



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN TEGANGAN
PADA SISTEM TENAGA LISTRIK AKIBAT INSTALASI
PEMBANGKITAN TERDISTRIBUSI**

ARFANIZAR FATHUROCHMAN
NRP 2213 106 018

Dosen Pembimbing
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**TRANSIENT AND VOLTAGE STABILITY ANALYSIS ON
POWER SYSTEM DUE TO DISTRIBUTED GENERATION
INSTALLATION**

ARFANIZAR FATHUROCHMAN
NRP 2213 106 018

Lecture Advisor
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan bimbingan-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul:

ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN TEGANGAN AKIBAT INSTALASI PEMBANGKITAN TERDISTRIBUSI

Tugas akhir yang memiliki beban 4 SKS (Satuan Kredit Semester) merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh penulis untuk menyelesaikan studi Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Pada kesempatan ini, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, antara lain :

1. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, dana, dan doa.
2. Bapak Ardyono Priyadi dan Bapak Soedibyo selaku Dosen Pembimbing atas segala bantuan, perhatian, dan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Soedibyo selaku Koordinator Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro ITS.
4. Bapak Ardyono Priyadi selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Bapak dan Ibu dosen pengajar Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga Teknik Elektro ITS.
6. Teman-teman Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, serta seluruh warga Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari banyak kekurangan, baik dalam penulisan laporan maupun pembahasan masalah. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Terima kasih.

Surabaya, Desember 2015

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxxv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Metodologi	2
1.5. Sistematika	3
1.6. Relevansi dan Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Distributed Generation	5
2.1.1. Tipe DG	6
2.1.2. Keuntungan Distributed Generation	8
2.2. Aliran Daya	8
2.3.1. Persamaan Aliran Daya	9
2.3.2. Rugi-Rugi Dan Aliran Daya	10
2.3. Metode Newton-Raphson	11
2.4. Kestabilan Sistem Tenaga Listrik	14
2.4.1. Kestabilan Keadaan Tetap	15
2.4.2. Kestabilan Dinamis	15
2.4.3. Kestabilan Transien	15
2.4.4. Kestabilan Sudut Rotor	16

2.4.5. Kestabilan Frekuensi	17
2.4.6. Kestabilan Tegangan	17
2.5. Tegangan Jatuh (Voltage Collapse)	18
2.6. Metode Analisis pada Stabilitas Tegangan	18
2.6.1. Analisis Kestabilan Tegangan Berdasarkan Kurva P-V	19
2.7. Persamaan Ayunan (Swing Equation)	19
2.8. <i>Critical Clearing Time</i> (CCT)	22
2.9. Pemodelan Sistem untuk Analisis Stabilitas Transien	22
2.10. Metode Reduksi Kron	24
2.11. Metode <i>Runge-kutta</i> Orde 4	25
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM	27
3.1. Sistem Kelistrikan IEEE 30 Bus	27
3.2. Simulasi Stabilitas Transien	30
3.2.1. Kondisi Sistem Pengujian	31
3.2.1.1. Skenario Simulasi Stabilitas Transien	31
3.2.2. Prosedur Simulasi dan Analisis Stabilitas Transien	32
3.3. Simulasi Stabilitas Tegangan	33
3.3.1. Skenario Simulasi Stabilitas Tegangan	33
3.2.2. Prosedur Simulasi dan Analisis Stabilitas Transien	34
BAB 4 HASIL DAN ANALISA	35
4.1. Daya keluaran pada sistem IEEE 30 Bus	35
4.2. Hasil simulasi stabilitas transien sistem	36
4.2.1. Parameter Awal	36
4.2.2. Hasil simulasi dengan tingkat pembangkitan DG sebesar 0%	37
4.2.2.1. Gangguan Pada Kasus A	37
4.2.2.2. Gangguan Pada Kasus B	41
4.2.2.3. Gangguan Pada Kasus C	44
4.2.2.4. Gangguan Pada Kasus D	48

4.2.2.5. Gangguan Pada Kasus E.....	51
4.2.2.6. Gangguan Pada Kasus F.....	55
4.2.2.7. Gangguan Pada Kasus G.....	58
4.2.2.8. Gangguan Pada Kasus H.....	62
4.2.2.9. Gangguan Pada Kasus I.....	65
4.2.2.10. Gangguan Pada Kasus J.....	69
4.2.3. Hasil simulasi dengan tingkat pembangkitan DG sebesar 3%.....	72
4.2.3.1. Gangguan Pada Kasus A.....	72
4.2.3.2. Gangguan Pada Kasus B.....	76
4.2.3.3. Gangguan Pada Kasus C.....	79
4.2.3.4. Gangguan Pada Kasus D.....	83
4.2.3.5. Gangguan Pada Kasus E.....	86
4.2.3.6. Gangguan Pada Kasus F.....	90
4.2.3.7. Gangguan Pada Kasus G.....	93
4.2.3.8. Gangguan Pada Kasus H.....	97
4.2.3.9. Gangguan Pada Kasus I.....	100
4.2.3.10. Gangguan Pada Kasus J.....	104
4.2.4. Hasil simulasi dengan tingkat pembangkitan DG sebesar 10%.....	107
4.2.4.1. Gangguan Pada Kasus A.....	107
4.2.4.2. Gangguan Pada Kasus B.....	111
4.2.4.3. Gangguan Pada Kasus C.....	114
4.2.4.4. Gangguan Pada Kasus D.....	118
4.2.4.5. Gangguan Pada Kasus E.....	121
4.2.4.6. Gangguan Pada Kasus F.....	125
4.2.4.7. Gangguan Pada Kasus G.....	128
4.2.4.8. Gangguan Pada Kasus H.....	132
4.2.4.9. Gangguan Pada Kasus I.....	135
4.2.4.10. Gangguan Pada Kasus J.....	139

