



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN PERANCANGAN
PELEPASAN BEBAN PADA PROYEK CHEMICAL GRADE
ALUMINA (CGA) TAYAN PT INDONESIA CHEMICAL
ALUMINA**

**Mochamad Rachmad Soleh Abdilah
NRP 2212 106 025**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Teguh Yuwono**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT- TE 141599

Analysis of Transient Stability and Planning Load Shedding Scheme on Electricity System of Projek Chemical Grade Alumina (CGA) PT Indonesia Chemical Alumina

Mochamad Rachmad Soleh Abdilah
NRP 2212 106 025

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Teguh Yuwono

***DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015***

**ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN
PERANCANGAN PELEPASAN BEBAN PADA
PROYEK CHEMICAL GRADE ALUMINA (CGA) TAYAN
PT. INDONESIA CHEMICAL ALUMINA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP. 196603181990101001

Ir. Teguh Yuwono
NIP. 195008061976121002

**SURABAYA
JULI, 2015**

Analisis Stabilitas Transien dan Perancangan Pelepasan Beban pada proyek Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan PT Indonesia Chemical Alumina

Nama : Mochamad Rachmad Soleh Abdilah
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing II : Ir. Teguh Yuwono

ABSTRAK

PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA") mengumumkan penunjukan konsorsium WIKA Group sebagai kandidat pertama kontraktor Engineering, Procurement and Construction (EPC) proyek Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan. PT ICA merupakan perusahaan patungan antara ANTAM (IDX-ANTM; ASX-ATM), Showa Denko K.K. dan Marubeni Corporation dari Jepang. Sebagai perusahaan yang memproduksi 300.000 ton CGA per tahun, yang akan mengalami pengembangan sistem, tentu memerlukan analisa stabilitas transien supaya dapat menjaga kelangsungan plant yang akan dikembangkan sehingga dapat terus beroperasi tanpa terkendala gangguan pada sistem kelistrikan, agar selalu stabil pada saat produksi sebab apabila proses produksi terganggu oleh suplai listrik yang tidak setabil. Tugas akhir ini menganalisa kestabilan transien dan mekanisme pelepasan beban yang terdapat pada PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA") sehingga dapat diperoleh keandalan dan kontinuitas yang layak. Pada tugas akhir ini analisis yang dilakukan meliputi kestabilan transien dan mekanisme pelepasan beban akibat generator *outage(off)*, *Short Circuit* dan *Motor Starting*. Hasil simulasi menunjukan bahwa lepasnya 1 generator ketika 1 generator ON memerlukan *Load Shedding*. Dalam kasus hubung singkat di salah satu bus, tegangan sistem turun hingga mencapai kondisi terendah sehingga diperlukan pengisolasian gangguan melalui pembukaan CB pada sumber gangguan selain itu kasus *motor starting* masih diperbolehkan pada saat 2 Generator ON

Kata Kunci: Gangguan Transien, Kesetabilan Transient, pelepasan beban

Halaman ini sengaja dikosongkan

***Analysis of Transient Stability and Planning Load
Shedding Scheme on Electricity System of Proyek
Chemical Grade Alumina (CGA) PT Indonesia Chemical
Alumina***

Name : Mochamad Rachmad Soleh Abdilah
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing II : Ir. Teguh Yuwono

ABSTRACT

PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA") announces the appointment of a consortium of WIKA Group as the first candidate Engineering, Procurement and Construction (EPC) projects Chemical Grade Alumina (CGA) project. PT ICA is a joint venture between ANTAM (IDX-ANTM; ASX-ATM), Showa Denko KK and Marubeni Corporation of Japan. As a company that produces 300,000 tons per year CGA. which will experience the development of the system, would require transient stability analysis in order to sustain the plant to be developed so that it can continue to operate without disruption constrained the electrical system, so that always stable at the time of production because if the production process is interrupted by a power supply that does not setabil it will undergo LOSS very large. The final task is to analyze the stability and transient load release mechanisms on PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA") so as to obtain the reliability and continuity it deserves. In this final analysis was conducted on the stability of the transient and load release mechanisms due to a generator outage (off), Short Circuit and Motor Starting. Addressing the simulation results that the loss of one generator when one generator ON requires Load Shedding. In the case of short circuit in one of the buses, the system voltage drops until it reaches its lowest condition requiring isolation of interference through the opening of the CB on the source of interference other than that the case was still May the Motor strating at the time of 2 Generator ON

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, terucap syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Stabilitas Transien dan Perancangan Pelepasan Beban pada proyek Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan PT Indonesia Chemical Alumina”. Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berjasa dalam proses penyusunan tugas akhir ini, yaitu :

1. Allah SWT atas karunia, berkah dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Mat Umar dan Siti asiah serta ketiga kakak penulis atas dukungan, dorongan semangat dan doa untuk keberhasilan penulis.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. Dan bapak Ir. Teguh Yuwono Selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan saran, masukan serta bimbingannya.
4. Rekan-rekan Lab Lipist yang senantiasa memberikan penulis beberapa bantuan yang sangat berarti.
5. Seluruh rekan-rekan lintas jalur power sistem yang sudah dianggap penulis sebagai keluarga kedua
6. Seluruh rekan-rekan elektro lintas jalur yang telah berjuang bersama.
7. Segenap civitas akademika Jurusan Teknik Elektro ITS dan keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro atas dukungan, kerja sama, doa dan masukannya selama proses perkuliahan maupun pengerjaan tugas akhir

Besar harapan penulis agar buku ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran membangun dari seluruh pembaca.

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

JUDUL

LEMBAR PERNYATAAN

LEMBAR PENGESAHAN

| | |
|-----------------------------|-------------|
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xvii |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|-----------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan masalah | 1 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Metodologi | 2 |
| 1.5 Sistematika | 3 |
| 1.6 Relevansi | 3 |

BAB II DASAR TEORI

| | |
|---|----|
| 2.1 Definisi Kestabilan | 5 |
| 2.2 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik | 5 |
| 2.2.1 Kestabilan Sudut Rotor | 7 |
| 2.2.2 Kestabilan Tegangan | 12 |
| 2.2.3 Kestabilan Frekuensi | 13 |
| 2.3 Kestabilan Transien | 13 |
| 2.4 Kejadian yang mempengaruhi kestabilan | 17 |
| 2.5 Persamaan Ayunan Generator | 18 |
| 2.6 Sistem Pengoperasian Pelepasan Beban | 20 |
| 2.6.1 Pelepasan Beban Secara Manual | 22 |
| 2.6.2 Pelepasan Beban Secara Otomatis | 23 |
| 2.7 Standar Tegangan | 23 |
| 2.8 Standar Frekuensi | 25 |
| 2.9 Standar Pelepasan Beban | 25 |

BAB III SISTEM KELISTRIKAN PROYEK CHEMICAL GRADE ALUMINA (CGA) TAYAN

| | |
|---|----|
| 3.1. Sistem Kelistrikan PROYEK CHEMICAL GRADE ALUMINA (CGA) TAYAN | 27 |
| 3.2. Sistem distribusi PT. PROYEK CHEMICAL GRADE ALUMINA (CGA) TAYAN..... | 28 |
| 3.3. Beban pada sistem kelistrikan PT. PROYEK CHEMICAL GRADE ALUMINA (CGA) TAYAN..... | 29 |

BAB IV ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DI PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA")

| | |
|--|----|
| 4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT Indonesia Chemical Alumina | 33 |
| 4.2 Studi Kasus Simulasi Stabilitas transien..... | 34 |
| 4.3 Simulasi Kestabilan Transien | 37 |
| 4.3.1 Mode operasi Gen BTG-G-302 Lepas($t=1s$)..... | 37 |
| 4.3.2 Mode operasi Gen BTG-G-302 off LS 1. Gen BTG-G-302 Delete($t=1 s$) Load Shedding 1($t=1,461$) | 38 |
| 4.3.3 Mode operasi Gen BTG-G-302 off LS 2. Gen BTG-G-302 Delete($t=1 s$) Load Shedding 1($t=1,461$) Load Shedding 2($t=1,642$) | 40 |
| 4.3.4 Mode operasi Gen BTG-G-302 off LS 3. Gen BTG-G-302 Delete($t=1 s$) Load Shedding 1($t=1,461$) Load Shedding 2($t=1,642$) Load Shedding 3 ($t=1,823$) | 42 |
| 4.3.5 Mode operasi Gen BTG-G-301 Lepas($t=1s$)..... | 44 |
| 4.3.6 Mode operasi Gen BTG-G-301 off LS 1. Gen BTG-G-301 Delete($t=1 s$) Load Shedding 1($t=1,541$) | 46 |
| 4.3.7 Mode operasi Gen BTG-G-301 off LS 2. Gen BTG-G-301 Delete($t=1 s$) Load Shedding 1($t=1,541$) Load Shedding 2($t=1,762$) | 47 |
| 4.3.8 Mode operasi Gen BTG-G-301 off LS 3. Gen BTG-G-302 Delete($t=1 s$) Load Shedding 1($t=1,541$) Load Shedding 2($t=1,762$) Load Shedding 3 ($t=2,003$) | 49 |
| 4.3.9 Studi Kasus SC1: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus LVD-22-1 ($t = 1$ detik) | 51 |

| | |
|---|----|
| 4.3.10 Studi Kasus SC2: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus LVD-23-1 (t = 1 detik)..... | 52 |
| 4.3.11 Studi Kasus SC3: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus MVD-S2 (t = 1 detik) | 54 |
| 4.3.12 Studi Kasus SC4: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus MVD-31-1 (t = 1 detik) | 55 |
| 4.3.13 Studi Kasus SC5: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus LVD-32-1 (t = 1 detik)..... | 57 |
| 4.3.14 Studi Kasus SC6: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus LVD-31-1 (t = 1 detik)..... | 58 |
| 4.3.15 Studi Kasus Mtr_Start : Gangguan Pengasutran Motor MS SLE-BL-101-1 453 kW (t=2 detik) saat 2 Generator ON..... | 60 |
| BAB V KESIMPULAN | |
| 5.1 Kesimpulan..... | 61 |
| 5.2 Saran..... | 62 |
| DAFTAR PUSTAKA | 63 |
| BIODATA PENULIS | 65 |
| LAMPIRAN (<i>Single Line Diagram</i>) | |

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|-----------|
| Tabel 2.1 Menurut Standart Voltage Sag Immunity Standarts SEMI F47 and F42 | 24 |
| Tabel 2.2 Skema Load Shedding Tiga Langkah..... | 25 |
| Tabel 3.1 Data Generator pada Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan..... | 27 |
| Tabel 3.3 Data Trafomotor pada Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan..... | 29 |
| Tabel 3.4 Data Kemampuan <i>Switchgear</i> pada pada Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan..... | 30 |
| Tabel 4.1 Studi kasus analisa stabilitas transient | 35 |

Halaman ini sengaja Dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|-------------------|---|
| Gambar 2.1 | Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga6 |
| Gambar 2.2 | Single Line Diagram Sistem Dua Mesin8 |
| Gambar 2.3 | Diagram Impedasi Sistem Dua Mesin8 |
| Gambar 2.4 | Diagram Phasor Sistem Dua Mesin9 |
| Gambar 2.5 | Diagram Skema untuk Studi Kestabilan10 |
| Gambar 2.6 | Kurva Sudut Daya Karakteristik Respon Generator Pada Keadaan Gangguan16 |
| Gambar 2.7 | Perubahan frekuensi sebagai fungsi waktu dengan adanya pelepasan beban21 |
| Gambar 2.8 | Definisi <i>Voltage Magnitude Event</i> berdasarkan standar IEEE 1159-19524 |
| Gambar 3.1 | <i>Single Line</i> Diagram pada Sistem Kelistrikan Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan28 |
| Gambar 4.1 | Single Line diagram Konfigurasi Integrasi33 |
| Gambar 4.2 | Respon Frekuensi Saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF. Gen BTG-G- 302 <i>Delete (t=1s)</i>37 |
| Gambar 4.3 | Respon Tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF. Gen BTG-G-302 <i>Delete (t=1s)</i>38 |
| Gambar 4.4 | Respon frekuensi saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 <i>Delete (t=1s) Load Shedding 1 (t=1,461)</i>39 |
| Gambar 4.5 | Respon Tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 <i>Delete (t=1s) Load Shedding 1 (t=1,461)</i>40 |
| Gambar 4.6 | Respon frekuensi saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 <i>Delete (t=1s) Load Shedding 1 (t=1,461)</i> <i>Load Shedding 2 (t=1,642)</i>41 |

| | | |
|--------------------|---|-----------|
| Gambar 4.7 | Respon tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 <i>Delete (t=1s) Load Shedding 1 (t=1,461) Load Shedding 2 (t=1,642)</i> | 41 |
| Gambar 4.8 | Respon frekuensi saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 <i>Delete (t=1s) Load Shedding 1 (t=1,461) Load Shedding 2 (t=1,642) Load Shedding 3 (t=1,823)</i> | 42 |
| Gambar 4.9 | Respon Tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 <i>Delete (t=1s) Load Shedding 1 (t=1,461) Load Shedding 2 (t=1,642) Load Shedding 3 (t=1,823)</i> | 43 |
| Gambar 4.10 | Respon Frekuensi Saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF. Gen BTG-G-301 <i>Delete (t=1s)</i> | 44 |
| Gambar 4.11 | Respon Tegangan Saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF. Gen BTG-G-301 <i>Delete (t=1s)</i> | 45 |
| Gambar 4.12 | Respon frekuensi saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF LS 1. Gen BTG-G-301 <i>Delete (t=1s) Load Shedding 1 (t=1,541)</i> | 46 |
| Gambar 4.13 | Respon tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF LS 1. Gen BTG-G-301 <i>Delete (t=1s) Load Shedding 1 (t=1,541)</i> | 47 |
| Gambar 4.14 | Respon frekuensi saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 <i>Delete (t=1s) Load Shedding 1 (t=1,541) Load Shedding 2 (t=1,762)</i> | 48 |

| | | |
|--------------------|---|-----------|
| Gambar 4.15 | Respon tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,541$) Load Shedding 2 ($t=1,762$)..... | 48 |
| Gambar 4.16 | Respon frekuensi saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,461$) Load Shedding 2 ($t=1,642$) Load Shedding 3 ($t=1,823$)..... | 49 |
| Gambar 4.17 | Respon Tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,461$) Load Shedding 2 ($t=1,642$) Load Shedding 3 ($t=1,823$)..... | 50 |
| Gambar4.18 | Respon frekuensi pada saat Mode operasi SHORT CIRCUIT pada bus LVD-22-1. StandAlone : ShortCircuit ($t=1s$) CB5-1-1 open ($t=1,3s$)..... | 51 |
| Gambar4.19 | Respon tegangan pada saat Mode operasi SHORT CIRCUIT. pada bus LVD-22-1. StandAlone : ShortCircuit ($t=1s$) CB5-1-1 open ($t=1,3s$)..... | 52 |
| Gambar4.20 | Respon frekuensi pada saat Mode operasi SHORT CIRCUIT. Pada bus LVD-23-1 StandAlone : ShortCircuit ($t=1s$) CB7-1-1 open ($t=1,3s$)..... | 53 |
| Gambar 4.21 | Respon tegangan pada saat Mode operasi SHORT CIRCUIT. Pada bus LVD-23-1 StandAlone : ShortCircuit ($t=1s$) CB7-1-1 open ($t=1,3s$)..... | 53 |

| | | |
|--------------------|--|-----------|
| Gambar 4.22 | Respon frekuensi pada saat Mode operasi SHORT CIRCUIT pada bus MVD-S2. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB 609 open (t=1,3s)..... | 54 |
| Gambar 4.23 | Respon tegangan pada saat Mode operasi SHORT CIRCUIT pada bus MVD-S2. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB 609 open (t=1,3s)..... | 55 |
| Gambar 4.24 | Respon frekuensi pada saat Mode operasi SHORT CIRCUIT Pada Bus MVD-31-1. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB 8-2-1 open (t=1,3s)..... | 56 |
| Gambar 4.25 | Respon tegangan pada saat Mode operasi SHORT CIRCUIT Pada Bus MVD-31-1. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB 8-2-1 open (t=1,3s)..... | 56 |
| Gambar 4.26 | Respon frekuensi pada saat Mode operasi SHORT CIRCUIT pada Bus LVD-32-1. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB 12-2-1 open (t=1,3s)..... | 57 |
| Gambar 4.27 | Respon tegangan pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT pada Bus LVD-32-1. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB 12-2-1 open (t=1,3s)..... | 58 |
| Gambar 4.28 | Respon frekuensi pada saat Mode operasi SHORT CIRCUIT pada bus LVD-31-1. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB 11-2-1 open (t=1,3s)..... | 59 |
| Gambar 4.29 | Respon tegangan pada saat Mode operasi SHORT CIRCUIT pada bus LVD-31-1. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB 11-2-1 open (t=1,3s)..... | 59 |

| | | |
|--------------------|---|-----------|
| Gambar 4.30 | Respon frekuensi pada saat Mode operasi MtrStart 1. StandAlone : Motor Start, CB 22-3-1 Close ($t=3s$)..... | 60 |
| Gambar 4.31 | Respon tegangan pada saat Mode operasi MtrStart 1. StandAlone : Motor Start, CB 22-3-1 Close ($t=3s$)..... | 61 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Mochmad Rachmad Soleh Abdilah, dilahirkan di Surabaya 23 januari 1992. Penulis memulai pendidikan di SDN Simomulyo VIII, melanjutkan ke SMP Negeri 42 Surabaya. Setelah itu penulis melanjutkan studi di SMA Hangtuah 1 surabaya. Dan melanjutkan ke jenjang perkuliahan dimulai dari D3 Teknik Elektro industri PENS pada tahun 2009. Setelah menyelesaikan program D3 ditahun 2012 penulis melanjutkan studi ke jenjang S1 melalui program Lintas Jalur di Teknik Elektro ITS bidang studi sistem tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui email rachmadabdilah9@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA") mengumumkan penunjukan konsorsium WIKA Group sebagai kandidat pertama kontraktor Engineering, Procurement and Construction (EPC) proyek Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan. PT ICA merupakan perusahaan patungan antara ANTAM (IDX-ANTM; ASX-ATM), Showa Denko K.K. dan Marubeni Corporation dari Jepang. Sebagai perusahaan yang memproduksi 300.000 ton CGA per tahun. yang akan mengalami pengembangan.

