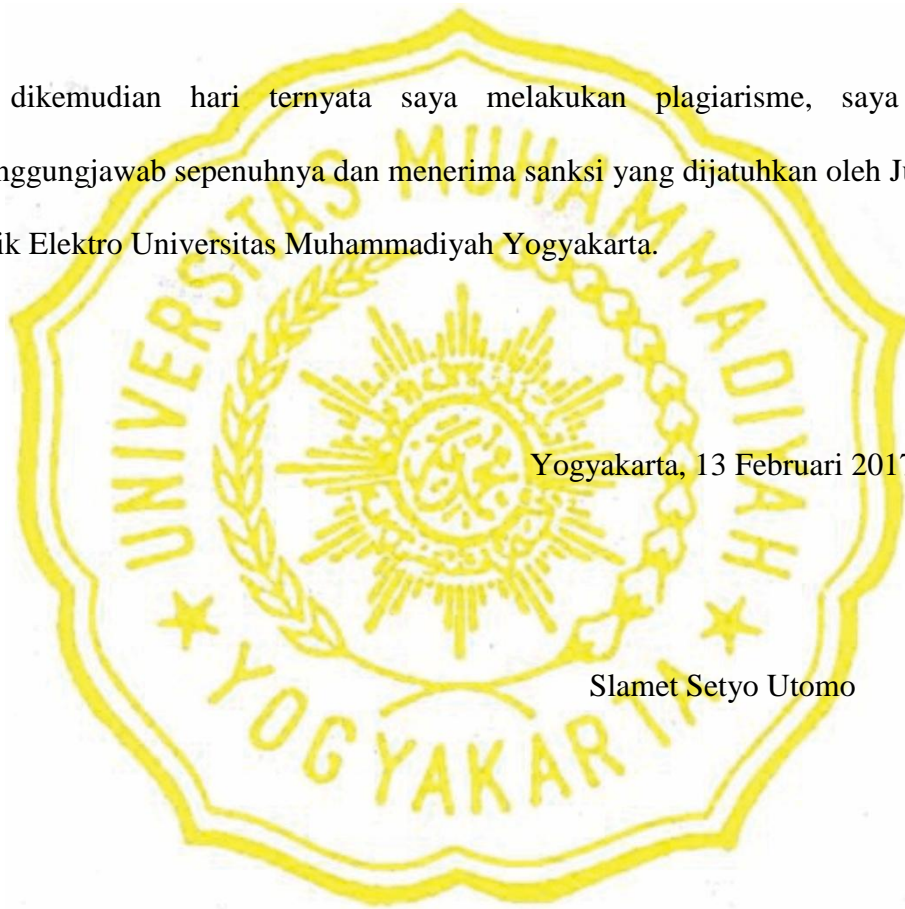
SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanggungjawab di bawah ini dengan sebenarnya menyatakan bahwa penelitian ini saya buat tanpa ada tindak plagiarisme sesuai yang berlaku pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Jika dikemudian hari ternyata saya melakukan plagiarisme, saya akan bertanggungjawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang dijatuhkan oleh Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Yogyakarta, 13 Februari 2017

Slamet Setyo Utomo



HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN *LOAD SHEDDING*
PADA SAAT TERJADI GENERATOR *OUTAGE* PADA
SISTEM TENAGA LISTRIK PT PERTAMINA
(PERSERO) RU IV CILACAP**

Disusun Oleh:

Slamet Setyo Utomo

20130120116

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2017**

Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal:

13 Februari 2017


Mengetahui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Slamet Suropto, M.Eng
NIK: 19611118199209123010



Rahmat Adiprasetya, S.T., M.Eng
NIP: 197511112005011002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Lantunan Al-Fatihah beriring shalawat dalam silahku merintih,

Menandakan doa dalam syukur yang tiada terkira,

Terima kasihku untukmu.

