

DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK.....	xv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	2
1.5. Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Analisis Aliran Daya.....	4
2.1.1 Matriks Admintansi Bus.....	4
2.1.2 Persamaan Aliran Daya.....	5
2.1.3 Penyelesaian Aliran Daya Dengan Metode <i>Newton Raphson</i>	6
2.2. Dinamika Sistem Tenaga Listrik.....	9
2.2.1 Kestabilan <i>Steady-State</i>	9
2.2.2 Kestabilan <i>Transient</i> (Peralihan).....	9
2.3 Klasifikasi Stabilitas Sistem Daya.....	11
2.3.1 Stabilitas Sudut Rotor.....	11
2.3.2 Stabilitas Tegangan.....	26
2.3.3 Stabilitas Frekuensi.....	29
2.4 Persamaan Dalam Studi Stabilitas.....	30
2.4.1 Persamaan Kondisi <i>Steady-State</i>	30





2.4.2 Persamaan Transient.....	31
2.4.3 Persamaan SubTransient.....	32
2.5 Unit Pembangkitan.....	33
2.5.1 Generator Sinkron.....	33
2.5.2 Sistem Eksitasi dan AVR.....	34
2.6 Turbin.....	38
2.7 Model Governor.....	40
2.8 Kontrol Frekuensi-Beban.....	41
2.8.1 Analisis <i>Steady-State</i>	41
2.8.2 Respon Dinamik.....	42
2.8.3 Kontrol Frekuensi-Beban Dua (2) Area.....	42
2.9 Program Komputer.....	45
2.10 Dua Komponen Yang Mempengaruhi Stabilitas Frekuensi.....	46
 BAB III METODE PENELITIAN	47
3.1 Studi Literatur.....	47
3.2 Pengumpulan Data.....	47
3.3 Pemodelan.....	47
3.4 Simulasi.....	48
3.4.1 Langkah Simulasi.....	48
3.4.2 Hasil Simulasi dan Analisis.....	48
 BAB IV SIMULASI DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Kondisi Kelistrikan di PT Badak NGL.....	52
4.1.1 Sistem Pembangkitan.....	52
4.1.2 Sistem Distribusi Daya.....	55
4.2 Pemodelan Sistem dan Pengolahan Data.....	56
4.2.1 Pemodelan Sistem.....	56
4.2.1.1 Sistem Daya <i>Module-1</i>	56
4.2.1.2 Sistem Daya <i>Module-2</i>	56
4.2.1.2 Sistem Daya <i>Interkoneksi</i>	60
4.2.2 Data Generator.....	60
4.2.3 Data Transformator.....	61
4.2.4 Data Saluran.....	62

4.2.5 Data Beban.....	67
4.3 Simulasi Aliran Daya.....	68
4.3.1 Simulasi Aliran Daya <i>Captive Module-1</i>	68
4.3.1 Simulasi Aliran Daya <i>Captive Module-2</i>	71
4.3.1 Simulasi Aliran Daya <i>Interkoneksi</i>	73
4.4 Reaktansi Sistem Sebelum, Saat, dan Setelah Gangguan.....	81
4.4.1 Reaktansi Saluran Sebelum Gangguan.....	81
4.4.2 Reaktansi Saluran Selama Gangguan.....	83
4.4.3 Reaktansi Saluran Sebelum Gangguan.....	84
4.5 Persamaan Sudut Daya.....	85
4.5.1 Generator G-2.....	85
4.5.2 Generator G-8.....	86
4.5.3 Generator G-9.....	87
4.5.3 Generator G-14.....	89
4.6 Simulasi Sistem Daya.....	97
4.6.1 Simulasi Stabilitas Sistem Daya Sebelum Interkoneksi.....	97
4.6.1.1 Simulasi Stabilitas Sistem Daya <i>Module-1</i>	97
4.6.1.2 Simulasi Stabilitas Sistem Daya <i>Module-2</i>	101
4.6.2 Simulasi Stabilitas Sistem Daya Setelah Interkoneksi.....	106
4.7 Perbandingan Stabilitas Sudut Rotor Generator.....	113
4.8 Perbandingan Stabilitas Frekuensi Generator.....	115
4.9 Simulasi Sistem Daya Kondisi Dinamik Dengan Pengaruh Governor dan AVR.....	118
4.9.1 Simulasi Stabilitas Sistem Daya Sebelum Interkoneksi Dengan Pengaruh Governor dan AVR.....	118
4.9.1.1 Simulasi Stabilitas Sistem Daya <i>Captive Module-1</i>	118
4.9.1.2 Simulasi Stabilitas Sistem Daya <i>Captive Module-2</i>	122
4.9.2 Simulasi Stabilitas Sistem Daya Setelah Interkoneksi Dengan Pengaruh Governor dan AVR.....	127
4.10 Perbandingan Stabilitas Sudut Rotor Generator.....	134
4.11 Perbandingan Stabilitas Frekuensi Generator.....	136