Kebutuhan listrik saat ini semakin meningkat di sector industri. Listrik merupakan energi yang sangat penting untuk aktivitas industri. Oleh karena itu, kualitas listrik yang baik harus dipenuhi agar kebutuhan konsumen terpenuhi. Perubahan beban yang bervariasi berdampak pada kestabilan sistem. Jika daya mekanik pada poros penggerak awal tidak dengan segera menyesuaikan dengan besarnya daya elektrik pada beban listrik, maka frekuensi dan tegangan akan bergeser dari posisi normal. Perubahan yang signifikan dapat menyebabkan sistem keluar dari batas stabil. Oleh karena itu, perubahan beban harus diikuti dengan perubahan daya penggerak generator. Hal ini dimaksudkan agar terjadi keseimbangan antara daya beban dan daya suplai. Sehingga frekuensi dan tegangan sistem tetap terjaga pada posisi normal..

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini :

1. Bagaimana pola operasi pada sistem kelistrikan PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA")
2. Bagaimana respon frekuensi dan tegangan di PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA") saat dilakukan analisis kestabilan transient
3. Bagaimana merancang mekanisme Load Shedding (pelepasan beban) yang handal pada PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA").

Batasan-batasan yang digunakan untuk menganalisis antara lain:

1. Analisis Kestabilan Transien di PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA") dilakukan saat 2 generator baik turbin maupun engine yang aktif dengan memperhatikan respon sistem, yang meliputi respon frekuensi, tegangan akibat adanya gangguan generator lepas terhadap sistem di PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA").
2. Analisis hubung singkat dilakukan pada bus MVD-S2, MVD-31, LVD-22-1, LVD-23-1, LVD-31-1, LVD-32-1.
3. *Motor starting* digunakan pada bus MVD-S1 mempunyai kapasitas motor 185KW dan 355KW.
4. Perangkat lunak yang digunakan ialah ETAP 7.5

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Melaksanakan studi kestabilan transien di PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA") untuk mendapatkan rekomendasi yang diperlukan sehingga dicapai keandalan serta stabilitas yang layak dan mampu mengatasi setiap gangguan-gangguan yang mungkin terjadi.
2. Merancang skema yang handal agar sistem kelistrikan pada PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA") dapat kembali stabil ketika terjadi gangguan yang dapat menyebabkan sistem tidak stabil.

1.4 Metodologi

Metodologi yang di pakai dalam tugas akhir ini meliputi beberapa tahap :

1. Studi Literatur
Mengumpulkan referensi mengenai *Power Sistem Analysis* yang dilakukan analisis stabilitas transien (*transient stability*) dan pelepasan beban (*load shedding*).
2. Pengumpulan Data
Data yang dibutuhkan dalam pekerjaan ini adalah data Sistem kelistrikan PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA"). Untuk data yang tidak tersedia akan dilakukan survei lapangan melalui pengamatan dan wawancara.

3. Pengolahan Data
Menginterpretasikan dan menganalisis *single line diagram* dari Sistem Tenaga Listrik PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA") Melakukan Simulasi dan Analisis
Dalam tahap ini dilakukan simulasi dengan komputer menggunakan Software ETAP 7.5 terhadap sistem PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA"), Dari simulasi yang dilakukan akan didapatkan suatu hasil yang akan dianalisis. Gangguan transien yang disimulasikan yaitu gangguan generator *outage*, *short circuit*, dan motor *starting*. Data yang akan dianalisis adalah respon dari kestabilan transien pada sistem kelistrikan di PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA"). berupa respon frekuensi, dan tegangan yang nantinya dijadikan referensi untuk bisa mendapatkan sistem yang stabil sesuai dengan standar. Apabila sistem belum stabil maka perlu dilakukan mekanisme pelepasan beban (*load shedding*) sesuai skema/studi kasus yang ditentukan.
4. Kesimpulan
Memberikan kesimpulan mengenai kondisi kestabilan transient akibat gangguan yang ada di PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA"). Selain itu juga akan diberikan saran sebagai masukan berkaitan dengan apa yang telah dilakukan.

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

BAB 2 : Dasar Teori

Bab ini secara garis besar membahas stabilitas transient dan konsep pelepasan beban.

BAB 3 : Sistem Kelistrikan PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA").

Bab ini membahas sistem kelistrikan industri dan spesifikasi beban pada PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA").

BAB 4 : Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas data hasil simulasi stabilitas transient pada generator akibat gangguan hubung singkat pada beban dan respon generator terhadap load shedding akibat salah satu suplai daya mengalami trip.

BAB 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan skema *load shedding* terhadap sistem kelistrikan PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA").
2. Dapat dijadikan referensi pada penelitian selanjutnya tentang stabilitas transient pada sistem kelistrikan industri.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Definisi Kestabilan

Kestabilan sistem tenaga listrik adalah kemampuan sistem tenaga untuk tetap kembali beroperasi di titik keseimbangan saat dan setelah terjadi gangguan sehingga sistem tetap utuh. Definisi ini berlaku untuk sistem interkoneksi dengan generator tertentu atau grup generator. Sistem tenaga listrik memiliki variasi beban yang dinamis dimana setiap detik akan berubah-ubah, dengan adanya perubahan ini pasokan daya listrik harus tetap di suplai dengan daya yang sesuai. Pada saat kondisi tertentu terjadi penurunan beban yang secara tiba-tiba maka perubahan ini dikategorikan ke dalam gangguan pada sistem tenaga listrik yaitu kondisi tidak seimbang antara permintaan energi dan pasokan daya. Maka diperlukan analisis kestabilan agar pembangkit yang terganggu tidak lepas dari sistem.

Untuk mengembalikan kondisi operasi sinkron yang baru disebut periode transien. Kriteria utama stabilitas adalah bagaimana mesin-mesin mempertahankan sinkronisasi pada akhir periode transien. Jika respon osilasi sistem tenaga selama periode transien yang mengikuti gangguan teredam menuju kondisi operasi mantap, maka sistem dalam kategori stabil, jika tidak berarti sistem tidak stabil. Osilasi sistem mampu teredam berarti sistem itu mempunyai kekuatan dalam mengurangi osilasi dan hal ini yang sangat diperlukan bagi sistem tenaga.

2.2 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Dalam buku prabha kundur, stabilitas sistem tenaga secara luas didefinisikan kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk tetap dalam kondisi operasi seimbang saat terjadi kondisi tidak normal dan dapat mengembalikan ke kondisi seimbang setelah terjadi gangguan [2].

Gangguan dalam sistem tenaga listrik dapat mempengaruhi stabilitas ada 2 macam yaitu:

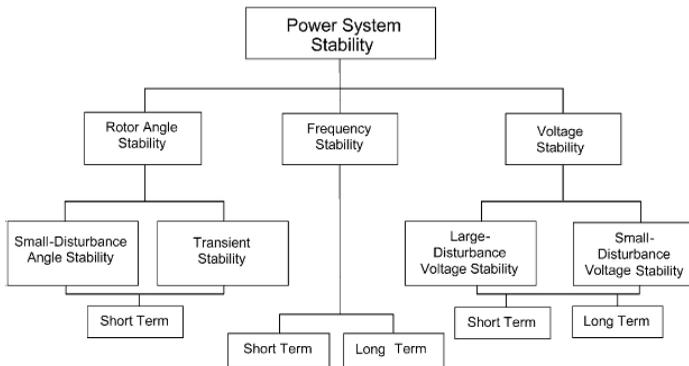
1. Gangguan kecil
Gangguan kecil yang terjadi perubahan beban pada sisi beban atau pembangkit secara acak, pelan dan bertingkat. Jatuh (trip) yang dialami oleh jaring tenaga listrik dianggap sebagai

gangguan kecil jika pengaruhnya terhadap aliran daya sebelum gangguan pada aliran itu tidak signifikan [8].

2. Gangguan besar

Gangguan ini bersifat mendadak, yakni gangguan yang menghasilkan kejutan tegangan tiba tiba pada tegangan bus. Gangguan besar ini harus secepatnya dihilangkan, jika tidak dihilangkan secepatnya, gangguan tersebut sangat mempengaruhi kestabilan sistem. Tidak hanya gangguan, waktu gangguan juga berpengaruh terhadap kestabilan sistem [8].

Dalam paper IEEE *definition and classification of power sistem stability*, kestabilan sistem tenaga listrik secara umum dapat dibagi menjadi tiga macam kategori, yaitu: *Angle Stability*, *Frequency stability* dan *Voltage stability*. *Angle Stability* yaitu kemampuan dari mesin-mesin sinkron yang saling terkoneksi pada suatu sistem tenaga listrik untuk tetap dalam keadaan sinkron. *Frequency stability* yaitu kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi *steady state* frekuensi akibat gangguan Sedangkan *Voltage Stability*: yaitu kestabilan dari sistem tenaga listrik untuk dapat mempertahankan nilai tegangan yang masih dapat diterima saat terjadi kontingensi atau gangguan [4].



Gambar 2.1 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga [4]

2.2.1 Kestabilan Sudut Rotor

Kestabilan sudut rotor dapat diartikan sebagai kemampuan dari beberapa mesin sinkron yang terhubung dalam suatu sistem tenaga listrik untuk tetap dalam sinkronisasi. Masalah stabilitas ini melibatkan pembahasan tentang osilasi elektromekanis pada suatu sistem tenaga [2].

Untuk memudahkan dalam analisis dan menambah wawasan maka kestabilan sudut rotor dibagi menjadi 2 sub kategori yaitu :

1. *Small-disturbance* (gangguan kecil) *rotor angle stability* [4]

Yaitu kemampuan dari sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi terhadap gangguan kecil. *Small-disturbance* ini tergantung pada keadaan awal operasi sistem. Ketidakstabilan mungkin timbul karena 2 hal yaitu i) peningkatan sudut rotor pada mode non osilasi dan tidak *periodic* karena kurangnya torsi sinkronisasi. ii) Osilasi sudut rotor meningkat karena kurangnya torsi redaman yang cukup.

2. *Large-disturbance* (gangguan besar) *rotor angle stability* [4]

Gangguan ini biasa disebut sebagai *transient stability*. Yaitu kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi ketika mengalami gangguan yang parah. Seperti gangguan hubung singkat pada saluran transmisi. Respon sistem yang dihasilkan dari besarnya sudut rotor generator dan dipengaruhi oleh adanya hubungan sudut daya.

Kestabilan transien bergantung kondisi awal sistem operasi dan tingkat keparahan dari gangguan yang terjadi. Ketidakstabilan biasanya menghasilkan sudut baru karena torsi sinkronisasi tidak cukup. Sehingga mewujudkan ketidakstabilan ayunan pertama. Tetapi dalam sistem tenaga listrik yang besar, tidak selalu terjadi ketidakstabilan ayunan pertama, melainkan bisa menjadi hasil dari superposisi dari mode ayunan *interarea* yang lambat, sehingga menyebabkan ketidakstabilan melebihi ayunan pertama.

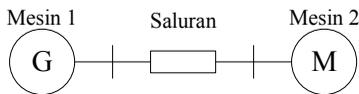
Perubahan torsi elektromekanik pada mesin sinkron yang mengalami gangguan dapat dibagi menjadi dua komponen :

1. Komponen torsi sinkron, pada fasa dengan penyimpanan sudut rotor

2. Komponen torsi peredam (*Damping torque*), pada fasa dengan penyimpangan kecepatan.

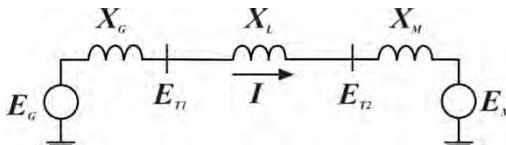
Kestabilan sistem tergantung pada kedua komponen torsi tersebut untuk masing-masing mesin sinkron. Kurangnya torsi sinkron akan menghasilkan ketidak stabilan tanpa osilasi, sebaliknya kekurangan torsi peredam akan menghasilkan ketidakstabilan yang disertai dengan osilasi [2].

Karakteristik yang paling penting dalam kestabilan tenaga listrik adalah karakteristik hubungan daya dengan posisi rotor pada mesin sinkron.



Gambar 2.2 Single Line Diagram Sistem Dua Mesin [2]

Pada Gambar 2.2. tersebut mengilustrasikan dua buah mesin sinkron dimana keduanya saling terhubung melalui sebuah saluran transmisi yang memiliki reaktansi. Reaktansi saluran transmisi yang diperhitungkan pada kasus ini hanyalah nilai reaktansi induktif X_L sedangkan untuk resistansi dan kapasitansi saluran diabaikan karena nilainya relative kecil. Generator sinkron yang mesuplai daya diwakili oleh mesin G sedangkan motor sinkron diwakili oleh mesin M . Single line pada Gambar 2.2. di atas dapat diubah menjadi diagram impedansi seperti Gambar 2.3. di bawah:



Gambar 2.3 Diagram Impedansi Sistem Dua Mesin [2]

Keterangan :

- E_G = Tegangan internal generator.
- E_M = Tegangan internal motor.
- X_G = Reaktansi internal generator.
- X_M = Reaktansi internal motor.
- X_T = Reaktansi saluran.

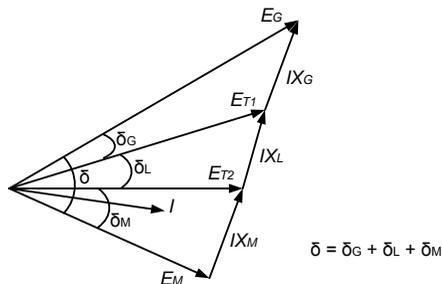
E_{T1} = Tegangan bus generator

E_{T2} = Tegangan bus motor

Daya generator digunakan untuk mesuplai motor merupakan fungsi pembeda sudut δ antara rotor kedua mesin. Perbedaan sudut δ tersebut timbul akibat adanya ketiga komponen yaitu sudut internal generator, perbedaan sudut antara tegangan pada generator dan motor, sudut internal motor.

Sudut internal generator δ_G adalah sudut dimana rotor generator yang mendahului medan putar pada stator. δ_L adalah sudut dimana tegangan generator mendahului tegangan motor. Sudut dimana rotor tertinggal oleh medan putar pada stator motor dinamakan sudut internal motor δ_M .

Dari ketiga komponen diatas, diagram fasor yang menunjukkan bagaimana bentuk hubungan antara tegangan internal motor E_M dan dengan tegangan internal generator E_G dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 2.4 Diagram Fasor Sistem Dua Mesin [2]

Keterangan :

δ = sudut rotor antara kedua mesin

δ_G = sudut internal generator

δ_L = perbedaan sudut tegangan generator dan motor

δ_M = sudut internal motor

E_{T1} = Tegangan bus generator

E_{T2} = Tegangan bus motor

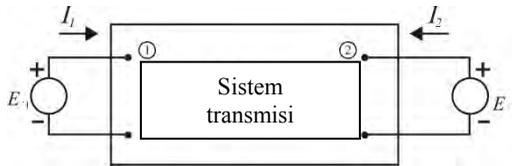
X_G = Reaktansi internal generator.

X_M = Reaktansi internal motor.

X_T = Reaktansi saluran.

Dari Gambar 2.4 di atas dapat diperoleh suatu persamaan yang menyatakan hubungan daya generator yang ditransfer ke motor dalam fungsi sudut [2].