Kupersembahkan sebuah karya kecil ini untuk Ayahanda dan Ibunda tercinta,

Yang tiada pernah hentinya selama ini memberiku semangat, doa, dorongan,

Nasehat dan kasih sayang serta pengorbanan yang tak tergantikan,

Hingga aku selalu kuat menjalani setiap rintangan yang ada di depanku,

Ayah, Ibu, terimalah bukti kecil ini sebagai kado keseriusanku,

Untuk membalas semua pengorbananmu,

Dalam hidupmu demi hidupku kalian ikhlas mengorbankan,

Segala perasaan tanpa kenal lelah

Dalam lapar berjuang separuh nyawa hingga segalanya,

Adekku, Nanik Setya Utami yang kakak banggakan,

Harus menjadi pribadi yang lebih baik lagi dari kakakmu ini,

Keluarga sederhana penuh kasih sayang dan kebahagiaan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat, karunia, serta taufik dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Stabilitas Transien dan *Load Shedding* pada Saat Terjadi Generator *Outage* pada Sistem Tenaga Listrik PT Pertamina RU IV Cilacap”.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa berkat bantuan dan bimbingan dari semua pihak, akhirnya skripsi ini dapat penulis selesaikan. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat:

1. Ir. Agus Jamal, M.Eng, selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Ir. Slamet Suropto, M.Eng, selaku dosen pembimbing I yang telah banyak membantu, mengarahkan, membimbing, dan memberi motivasi hingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Rahmat Adiprasetya, S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Rama Okta Wiyagi, S.T., M.Eng, selaku dosen penguji yang telah banyak memberi masukan dan saran demi sempurnanya skripsi ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang telah memberikan bimbingan dengan sabar dan wawasannya serta ilmu yang bermanfaat.

6. Andikta Dwi Hirlanda, S.T., M.T, selaku Engineer PT Pertamina RU IV Cilacap yang telah sabar membimbing dan mengarahkan dalam pembuatan simulasi dalam penyusunan skripsi ini.
7. Kedua orangtua dan adik, yang telah memberikan dukungan spiritual, moril, semangat, dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
8. Diana Dyah Palupi, S.Tr.Kep, yang selalu memberikan semangat dan motivasi untuk selalu menjaga kondisi kesehatan dalam penyusunan skripsi ini.
9. Teman-teman Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, yang telah memberikan dukungan moril dan spiritual.
10. Seluruh teman-teman greenkos yang selalu memberikat motivasi dan semangat dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang mendukung dan membangun demi perbaikan dari skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua dan bagi penulis pada khususnya.

Yogyakarta, Februari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|----------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| SURAT PERNYATAAN | ii |
| HALAMAN PERSETUJUAN..... | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iv |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| ABSTRAK..... | viii |
| ABSTRACT..... | ix |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xiv |
| DAFTAR GAMBAR | xvi |
| DAFTAR SIMBOL..... | xxi |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 4 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 5 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 7 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka..... | 7 |
| 2.2 Landasan Teori | 11 |
| 2.2.1 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik..... | 11 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.2.1.1 | Kestabilan Keadaan Tetap (<i>Steady State Stability</i>) | 16 |
| 2.2.1.2 | Kestabilan Dinamis (<i>Dynamic Stability</i>) | 16 |
| 2.2.1.3 | Kestabilan Peralihan (<i>Transient Stability</i>)..... | 16 |
| 2.2.2 | Transien | 17 |
| 2.2.2 | Stabilitas Frekuensi | 18 |
| 2.2.2.1 | Hubungan Antara Frekuensi dan Daya Aktif | 18 |
| 2.2.2.2 | Pelepasan Beban | 21 |
| 2.2.2.2.1 | Akibat Beban Lebih..... | 22 |
| 2.2.2.2.2 | Akibat Penurunan Frekuensi | 23 |
| 2.2.2.2.3 | Syarat Pelepasan Beban..... | 25 |
| 2.2.2.3 | Penurunan Frekuensi Akibat Beban Lebih..... | 26 |
| 2.2.2.3.1 | Laju Penurunan Frekuensi | 26 |
| 2.2.2.3.2 | Pengaruh Konstanta Inersia Terhadap Penurunan Frekuensi | 29 |
| 2.2.2.3.3 | Pengaruh Kelebihan Beban | 33 |
| 2.2.2.4 | Prioritas Beban | 34 |
| 2.2.2.4.1 | Jenis Beban yang Dilepaskan | 35 |
| 2.2.2.4.2 | Perhitungan Beban yang Dilepaskan dan Frekuensi yang Diharapkan Setelah Pelepasan Beban..... | 37 |
| 2.2.3 | ETAP (<i>Electrical Transient Analysis Program</i>) | 38 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | | 40 |
| 3.1 | Lokasi Penelitian | 40 |
| 3.2 | Waktu Penelitian | 40 |
| 3.3 | Alat dan Bahan | 41 |
| 3.4 | Diagram Alir Penelitian..... | 42 |