4.2.5. Hasil simulasi dengan tingkat pembangkitan DG sebesar 30%	142
4.2.5.1. Gangguan Pada Kasus A	142
4.2.5.2. Gangguan Pada Kasus B	146
4.2.5.3. Gangguan Pada Kasus C	149
4.2.5.4. Gangguan Pada Kasus D	153
4.2.5.5. Gangguan Pada Kasus E	156
4.2.5.6. Gangguan Pada Kasus F	160
4.2.5.7. Gangguan Pada Kasus G	163
4.2.5.8. Gangguan Pada Kasus H	167
4.2.5.9. Gangguan Pada Kasus I	170
4.2.5.10. Gangguan Pada Kasus J	174
4.2.5 Hasil Simulasi Pemutusan Waktu Kritis (Critical Clearing Time).....	177
4.2.6 Hasil analisa stabilitas transien	178
4.3. Hasil simulasi stabilitas tegangan sistem.....	179
4.3.1. Kurva P-V pada bus beban.....	179
4.3.2. Perbandingan tegangan terhadap penambahan beban.....	179
4.3.3. Perbandingan kurva P-V terhadap penambahan DG	181
4.3.4 Hasil analisa stabilitas tegangan sistem.....	181
BAB 5 PENUTUP	183
5.1. Kesimpulan	183
5.2. Saran	183
DAFTAR PUSTAKA.....	185

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi <i>Distributed Generation</i>	6
Gambar 2.3 Pemodelan jaringan untuk perhitungan rugi daya	10
Gambar 2.2 Kurva P-V pada bus	19
Gambar 2.3 Representasi suatu rotor mesin yang membandingkan arah perputaran serta medan putar mekanis dan elektris pada (a) Generator (b) Motor	21
Gambar 2.4 Respon sudut rotor terhadap gangguan	21
Gambar 2.5 Pemodelan Generator	23
Gambar 3.1 Sistem kelistrikan IEEE 30 Bus	27
Gambar 4.1 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,455 detik (b) 0,456 detik	38
Gambar 4.2 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,455 detik (merah) 0,456 detik	38
Gambar 4.3 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,455 detik (merah) 0,456 detik	39
Gambar 4.4 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,455 detik (merah) 0,456 detik	39
Gambar 4.5 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,455 detik (merah) 0,456 detik	40
Gambar 4.6 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,455 detik (merah) 0,456 detik	40
Gambar 4.7 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,455 detik (merah) 0,456 detik	41
Gambar 4.7 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,467 detik (b) 0,468 detik	41
Gambar 4.8 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,467 detik (merah) 0,468 detik	42
Gambar 4.9 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,467 detik (merah) 0,468 detik	42
Gambar 4.10 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,467 detik (merah) 0,468 detik	43
Gambar 4.11 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,467 detik (merah) 0,468 detik	43
Gambar 4.12 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,467 detik (merah) 0,468 detik	44
Gambar 4.13 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,467 detik (merah) 0,468 detik	44

Gambar 4.14 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,506 detik (b) 0,507 detik.....	45
Gambar 4.15 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,506 detik (merah) 0,507 detik.....	45
Gambar 4.16 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,506 detik (merah) 0,507 detik.....	46
Gambar 4.17 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,506 detik (merah) 0,507 detik.....	46
Gambar 4.18 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,506 detik (merah) 0,507 detik.....	47
Gambar 4.19 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,506 detik (merah) 0,507 detik.....	47
Gambar 4.20 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,506 detik (merah) 0,507 detik.....	48
Gambar 4.21 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,505 detik (b) 0,506 detik.....	48
Gambar 4.22 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,505 detik (merah) 0,506 detik.....	49
Gambar 4.23 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,505 detik (merah) 0,506 detik.....	49
Gambar 4.24 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,505 detik (merah) 0,506 detik.....	50
Gambar 4.25 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,505 detik (merah) 0,506 detik.....	50
Gambar 4.26 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,505 detik (merah) 0,506 detik.....	51
Gambar 4.27 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,505 detik (merah) 0,506 detik.....	51
Gambar 4.28 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,504 detik (b) 0,505 detik.....	52
Gambar 4.29 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,504 detik (merah) 0,505 detik.....	52
Gambar 4.30 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,504 detik (merah) 0,505 detik.....	53
Gambar 4.31 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,504 detik (merah) 0,505 detik.....	53
Gambar 4.32 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,504 detik (merah) 0,505 detik.....	54
Gambar 4.33 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,504 detik (merah) 0,505 detik.....	54