Untuk mempermudah mencari persamaan sudut daya, maka Gambar 2.3 akan dirubah menjadi sebuah skema sederhana yang biasa digunakan untuk studi kestabilan. Dimana tegangan peralihan generator dimisalkan sebagai E_{T1} dan tegangan motor dimisalkan sebagai E_{T2} . Sedangkan reaktansi generator, jaringan transmisi serta reaktansi motor dijadikan satu dan dimasukkan ke dalam sebuah kotak, sehingga tampak seperti Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Diagram Skema untuk Studi Kestabilan [3]

Dari Gambar 2.5 diatas bisa diperoleh:

$$Y_{rel} = \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{vmatrix} \quad (2.1)$$

Persamaan umum aliran daya adalah sebagai berikut berikut ini:

$$P_k - jQ_k = V_k^* \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \quad (2.2)$$

Kemudian dengan membuat nilai k dan N berturut-turut sama dengan 1 dan 2, serta mengganti variabel V dengan E'_2 maka dapat memperoleh persamaan:

$$P_1 + Q_1 = E'_1 (Y_{11} E'_1)^* + E'_1 (Y_{12} E'_2)^* \quad (2.3)$$

Jika didefinisikan:

$$E'_1 = |E'_1| \angle \delta_1 \quad E'_2 = |E'_2| \angle \delta_2 \quad (2.4)$$

$$Y_{11} = G_{11} + jB_{11} \quad Y_{12} = |Y_{12}| \angle \delta_2 \quad (2.5)$$

Akan diperolehkan:

$$P_1 = |E'_1|^2 G_{11} + |E'_1||E'_2||Y_{11}| \cos(\delta_1 - \delta_2 - \delta_{12}) \quad (2.6)$$

$$Q_1 = -|E'_1|^2 B_{11} + |E'_1||E'_2||Y_{11}| \sin(\delta_1 - \delta_2 - \delta_{12}) \quad (2.7)$$

Persamaan juga berlaku untuk rel 2 dengan saling menukarkan *subscript* pada kedua persamaan tersebut.

Jika kita misalkan :

$$\delta = \delta_1 - \delta_2 \quad (2.8)$$

dan menetapkan sudut baru γ sedemikian rupa sehingga

$$\gamma = \theta_{12} - \frac{\pi}{2} \quad (2.9)$$

jika dimasukkan pada persamaan 2.6, maka akan diperoleh:

$$P_1 = |E'_1|^2 G_{11} + |E'_1||E'_2||Y_{11}| \sin(\delta - \gamma) \quad (2.10)$$

Persamaan di atas dapat juga dituliskan dengan lebih sederhana sebagai

$$P_e = P_c + P_{max} \sin(\delta - \gamma) \quad (2.11)$$

Pada persamaan 2.11 di atas variabel P_e mewakili keluaran daya listrik dari generator (rugi jangkar diabaikan). Persamaan ini disebut dengan persamaan sudut-daya. Parameter P_c , P_{maks} , dan δ adalah konstanta untuk konfigurasi jaringan tertentu, besaran tegangan $|E'_1|$ dan $|E'_2|$ juga merupakan sebuah konstanta. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, jaringan dianggap tanpa resistansi dan semua unsur dari Yrel adalah suseptansi maka G_{11} dan γ keduanya bernilai nol. Sehingga persamaan sudut-daya yang didapatkan berlaku untuk sistem transmisi reaktansi murni adalah merupakan persamaan seperti yang sudah kita semua ketahui yaitu:

$$P_e = \frac{|E'_1||E'_2|}{X} \sin \delta \quad (2.12)$$

dimana:

$$X = X_G + X_L + X_M \quad (2.13)$$

dan X adalah reaktansi transfer antara E'_1 dan E'_2 atau sesuai dengan Gambar 2.3 [3].

2.2.2 Kestabilan Tegangan [4]

Kestabilan tegangan mengacu pada kemampuan dari sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi *steady state* tegangan pada semua bus di sistem setelah mengalami gangguan dari kondisi operasi awal. Ini tergantung pada kemampuan untuk mempertahankan keseimbangan antara permintaan beban dan suplai beban dari sistem tenaga listrik. Ketidakstabilan dapat mengakibatkan bentuk penurunan atau kenaikan tegangan pada beberapa bus.

Penurunan bertahap tegangan dibus dapat dikaitkan dengan kestabilan sudut rotor. Sebagai contoh hilangnya sinkronisasi dari mesin sebagai sudut rotor antara dua kelompok mesin dengan pendekatan 180° menyebabkan penurunan tegangan yang cepat pada daerah disekitar gangguan.

Akibat yang mungkin terjadi karena ketidakstabilan tegangan adalah kehilangan beban pada suatu area atau lepasnya jaringan transmisi karena bekerjanya relay proteksi. Faktor utama yang berkontribusi ketidak stabilan tegangan adalah ketika gangguan yang terjadi menyebabkan kebutuhan daya reaktif meningkat diluar dari kapasitas sumber daya reaktif yang tersedia.

Seperti halnya pada kestabilan sudut rotor, kestabilan tegangan diklasifikasikan menjadi beberapa subkategori seperti berikut :

1. *Large disturbance voltage stability* adalah kemampuan dari sistem untuk menjaga tegangan *steady* setelah mengalami gangguan besar seperti hilangnya pembangkitan. Untuk menentukan kestabilan tegangan yang mengalami gangguan besar membutuhkan pengujian respon tidak linier dari sistem tenaga selama periode waktu yang cukup untuk melihat kinerja dan interaksi dari peralatan seperti motor, OLTC pada trafo dan

pembatas arus medan pada generator. Periode studi biasanya ditambahkan beberapa detik hingga puluhan menit.

2. *Small Disturbance voltage stability* adalah kemampuan sistem tenaga untuk menjaga tegangan steady ketika mengalami gangguan kecil seperti perubahan kenaikan pada beban. Konsep ini berguna dalam menentukan, bagaimana tegangan sistem akan merespon perubahan kecil pada sistem.

2.2.3 Kestabilan Frekuensi [4]

Kestabilan frekuensi mengacu kepada kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi *steady state* frekuensi akibat gangguan yang menyebabkan ketidakseimbangan antara pembangkitan dan pembebanan. Hal ini bergantung dari kemampuan untuk mempertahankan atau mengembalikan keseimbangan antara pembangkitan dan pembebanan akibat adanya hilangnya beban.. Umumnya, masalah kestabilan frekuensi dikaitkan ketidak mampuan dari respon peralatan, lemahnya kordinasi dari peralatan kontrol dan peralatan frekuensi atau kurangnya daya cadangan pembangkitan (*spining reserve*).

Selama penyimpangan frekuensi, besarnya tegangan bisa berubah dengan signifikan, terutama untuk kondisi *islanding* dengan *underfrekuensi load shedding*. Besarnya perubahan tegangan yang mungkin lebih tinggi dari perubahan frekuensi mempengaruhi ketidakseimbangan beban pembangkitan.

2.3 Kestabilan Transien

Kestabilan transien adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak selama sekitar satu “swing” (yang pertama) dengan asumsi bahwa pengatur tegangan otomatis (AVR) dan governor belum bekerja [3]. Kestabilan transien merupakan fungsi dari kondisi operasi dan gangguan. Situasi yang lebih hebat akan terjadi bila pembangkitan atau beban besar hilang dari sistem atau terjadi gangguan pada saluran tranmisi. Pada kasus semacam itu stabilitas *transient* harus cukup kuat untuk mempertahankan diri terhadap kejutan (*shock*) atau perubahan beban yang relatif besar yang terjadi. Stabilitas *transient* adalah kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron (sebelum terjadi aksi dari kontrol *governor*) yang mengikuti gangguan pada sistem.

Setelah hilangnya pembangkitan atau beban besar secara tiba-tiba, keseimbangan antara energi input dan output listrik pada sistem akan hilang. Jika energi input tidak lagi mencukupi, inersia rotor mesin yang masih bekerja, pada periode yang singkat akan melambat. Apabila beban hilang maka energi input pada sistem akan melebihi beban listrik, dan mesin akan bergerak semakin cepat.

Berbagai macam faktor mempengaruhi stabilitas sistem, seperti kekuatan pada jaringan transmisi didalam sistem dan saluran pada sistem yang berdekatan, karakteristik pada unit pembangkitan, termasuk inersia pada bagian yang berputar, dan properti listrik seperti reaktansi *transient* dan karakteristik saturasi magnetik pada besi stator dan rotor. Faktor penting lainnya adalah kecepatan dimana saluran atau perlengkapan yang terjadi gangguan dapat diputus (*disconnect*) dan, dengan *reclosing* otomatis pada saluran transmisi, yang menentukan seberapa cepat saluran dapat beroperasi lagi. Sebagaimana pada stabilitas *steady-state*, kecepatan respon pada sistem eksitasi generator merupakan faktor yang penting dalam mempertahankan stabilitas *transient*. Gangguan pada sistem biasanya diikuti oleh perubahan tegangan yang cepat pada sistem, dan pemulihan kembali tegangan dengan cepat menuju ke kondisi normal merupakan hal yang penting dalam mempertahankan stabilitas.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, stabilitas *transient* adalah kemampuan untuk tetap pada kondisi sinkron selama periode terjadinya gangguan dan sebelum adanya reaksi dari *governor*. Pada umumnya ayunan pertama pada rotor mesin akan terjadi selama satu detik setelah gangguan, tetapi waktu yang sebenarnya bergantung pada karakteristik mesin dan sistem transmisi. Setelah periode ini, *governor* akan mulai bereaksi, biasanya sekitar 4 hingga 5 detik.

Pada stabilitas peralihan suatu sistem dikhususkan pada benturan yang kuat, biasanya adalah suatu gangguan, yang dipertahankan untuk waktu yang singkat dan menyebabkan reduksi yang berarti pada terminal dari mesin dan kemampuan dari transfer daya. Jika kita anggap bahwa permasalahan adalah bahwa mesin tunggal yang terhubung ke *infinite bus*, perkiraan yang biasa digunakan untuk transfer daya diberikan oleh:

$$P = \frac{V_t V_\infty}{x} \sin \delta \quad (2.14)$$

Keterangan:

P = Daya output

V_t = tegangan terminal mesin

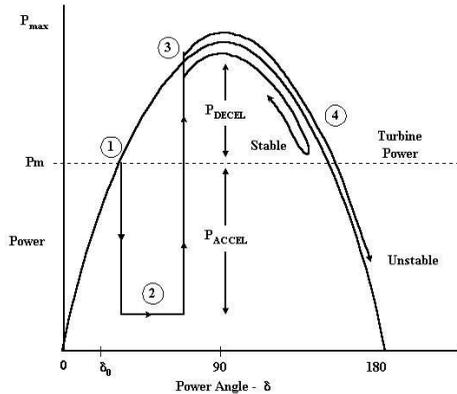
V_∞ = tegangan *infinite* bus

X = reaktansi saluran

Yang perlu dicatat adalah jika V_t tereduksi, maka P akan tereduksi oleh nilai yang terkait. Pencegahan reduksi pada P ini memerlukan aksi yang sangat cepat oleh sistem eksitasi dalam memberikan eksitasi pada kumparan medan dan oleh karena itu akan mempertahankan harga V_t pada nilai yang layak. Nilai yang paling bermanfaat untuk keadaan ini adalah kecepatan dan tegangan dengan level tinggi, sehingga memperbaiki kesempatan untuk mempertahankan nilai V_t pada level yang diperlukan. Dan juga, ketika gangguan dihilangkan dan reaktansi x dari persamaan diatas bertambah pada peristiwa pemutusan (*switching*), perubahan yang cepat pada eksitasi yang lain diperlukan. Perubahan besar ini mempengaruhi kemampuan mesin untuk daya yang dilepaskan dari turbin. Perubahan ini secara efektif dikontrol oleh perubahan eksitasi yang sangat cepat.

Studi stabilitas transien sangat berkaitan dengan seberapa besar pengaruh dari gangguan pada jaringan transmisi terhadap kemampuan keserempakan generator. Gambar 2.6 memberikan ilustrasi karakteristik respon generator pada keadaan gangguan. Titik kerja awal (titik 1), sebelum terjadi gangguan. Dengan terjadinya gangguan menyebabkan daya output generator turun secara drastis. Selisih antara daya output listrik dengan daya input mekanis turbin mengakibatkan rotor generator mengalami percepatan, sehingga sudut rotor atau daya bertambah besar (titik 2). Pada saat gangguan hilang, daya output generator pulih pada harga yang sesuai dengan kurva sudut daya ($P - \delta$) diatas (titik 3). Setelah gangguan hilang, daya output generator menjadi lebih besar daripada daya mekanis turbin. Hal ini mengakibatkan putaran rotor generator menjadi lambat (titik 4).

Bila terdapat torsi lawan yang cukup setelah gangguan hilang untuk mengimbangi percepatan yang terjadi selama terjadinya gangguan, generator akan stabil setelah ayunan pertama dan akan kembali ke titik kerjanya dalam waktu kira-kira 0,5 detik. Bila torsi lawan tersebut tidak cukup besar maka sudut rotor atau daya akan terus bertambah besar sampai sinkronisasi dengan sistem menjadi hilang.



Gambar 2.6. Kurva Sudut Daya Karakteristik Respon Generator Pada Keadaan Gangguan

Studi kestabilan transien diperlukan untuk memastikan kemampuan sistem untuk bisa menahan kondisi transien setelah gangguan besar. Seringkali, studi tersebut dilakukan ketika terjadi pemasangan fasilitas transmisi maupun pembangkitan yang baru. Hal ini sangat membantu dalam hal menentukan sistem rele yang diperlukan, waktu kritis pemutusan breaker, level tegangan dan kemampuan transfer antara sistem [4].

Selain jenis dan lokasi gangguan, yang tidak dapat dikontrol manusia, terdapat beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi stabilitas transien yang bisa dilakukan dalam rangka memperbaiki stabilitas transien pada suatu sistem tenaga. Secara umum kestabilan transien generator bergantung pada :

1. Pembebanan generator.
2. Output generator pada saat gangguan. Hal ini dipengaruhi oleh jenis gangguan.
3. Waktu pemutusan.
4. Reaktansi posfault sistem.
5. Reaktansi generator. Reaktansi generator yang kecil akan memperbesar daya puncak dan mengurangi sudut daya awal.
6. Inersia generator. Semakin besar, maka rating perubahan sudut akan semakin kecil. Hal ini akan mengurangi energi kinetik yang dihasilkan saat gangguan (area percepatan).
7. Tegangan internal generator. Dipengaruhi oleh eksitasi medan.
8. Tegangan infinite bus.

2.4 Kejadian yang mempengaruhi kestabilan

Kestabilan sistem tenaga listrik dipengaruhi beberapa kejadian, antara lain :

1. *Motor starting*
2. Penambahan beban
3. Pelepasan beban
4. Hubung singkat

Motor starting mengakibatkan terjadinya drop tegangan pada sistem tenaga listrik. karena adanya arus yang sangat tinggi sesat ketika pertama kali motor dinyalakan, besarnya arus tersebut menyebabkan daya aktif semakin bertambah sehingga mengakibatkan menurunnya frekuensi dan tegangan sesaat sistem. Jika kelebihan cadangan daya generator besar maka motor start tidak akan mempengaruhi generator.

Penambahan beban dapat mengakibatkan terjadinya ketidak sinkronan antara daya elektrik dan daya mekanik. Jika dilakukan penambahan beban penuh secara tiba-tiba, maka arus yang dibutuhkan sangat besar sehingga mengakibatkan frekuensi sistem akan turun dengan cepat. Sehingga dalam melakukan penambahan tidak di ijinakan jika penambahan beban besar dimasukkan secara bersamaan.

Pelepasan beban dapat mengakibatkan terjadi *overspeed* generator. jika pada saat kondisi normal tiba-tiba terjadi lepasnya beban besar maka hal ini akan mengakibatkan *overspeed* pada generator. selain itu juga mengakibatkan tegangan sistem menjadi naik.

Hubung singkat dapat mengakibatkan turunya tegangan secara signifikan. Karena timbulnya aliran arus yang besar menuju titik gangguan. Aliran arus tersebut merupakan jumlah dari arus kontribusi yang diberikan generator dan *motor starting*.

2.5 Persamaan Ayunan Generator [4]

Persamaan pengaturan gerakan rotor satu mesin sinkron didasarkan pada prinsip dasar dinamika yang menyatakan bahwa torsi percepatan adalah hasil perkalian dari momen inersia dan percepatan sudut. Dalam sistem MKS (meter-kilogram-second) persamaannya dapat dituliskan seperti :

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (2.15)$$

Keterangan :

| | |
|------------|---|
| J | Momen kelembaman total dari massa rotor dalam $kg \cdot m^2$ |
| θ_m | Pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam dalam radian mekanis (rad) |
| t | Waktu dalam detik (s) |
| T_m | Momen putar mekanis atau poros penggerak yang diberikan oleh <i>prime mover</i> dikurangi dengan momen putar perlambatan (<i>retarding</i>) yang disebabkan oleh rugi perputaran, dalam N-m |
| T_e | Momen putar listrik atau elektromagnetik, dalam N-m |
| T_a | Momen putar kecepatan percepatan bersih (<i>net</i>), dalam N-m |

T_m merupakan torsi mekanik dari rotor generator yang sifatnya cenderung mempercepat putaran rotor. Pada kondisi stabil (*steady state*), besar torsi mekanik (T_m) sama dengan besar torsi listrik (T_e) sehingga tidak ada momen percepatan (*accelerating torque*). Dalam kondisi ini dapat dikatakan bahwa tidak terdapat

percepatan maupun perlambatan pada rotor generator. Namun, pada kondisi yang tidak stabil akibat gangguan dapat menyebabkan adanya perbedaan antara besar torsi mekanik dan torsi listrik. Sehingga, dapat menyebabkan adanya percepatan ataupun perlambatan pada rotor generator.