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 3.5 | Pengumpulan Data | 43 |
| 3.5.1 | PT Pertamina RU IV Cilacap | 44 |
| 3.5.2 | Sistem Tenaga Listrik PT Pertamina RU IV Cilacap | 44 |
| 3.5.3 | Sistem Pembangkit Tenaga Listrik..... | 45 |
| 3.5.3.1 | Mode Operasi Generator | 48 |
| 3.5.3.2 | Governor..... | 50 |
| 3.5.3.3 | Exciter..... | 51 |
| 3.5.4 | Sistem Transmisi dan Distribusi..... | 51 |
| 3.5.5 | Jenis Beban PT Pertamina RU IV Cilacap | 51 |
| 3.5.6 | Skema Pelepasan Beban PT Pertamina RU IV Cilacap | 56 |
| 3.5.7 | Pengaturan UFR (<i>Under Frequency Relay</i>) | 58 |
| 3.5.8 | Kombinasi Generator Lepas | 60 |
| BAB IV | HASIL DAN ANALISIS..... | 62 |
| 4.1 | Studi Kasus Simulasi Stabilitas Transien | 62 |
| 4.2 | Simulasi Stabilitas Transien | 64 |
| 4.2.1 | Studi Kasus TS 1 | 64 |
| 4.2.2 | Studi Kasus TS 2 | 67 |
| 4.2.3 | Studi Kasus TS 3 | 71 |
| 4.2.4 | Studi Kasus TS 4 | 78 |
| 4.2.5 | Studi Kasus TS 5 | 82 |
| 4.2.6 | Studi Kasus TS 6 | 89 |
| 4.2.7 | Studi Kasus TS 7 | 95 |
| 4.2.8 | Studi Kasus TS 8 | 103 |
| 4.2.9 | Studi Kasus TS 9 | 110 |
| 4.2.10 | Studi Kasus TS 10 | 117 |

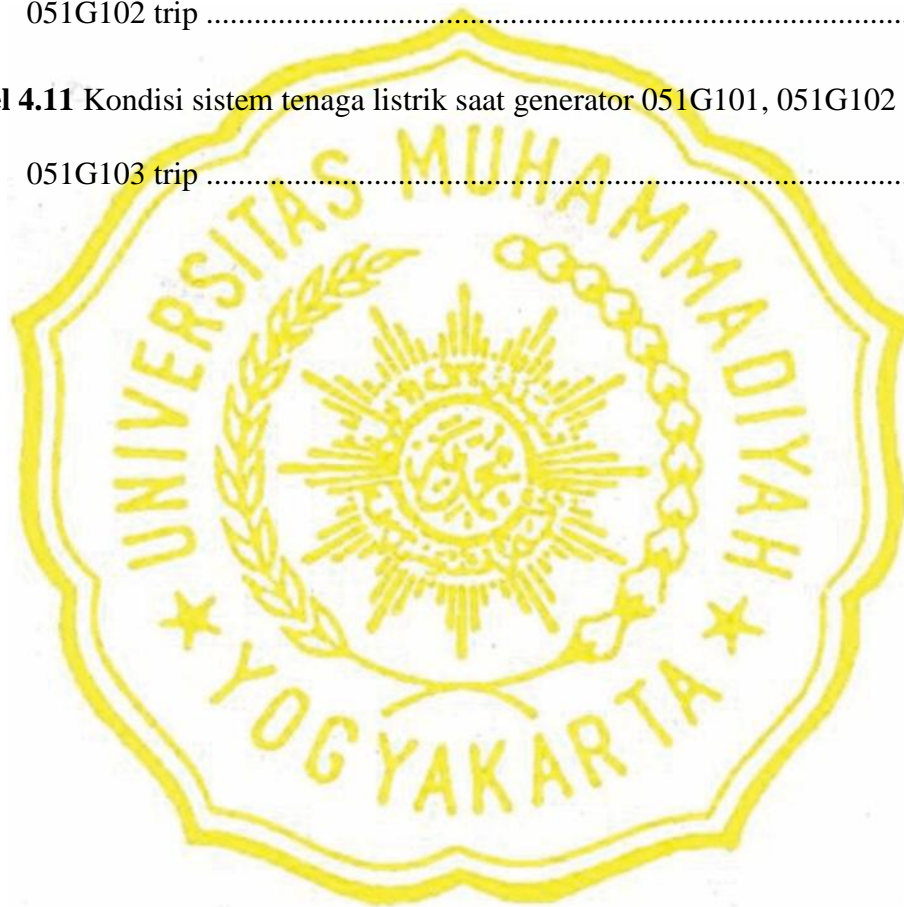
| | |
|--|------------|
| 4.2.11 Pelepasan Beban Secara Manual | 124 |
| BAB V PENUTUP..... | 126 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 126 |
| 5.2 Saran | 127 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 128 |
| LAMPIRAN..... | 130 |



DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1 Pengaturan generator utilities I | 45 |
| Tabel 3.2 Pengaturan generator utilities II | 46 |
| Tabel 3.3 Pengaturan generator utilities IIA | 47 |
| Tabel 3.4 Daftar rata-rata beban tiap substation 13,8 kV/3,45 kV | 53 |
| Tabel 3.5 Skema pelepasan beban tahap pertama | 56 |
| Tabel 3.6 Skema pelepasan beban tahap kedua | 57 |
| Tabel 3.7 Skema pelepasan beban tahap ketiga | 58 |
| Tabel 3.8 Pengaturan UFR (<i>Under Frequency Relay</i>) | 59 |
| Tabel 3.9 Kombinasi generator lepas | 61 |
| Tabel 4.1 Studi kasus pembangkitan minimum dan generator trip | 63 |
| Tabel 4.2 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G2 trip..... | 64 |
| Tabel 4.3 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G2 dan 51G3 trip..... | 68 |
| Tabel 4.4 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G2, 51G3, dan 51G301 trip | 72 |
| Tabel 4.5 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 051G101 trip..... | 79 |
| Tabel 4.6 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 051G101 dan 051G102 trip | 82 |
| Tabel 4.7 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G2 dan 051G103 trip.. | 89 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 4.8 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip | 95 |
| Tabel 4.9 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip | 103 |
| Tabel 4.10 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip | 110 |
| Tabel 4.11 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip | 117 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Klasifikasi stabilitas sistem tenaga listrik..... | 12 |
| Gambar 2.2 Grafik penurunan frekuensi dengan parameter konstanta inersia dan persen overload | 32 |
| Gambar 3.1 Lokasi penelitian tugas akhir | 40 |
| Gambar 3.2 Diagram alir penelitian | 42 |
| Gambar 3.3 Single line diagram sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap | 45 |
| Gambar 4.1 Respon frekuensi pada saat generator 51G2 trip | 65 |
| Gambar 4.2 Perubahan daya aktif generator 51G3, 51G301, 51G201, 051G101, 051G102, dan 051G103 pada saat generator 51G2 trip..... | 65 |
| Gambar 4.3 Respon tegangan pada saat generator 51G2 trip..... | 67 |
| Gambar 4.4 Respon frekuensi pada saat generator 51G2 dan 51G3 trip | 68 |
| Gambar 4.5 Perubahan daya aktif generator 51G301, 51G201, 051G101, 051G102, dan 051G103 pada saat generator 51G2 dan 51G3 trip | 69 |
| Gambar 4.6 Respon tegangan pada saat generator 51G2 dan 51G3 trip | 70 |
| Gambar 4.7 Respon frekuensi pada saat generator 51G2, 51G3, dan 51G301 trip tanpa pelepasan beban..... | 72 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.8 Perubahan daya aktif generator 51G201, 051G101, 051G102, dan 051G103 pada saat generator 51G2, 51G3 dan 51G301 trip tanpa pelepasan beban | 74 |
| Gambar 4.9 Respon tegangan pada saat generator 51G2, 51G3 dan 51G301 trip tanpa pelepasan beban..... | 75 |
| Gambar 4.10 Respon frekuensi pada saat generator 51G2, 51G3 dan 51G301 trip setelah pelepasan beban | 76 |
| Gambar 4.11 Perubahan daya aktif generator 51G201, 051G101, 051G102, dan 051G103 pada saat generator 51G2, 51G3 dan 51G301 trip setelah pelepasan beban | 77 |
| Gambar 4.12 Respon tegangan pada saat generator 51G2, 51G3 dan 51G301 trip setelah pelepasan beban | 78 |
| Gambar 4.13 Respon frekuensi pada saat generator 051G101 trip | 79 |
| Gambar 4.14 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G3, 51G301, 51G201, 051G102, dan 051G103 pada saat generator 051G101 trip..... | 80 |
| Gambar 4.15 Respon tegangan pada saat generator 051G101 trip..... | 81 |
| Gambar 4.16 Respon frekuensi pada saat generator 051G101 dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban..... | 83 |
| Gambar 4.17 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G3, 51G301, 51G201, dan 051G103 pada saat generator 051G101, 051G102 trip tanpa pelepasan beban..... | 83 |