Gambar 4.34 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,504 detik (merah) 0,505 detik.....	55
Gambar 4.35 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,646 detik (b) 0,647 detik	55
Gambar 4.36 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,646 detik (merah) 0,647 detik.....	56
Gambar 4.37 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,646 detik (merah) 0,647 detik.....	56
Gambar 4.38 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,646 detik (merah) 0,647 detik.....	57
Gambar 4.39 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,646 detik (merah) 0,647 detik.....	57
Gambar 4.40 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,646 detik (merah) 0,647 detik.....	58
Gambar 4.41 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,646 detik (merah) 0,647 detik.....	58
Gambar 4.42 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,797 detik (b) 0,798 detik	59
Gambar 4.43 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,797 detik (merah) 0,798 detik.....	59
Gambar 4.44 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,797 detik (merah) 0,798 detik.....	60
Gambar 4.45 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,797 detik (merah) 0,798 detik.....	60
Gambar 4.46 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,797 detik (merah) 0,798 detik.....	61
Gambar 4.47 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,797 detik (merah) 0,798 detik.....	61
Gambar 4.48 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,797 detik (merah) 0,798 detik.....	62
Gambar 4.49 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik	62
Gambar 4.50 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik.....	63
Gambar 4.51 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik.....	63
Gambar 4.52 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik.....	64
Gambar 4.53 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik.....	64

Gambar 4.54 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik	65
Gambar 4.55 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik	65
Gambar 4.56 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,901 detik (b) 0,902 detik	66
Gambar 4.57 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,901 detik (merah) 0,902 detik	66
Gambar 4.58 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,901 detik (merah) 0,902 detik	67
Gambar 4.59 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,901 detik (merah) 0,902 detik	67
Gambar 4.60 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,901 detik (merah) 0,902 detik	68
Gambar 4.61 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,901 detik (merah) 0,902 detik	68
Gambar 4.62 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,901 detik (merah) 0,902 detik	69
Gambar 4.63 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,942 detik (b) 0,943 detik	69
Gambar 4.64 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,942 detik (merah) 0,943 detik	70
Gambar 4.65 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,942 detik (merah) 0,943 detik	70
Gambar 4.66 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,942 detik (merah) 0,943 detik	71
Gambar 4.67 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,942 detik (merah) 0,943 detik	71
Gambar 4.68 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,942 detik (merah) 0,943 detik	72
Gambar 4.69 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,942 detik (merah) 0,943 detik	72
Gambar 4.70 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,481 detik (b) 0,482 detik	73
Gambar 4.71 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,481 detik (merah) 0,482 detik	73
Gambar 4.72 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,481 detik (merah) 0,482 detik	74
Gambar 4.73 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,481 detik (merah) 0,482 detik	74

Gambar 4.74 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,481 detik (merah) 0,482 detik.....	75
Gambar 4.75 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,481 detik (merah) 0,482 detik.....	75
Gambar 4.76 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,481 detik (merah) 0,482 detik.....	76
Gambar 4.77 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,493 detik (b) 0,494 detik	76
Gambar 4.78 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,493 detik (merah) 0,494 detik.....	77
Gambar 4.79 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,493 detik (merah) 0,494 detik.....	77
Gambar 4.80 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,493 detik (merah) 0,494 detik.....	78
Gambar 4.81 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,493 detik (merah) 0,494 detik.....	78
Gambar 4.82 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,493 detik (merah) 0,494 detik.....	79
Gambar 4.83 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,493 detik (merah) 0,494 detik.....	79
Gambar 4.84 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,521 detik (b) 0,522 detik	80
Gambar 4.85 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,521 detik (merah) 0,522 detik.....	80
Gambar 4.86 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,521 detik (merah) 0,522 detik.....	81
Gambar 4.87 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,521 detik (merah) 0,522 detik.....	81
Gambar 4.88 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,521 detik (merah) 0,522 detik.....	82
Gambar 4.89 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,521 detik (merah) 0,522 detik.....	82
Gambar 4.90 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,521 detik (merah) 0,522 detik.....	83
Gambar 4.91 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,513 detik (b) 0,514 detik	83
Gambar 4.92 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,513 detik (merah) 0,514 detik.....	84
Gambar 4.93 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,513 detik (merah) 0,514 detik.....	84