Pada persamaan (2.15) karena θ_m diukur terhadap sumbu yang diam, maka untuk mengukur posisi sudut rotor terhadap sumbu yang berputar dengan kecepatan sinkron adalah seperti persamaan berikut:

$$\theta_m = \omega_m t + \delta_m \quad (2.16)$$

dengan δ adalah pergeseran sudut rotor dalam radian terhadap sumbu yang berputar dengan kecepatan sinkron. Penurunan persamaan (2.16) terhadap waktu menghasilkan kecepatan putaran rotor seperti persamaan berikut:

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} = \omega_{sm} + \frac{d\delta_m}{dt} \quad (2.17)$$

dan percepatan rotor diperoleh dengan menurunkan persamaan 2.17 terhadap waktu :

$$\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \frac{d^2\delta_m}{dt^2} \quad (2.18)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.18) ke dalam (2.15), diperoleh persamaan :

$$J \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = T_m - T_e \quad (2.19)$$

Dengan mengalikan ω_m dengan persamaan (2.19) akan didapatkan persamaan :

$$J \omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = \omega_m T_m - \omega_m T_e \quad (2.20)$$

$$J \omega_m \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad (2.21)$$

$$M \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad (2.22)$$

Pada data mesin yang digunakan untuk analisis kestabilan sistem, sering ditemui konstanta yang berhubungan dengan momen inersia yang disimbolkan dengan H, secara matematika dirumuskan:

$$H = \frac{\text{Energi kinetik dalam MJ pada kecepatan sinkron}}{\text{rating mesin dalam MVA}}$$

$$H = \frac{1/2 M \omega_{sm}}{S_{mac h}} \quad (2.23)$$

$$M = \frac{2H}{\omega_{sm}} S_{mac h} \quad (2.24)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.24) ke dalam persamaan (2.22), didapatkan persamaan :

$$\frac{2H}{\omega_{sm}} S_{mac h} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad (2.25)$$

Kemudian dengan membagi persamaan 2.25 dengan $S_{mac h}$ diperoleh :

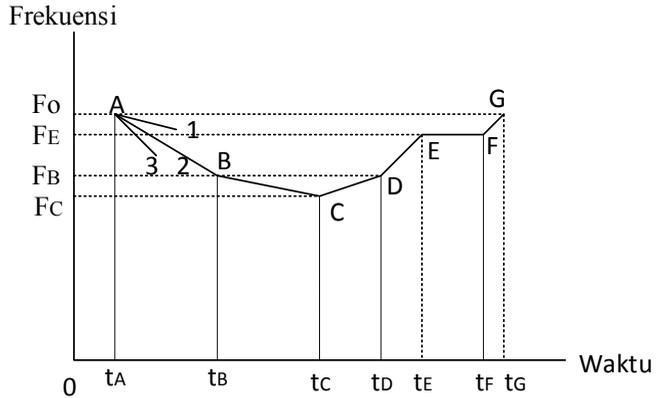
$$\frac{2H}{\omega_{sm}} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = \frac{P_m}{S_{mac h}} - \frac{P_e}{S_{mac h}}$$

$$\frac{H}{\pi f} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad (\text{per unit}) \quad (2.26)$$

2.6 Sistem Pengoperasian Load Shedding[5]

Jika terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan besarnya suplai daya yang dihasilkan oleh pembangkit tidak mencukupi kebutuhan beban misalnya karena adanya pembangkit yang lepas (trip), maka untuk mencegah terjadinya ketidakstabilan sistem perlu dilakukan pelepasan beban (*load shedding*). Keadaan

yang kritis pada sistem dapat dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat. Hal ini diilustrasikan pada gambar 2.5.



Gambar 2.7. Perubahan frekuensi sebagai fungsi waktu dengan adanya pelepasan beban [5]

Pada saat $t=t_A$, ada unit pembangkit yang lepas sehingga frekuensi menurun dengan tajam. Penurunan frekuensi sistem ini bisa melalui garis 1, garis 2 atau garis 3 bergantung pada besarnya kapasitas pembangkit yang lepas dibandingkan dengan kebutuhan beban yang ada. Semakin besar daya yang yang hilang maka akan semakin cepat frekuensi menurun. Kecepatan menurunnya frekuensi sistem juga bergantung pada inersia sistem. Semakin besar nilai inersia, makin kokoh sistemnya dan makin lambat turunnya frekuensi.

Pada gambar 2.5 dimisalkan frekuensi sistem menurun mengikuti garis 2. Setelah mencapai titik B dilakukan pelepasan beban tahap pertama oleh *Under Frequency Relay* (UFR) yang bekerja setelah mendeteksi turunnya frekuensi sistem mencapai f_B . Setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama, kecepatan turunnya frekuensi berkurang. Namun karena kurangnya suplai daya frekuensi sistem masih menurun hingga titik C, sehingga dilakukan pelepasan beban tahap kedua setelah UFR mendeteksi turunnya frekuensi hingga f_C .

Setelah dilakukan pelepasan beban tahap kedua, sistem mulai kembali stabil ditunjukkan dengan tidak menurunnya frekuensi sistem. Frekuensi sistem naik hingga titik D dikarenakan

telah dilakukan pelepasan beban tahap kedua besarnya suplai daya lebih besar daripada total beban. Dimulai dari titik D, governor pembangkit mulai bekerja melakukan pengaturan primer yaitu selama t_D .

Waktu sebelum bekerjanya governor ini (t_D) berkisar selama 4 detik. Periode sebelum governor melakukan pengaturan primer disebut periode transien dan berlangsung selama kira-kira 4 detik. Setelah governor melakukan pengaturan primer maka frekuensi sistem naik hingga mencapai f_E . Kemampuan governor melakukan pengaturan primer bergantung pada besarnya *spinning reserve* yang masih tersedia dalam sistem. Setelah mencapai titik E masih ada penyimpangan frekuensi sebesar F dari frekuensi sistem yang diinginkan yaitu f_O dan penyimpangan ini dikoreksi dengan pengaturan sekunder oleh governor yang dimulai pada titik F dan akhirnya frekuensi sistem kembali stabil pada titik G.

Apabila unit pembangkit yang lepas tidak begitu besar mungkin penurunan frekuensi tidak mencapai titik C sehingga dengan pelepasan beban tahap pertama saja sudah cukup untuk mengembalikan sistem menjadi stabil. Dalam prakteknya, pelepasan beban dilakukan dengan memasang UFR (*Under Frequency Relay*) pada berbagai *feeder* distribusi yang dipilih menurut kondisi setempat. Jumlah UFR harus sedikitnya cukup untuk melepas beban sebesar unit terbesar dalam sistem.

Penurunan frekuensi bisa terjadi pada saat lepasnya pembangkit. Selama kurun waktu 2 detik yaitu periode ketika governor belum bekerja, frekuensi menurun dengan cepat dan mencapai tingkatan yang minimum.

Kemudian governor bekerja sehingga frekuensi kembali pas kondisi stabil yang lebih rendah dari frekuensi normalnya. Frekuensi ini disebut frekuensi residu. Skema pelepasan yang tepat harus menentukan frekuensi minimum dan frekuensi residu.

Pelepasan beban dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

1. Pelepasan beban secara manual (*Manual Load Shedding*)
2. Pelepasan beban secara otomatis (*Automatic Load Shedding*)

2.6.1. Pelepasan Beban Secara Manual

Pelepasan beban secara manual hanya dapat dipakai dalam keadaan yang tidak begitu penting, seperti perkembangan beban yang melebihi kapasitas pembangkit atau turunnya tegangan di dalam daerah tertentu yang disebabkan oleh gangguan. Dalam keadaan darurat karen turunnya tegangan hingga 80%, operator akan mengambil inisiatif sendiri untuk melakukan pelepasan beban.

Kekurangan dari pelepasan beban secara manual alah kebutuhan akan operator yang siap dan handal karena keterlambatan operator dalam mengatasi permasalahan ini akan berakibat fatal pada stabilitas sistem.

2.6.2. Pelepasan Beban Secara Otomatis

Pelepasan beban secara otomatis menggunakan relay under frequency. Dimana pelepasan beban nanti akan berdasakan seberapa besar turunya frekuensi sistem. Perencanaan dan setting rele under frekuensi untuk load shedding harus dalam kondisi beban berlebih (generator tidak mampu memenuhi kebutuhan beban). Biasanya disebabkan lepasnya salah satu geneator dengan sistem. Dengan kelebihan beban maka frekuensi sistem akan turun. Untuk menghindari black out akibat generator overload maka diperlukan load shedding. Sehingga jika terjadi gangguan yang mengakibatkan kelebihan beban maka beban akan terlepas dengan sendirinya sesuai dengan setting rele underfrekuensi (81-U).

Pelepasan beban tidak dilakukan secara langsung kelebihan bebannya. Namun pelepasan beban dilakukan secara bertahap. Hal ini untuk menghidari ketika dilakukukan pelepasan beban terjadi overvoltage. Sehingga setting rele underfrekuensi terdapat beberapa settingan sesuai dengan tahapan pelepasan beban.

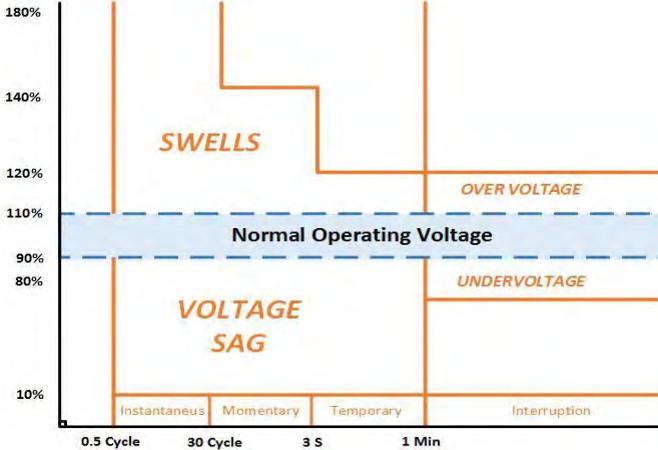
2.7 Standar Tegangan

Standar yang digunakan untuk tegangan nominal dalam kondisi normal alah berdasarkan standar PLN, yaitu :

1. 500 kV +5%, -5%
2. 150 kV +5%, -10%
3. 70 kV +5%, -10%
4. 20 kV +5%, -10%

Sedangkan standar yang digunakan untuk kedip tegangan adalah *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality* (IEEE Std 1159-1995).

Gambar 2.7. menunjukkan bahwa untuk kedip tegangan batas nilai yang diperbolehkan adalah 10% untuk *momentary* selama 3 detik senagkan untuk *temporary* selama 1 menit.



Gambar 2.8. Definisi *Voltage Magnitude Event* berdasarkan standar IEEE 1159-195 [7]

Tabel 2.1 Menurut Standart Voltage Sag Immunity Standarts SEMI F47 and F42

| Voltage Sag Duration | | | Voltage Sag |
|----------------------|-----------------|------------------|--|
| Second (s) | Cycles at 60 Hz | Cycles At 50 Hz | Percent (%) Of Equipment Nominal Voltage |
| < 0,05 s | < 3 cycles | < 2,5 cycles | Not specified |
| 0,05 to 0,2s | 3 to 12 cycles | 2,5 to 10 cycles | 50 % |
| 0,2 to 0,5 s | 12 to 30 cycles | 10 to 25 cycles | 70 % |
| 0,5 to 1,0 s | 30 to 60 cycles | 25 to 50 cycles | 80 % |
| >1,0 s | > 60 cycles | > 50 cycles | Not specified |

2.8 Standar Frekuensi

Standar yang digunakan untuk pengendalian frekuensi diatur oleh pemerintah melalui peraturan menteri energi dan sumber daya mineral nomor : 03 tahun 2007. Yang diatur dalam aturan operasi OC.3 tentang pengendalian frekuensi.

Disebutkan bahwa, “Frekuensi sitem dipertahankan kisaran +/- 0,2Hz atau 99,6% di sekitar 50Hz, kecuali dalam periode singkat, dimana penyimpangan sebesar +/- 0,5Hz atau 99% diizinkan selama kondisi darurat.

2.9 Standar Pelepasan Beban

Terdapat dua skema pelepasan beban yang mengacu pada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 yaitu pelepasan beban tiga langkah dan pelepasan beban enam langkah. Tabel di bawah merupakan skema pelepasan beban tiga langkah berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987.

Tabel 2.2 Skema Load Shedding Tiga Langkah

| Tahap | Frekuensi Jatuh (Hz) | | % | Persen Pelepasan Beban (%) | Waktu Jeda (Cycle pada) Relay |
|-------|----------------------|----------------|-------|--|-------------------------------|
| | Sistem 60 (Hz) | Sistem 50 (Hz) | | | |
| 1 | 59.3 | 49.41 | 98.83 | 10 | 6 |
| 2 | 58.9 | 49.08 | 98.16 | 15 | 6 |
| 3 | 58.5 | 48.75 | 97.5 | Disyaratkan untuk menjaga penurunan frekuensi sebelum 58,2Hz | |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
SISTEM KELISTRIKAN PROYEK CHEMICAL GRADE
ALUMINA (CGA) TAYAN

3.1 Sistem Kelistrikan proyek Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan.

Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan memiliki sistem kelistrikan yang di-*supply* oleh beberapa generator. Berikut adalah data daya generator yang digunakan CGA,Tayan :

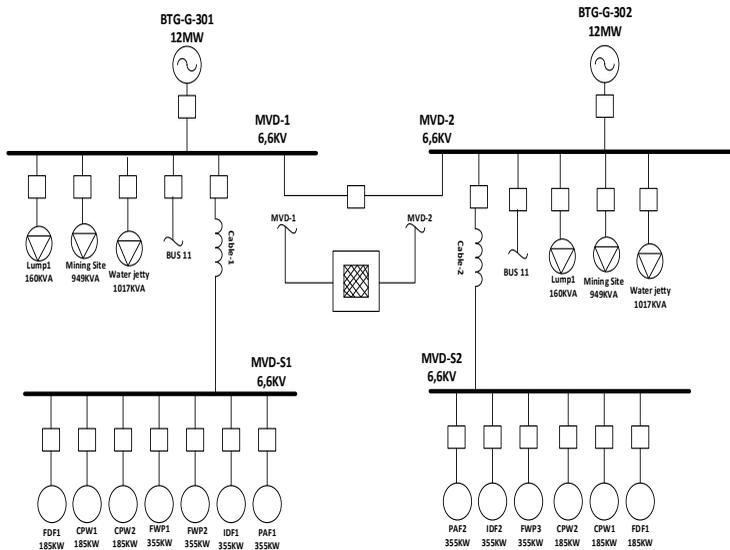
Tabel 3.1 Data Generator pada Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan.

| No. | ID Generator | Rating Daya (MW) | Rating Tegangan (kV) |
|-----|--------------|------------------|----------------------|
| 1. | BTG-G-301 | 12 | 6,6 |
| 2. | BTG-G-302 | 12 | 6,6 |

Tabel 3.2 Data Spesifikasi Generator pada Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan.

| <i>Spesifikasi</i> | <i>BTG-G-301</i> | <i>BTG-G-302</i> |
|----------------------|------------------|------------------|
| <i>Rating</i> | <i>12 MW</i> | <i>12MW</i> |
| <i>Dayamampu</i> | <i>12MW</i> | <i>9,6MW</i> |
| <i>Tegangan</i> | <i>6,6 KV</i> | <i>6,6 KV</i> |
| <i>frekuensi</i> | <i>50 Hz</i> | <i>50 Hz</i> |
| <i>Speed</i> | <i>3000 Rpm</i> | <i>3000 Rpm</i> |
| <i>PF</i> | <i>80%</i> | <i>80%</i> |
| <i>FLA</i> | <i>1312</i> | <i>1312</i> |
| <i>Type Exciter</i> | <i>ST1</i> | <i>ST1</i> |
| <i>Type Governor</i> | <i>2301</i> | <i>2301</i> |
| <i>H</i> | <i>3,999</i> | <i>3,999</i> |
| <i>Damping</i> | <i>0</i> | <i>0</i> |

Berikut adalah gambaran sistem kelistrikan pada Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan. dalam bentuk *single line* diagram



Gambar 3.1 *Single Line* Diagram pada Sistem Kelistrikan Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan

Untuk selanjutnya *single line* diagram ini digunakan dalam tugas akhir dalam penyelesaian analisa *kestabilan transient*.