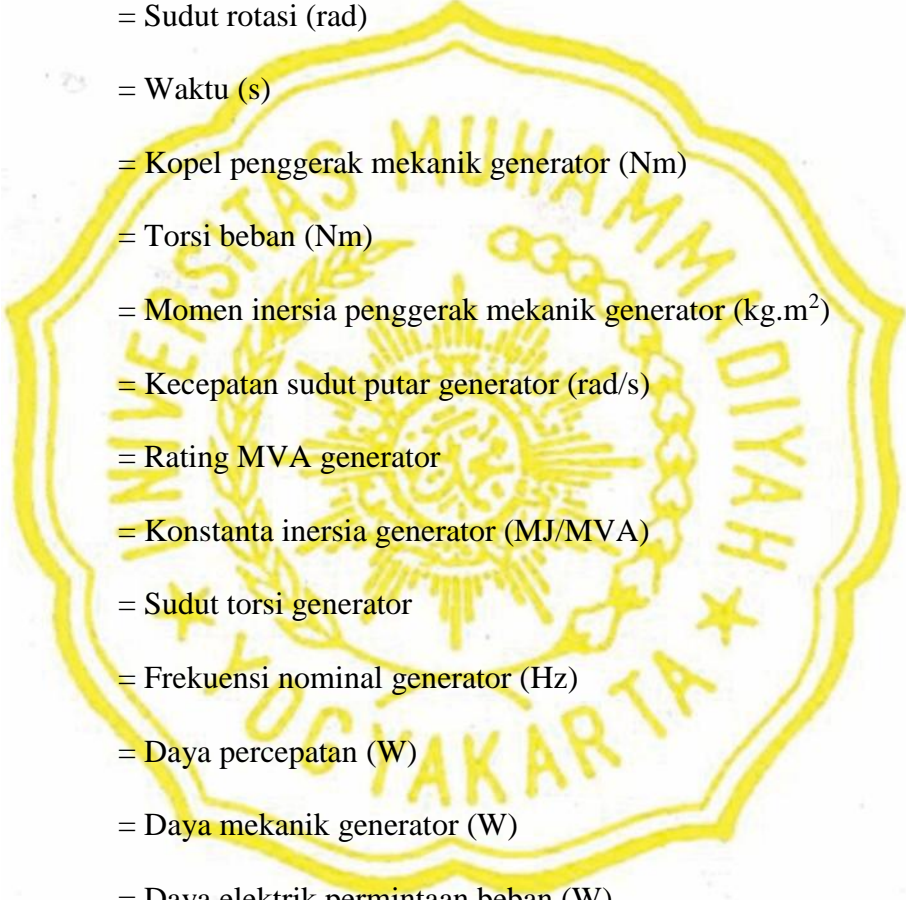
| | |
|--|----|
| Gambar 4.18 Respon tegangan pada saat generator 051G101 dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban..... | 84 |
| Gambar 4.19 Respon frekuensi pada saat generator 051G101 dan 051G102 trip setelah pelepasan beban | 85 |
| Gambar 4.20 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G3, 51G301, 51G201, dan 051G103 pada saat generator 051G101, 051G102 trip setelah pelepasan beban..... | 86 |
| Gambar 4.21 Respon tegangan pada saat generator 051G101 dan 051G102 trip setelah pelepasan beban | 88 |
| Gambar 4.22 Respon frekuensi pada saat generator 51G2 dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban | 90 |
| Gambar 4.23 Perubahan daya aktif generator 51G3, 51G301, 51G201, 051G101, dan 051G102 pada saat generator 51G2 dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban | 90 |
| Gambar 4.24 Respon tegangan pada saat generator 51G2 dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban | 91 |
| Gambar 4.25 Respon frekuensi pada saat generator 51G2 dan 051G103 trip setelah pelepasan beban | 92 |
| Gambar 4.26 Perubahan daya aktif generator 51G3, 51G301, 51G201, 051G101, dan 051G102 pada saat generator 51G2 dan 051G103 trip setelah pelepasan beban | 93 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.27 Respon tegangan pada saat generator 51G2 dan 051G103 trip setelah pelepasan beban | 94 |
| Gambar 4.28 Respon frekuensi pada saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban | 96 |
| Gambar 4.29 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G201, 051G101, dan 051G103 pada saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban | 97 |
| Gambar 4.30 Respon tegangan pada saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban | 98 |
| Gambar 4.31 Respon frekuensi pada saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip dengan pelepasan beban | 99 |
| Gambar 4.32 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G201, 051G101, dan 051G103 pada saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip setelah pelepasan beban | 99 |
| Gambar 4.33 Respon tegangan pada saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip setelah pelepasan beban | 102 |
| Gambar 4.34 Respon frekuensi pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban | 104 |
| Gambar 4.35 Perubahan daya aktif generator 51G3, 51G301, 51G201, dan 051G102 pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban | 104 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.36 Respon tegangan pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban | 105 |
| Gambar 4.37 Respon frekuensi pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip setelah pelepasan beban..... | 106 |
| Gambar 4.38 Perubahan daya aktif generator 51G3, 51G301, 51G201, dan 051G102 pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip setelah pelepasan beban | 107 |
| Gambar 4.39 Respon tegangan pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip setelah pelepasan beban..... | 109 |
| Gambar 4.40 Respon frekuensi pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban | 111 |
| Gambar 4.41 Perubahan daya aktif generator 51G201, 051G101 dan 051G103 pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban | 111 |
| Gambar 4.42 Respon tegangan pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban | 112 |
| Gambar 4.43 Respon frekuensi pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip setelah pelepasan beban..... | 113 |
| Gambar 4.44 Perubahan daya aktif generator 51G201, 051G101 dan 051G103 pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip setelah pelepasan beban | 114 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.45 Respon tegangan pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip setelah pelepasan beban..... | 116 |
| Gambar 4.46 Respon frekuensi pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban | 118 |
| Gambar 4.47 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 51G201 pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban | 118 |
| Gambar 4.48 Respon tegangan pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban | 119 |
| Gambar 4.49 Respon frekuensi pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip setelah pelepasan beban..... | 120 |
| Gambar 4.50 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 51G201 pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip setelah pelepasan beban | 122 |
| Gambar 4.51 Respon tegangan pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip setelah pelepasan beban..... | 123 |