Gambar 4.94 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,513 detik (merah) 0,514 detik	85
Gambar 4.95 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,513 detik (merah) 0,514 detik	85
Gambar 4.96 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,513 detik (merah) 0,514 detik	86
Gambar 4.97 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,513 detik (merah) 0,514 detik	86
Gambar 4.98 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,519 detik (b) 0,520 detik	87
Gambar 4.99 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,519 detik (merah) 0,520 detik	87
Gambar 4.100 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,519 detik (merah) 0,520 detik	88
Gambar 4.101 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,519 detik (merah) 0,520 detik	88
Gambar 4.102 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,519 detik (merah) 0,520 detik	89
Gambar 4.103 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,519 detik (merah) 0,520 detik	89
Gambar 4.104 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,519 detik (merah) 0,520 detik	90
Gambar 4.105 Grafik sudut generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,653 detik (b) 0,654 detik	90
Gambar 4.106 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,653 detik (merah) 0,654 detik	91
Gambar 4.107 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,653 detik (merah) 0,654 detik	91
Gambar 4.108 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,653 detik (merah) 0,654 detik	92
Gambar 4.109 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,653 detik (merah) 0,654 detik	92
Gambar 4.110 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,653 detik (merah) 0,654 detik	93
Gambar 4.111 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,653 detik (merah) 0,654 detik	93
Gambar 4.112 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,789 detik (b) 0,790 detik	94
Gambar 4.113 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik	94

Gambar 4.114 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik.....	95
Gambar 4.115 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik.....	95
Gambar 4.116 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik.....	96
Gambar 4.117 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik.....	96
Gambar 4.118 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik.....	97
Gambar 4.119 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,789 detik (b) 0,790 detik	97
Gambar 4.120 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik.....	98
Gambar 4.121 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik.....	98
Gambar 4.122 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik.....	99
Gambar 4.123 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik.....	99
Gambar 4.124 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik.....	100
Gambar 4.125 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik.....	100
Gambar 4.126 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,894 detik (b) 0,895 detik	101
Gambar 4.127 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,894 detik (merah) 0,895 detik.....	101
Gambar 4.128 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,894 detik (merah) 0,895 detik.....	102
Gambar 4.129 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,894 detik (merah) 0,895 detik.....	102
Gambar 4.130 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,894 detik (merah) 0,895 detik.....	103
Gambar 4.131 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,894 detik (merah) 0,895 detik.....	103
Gambar 4.132 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,894 detik (merah) 0,895 detik.....	104
Gambar 4.133 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,933 detik (b) 0,934 detik	104

Gambar 4.134 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,933 detik (merah) 0,934 detik	105
Gambar 4.135 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,933 detik (merah) 0,934 detik	105
Gambar 4.136 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,933 detik (merah) 0,934 detik	106
Gambar 4.137 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,933 detik (merah) 0,934 detik	106
Gambar 4.138 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,933 detik (merah) 0,934 detik	107
Gambar 4.139 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,933 detik (merah) 0,934 detik	107
Gambar 4.140 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,551 detik (b) 0,552 detik	108
Gambar 4.141 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,551 detik (merah) 0,552 detik	108
Gambar 4.142 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,551 detik (merah) 0,552 detik	109
Gambar 4.143 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,551 detik (merah) 0,552 detik	109
Gambar 4.144 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,551 detik (merah) 0,552 detik	110
Gambar 4.143 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,551 detik (merah) 0,552 detik	110
Gambar 4.144 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,551 detik (merah) 0,552 detik	111
Gambar 4.145 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,561 detik (b) 0,562 detik	111
Gambar 4.146 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,561 detik (merah) 0,562 detik	112
Gambar 4.147 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,561 detik (merah) 0,562 detik	112
Gambar 4.148 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,561 detik (merah) 0,562 detik	113
Gambar 4.149 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,561 detik (merah) 0,562 detik	113
Gambar 4.150 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,561 detik (merah) 0,562 detik	114
Gambar 4.151 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,561 detik (merah) 0,562 detik	114

Gambar 4.152 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,540 detik (b) 0,541 detik	115
Gambar 4.153 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,540 detik (merah) 0,541 detik.....	115
Gambar 4.154 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,540 detik (merah) 0,541 detik.....	116
Gambar 4.155 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,540 detik (merah) 0,541 detik.....	116
Gambar 4.156 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,540 detik (merah) 0,541 detik.....	117
Gambar 4.157 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,540 detik (merah) 0,541 detik.....	117
Gambar 4.158 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,540 detik (merah) 0,541 detik.....	118
Gambar 4.159 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,533 detik (b) 0,534 detik	118
Gambar 4.160 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,533 detik (merah) 0,534 detik.....	119
Gambar 4.161 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,533 detik (merah) 0,534 detik.....	119
Gambar 4.162 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,533 detik (merah) 0,534 detik.....	120
Gambar 4.163 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,533 detik (merah) 0,534 detik.....	120
Gambar 4.164 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,533 detik (merah) 0,534 detik.....	121
Gambar 4.165 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,533 detik (merah) 0,534 detik.....	121
Gambar 4.166 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,541 detik (b) 0,542 detik	122
Gambar 4.167 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,541 detik (merah) 0,542 detik.....	122
Gambar 4.168 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,541 detik (merah) 0,542 detik.....	123
Gambar 4.169 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,541 detik (merah) 0,542 detik.....	123
Gambar 4.170 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,541 detik (merah) 0,542 detik.....	124
Gambar 4.171 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,541 detik (merah) 0,542 detik.....	124