4.12 Simulasi Pengaruh <i>Turbine Governor (TG)</i> dan Kontrol AVR pada Stabilitas Sistem Daya Interkoneksi.....	139
4.13 Waktu Pemutusan Kritis.....	142
4.14 Simulasi Pelepasan Beban.....	145
4.14.1 Simulasi Sebelum Interkoneksi.....	145
4.14.2 Simulasi Setelah Interkoneksi.....	147
BAB V PENUTUP	150
5.1 Kesimpulan.....	150
5.2 Saran.....	150
DAFTAR PUSTAKA.....	151
LAMPIRAN.....	152



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Generator PG-2 s.d. PG-6 dan PG-8 s.d PG-14 <i>(Steam Turbine Generator)</i>	53
Tabel 4.2 Data Generator PG-1	53
Tabel 4.3 Data Generator PG-7 & PG-15	54
Tabel 4.4 Data Generator PT Badak NGL Beserta Primemover dan Sistem Operasinya	54
Tabel 4.5 Data Gardu Induk.....	55
Tabel 4.6 Data Transformator.....	56
Tabel 4.7 Data Parameter Dinamik Generator.....	60
Tabel 4.8 Data Parameter Tranformator	61
Tabel 4.9 Data Saluran Antar Bus	63
Tabel 4.10 Data Saluran Melalui Trafo 3 Belitan	63
Tabel 4.11 Data Saluran PV bus ke Ring Bus	64
Tabel 4.12 Data Saluran.....	64
Tabel 4.13 Data Pembebanan	67
Tabel 4.14 Data Simulasi <i>Captive Module-1</i>	69
Tabel 4.15 Aliran Daya Pada Sistem <i>Module-1</i>	71
Tabel 4.16 Data Simulasi <i>Captive Module-2</i>	71
Tabel 4.17 Aliran Daya Pada Sistem <i>Module-2</i>	73
Tabel 4.18 Data Simulasi Interkoneksi	73
Tabel 4.19 Aliran Daya Sistem Interkoneksi	76
Tabel 4.20 Aliran Daya Sistem Interkoneksi Saat Generator G-2 Mati	77
Tabel 4.21 Aliran Daya Sistem Interkoneksi Saat Generator G-2 & G-4 Mati	78
Tabel 4.22 Aliran Daya Sistem Interkoneksi Saat Generator G-11 Mati	78
Tabel 4.23 Aliran Daya Sistem Interkoneksi Saat Generator G-2 & G-4 Mati	79
Tabel 4.24 Perbandingan Aliran Daya	80
Tabel 4.25 Perbandingan Stabilitas Sudut Rotor Generator Tanpa Dipengaruhi AVR Dan Governor	113
Tabel 4.26 Perbandingan Stabilitas Frekuensi Generator Tanpa Dipengaruhi AVR Dan Governor	115
Tabel 4.27 Perbandingan Stabilitas Sudut Rotor Generator Dengan Dipengaruhi AVR Dan Governor	134