3.1 Sistem Distribusi Tenaga Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan.

Sistem distribusi tenaga listrik di Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan, menggunakan dua buah sistem sumber, yaitu sumber yang berasal dari Dua Generator. Distribusi daya di Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan dilengkapi dengan adanya transformator daya untuk supply beban dengan rating daya tertentu. Berikut ini adalah data transformator daya yang digunakan dalam kelistrikan:

Tabel 3.3 Data Trafomator pada Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan.

| No. | Trafo ID | Rating | | |
|-----|----------|--------|-------------|---------------|
| | | MVA | Primer (kV) | Sekunder (kV) |
| 1. | T1-1-1 | 0,5 | 6,6 | 0,4 |
| 2. | T3-1-1 | 2 | 6,6 | 0,4 |
| 3. | T4-1-1 | 1,6 | 6,6 | 0,4 |
| 4. | T11-1 | 1,6 | 6,6 | 0,4 |
| 5. | T12-1 | 1,6 | 6,6 | 0,4 |
| 6. | T13-1 | 1,6 | 6,6 | 0,4 |
| 7. | T14-1 | 1,25 | 6,6 | 0,4 |
| 8. | T15-1 | 1,6 | 6,6 | 0,4 |
| 9. | T18-1 | 0,5 | 6,6 | 0,4 |
| 10. | TR-16-1 | 1,25 | 6,6 | 0,4 |
| 11. | TR-17-1 | 1,6 | 6,6 | 0,4 |
| 12. | TR-21-1 | 1,6 | 6,6 | 0,4 |
| 13. | TR-22-1 | 1,8 | 6,6 | 0,4 |
| 14. | TR-23-1 | 1,25 | 6,6 | 0,4 |
| 15. | TR-23A-1 | 0,35 | 0,4 | 0,2 |
| 16. | TR-24-1 | 1,6 | 6,6 | 0,4 |
| 17. | TR-25-1 | 2 | 6,6 | 0,4 |
| 18. | TR-26-1 | 1,25 | 6,6 | 0,4 |
| 19. | TR-27-1 | 2 | 6,6 | 3 |
| 20. | TR-28-1 | 0,7 | 6,6 | 0,4 |

3.3 Beban Pada Sistem Kelitrikan Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan.

Beban kelistrikan Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan. terdiri beberapa beban berikut :

- Motor
Digunakan sebagai penggerak peralatan operasi. Terdiri dari 36 motor induksi dengan tegangan 0,4 kV. Beban motor ini dikelompokkan ke dalam *MCC (Motor Control Center)*.

- Lumped Load
Digunakan untuk kegiatan operasional di Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan.
Berikut adalah data beban – beban motor yang terdapat pada tegangan 6,6 K V di Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan:

Tabel 3.4 Data beban MCC pada pada Chemical Grade Alumin (CGA)

| No | ID | KW | KVA | KV |
|----|--------------|-----|-----|-----|
| 1 | FD1 | 185 | 217 | 6,6 |
| 2 | CPW1 | 185 | 217 | 6,6 |
| 3 | CPW2 | 185 | 217 | 6,6 |
| 4 | FWP1 | 355 | 414 | 6,6 |
| 5 | FWP2 | 355 | 414 | 6,6 |
| 6 | FWP3 | 355 | 414 | 6,6 |
| 7 | IDF1 | 355 | 414 | 6,6 |
| 8 | IDF2 | 355 | 414 | 6,6 |
| 9 | PAF1 | 355 | 414 | 6,6 |
| 10 | PAF2 | 355 | 414 | 6,6 |
| 11 | BSC-RM-101-1 | 260 | 304 | 6,6 |
| 12 | BSC-RM-301-1 | 260 | 304 | 6,6 |
| 13 | BDH-P-103A-1 | 180 | 211 | 6,6 |
| 14 | BDH-P-103B-1 | 180 | 211 | 6,6 |
| 15 | BDH-P-103C-1 | 180 | 211 | 6,6 |
| 16 | VHI-P-101A-1 | 160 | 188 | 6,6 |
| 17 | VHI-P-101B-1 | 160 | 188 | 6,6 |
| 18 | PLS-P-201A-1 | 160 | 188 | 6,6 |
| 19 | PLS-P-201B-1 | 160 | 188 | 6,6 |
| 20 | CPW3 | 185 | 217 | 6,6 |
| 21 | CPW4 | 185 | 217 | 6,6 |

Tabel 3.5 Data Kemampuan *Switchgear* pada pada Chemical Grade Alumina (CGA) Tayan.

| No. | SWGR | Tegangan (kV) |
|-----|------------------|---------------|
| 1. | MVD-1 | 6,6 |
| 2. | SCP-AAN/ATR-1P-1 | 0,4 |
| 3. | SCP-HG4-1P-1 | 0,2 |
| 4. | MVD-22-1 | 3 |

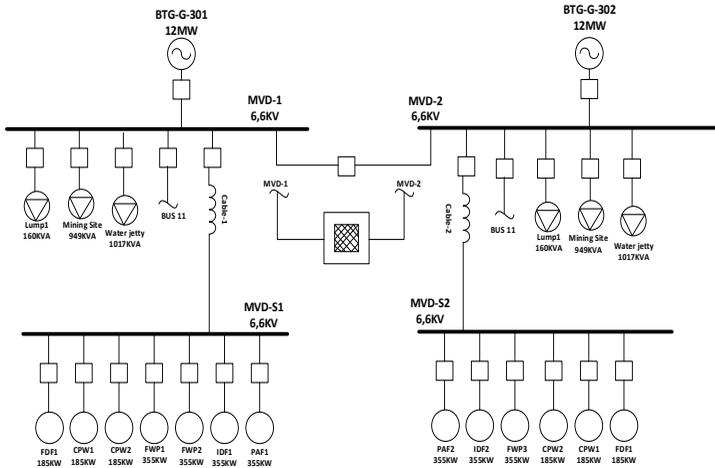
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DI PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA")

4.1 Permodelan Sistem Kelistrikan Plant *PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA")*

Setelah didapatkan pemodelan sistem kelistrikan Plant PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA") dalam software ETAP 7.5, maka selanjutnya akan dilakukan simulasi stabilitas transient sesuai dengan studi kasus yang akan dipaparkan pada tabel 4.1. Pada simulasi ini akan dianalisa respon tegangan dan frekuensi hasil simulasi. Dengan memodelkan kemungkinan gangguan diharapkan ada sebuah tindakan lebih lanjut agar sistem tetap terjaga. Pada tugas akhir ini analisis dilakukan ketika terjadi *generator outage, short circuit, dan motor starting*.



Gambar 4.1 Single Line diagram Konfigurasi Integrasi

4.2 Studi kasus simulasi stabilitas transien

Pada kestabilan transien pada sistem kelistrikan PT Indonesia Chemical Alumina Pada simulasi ini terdapat beberapa studi kasus yang dipergunakan diantaranya:

1. Generator *outage*: Pada kasus ini terdapat satu atau lebih generator yang lepas ketika sistem sedang berjalan. Konfigurasi sistem operasinya antara lain:
 - A. Operasi 1 : Kondisi operasi normal pembangkitan PT Indonesia Chemical Alumina. Generator BTG-G-301 dan BTG-G-302 dalam kondisi aktif. Daya yang dibangkitkan 24 MW.
 - B. Operasi 2 : Kondisi operasi ketika 1 generator tidak aktif yaitu BTG-G-302. Daya yang dibangkitkan sebesar 11 MW.
 - C. Operasi 3 : Kondisi operasi ketika 1 generator tidak aktif yaitu BTG-G-301. Daya yang dibangkitkan sebesar 12 MW.
2. *Short circuit*: Pada kasus ini terjadi gangguan hubung singkat pada bus LVD-22-1 0,4 KV, bus LVD-23-1 0,4 KV, bus MVD-S2 6,6 kV, bus MVD-31-1 6.6 kV, bus LVD-32-1 6,6 Kv, dan bus LVD-31-1 6,6 kV.
3. *Motor starting*: Pada kasus ini terjadi *starting* motor pada motor SLE-BL-101-1 kapasitas 453kW.

Dalam analisis stabilitas transien terdapat beberapa parameter yang diamati dalam analisis stabilitas transien ini adalah:

1. Frekuensi di generator , frekuensi bus sebelum, saat dan setelah terjadi gangguan.
2. Tegangan di bus *MVD-1, LVD-23A-1, LVD-25-1, dan MCC2-22-1*

Agar lebih mudah dalam memahami kasus-kasus yang akan disimulasikan pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut

Tabel 4.1 Studi kasus analisa stabilitas transient

| No | Kasus | Operasi Pembangkitan | Keterangan |
|----|----------------------|----------------------|---|
| 1 | Gen off 1 | 1 | Generator BTG-G-302 <i>outage</i> dari sistem |
| | Gen off1 + LS | | <i>Load Shedding</i> tahap 1 sebesar 10% dengan Frekuensi |
| | Gen off1 + LS2 | | <i>Load Shedding</i> tahap 2 sebesar 15% dengan Frekuensi |
| | Gen off1 + LS status | | <i>Load Shedding</i> dengan Status |
| 2 | Gen off 2 | 1 | Generator BTG-G-301 <i>outage</i> dari sistem |
| | Gen off2 + LS | | <i>Load Shedding</i> tahap 1 sebesar 10% dengan Frekuensi |
| | Gen off2 + LS2 | | <i>Load Shedding</i> tahap 2 sebesar 15% dengan Frekuensi |
| | Gen off2 + LS status | | <i>Load Shedding</i> dengan Status |
| 4 | SC2 | 1 | Gangguan hubung singkat di bus LVD-23-1 (0,4 kV) dilanjutkan CB 7-1-1 <i>open</i> saat 0,3 s setelah gangguan |
| 5 | SC3 | 1 | Gangguan hubung singkat di bus MVD-S2 (6,6 kV) dilanjutkan CB 609 <i>open</i> saat 0,3 s setelah gangguan |

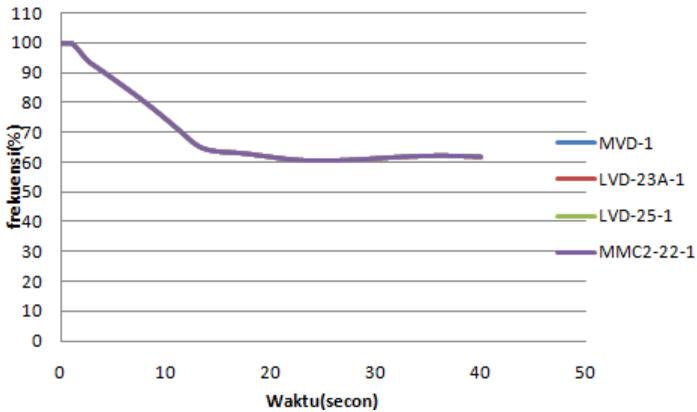
| | | | |
|---|-----------------|---|--|
| 6 | SC4 | 1 | Gangguan hubung singkat di bus MVD-31-1 (6,6 kV) dilanjutkan CB 8-2-1 <i>open</i> saat 0,3 s setelah gangguan |
| 7 | SC5 | 1 | Gangguan hubung singkat di bus LVD-32-1 (6,6 kV) dilanjutkan CB 12-2-1 <i>open</i> saat 0,3 s setelah gangguan |
| 8 | SC6 | 1 | Gangguan hubung singkat di bus LVD-31-1 (6,6 kV) dilanjutkan CB 11-2-1 <i>open</i> saat 0,3 s setelah gangguan |
| 6 | MS SLE-BL-101-1 | 1 | Motor <i>Starting</i> (SLE-BL-101-1) (453kW) |

4.3 Simulasi stabilitas transien

Pada sub bab 4.3 ini akan di jelaskan mengenai hasil kestabilan transien meliputi respon frekuensi bus, sudut rotor generator dan tegangan bus akibat kasus yang sudah direncanakan pada sub bab 4.1.

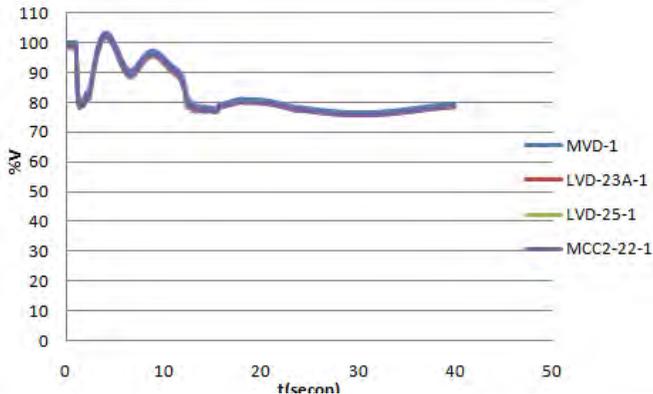
4.3.1 Mode operasi Gen BTG-G-302 Lepas ($t=1s$)

Pada studi kasus ini menunjukkan hasil simulasi generator BTG-G-302 lepas dengan operasi pembangkit model 1. Generator ini mempunyai rating 12 MW. Namun dalam pengoperasiannya daya maksimal yang dikeluarkan 11 MW. Ketika sedang beroperasi normal generator BTG-G-302 beroperasi 11 MW. Dalam kasus ini generator disimulasikan lepas ketika 1 detik dengan lama simulasi 60 detik. Pada gambar 4.2 terlihat penurunan frekuensi sampai dengan 62%.



Gambar 4.2 Respon Frekuensi Saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$)

Lepasnya Gen BTG-G-302 menyebabkan frekuensi turun sampai dengan nilai 62% yang membahayakan sistem. Untuk itu diperlukan load shedding jika melihat respon frekuensi ini. Kemudian akan ditampilkan respon tegangan setelah gangguan BTG-G-302.



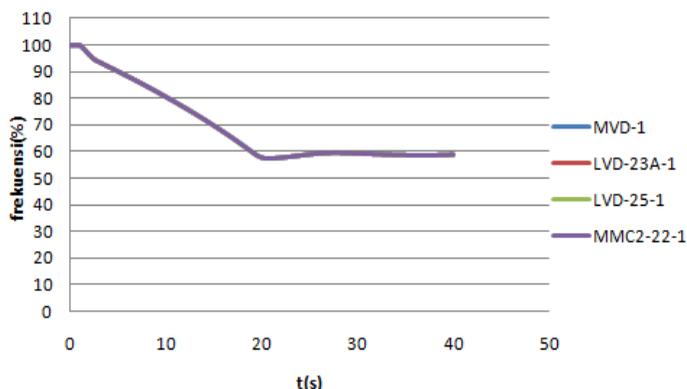
Gambar 4.3 Respon Tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$)

signifikan mencapai 80% - 75% untuk bus *MVD-1*, *LVD-23A-1*, *LVD-25-1*, dan *MCC2-22-1* juga terpengaruh. Pada saat Gen BTG-

G-302 lepas, sistem kehilangan 11 MW pembangkitan, sedangkan total beban tetap. Hal ini menyebabkan ketidakstabilan pada sistem. Penurunan tegangan dan frekuensi yang besar dan berlangsung dalam kurun waktu yang lama dapat mengganggu stabilitas sistem dan dapat berakibat kerusakan pada peralatan listrik, khususnya pada beban motor. Untuk itu dibutuhkan penanganan yang cepat dan handal untuk mengatasi permasalahan ini.

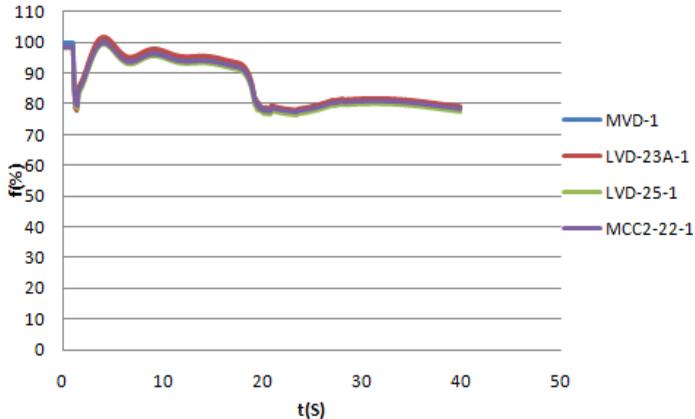
4.3.2 Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 1. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,461s$)

Kasus frekuensi yang mencapai 62% dan under voltage pada sistem dapat diatasi dengan metode Load Shedding. Pelepasan beban pertama dilakukan saat frekuensi mencapai 98,83% dari frekuensi normal. Load shedding tahap 1 memerlukan delay 6 cycle atau 0,12 detik. Total beban yang dilepas pada pelepasan beban sebesar 2,1 MW. Jumlah beban keseluruhan dalam kondisi normal sebesar 20,150 MW. Skema pelepasan beban dilakukan sesuai dengan prosedur keamanan Plant PT Indonesia Chemical Alumina ("PT ICA"). Dalam hal ini beban yang diperbolehkan dilepas, yakni beban yang dirasa tidak cukup penting. Selanjutnya akan ditunjukkan respon tegangan pada mode operasi GEN OFF saat pelepasan beban sebesar



Gambar 4.4 Respon frekuensi saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,461s$).