Gambar 4.172 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,541 detik (merah) 0,542 detik	125
Gambar 4.173 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,671 detik (b) 0,672 detik.....	125
Gambar 4.173 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,671 detik (merah) 0,672 detik	126
Gambar 4.174 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,671 detik (merah) 0,672 detik	126
Gambar 4.175 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,671 detik (merah) 0,672 detik	127
Gambar 4.176 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,671 detik (merah) 0,672 detik	127
Gambar 4.177 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,671 detik (merah) 0,672 detik	128
Gambar 4.178 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,671 detik (merah) 0,672 detik	128
Gambar 4.179 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,772 detik (b) 0,773 detik.....	129
Gambar 4.180 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik	129
Gambar 4.181 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik	130
Gambar 4.182 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik	130
Gambar 4.183 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik	131
Gambar 4.184 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik	131
Gambar 4.185 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik	132
Gambar 4.186 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,772 detik (b) 0,773 detik.....	132
Gambar 4.187 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik	133
Gambar 4.188 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik	133
Gambar 4.189 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik	134
Gambar 4.190 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik	134

Gambar 4.191 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik.....	135
Gambar 4.192 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik.....	135
Gambar 4.193 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,880 detik (b) 0,881 detik	136
Gambar 4.194 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,880 detik (merah) 0,881 detik.....	136
Gambar 4.195 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,880 detik (merah) 0,881 detik.....	137
Gambar 4.196 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,880 detik (merah) 0,881 detik.....	137
Gambar 4.197 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,880 detik (merah) 0,881 detik.....	138
Gambar 4.198 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,880 detik (merah) 0,881 detik.....	138
Gambar 4.199 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,880 detik (merah) 0,881 detik.....	139
Gambar 4.200 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,914 detik (b) 0,915 detik	139
Gambar 4.201 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,914 detik (merah) 0,915 detik.....	140
Gambar 4.202 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,914 detik (merah) 0,915 detik.....	140
Gambar 4.203 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,914 detik (merah) 0,915 detik.....	141
Gambar 4.204 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,914 detik (merah) 0,915 detik.....	141
Gambar 4.205 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,914 detik (merah) 0,915 detik.....	142
Gambar 4.206 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,914 detik (merah) 0,915 detik.....	142
Gambar 4.207 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,827 detik (b) 0,828 detik	143
Gambar 4.208 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,827 detik (merah) 0,828 detik.....	143
Gambar 4.209 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,827 detik (merah) 0,828 detik.....	144
Gambar 4.210 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,827 detik (merah) 0,828 detik.....	144

Gambar 4.211 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,827 detik (merah) 0,828 detik	145
Gambar 4.212 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,827 detik (merah) 0,828 detik	145
Gambar 4.213 Trajektori generator 7 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,827 detik (merah) 0,828 detik	146
Gambar 4.214 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,834 detik (b) 0,835 detik	146
Gambar 4.215 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,834 detik (merah) 0,835 detik	147
Gambar 4.216 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,834 detik (merah) 0,835 detik	147
Gambar 4.217 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,834 detik (merah) 0,835 detik	148
Gambar 4.218 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,834 detik (merah) 0,835 detik	148
Gambar 4.219 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,834 detik (merah) 0,835 detik	149
Gambar 4.220 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,834 detik (merah) 0,835 detik	149
Gambar 4.221 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,601 detik (b) 0,602 detik	150
Gambar 4.222 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,601 detik (merah) 0,602 detik	150
Gambar 4.223 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,601 detik (merah) 0,602 detik	151
Gambar 4.224 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,601 detik (merah) 0,602 detik	151
Gambar 4.225 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,601 detik (merah) 0,602 detik	152
Gambar 4.226 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,601 detik (merah) 0,602 detik	152
Gambar 4.227 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,601 detik (merah) 0,602 detik	153
Gambar 4.228 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,596 detik (b) 0,597 detik	153
Gambar 4.229 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,596 detik (merah) 0,597 detik	154
Gambar 4.230 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,596 detik (merah) 0,597 detik	154