Tabel 4.28 Perbandingan Stabilitas Frekuensi Generator Dengan Dipengaruhi AVR Dan Governor	136
Tabel 4.29 Data Dinamik Governor.....	145
Tabel 4.30 Data Dinamik Eksiter.....	145
Tabel 4.31 Perbandingan frekuensi generator akibat pelepasan beban.....	148



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipikal bus dari sistem tenaga	6
Gambar 2.2 Macam-macam gangguan hubung singkat.....	10
Gambar 2.3 Klasifikasi stabilitas sistem daya	11
Gambar 2.4 Osilasi daya (a) batas stabilitas rendah, dan (b) batas stabilitas besar	15
Gambar 2.5 Lintasan sudut rotor generator sebagai fungsi waktu	16
Gambar 2.6 Sebuah mesin terhubung ke bus tak hingga (<i>infinites bus</i>)	17
Gambar 2.7 Rangkaian ekivalen sebuah mesin terhubung ke bus tak hingga	18
Gambar 2.8 Kurva Sudut Daya	18
Gambar 2.9 Sistem satu mesin yang dihubungkan ke bus tak hingga, gangguan tiga fasa pada F	19
Gambar 2.10 Kriteria sama luas untuk gangguan tiga fasa pada sisi kirim.....	20
Gambar 2.11 Kriteria sama luas untuk sudut pemutusan kritis	21
Gambar 2.12 Sistem satu mesin yang dihubungkan ke infinite bus, Gangguan di F	21
Gambar 2.13 Sistem satu mesin yang dihubungkan ke infinite bus, Gangguan di F	21
Gambar 2.14 Rangkaian pengganti sebelum terjadinya gangguan	22
Gambar 2.15 Rangkaian pengganti selama terjadinya gangguan	22
Gambar 2.16 Rangkaian pengganti selama terjadinya gangguan	22
Gambar 2.17 Rangkaian pengganti setelah terjadinya gangguan	23
Gambar 2.18 Kurva penyelesaian persamaan differensial.....	23
Gambar 2.19 Contoh hubungan generator-beban	27
Gambar 2.20 Karakteristik P_1V_2	28
Gambar 2.21 Representasi Diagram Blok model generator-beban.....	29
Gambar 2.22 Diagram fasor mesin sinkron rotor silindris pada keadaan mantap	31
Gambar 2.23 Diagram fasor mesin sinkron pada keadaan peralihan	32
Gambar 2.24 Diagram fasor mesin sinkron pada keadaan sub-peralihan	33
Gambar 2.25 Tipe-tipe sistem eksitasi.....	35
Gambar 2.26 Diagram blok sistem eksitasi dan AVR	36
Gambar 2.27 Diagram kontrol AVR	38
Gambar 2.28 Konfigurasi turbin uap <i>Tandem Compound Single-Reheat Turbine</i>	39
Gambar 2.29 Blok Diagram Turbin	40