Dilihat respon frekuensi bus pada masing masing level tegangan mengalami penurunan. Akibat adanya mekanisme *Load Shedding*, frekuensi terkecil sebesar 54,34% ketika 18,661 detik. Maka masih belum sesuai standar IEEE Std.106-2003, sehingga dalam kasus ini tidak aman.



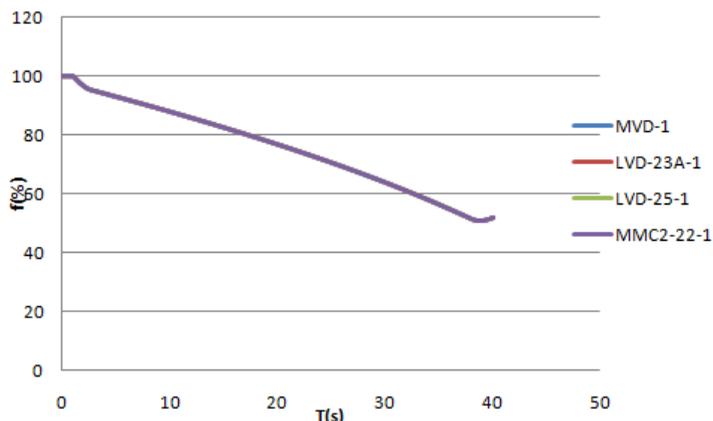
Gambar 4.5 Respon Tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,461$)

Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa respon tegangan, dan frekuensinya belum memenuhi standar. Maka untuk mempertahankan peralatan dan memperbaiki respon sistem perlu dilakukan mekanisme *Load Shedding* tahap 2. Mekanisme *Load Shedding* tahap 2 kali ini akan dilakukan berdasarkan standart ANSI/IEEE C37.106-1987 (3 langkah). Besar *Load Shedding* tahap 2 adalah 15% (3.0225 MW) dari beban total. *Load Shedding* dilakukan pada frekuensi 98.17.

4.3.3 Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,461$) Load Shedding 2 ($t=1,642$)

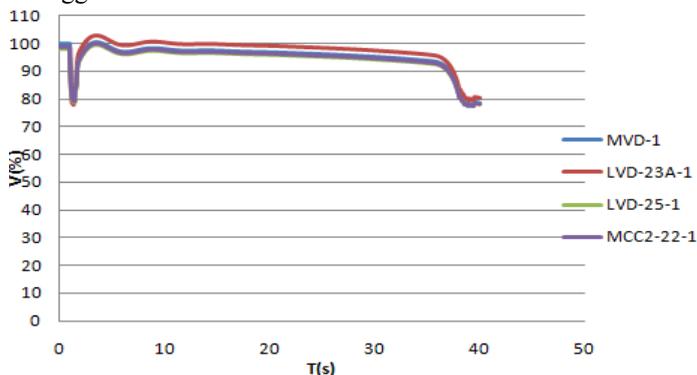
Load shedding tahap 2 dilakukan pada saat frekuensi sistem turun hingga mencapai 97,5% dan ditambah delay 6 cycle atau 0,12 detik. Total beban yang dilepas pada pelepasan beban sebesar 3,0225 MW. Jumlah beban keseluruhan dalam kondisi

normal sebesar 20.150MW. Dalam hal ini beban yang diperbolehkan dilepas, yakni beban yang dirasa tidak cukup penting.



Gambar 4.6 Respon frekuensi saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,461$) Load Shedding 2 ($t=1,642$)

Dilihat respon frekuensi bus pada masing masing level tegangan mengalami penurunan. Akibat adanya mekanisme *Load Shedding* menyebabkan frekuensi masih turun menjadi 50,54% ketika 38,954 detik. Maka masih belum sesuai standar IEEE Std.106-2003, sehingga dalam kasus ini tidak aman.

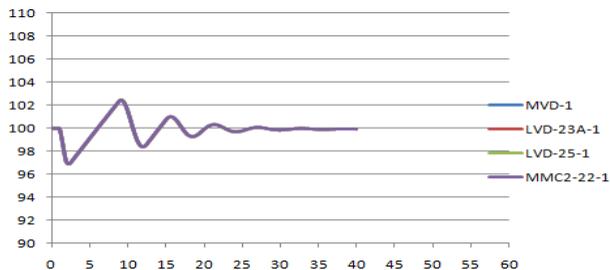


Gambar 4.7 Respon tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,461$) Load Shedding 2 ($t=1,642$)

Dari gambar terlihat bahwa frekuensi sistem mengalami penurunan sebesar 51,8%. Batas nilai underfrequency yang diijinkan untuk syarat continuous operation pada generator steam yaitu 99,16%. Berdasarkan data dapat disimpulkan respon tegangan, dan frekuensinya belum memenuhi standar. Maka untuk mempertahankan peralatan dan memperbaiki respon sistem dilakukan mekanisme *Load Shedding* tahap 3. Mekanisme *Load Shedding* tahap 3 kali ini akan dilakukan berdasarkan standart ANSI/IEEE C37.106-1987 (3 langkah). Besar *Load Shedding* tahap 3 adalah sampai sistem stabil yaitu sesuai Standar Frekuensi untuk *Steam Turbin Generator* (IEEE Std C37.106-2003 sebesar 99,16%). *Load Shedding* dilakukan pada frekuensi 97,5.

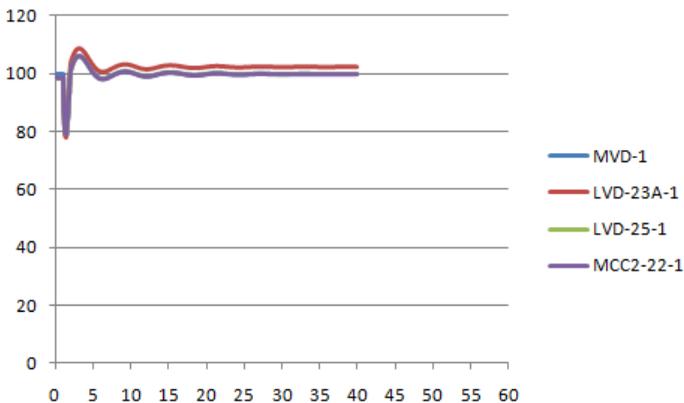
4.3.4 Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 3. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,461$) Load Shedding 2 ($t=1,642$) Load Shedding 3 ($t=1,823$)

Load shedding tahap 3 dilakukan pada saat frekuensi sistem turun hingga mencapai 97% dan ditambah delay 6 cycle atau 0,12 detik. Total beban yang dilepas pada pelepasan beban sebesar 5,208 MW atau sampai frekuensi pada sistem kembali normal yaitu 99,16%. Jumlah beban keseluruhan dalam kondisi normal sebesar 20.150MW. Dalam hal in beban yang diperbolehkan dilepas, yakni beban yang dirasa tidak cukup penting.



Gambar 4.8 Respon frekuensi saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,461$) Load Shedding 2 ($t=1,642$) Load Shedding 3 ($t=1,823$)

Pada gambar 4.8 dapat dilihat respon frekuensi bus pada masing masing level tegangan mengalami penurunan. Akibat adanya mekanisme *Load Shedding* menyebabkan osilasi pada frekuensi menjadi 99,9507%, dengan penurunan terendah 96,9059% ketika 2,204 detik dan kenaikan terbesar 102,347% ketika 9,384 detik . Sehingga dalam studi kasus tersebut respon frekuensi sesuai dengan standar yang diizinkan untuk beroperasi.



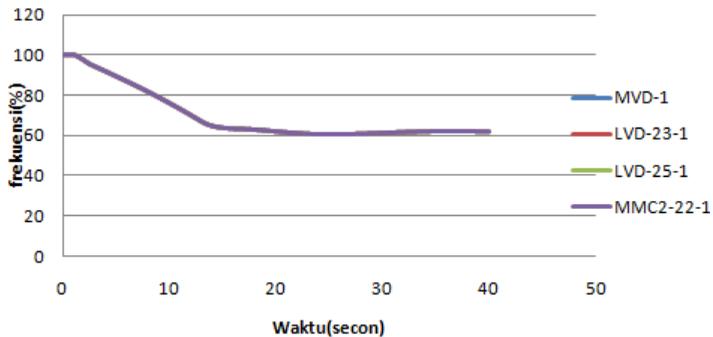
Gambar 4.9 Respon Tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-302 OFF LS 2. Gen BTG-G-302 *Delete* ($t=1s$) *Load Shedding 1* ($t=1,461$) *Load Shedding 2* ($t=1,642$) *Load Shedding 3* ($t=1,823$)

Pada gambar 4.9 terjadi kenaikan pada masing masing level tegangan setelah dilakukan *Load Shedding*. Tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan ketika 1.5 detik. Bus MVD 1 mengalami osilasi dengan penurunan terendah 81,0168% di 1,461 detik dan tertinggi 105,935% di 3,044 detik. Kemudian stabil hingga akhir simulasi sebesar 99,933%. Ketika terjadi gangguan Bus LVD-23A-1 mengalami osilasi dengan penurunan terendah 78,0594% pada 1.361 detik dan tertinggi 108,446% pada 3.044 detik. Kemudian tegangan stabil hingga akhir simulasi di 99.92%. pada saat terjadi gangguan Bus LVD-25 mengalami osilasi dengan penurunan terendah 78,8754% di 1,421 detik dan tertinggi 105,568% di 3,024 detik. Kemudian stabil hingga akhir simulasi sebesar 99,5456%. MCC2-22-1 mengalami osilasi dengan

penurunan terendah 79,2064% di 1,461 detik dan tertinggi 105,583% di 3,044 detik. Kemudian stabil hingga akhir simulasi sebesar 99,5587%. Turunnya tegangan disebabkan beban pada sistem tidak tersuplai penuh. Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa respon frekuensi, tegangan, masih memenuhi standar yang diizinkan sehingga aman.

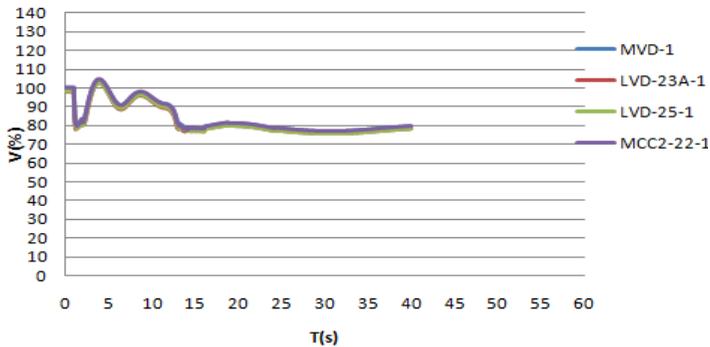
4.3.5 Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF. Integrasi : Gen BTG-G-301($t=1s$)

Pada studi kasus ini menunjukkan hasil simulasi generator BTG-G-301 lepas dengan operasi pembangkit model 1. Generator ini mempunyai rating 12 MW. Namun dalam pengoperasiannya Generator swing Ketika sedang beroperasi normal generator BTG-G-301 beroperasi sebagai mode swing generator. Dalam kasus ini generator disimulasikan lepas ketika 1 detik dengan lama simulasi 60 detik. Pada gambar 4.10 Terlihat penurunan frekuensi sampai dengan 61,8646%.



Gambar 4.10 Respon Frekuensi Saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF. Gen BTG-G-301 Delete ($t=1s$)

Lepasnya Gen BTG-G-301 menyebabkan frekuensi turun sampai dengan nilai 61,8646% yang membahayakan sistem. Untuk itu diperlukan load shedding jika melihat respon frekuensi ini. Kemudian akan ditampilkan respon tegangan setelah gangguan.



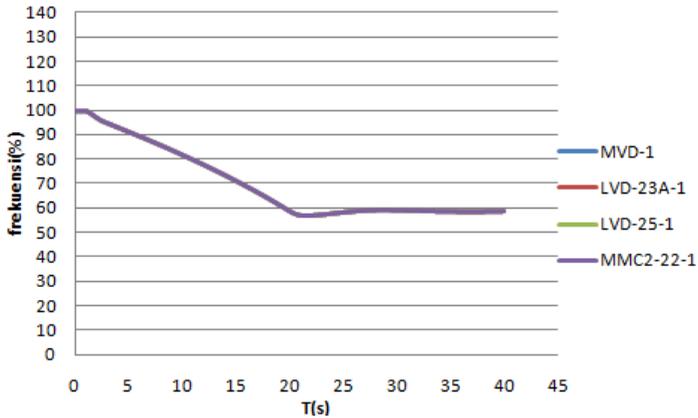
Gambar 4.11 Respon Tegangan Saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF. Gen BTG-G-301 *Delete* ($t=1s$)

Respon tegangan pada saat Gen BTG-G-301 lepas, turun secara signifikan mencapai 80% - 75% untuk bus *MVD-1*, *LVD-23A-1*, *LVD-25-1*, dan *MCC2-22-1* juga terpengaruh. Pada saat Gen BTG-G-301 lepas, sistem kehilangan 12 MW pembangkitan, sedangkan total beban tetap. Hal ini menyebabkan ketidakstabilan pada sistem. Penurunan tegangan dan frekuensi yang besar dan berlangsung dalam kurun waktu yang lama dapat mengganggu stabilitas sistem dan dapat berakibat kerusakan pada peralatan listrik, khususnya pada beban motor. Untuk itu dibutuhkan penanganan yang cepat dan handal untuk mengatasi permasalahan ini.

4.3.6 Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF LS 1. Gen BTG-G-302 *Delete* ($t=1s$) *Load Shedding 1* ($t=1,541s$)

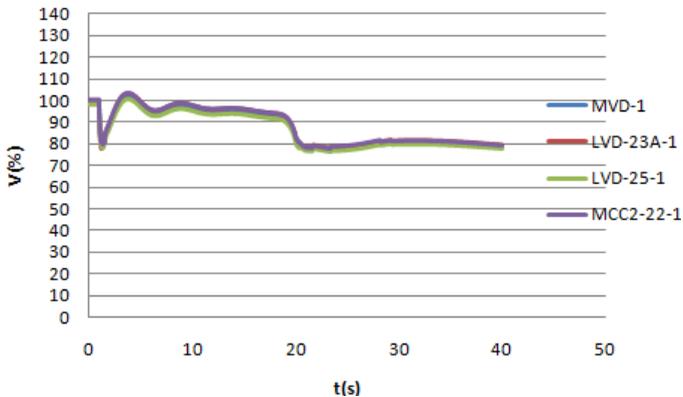
Kasus frekuensi yang mencapai 61,8646% dan under voltage pada sistem dapat diatasi dengan metode Load Shedding. Pelepasan beban pertama dilakukan saat frekuensi mencapai 98,83% dari frekuensi normal. Load shedding tahap 1 memerlukan delay 6 cycle atau 0,12 detik. Total beban yang dilepas pada pelepasan beban sebesar 2,1 MW. Jumlah beban keseluruhan dalam kondisi normal sebesar 20,150 MW. Skema pelepasan beban dilakukan sesuai dengan prosedur keamanan Plant PT Indonesia

Chemical Alumina ("PT ICA"). Dalam hal ini beban yang diperbolehkan dilepas, yakni beban yang dirasa tidak cukup penting.



Gambar 4.12 Respon frekuensi saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF LS 1. Gen BTG-G-301 *Delete (t=1s) Load Shedding 1 (t=1,541)*

Dilihat respon frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan. Dari gambar terlihat bahwa frekuensi sistem mengalami penurunan sebesar 59.87%. Batas nilai underfrequency yang dizinkan untuk syarat continous operation pada generator steam yaitu 99,16%. Maka masih belum sesuai standar IEEE Std.106 2003, sehingga dalam kasus ini tidak aman.

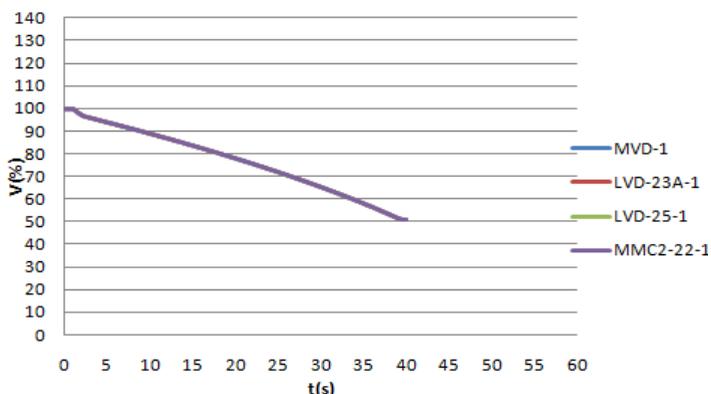


Gambar 4.13 Respon tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF LS 1. Gen BTG-G-301 *Delete* ($t=1s$) *Load Shedding 1* ($t=1,541$)

Berdasarkan data dapat disimpulkan respon tegangan, dan frekuensinya belum memenuhi standar. Maka untuk mempertahankan peralatan dan memperbaiki respon sistem dilakukan mekanisme *Load Shedding* tahap 2. Mekanisme *Load Shedding* tahap 2 kali ini akan dilakukan berdasarkan standart ANSI/IEEE C37.106-1987 (3 langkah). Besar *Load Shedding* tahap 2 adalah sampai sistem stabil yaitu sesuai Standar Frekuensi untuk *Steam Turbin Generator* (IEEE Std C37.106-2003 sebesar 99,16%). *Load Shedding* dilakukan pada frekuensi 98,17. Besar *Load Shedding* tahap 2 adalah 15% (3.0225 MW) dari beban total.