Gambar 4.231 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,596 detik (merah) 0,597 detik.....	155
Gambar 4.232 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,596 detik (merah) 0,597 detik.....	155
Gambar 4.234 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,596 detik (merah) 0,597 detik.....	156
Gambar 4.235 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,596 detik (merah) 0,597 detik.....	156
Gambar 4.236 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,602 detik (b) 0,603 detik.....	157
Gambar 4.237 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,602 detik (merah) 0,603 detik.....	157
Gambar 4.238 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,602 detik (merah) 0,603 detik.....	158
Gambar 4.239 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,602 detik (merah) 0,603 detik.....	158
Gambar 4.240 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,602 detik (merah) 0,603 detik.....	159
Gambar 4.241 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,602 detik (merah) 0,603 detik.....	159
Gambar 4.242 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,602 detik (merah) 0,603 detik.....	160
Gambar 4.243 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,727 detik (b) 0,728 detik.....	160
Gambar 4.244 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik.....	161
Gambar 4.245 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik.....	161
Gambar 4.246 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik.....	162
Gambar 4.247 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik.....	162
Gambar 4.248 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik.....	163
Gambar 4.249 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik.....	163
Gambar 4.250 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,727 detik (b) 0,728 detik.....	164
Gambar 4.251 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik.....	164

Gambar 4.252 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik	165
Gambar 4.253 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik	165
Gambar 4.254 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik	166
Gambar 4.255 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik	166
Gambar 4.256 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik	167
Gambar 4.257 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,727 detik (b) 0,728 detik	167
Gambar 4.258 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik	168
Gambar 4.259 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik	168
Gambar 4.260 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik	169
Gambar 4.261 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik	169
Gambar 4.262 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik	170
Gambar 4.263 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik	170
Gambar 4.264 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,841 detik (b) 0,842 detik	171
Gambar 4.265 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,841 detik (merah) 0,842 detik	171
Gambar 4.266 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,841 detik (merah) 0,842 detik	172
Gambar 4.267 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,841 detik (merah) 0,842 detik	172
Gambar 4.268 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,841 detik (merah) 0,842 detik	173
Gambar 4.269 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,841 detik (merah) 0,842 detik	173
Gambar 4.270 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,841 detik (merah) 0,842 detik	174
Gambar 4.271 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,864 detik (b) 0,865 detik	174

Gambar 4.272 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,864 detik (merah) 0,865 detik.....	175
Gambar 4.273 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,864 detik (merah) 0,865 detik.....	175
Gambar 4.274 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,864 detik (merah) 0,865 detik.....	176
Gambar 4.275 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,864 detik (merah) 0,865 detik.....	176
Gambar 4.276 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,864 detik (merah) 0,865 detik.....	177
Gambar 4.277 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,864 detik (merah) 0,865 detik.....	177
Gambar 4.278 Kurva P-V pada setiap bus beban akibat penambahan daya beban aktif.....	179
Gambar 4.278 Kurva P-V pada bus 26 akibat pemasangan DG.....	181

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Teknologi DG	7
Tabel 3.1 Data bus sistem IEEE 30 Bus	27
Tabel 3.2 Data Generator Sistem IEEE 30 Bus.....	29
Tabel 3.1 Bus Titik Gangguan dan Bus yang Terbuka Akibat Gangguan	31
Tabel 4.1 Tegangan dan daya keluaran dari masing-masing bus	35
Tabel 4.2 Parameter awal analisis stabilitas transien dengan tingkat pembangkitan DG 0%.....	36
Tabel 4.3 Parameter awal analisis stabilitas transien dengan tingkat pembangkitan DG 3%.....	36
Tabel 4.4 Parameter awal analisis stabilitas transien dengan tingkat pembangkitan DG 0%.....	37
Tabel 4.5 Parameter awal analisis stabilitas transien dengan tingkat pembangkitan DG 0%.....	37
Tabel 4.6 Critical clearing time sistem dengan tingkan pembangkitan DG berbeda (dalam satuan detik)	178
Tabel 4.7 Perbandingan antara tegangan dalam kondisi sebelum dan setelah penambahan beban daya aktif.....	180
Tabel 4.8 Rasio perubahan tegangan terhadap penambahan beban pada setiap bus beban	180

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

**ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN TEGANGAN
PADA SISTEM TENAGA LISTRIK AKIBAT
INSTALASI PEMBANGKITAN TERDISTRIBUSI**