Gambar 2.30 Blok Diagram Sistem Kecepatan Governor.....	40
Gambar 2.31 Diagram Blok Lengkap Sistem Kontrol Frekuensi-Beban.....	41
Gambar 2.32 Karakteristik kondisi mapan frekuensi-beban pada sistem governor	42
Gambar 2.33 Blok Diagram Orde Pertama Kontrol Frekuensi-Beban pada Area Terpisah	42
Gambar 2.34 Interkoneksi Dua (2) Area	43
Gambar 2.35 Diagram Blok Satu (1) Area.....	43
Gambar 2.36 Diagram Bok Dua (2) Area	43
Gambar 2.37 Diagram Blok Kontrol Frekuensi-Beban Dua (2) Area	44
Gambar 2.38 Model Dua (2) Area	44
Gambar 2.39 Perubahan Daya dan Frekuensi Area 1	44
Gambar 2.40 Estimasi waktu gangguan pada analisis stabilitas.....	46
Gambar 3.1 Simulasi Kondisi Awal Sebelum Interkoneksi	49
Gambar 3.2 Metode penyelesaian Aliran Daya dengan <i>Newton Raphson</i>	50
Gambar 3.3 Diagram Alir Simulasi Setelah Intekoneksi.....	51
Gambar 4.1 Diagram Sistem Daya Kilang PT Badak NGL.....	52
Gambar 4.2 <i>Single Line Diagram Module-1</i>	57
Gambar 4.3 <i>Single Line Diagram Module-2</i>	58
Gambar 4.4 <i>Single Line Diagram Interkoneksi</i>	59
Gambar 4.5 Aliran Daya Pada Saluran Interkoneksi	77
Gambar 4.6 Aliran Daya Pada Saluran Interkoneksi	77
Gambar 4.7 Aliran Daya Pada Saluran Interkoneksi	78
Gambar 4.8 Aliran Daya Pada Saluran Interkoneksi	79
Gambar 4.9 Aliran Daya Pada Saluran Interkoneksi	79
Gambar 4.10 Tabel Konduktor	81
Gambar 4.11 Rangkaian penyederhanaan Gambar 4.2 sebelum gangguan	83
Gambar 4.12 Rangkaian penyederhanaan Gambar 4.2 saat gangguan	84
Gambar 4.13 Rangkaian penyederhanaan Gambar 4.2 setelah gangguan	84
Gambar 4.14 Grafik Sudut Rotor = $f(t)$ pada generator G-2 sebelum interkoneksi	98
Gambar 4.15 Grafik Sudut Rotor = $f(t)$ pada generator G-8 sebelum interkoneksi	98
Gambar 4.16 Performa Grafik Sudut Rotor = $f(t)$ pada generator G-2, G-3, G-4, dan G-5	99
Gambar 4.17 Grafik Frekuensi = $f(t)$ pada generator G-2 sebelum interkoneksi.....	100
Gambar 4.18 Grafik Frekuensi = $f(t)$ pada generator G-8 sebelum interkoneksi.....	100
Gambar 4.19 Performa Grafik frekuensi = $f(t)$ pada generator G-2, G-3, G-4 dan G-7	101
Gambar 4.20 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada generator G-09 sebelum interkoneksi	102
Gambar 4.21 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada generator G-14 sebelum interkoneksi.....	103
Gambar 4.22 Performa Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada generator G-9, G-11, dan G-14	103