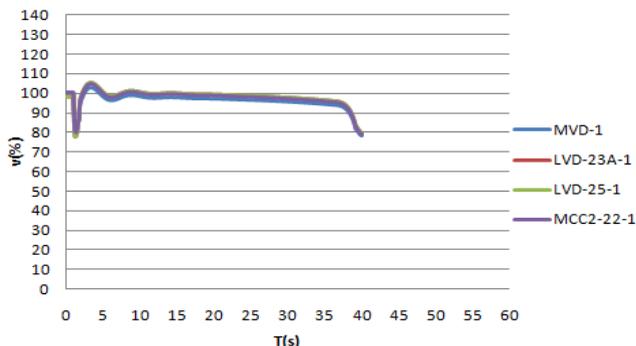
4.3.7 Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF LS 2. Gen BTG-G-301 *Delete* ($t=1s$) *Load Shedding 1* ($t=1,541$) *Load Shedding 2* ($t=1,762$)

Load shedding tahap 2 dilakukan pada saat frekuensi sistem turun hingga mencapai 98,16% dan ditambah delay 6 cycle atau 0,12 detik. Total beban yang dilepas pada pelepasan beban sebesar 3,0225 MW. Jumlah beban keseluruhan dalam kondisi normal sebesar 20.150MW. Dalam hal in beban yang diperbolehkan dilepas, yakni beban yang dirasa tidak cukup penting.



Gambar 4.14 Respon frekuensi saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF LS 2. Gen BTG-G-301 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,541$) Load Shedding 2 ($t=1,762$)

Dilihat respon frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan. Dari gambar terlihat bahwa frekuensi sistem mengalami penurunan sebesar 59.87%. Batas nilai underfrequency yang dizinkan untuk syarat continous operation pada generator steam yaitu 99,16%. Maka masih belum sesuai standar IEEE Std.106 2003, sehingga dalam kasus ini tidak aman.

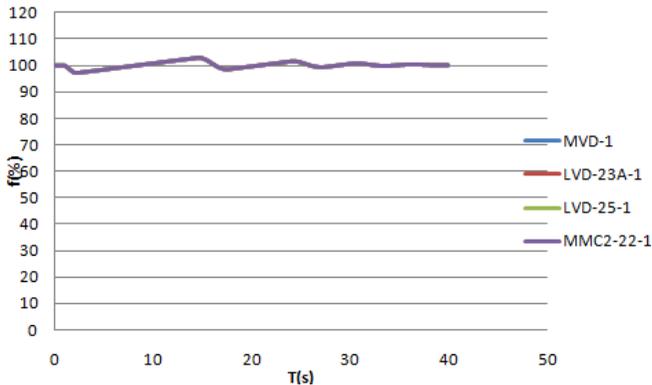


Gambar 4.15 Respon tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF LS 2. Gen BTG-G-301 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,541$) Load Shedding 2 ($t=1,762$)

Berdasarkan data dapat disimpulkan respon tegangan, dan frekuensinya belum memenuhi standar. Maka untuk mempertahankan peralatan dan memperbaiki respon sistem dilakukan mekanisme *Load Shedding* tahap 3. Mekanisme *Load Shedding* tahap 3 kali ini akan dilakukan berdasarkan standart ANSI/IEEE C37.106-1987 (3 langkah). Besar *Load Shedding* tahap 2 adalah sampai sistem stabil yaitu sesuai Standar Frekuensi untuk *Steam Turbin Generator* (IEEE Std C37.106-2003 sebesar 99,16% . *Load Shedding* dilakukan pada frekuensi 97,5.

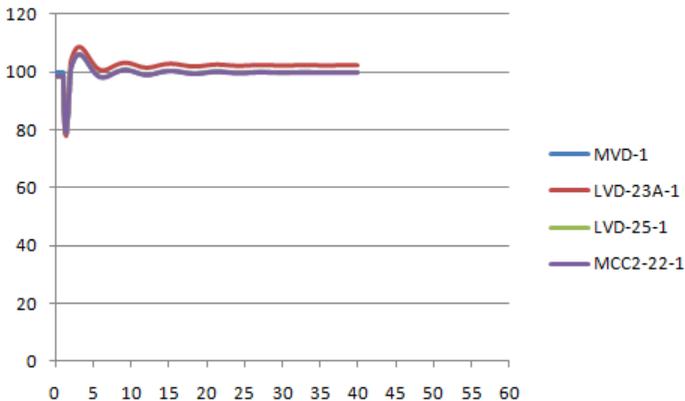
4.3.8 Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF LS 3. Gen BTG-G-301 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,541$) Load Shedding 2 ($t=1,762$) Load Shedding 3 ($t=2,003$)

Load shedding tahap 3 dilakukan pada saat frekuensi sistem turun hingga mencapai 97% dan ditambah delay 6 cycle atau 0,12 detik. Total beban yang dilepas pada pelepasan beban sebesar 5,208 MW atau sampai frekuensi pada sistem kembali normal yaitu 99,16%. Jumlah beban keseluruhan dalam kondisi normal sebesar 20.150MW. Dalam hal in beban yang diperbolehkan dilepas, yakni beban yang dirasa tidak cukup penting.



Gambar 4.16 Respon frekuensi saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF LS 2. Gen BTG-G-301 Delete ($t=1s$) Load Shedding 1 ($t=1,461$) Load Shedding 2 ($t=1,642$) Load Shedding 3 ($t=1,823$)

Pada gambar 4.16 dapat dilihat respon frekuensi bus pada masing masing level tegangan mengalami penurunan. Akibat adanya mekanisme *Load Shedding* menyebabkan osilasi pada frekuensi menjadi 99,9507%, dengan penurunan terendah 96,9059% ketika 2,204 detik dan kenaikan terbesar 102,347% ketika 9,384 detik . Sehingga dalam studi kasus tersebut respon frekuensi sesuai dengan standar yang diizinkan untuk beroperasi.



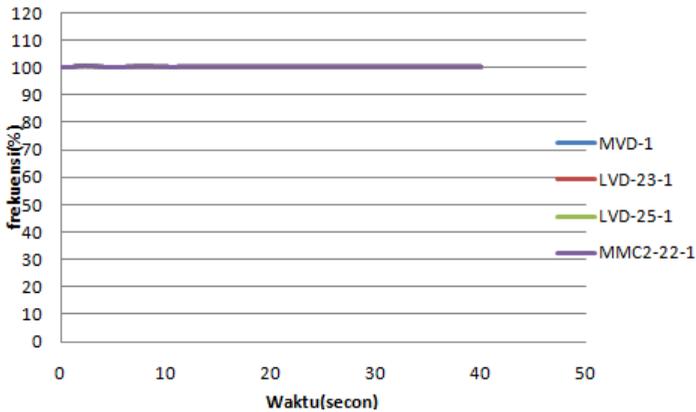
Gambar 4.17 Respon Tegangan saat Konf 1. Mode operasi Gen BTG-G-301 OFF LS 2. Gen BTG-G-301 *Delete* ($t=1s$) *Load Shedding 1* ($t=1,461$) *Load Shedding 2* ($t=1,642$) *Load Shedding 3* ($t=1,823$)

Pada gambar 4.17 terjadi kenaikan pada masing masing level tegangan setelah dilakukan *Load Shedding* dengan menggunakan status. Tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan ketika 1.5 detik. Bus MVD 1 mengalami osilasi dengan penurunan terendah 81,0168% di 1,461 detik dan tertinggi 105,935% di 3,044 detik. Kemudian stabil hingga akhir simulasi sebesar 99,933%. Ketika terjadi gangguan Bus LVD-23A-1 mengalami osilasi dengan penurunan terendah 78,0594% pada 1.361 detik dan tertinggi 108,446% pada 3.044 detik. Kemudian tegangan stabil hingga akhir simulasi di 99.92%. pada saat terjadi gangguan Bus LVD-25 mengalami osilasi dengan penurunan terendah 78,8754% di 1,421 detik dan tertinggi 105,568% di 3,024 detik. Kemudian stabil hingga akhir simulasi sebesar 99,5456%. MCC2-22-1

mengalami osilasi dengan penurunan terendah 79,2064% di 1,461 detik dan tertinggi 105,583% di 3,044 detik. Kemudian stabil hingga akhir simulasi sebesar 99,5587%. Turunnya tegangan disebabkan beban pada sistem tidak tersuplai penuh. Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa respon frekuensi, tegangan, masih memenuhi standar yang diizinkan sehingga aman.

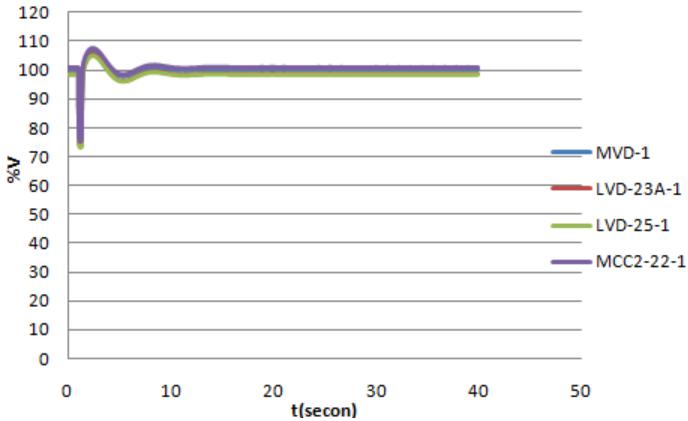
4.3.9 Studi Kasus Short Circuit Bus LVD-22-1 pada saat (t=1s).

Studi kasus hubung singkat terjadi pada bus LVD-22-1 . Bus tersebut berada pada level tegangan 0,4 kV. Terjadi hubung singkat pada 1 detik. Pengaman rele melindungi bus LVD-22-1 pada setting 0.1 s sehingga cb akan membuka pada waktu 0.3 detik. Dengan rincian 0.1 s (Setting rele) + 0.1 (Waktu sensing) + 0.1 (waktu CB membuka).



Gambar 4.18 Respon frekuensi pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT pada bus LVD-22-1. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB5-1-1 open (t=1,3s)

Pada gambar 4.18 Respon frekuensi bus MVD-1, LVD-23A-1, LVD-25-1 dan MMC2-22-1 mengalami osilasi tertinggi hingga 100,479% pada ketika 2,321 detik, kemudian kembali stabil . Pada studi kasus hubung singkat pada bus LVD-22-1 frekuensi masih dalam batas yang diizinkan untuk beroperasi.

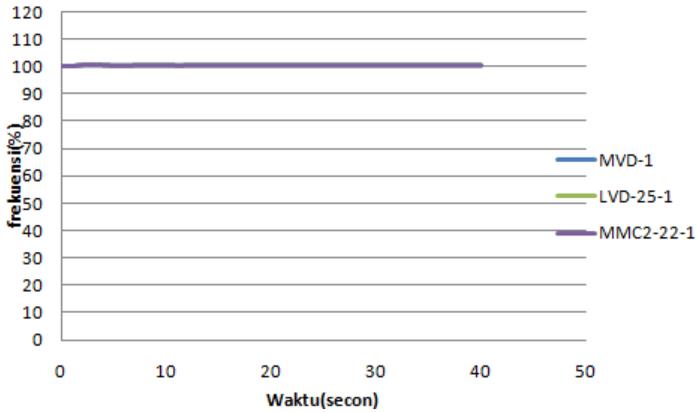


Gambar 4.19 Respon tegangan pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT. pada bus LVD-22-1. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB5-1-1 open (t=1,3s)

Pada gambar 4.19 menunjukkan terjadi osilasi pada bus MVD-1, LVD-23A-1, LVD-25-1 dan MMC2-22-1. Ketika terjadi gangguan, respon tegangan mengalami osilasi dengan penurunan terendah 73,6291% di 1.3 detik, kemudian kenaikan tertinggi 107,381% di 2,381 detik. Selanjutnya stabil di tegangan 100.08%. Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa respon frekuensi dan tegangan dan memenuhi standar sehingga aman.

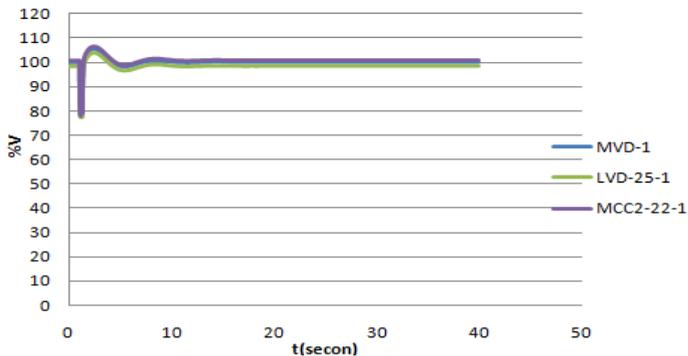
4.3.10 Studi Kasus Short Circuit Bus LVD-23-1 pada saat (t=1s).

Studi kasus hubung singkat terjadi pada bus LVD-23-1 . Bus tersebut berada pada level tegangan 0,4 kV. Terjadi hubung singkat pada 1 detik. Pengaman rele melindungi bus LVD-22-1 pada cb akan membuka pada waktu 0.3 detik.



Gambar 4.20 Respon frekuensi pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT. Pada bus LVD-23-1 StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB7-1-1 open (t=1,3s)

Pada gambar 4.20 Respon frekuensi bus MVD-1, LVD-25-1 dan MMC2-22-1 mengalami osilasi tertinggi hingga 100,404% pada ketika 2,321 detik, kemudian kembali stabil . Pada studi kasus hubung singkat pada bus LVD-23-1 frekuensi masih dalam batas yang diizinkan untuk beroperasi.



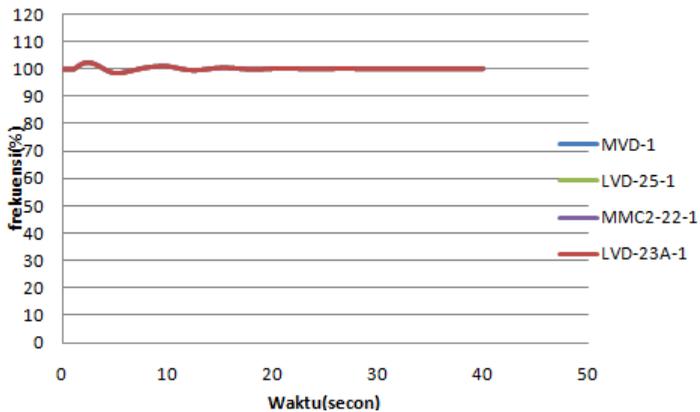
Gambar 4.21 Respon tegangan pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT. Pada bus LVD-23-1 StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB7-1-1 open (t=1,3s)

pada gambar 4.21 menunjukkan terjadi osilasi pada bus MVD-1, LVD-25-1 dan MMC2-22-1. Ketika terjadi gangguan, respon tegangan mengalami osilasi dengan penurunan terendah 77,5895% di 1.3 detik, kemudian kenaikan tertinggi 106,304% di 2,361 detik. Selanjutnya stabil di tegangan 100.8%.

Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa respon frekuensi dan tegangan dan memenuhi standar sehingga aman.

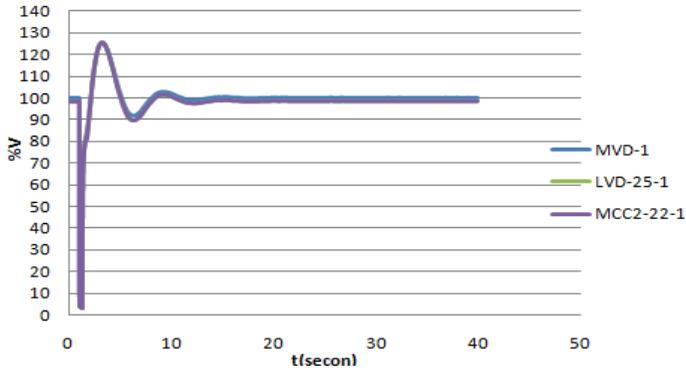
4.3.11 Studi Kasus Short Circuit Bus MVD-S2 pada saat (t=1s).

Studi kasus hubung singkat terjadi pada bus MVD-S2 . Bus tersebut berada pada level tegangan 6,6 kV. Terjadi hubung singkat pada 1 detik. Pengaman rele melindungi bus MVD-S2 1 pada cb akan membuka pada waktu 0.3 detik.



Gambar 4.22 Respon frekuensi pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT pada bus MVD-S2. Stand Alone : ShortCircuit (t=1s) CB 609 open (t=1,3s)

Pada gambar 4.22 Respon frekuensi bus MVD-1, LVD-23A-1, LVD-25-1 dan MMC2-22-1 mengalami osilasi tertinggi hingga 102,264% pada ketika 2,401 detik, kemudian kembali stabil . Pada studi kasus hubung singkat pada bus MVD-S2 frekuensi masih dalam batas yang diizinkan untuk beroperasi.