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,

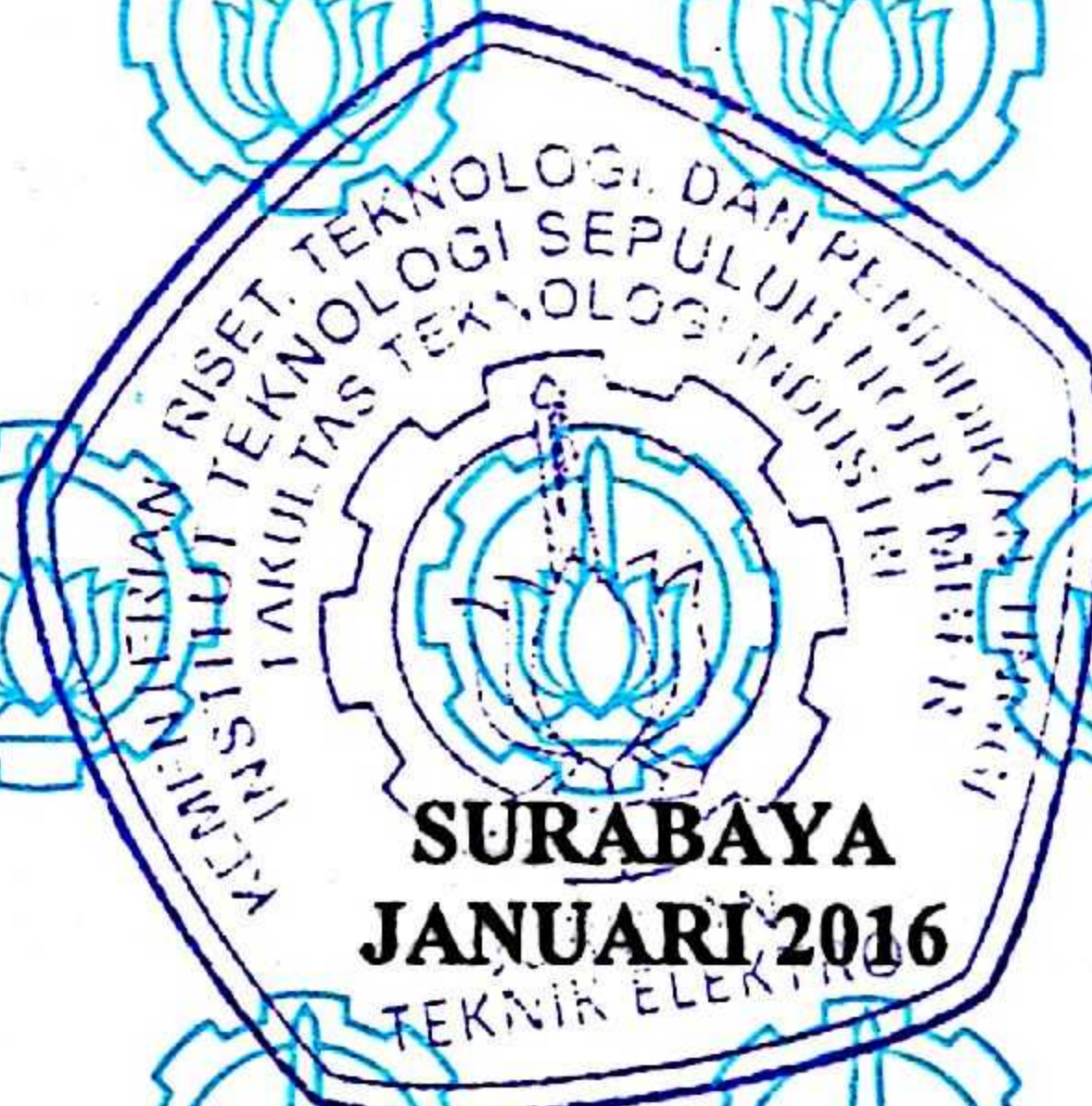
Dosen Pembimbing II,

Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

NIP. 1973 09 27 1998 03 1004

Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

NIP. 1955 12 07 1980 03 1004



ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN TEGANGAN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK AKIBAT INSTALASI PEMBANGKITAN TERDISTRIBUSI

Arfanizar Fathurochman
2213 101 018

Dosen Pembimbing I : Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Soediby, M.MT.

Abstrak :

Unit *Distributed Generation* (DG), berdasarkan terhadap perangkat teknologinya dibagi menjadi DG dengan perangkat generator sinkron, DG dengan perangkat generator asinkron, DG dengan perangkat inverter. Dalam Tugas Akhir ini, stabilitas transien dan tegangan dari sistem tenaga listrik dengan tingkat pembangkitan DG beragam menggunakan DG dengan perangkat generator sinkron. Diasumsikan daya yang diberikan oleh generator sinkron utama dan aliran daya pada jaringan transmisi tetap konstan. Dengan setiap tingkat pembangkitan DG, performa dari sistem tenaga listrik dipelajari dan hasilnya dibandingkan dengan performa sistem tenaga listrik tanpa DG. Dalam analisis stabilitas transien, digunakan *Critical Clearing Time (CCT)* sebagai indikator performa dari sistem. Dalam analisis tegangan, digunakan kurva P-V sebagai indikator performa dari sistem.