Gambar 4.23 Grafik frekuensi = f(t) pada generator G-09 sebelum interkoneksi.....	104
Gambar 4.24 Grafik frekuensi = f(t) pada generator G-14 sebelum interkoneksi.....	105
Gambar 4.25 Performa Grafik frekuensi = f(t) pada generator G-9, G-11, dan G-14.....	105
Gambar 4.26 Grafik sudut rotor = f(t) pada generator G-2 setelah interkoneksi	107
Gambar 4.27 Grafik sudut rotor = f(t) pada generator G-8 setelah interkoneksi	107
Gambar 4.28 Grafik sudut rotor = f(t) pada generator G-9 setelah interkoneksi	108
Gambar 4.29 Grafik sudut rotor = f(t) pada generator G-14 setelah interkoneksi	108
Gambar 4.30 Performa grafik sudut rotor = f(t) pada generator G-2, G-8, G-9, dan G-14	109
Gambar 4.31 Grafik frekuensi = f(t) pada generator G-2 setelah interkoneksi.....	110
Gambar 4.32 Grafik frekuensi = f(t) pada generator G-8 setelah interkoneksi.....	111
Gambar 4.33 Grafik frekuensi = f(t) pada generator G-9 setelah interkoneksi.....	111
Gambar 4.34 Grafik frekuensi = f(t) pada generator G-2 setelah interkoneksi.....	112
Gambar 4.35 Performa grafik frekuensi = f(t) pada generator G-2, G-8, G-9, dan G-14	112
Gambar 4.36 Perbandingan grafik sudut rotor = f (t) pada generator G-02.....	113
Gambar 4.37 Perbandingan grafik sudut rotor = f (t) pada generator G-08.....	114
Gambar 4.38 Perbandingan grafik sudut rotor = f (t) pada generator G-09.....	114
Gambar 4.39 Perbandingan grafik sudut rotor = f (t) pada generator G-14.....	115
Gambar 4.40 Perbandingan grafik frekuensi = f (t) pada generator G-02	116
Gambar 4.41 Perbandingan grafik frekuensi = f (t) pada generator G-08	116
Gambar 4.42 Perbandingan grafik frekuensi = f (t) pada generator G-09	117
Gambar 4.43 Perbandingan grafik frekuensi = f (t) pada generator G-14	117
Gambar 4.44 Perbandingan grafik sudut rotor = f (t) pada generator G-02.....	119
Gambar 4.45 Perbandingan grafik sudut rotor = f (t) pada generator G-08.....	119
Gambar 4.46 Performa Grafik Sudut Rotor = f(t) pada generator G-2, G-3, G-4, dan G-5	120
Gambar 4.47 Grafik Frekuensi = f(t) pada generator G-2 sebelum interkoneksi.....	121
Gambar 4.48 Grafik Frekuensi = f(t) pada generator G-2 sebelum interkoneksi.....	121
Gambar 4.49 Performa Grafik frekuensi = f(t) pada generator G-2, G-3, G-4, dan G-5	122
Gambar 4.50 Grafik sudut rotor = f(t) pada generator G-09 sebelum interkoneksi	123
Gambar 4.51 Grafik sudut rotor = f(t) pada generator G-14 sebelum interkoneksi	124
Gambar 4.52 Performa Grafik sudut rotor = f(t) pada generator G-9, G-11, dan G-14	124
Gambar 4.53 Grafik frekuensi = f(t) pada generator G-09 sebelum interkoneksi.....	125
Gambar 4.54 Grafik frekuensi = f(t) pada generator G-14 sebelum interkoneksi.....	126
Gambar 4.55 Performa Grafik frekuensi = f(t) pada generator G-9, G-11, dan G-14.....	126
Gambar 4.56 Grafik sudut rotor = f(t) pada generator G-2 setelah interkoneksi	128
Gambar 4.57 Grafik sudut rotor = f(t) pada generator G-8 setelah interkoneksi	128
Gambar 4.58 Grafik sudut rotor = f(t) pada generator G-9 setelah interkoneksi	129