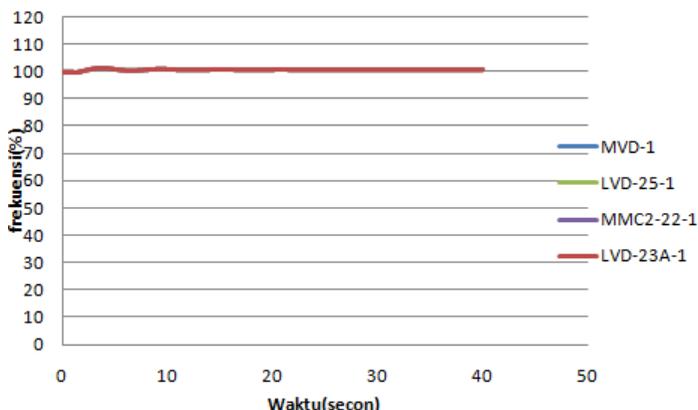


Gambar 4.23 Respon tegangan pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT pada bus MVD-S2. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB 609 open (t=1,3s)

Pada gambar 4.23 menunjukkan terjadi osilasi pada bus MVD-1, LVD-23A-1, LVD-25-1 dan MMC2-22-1. Ketika terjadi gangguan, respon tegangan mengalami osilasi dengan penurunan terendah 3,28695% di 1.3 detik hal ini terjadi karena arus singkat yang sangat besar mengalir dalam impedansi sistem sehingga kondisi tegangan menurun secara signifikan tergantung pada level tegangan titik gangguan. Setelah CB609 open, kemudian kenaikan tertinggi 125,537% di 3,241 detik. Selanjutnya stabil di tegangan 98,5457%.

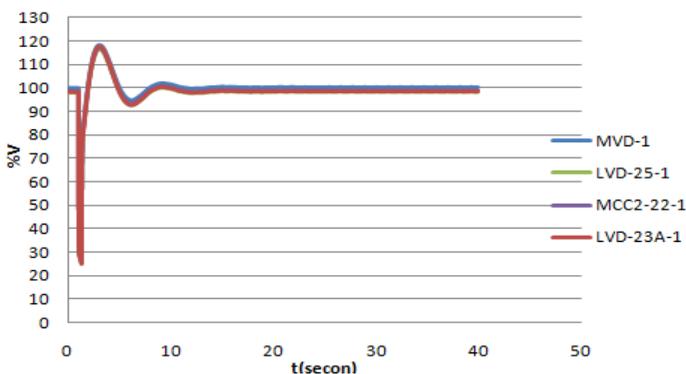
4.3.12 Studi Kasus Short Circuit Bus MVD-31-1 pada saat (t=1s).

Studi kasus hubung singkat terjadi pada bus MVD-31-1 . Bus tersebut berada pada level tegangan 6,6 kV. Terjadi hubung singkat pada 1 detik. Pengaman rele melindungi bus MVD-31-1 1 pada cb akan membuka pada waktu 0.3 detik.



Gambar 4.24 Respon frekuensi pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT Pada Bus MVD-31-1. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB 8-2-1open (t=1,3s)

Pada gambar 4.24 Respon frekuensi bus MVD-1, LVD-23A-1, LVD-25-1 dan MMC2-22-1 mengalami osilasi tertinggi hingga 101,385% pada ketika 3,701 detik, kemudian kembali stabil . Pada studi kasus hubung singkat pada bus MVD-31-1 frekuensi masih dalam batas yang diizinkan untuk beroperasi.

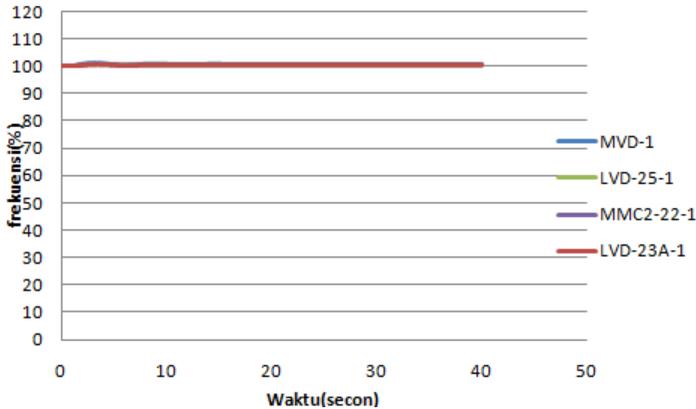


Gambar 4.25 Respon tegangan pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT Pada Bus MVD-31-1. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB, 8-2-1open (t=1,3s)

gangguan, respon tegangan mengalami osilasi dengan penurunan terendah 25,2108% di 1.3 detik pada saat CB6-4 open, kemudian kenaikan tertinggi 117,671% di 3,301 detik. Selanjutnya stabil di tegangan 100%. Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa respon frekuensi dan tegangan dan memenuhi standar sehingga aman.

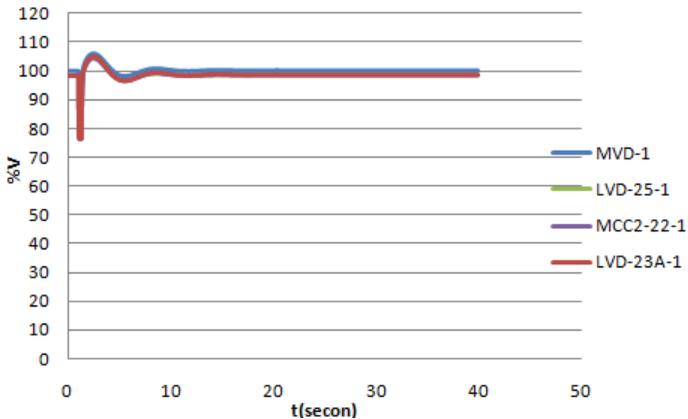
4.3.13 Studi Kasus Short Circuit Bus LVD-32-1 pada saat (t=1s).

Studi kasus hubung singkat terjadi pada bus LVD-32-1 . Bus tersebut berada pada level tegangan 0,4 kV. Terjadi hubung singkat pada 1 detik. Pengaman rele melindungi bus LVD-32-1 pada bus akan membuka pada waktu 0.3 detik.



Gambar 4.26 Respon frekuensi pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT pada Bus LVD-32-1. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB 12-2-1 open (t=1,3s)

Pada gambar 4.26 Respon frekuensi bus MVD-1, LVD-23A-1, LVD-25-1 dan MMC2-22-1 mengalami osilasi tertinggi hingga 100,949% pada ketika 3,061 detik, kemudian kembali stabil . Pada studi kasus hubung singkat pada bus LVD-32-1 frekuensi masih dalam batas yang diizinkan untuk beroperasi.



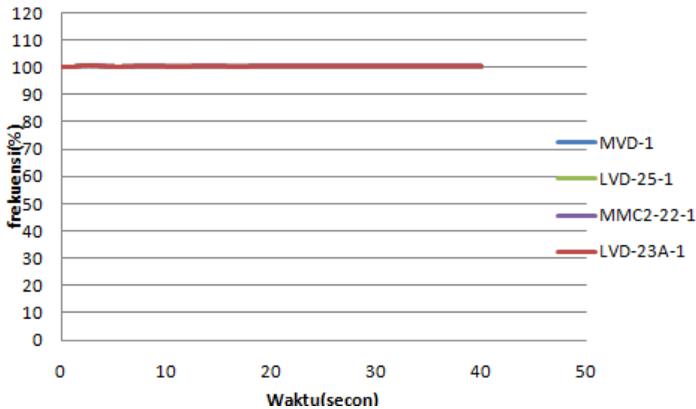
Gambar 4.27 Respon tegangan pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT pada Bus LVD-32-1. StandAlone : ShortCircuit (t=1s) CB 12-2-1 open (t=1,3s)

Pada gambar 4.27 menunjukkan terjadi osilasi pada bus MVD-1, LVD-23A-1, LVD-25-1 dan MMC2-22-1. Ketika terjadi gangguan, respon tegangan mengalami osilasi dengan penurunan terendah 76,1314% di 1.3 detik pada saat CB12-2-1 open, kemudian kenaikan tertinggi 106,094% di 2,441 detik. Selanjutnya stabil di tegangan 100%.

Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa respon frekuensi dan tegangan dan memenuhi standar sehingga aman.

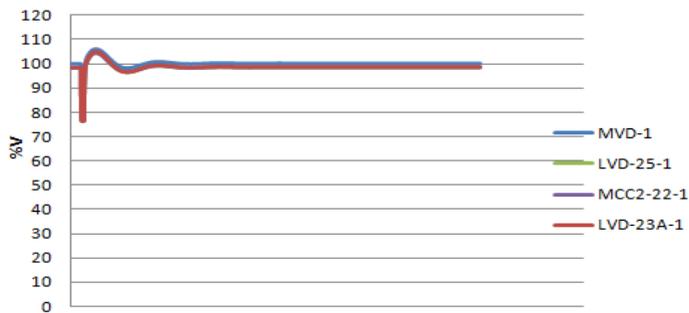
4.3.14 Studi Kasus Short Circuit Bus LVD-31-1 pada saat (t=1s).

Studi kasus hubung singkat terjadi pada bus LVD-31-1 . Bus tersebut berada pada level tegangan 0,4 kV. Terjadi hubung singkat pada 1 detik. Pengaman rele melindungi bus LVD-31-1 1 pada cb akan membuka pada waktu 0.3 detik.



Gambar 4.28 Respon frekuensi pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT pada bus LVD-31-1. StandAlone : ShortCircuit ($t=1s$) CB 11-2-1 open ($t=1,3s$)

Pada gambar 4.28 Respon frekuensi bus MVD-1, LVD-23A-1, LVD-25-1 dan MMC2-22-1 mengalami osilasi tertinggi hingga 100,509% pada ketika 2,461 detik, kemudian kembali stabil . Pada studi kasus hubung singkat pada bus LVD-31-1 frekuensi masih dalam batas yang diizinkan untuk beroperasi.



Gambar 4.29 Respon tegangan pada saat Mode operasi SHORTCIRCUIT pada bus LVD-31-1. StandAlone : ShortCircuit ($t=1s$) CB 11-2-1 open ($t=1,3s$)

Pada gambar 4.29 menunjukkan terjadi osilasi pada bus MVD-1, LVD-23A-1, LVD-25-1 dan MMC2-22-1. Ketika terjadi

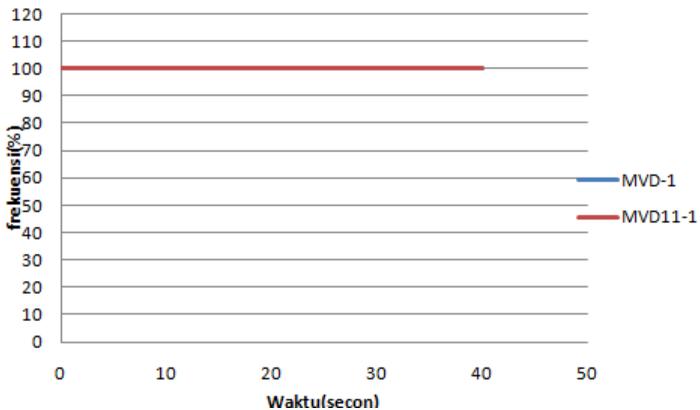
gangguan, respon tegangan mengalami osilasi dengan penurunan terendah 72,676% di 1.181 detik pada saat CB11-2-1 open, kemudian kenaikan tertinggi 106,569% di 2,401 detik. Selanjutnya stabil di tegangan 100,2%.

Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa respon frekuensi dan tegangan dan memenuhi standar sehingga aman.

4.3.15 Mode operasi MtrStart 1. StandAlone : Motor Start, CB Close ($t=3s$)

Salah satu jenis gangguan yang dapat mengganggu stabilitas sistem adalah motor starting. Besar nya arus yang dibutuhkan pada saat starting motor, dapat menyebabkan tegangan pada bus motor turun secara signifikan, hal ini tergantung jenis motor dan besarnya daya beban motor.

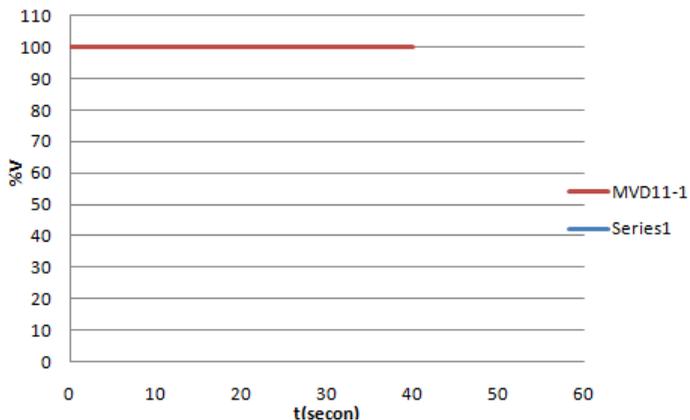
Sebagian besar beban yang ada di plant merupakan beban motor. Beban motor dengan daya terbesar yakni beberapa motor dengan kapasitas 435KW disulang oleh bus MVD-11-1.



Gambar 4.30 Respon frekuensi pada saat Mode operasi MtrStart 1. StandAlone : Motor Start, CB 22-3-1 Close ($t=3s$)

Pada gambar 4.30 dapat dilihat respon frekuensi pada saat pengasutan motor. Saat terjadi gangguan yaitu starting

motor, frekuensi sistem sudah mencapai kondisi steady state karena kapasitas motor tidak terlalu besar.



Gambar 4.31 Respon tegangan pada saat Mode operasi MtrStart 1.
StandAlone : Motor Start, CB 22-3-1 Close ($t=3s$)

Pada gambar 4.31 dapat dilihat respon tegangan pada saat pengasutan motor. Motor dengan kapasitas 435KW dimana merupakan kapasitas terbesar. Saat starting yaitu pada detik ke 3, menggunakan *Direct On Line(DOL) starting*, sistem sudah mencapai kondisi steady state. bus yang tidak mengalami penurunan tegangan pada saat starting motor adalah bus yang tidak mempunyai hubungan langsung dengan motor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saadat, H., "*Power System Analysis*", McGraw-Hill, Inc, 1999.
- [2] Kundur, P., "*Power System Stability and Control*", McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [3] Marsudi, Djiteng, "*Operasi Sistem Tenaga Listrik*", Yogyakarta : Graha Ilmu, 2006.
- [4] Penangsang, Ontoseno. "Kestabilan Sistem Tenaga Listrik" *Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2*, Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [5] Stevenson, W.D., Jr, "*Elements of Power System Analysis, 4th Edition*". McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [6] Charles Concordia , Lester H. Fink & George Poullickas, " Load Shedding on an Isolated System ",*Power System, IEEE Transaction*, vol. 10, no,3, pp.1467-1472, 1995.
- [7] Pasific Gas and Electric Company, "*Voltage Sag Immunity Standards SEMI-F47 and F42*", Power Quality Bulletin, 2007
- [8] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor: 03 Tahun 2007 tentang "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali".
- [9] ANSI/IEEE C37.106-1987, "*IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants*".

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Dari 2 kasus lepasnya pembangkit sebelum mekanisme *load shedding* menyebabkan kondisi yang dapat membahayakan sistem kelistrikan. menyebabkan *underfrequency* dan terjadi *undervoltage*. Maka diperlukan mekanisme *Load Shedding* untuk mencapai beban yang dilepas sebesar 10.2MW untuk mencapai frekuensi Standart.
- Dari 6 kasus hubung singkat didapatkan bahwa kasus SC 3(pada bus MVD-S2 6,6KV) memenuhi standar *voltage sag* karena magnitudo tegangan dibawah 10 persen selama 0,3 s. Untuk SC 4(pada bus MVD-31-1 6,6KV) memenuhi standar *voltage sag* karena magnitudo tegangan dibawah 30 persen selama 0,3 s
- PT Indonesia Chemical Alumina sangat handal dalam hal *starting* motor penyalaan motor 453KW secara *direct* saat 2 generator ON diizinkan karena tegangan dan frekuensi sebesar 100% maka masih dalam batas standar aman

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan setelah melakukan analisis adalah sebagai berikut :

- Sebaiknya dalam perancangan pelepasan beban, beban-beban yang dilepas harus di dekat generator yang mengalami kasus *outage*/lepas.
- Diperlukan pemasangan rele 81-O synchron rele pada bus generator untuk mempertahankan sinkronisasi sistem.
- Mengingat arus hubung singkat yang besar dan menyebabkan kedip tegangan yang cukup besar didaerah gangguan, maka diperlukan peralatan pemutus/circuit breaker yang handal, dengan ini diharapkan daerah yang terkena gangguan dapat terisolir.
- Untuk skema *load shedding* lebih baik menggunakan *load shedding* status namun juga perlu di *back up* dengan *load shedding* frekuensi.

One-Line Diagram - OLV1 (Transient Stability Analysis)