DAFTAR SIMBOL



| | |
|----------------------|---|
| f | = Frekuensi nominal (Hz) |
| P | = Daya yang dibangkitkan generator (Watt) |
| τ | = Momen gaya / kopel mekanik generator (Nm) |
| θ | = Sudut rotasi (rad) |
| t | = Waktu (s) |
| T_G | = Kopel penggerak mekanik generator (Nm) |
| T_B | = Torsi beban (Nm) |
| J | = Momen inersia penggerak mekanik generator (kg.m^2) |
| ω | = Kecepatan sudut putar generator (rad/s) |
| G | = Rating MVA generator |
| H | = Konstanta inersia generator (MJ/MVA) |
| δ | = Sudut torsi generator |
| f_0 | = Frekuensi nominal generator (Hz) |
| P_A | = Daya percepatan (W) |
| P_M | = Daya mekanik generator (W) |
| P_E | = Daya elektrik permintaan beban (W) |
| r | = Jarak partikel ke sumbu putar (m) |
| m | = Massa benda (kg) |
| $E_{k_{\text{rot}}}$ | = Energi kinetik rotasi (J) |
| I | = Momen inersia (kg.m^2) |
| f_n | = Frekuensi yang diharapkan setelah pelepasan beban (Hz) |

f_0 = Frekuensi generator ketika terjadi pelepasan beban (Hz)

$\frac{df}{dt}$ = Laju kenaikan frekuensi yang diharapkan (Hz/s)

$P_{\text{load shedding}}$ = Besar beban yang harus dilepaskan (W)