Gambar 4.59 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada generator G-14 setelah interkoneksi	129
Gambar 4.60 Performa grafik sudut rotor = $f(t)$ pada generator G-2, G-8, G-9, dan G-14	130
Gambar 4.61 Grafik frekuensi = $f(t)$ pada generator G-2 setelah interkoneksi.....	131
Gambar 4.62 Grafik frekuensi = $f(t)$ pada generator G-8 setelah interkoneksi.....	132
Gambar 4.63 Grafik frekuensi = $f(t)$ pada generator G-9 setelah interkoneksi.....	132
Gambar 4.64 Grafik frekuensi = $f(t)$ pada generator G-14 setelah interkoneksi.....	133
Gambar 4.65 Performa grafik frekuensi = $f(t)$ pada generator G-2, G-3, dan G-4	133
Gambar 4.66 Perbandingan grafik sudut rotor = $f(t)$ pada generator G-02.....	134
Gambar 4.67 Perbandingan grafik sudut rotor = $f(t)$ pada generator G-08.....	135
Gambar 4.68 Perbandingan grafik sudut rotor = $f(t)$ pada generator G-09	135
Gambar 4.69 Perbandingan grafik sudut rotor = $f(t)$ pada generator G-14.....	136
Gambar 4.70 Perbandingan grafik frekuensi = $f(t)$ pada generator G-02	137
Gambar 4.71 Perbandingan grafik frekuensi = $f(t)$ pada generator G-08	137
Gambar 4.72 Perbandingan grafik frekuensi = $f(t)$ pada generator G-09	138
Gambar 4.73 Perbandingan grafik frekuensi = $f(t)$ pada generator G-14	138
Gambar 4.74 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada generator G-2.....	140
Gambar 4.75 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada generator G-8.....	140
Gambar 4.76 Grafik frekuensi = $f(t)$ pada generator G-2	141
Gambar 4.77 Grafik frekuensi = $f(t)$ pada generator G-8	142
Gambar 4.78 Grafik sudut rotor = $f(t)$ generator G-2 dengan 4 waktu gangguan sebelum interkoneksi	143
Gambar 4.79 Grafik sudut rotor = $f(t)$ generator G-14 dengan 4 waktu gangguan sebelum interkoneksi	143
Gambar 4.80 Grafik sudut rotor = $f(t)$ generator G-2 dengan 4 waktu gangguan setelah interkoneksi	144
Gambar 4.81 Grafik sudut rotor = $f(t)$ generator G-2 dengan 4 waktu gangguan setelah interkoneksi	144
Gambar 4.82 Grafik Frekuensi = $f(t)$ pada generator G-2 sebelum interkoneksi	146
Gambar 4.83 Grafik Frekuensi = $f(t)$ pada generator G-8 sebelum interkoneksi	147
Gambar 4.84 Grafik Frekuensi = $f(t)$ pada generator G-2 setelah interkoneksi.....	148
Gambar 4.85 Grafik Frekuensi = $f(t)$ pada generator G-8 setelah interkoneksi.....	148
Gambar 4.86 Perbandingan Grafik Frekuensi = $f(t)$ pada generator G-2	149
Gambar 4.87 Perbandingan Grafik Frekuensi = $f(t)$ pada generator G-8	149

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 - <i>Single Line Diagram Module-1</i> PT Badak NGL.....	152
Lampiran 2 – <i>Module 1</i>	153
Lampiran 3 – <i>Single Line Diagram Swictgear 30-PS-1/2</i> (Bus-1 dan Bus-2; <i>Module-1</i>)....	154
Lampiran 4 – <i>Single Line Diagram Swictgear 30-PS-3/4</i> (Bus 3 & 4; <i>Module-1</i>).....	157
Lampiran 5 - <i>Single Line Diagram Module-2</i> PT Badak NGL.....	159
Lampiran 6 – <i>Module 2</i>	160
Lampiran 7 – <i>Single Line Diagram Swictgear 30-PS-5/6</i> (Bus 50 & 51 ; <i>Module-2</i>)	161
Lampiran 8 – <i>Single Line Diagram Switchgear 30-PS-7/8</i> (Bus 52 & 53 ; <i>Module-2</i>)	164
Lampiran 9 - Data Generator, Transformator, dan Beban	167
Lampiran 10 – <i>Typical Generator Data</i>	172
Lampiran 11 – <i>Typical AVR Data</i>	173
Lampiran 12 – <i>Typical Turbine Data</i>	174
Lampiran 13 - Data Konduktor/Kabel.....	175
Lampiran 14 – Batas Tegangan Yang Disarankan.....	175
Lampiran 15 – Simbol-Simbol Ketenagalistrikan.....	176
Lampiran 16 – Penomoran Generator, Busbar, & Transformator.....	177
Lampiran 17 - Perhitungan dan Data Parameter Konduktor.....	181
Lampiran 18 – Interkoneksi <i>Module-1</i> dan <i>Module-2</i>	185
Lampiran 19 - Data Dinamik Generator.....	186
Lampiran 20 – Data Transformator.....	187
Lampiran 21 – Data Pembebanan.....	188
Lampiran 21 – Unit Pembangkitan & Kilang PT Badak NGL Bontang-Kaltim.....	191
Lampiran 22 – Data Hasil Simulasi.....	192