Kata kunci : Distributed Generation, Stabilitas Transien, Stabilitas Tegangan, Critical Clearing Time, Kurva P-V

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

TRANSIENT AND VOLTAGE STABILITY ANALYSIS ON POWER SYSTEM DUE TO DISTRIBUTED GENERATION INSTALLATION

Arfanizar Fathurochman
2213 101 018

Lecture Advisor I : Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Lecture Advisor II : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

Abstract :

Distributed Generation (DG) unit, based on their interfacing technology are divided into synchronous generator interfaced DGs, asynchronous generator interfaced DGs, and inverter interfaced DGs. In this final project, transient stability and voltage stability of power system with various penetration level of DG are investigated using synchronous generator interfaced DGs. It is assumed that the supplied power of main synchronous generator and load flow in transmission lines remain constant. With each penetration level of DGs, the performance of power system is studied and results are compared with the performance of power system without any DG. Critical Clearing Time (CCT) is used as an performance's indicator of power system in transient stability's study. P-V curve is used as an performance's indicator of power system in voltage stability's study.

Keywords : Distributed Generation, Stabilitas Transien ,Stabilitas Tegangan, Critical Clearing Time, Kurva P-V

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Secara umum, tenaga listrik diproduksi pada pembangkit terpusat dan disalurkan menuju konsumen melalui jaringan transmisi dan distribusi. Untuk alasan ekonomis, teknis, dan kenyamanan lingkungan, terciptalah sebuah terobosan penggunaan *Distributed Generation* (DG) sebagai pembangkit tambahan terhadap pembangkit konvensional yang terhubung kedalam jaringan transmisi. Dengan demikian, diperkirakan bahwa DG akan membawa kontribusi besar pada sistem tenaga listrik dalam masa mendatang. Umumnya, unit DG terhubung pada jaringan distribusi. Oleh karena itu, implementasi dari unit DG akan berpengaruh terhadap aspek teknis pada jaringan distribusi. [1] Pada umumnya, Beberapa unit DG dengan kapasitas pembangkitan kecil jika dibandingkan dengan pembangkit terpusat yang mempunyai kapasitas pembangkitan yang besar, tidak akan berpengaruh terhadap operasi sistem transmisi dan dampak keberadaan DG tersebut dapat diabaikan. Oleh karena itu, dalam studi stabilitas sistem tenaga listrik, DG diasumsikan sebagai beban negatif dan karakteristik serta alat kontrolnya (jika ada) tidak dimasukkan kedalam perhitungan. Namun, ketika jaringan mulai terpasang banyak unit DG dengan kapasitas pembangkitan yang besar, dampak keberadaan unit-unit tersebut tidak lagi berpengaruh pada jaringan distribusi saja, namun akan mulai mempengaruhi seluruh sistem. Diantara beberapa permasalahan yang berhubungan terhadap sistem tenaga yang memiliki unit DG terpasang pada jaringannya, analisis stabilitas merupakan permasalahan yang paling banyak dipelajari. [2-4]

Pada sistem tenaga listrik modern, banyak sistem tenaga listrik yang beroperasi di ambang batas stabilitas sistemnya dikarenakan alasan ekonomis. Situasi ini membutuhkan pemodelan sistem tenaga yang akurat, dengan mempertimbangkan perbedaan tingkat penetrasi dari unit DG, untuk mengevaluasi dampak pembangkitan DG tersebut pada sistem tenaga listrik secara memadai. [5] Untuk mengetahui dampak pembangkitan DG tersebut terhadap stabilitas sistem tenaga listrik, maka akan diadakan simulasi dan analisa stabilitas transien dan tegangan dengan ditambahkan unit DG pada sistem *American Electrical Power* (AEP) 30 bus.

1.2. Permasalahan

Ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Keadaan stabilitas transien dan tegangan dari sistem tenaga listrik sebelum terpasang unit *Distributed Generation*.
2. Keadaan stabilitas transien dan tegangan dari sistem tenaga listrik setelah terpasang unit *Distributed Generation* dengan level penetrasi/pembangkitan yang berbeda.
3. Keadaan stabilitas transien dan tegangan pada sistem tenaga listrik antara keadaan sebelum terpasang unit DG dengan sesudah terpasang unit DG.

1.3. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui stabilitas transien dan tegangan dari sistem tenaga listrik setelah terpasang unit DG dengan level penetrasi yang berbeda.
2. Membandingkan stabilitas transien dan tegangan antara sistem tenaga listrik yang belum terpasang unit DG dan sistem tenaga listrik yang telah terpasang unit DG dengan level penetrasi yang berbeda.

1.4. Metodologi

Metodologi penyelesaian masalah dalam pembuatan tugas akhir ini meliputi:

1. Metode literatur yaitu membaca dan mempelajari buku-buku literatur yang berkaitan dengan *Distributed Generation*.
2. Pengambilan data bus dan single line diagram dari sistem transmisi yang akan diuji.
3. Analisis *load flow* dari *single line diagram* sistem transmisi untuk mengetahui rugi daya pada masing-masing bus menggunakan metode Newton-Raphson dengan bantuan *software* MATLAB.
4. Analisis stabilitas transien dan tegangan pada sistem tenaga listrik.
5. Membandingkan analisis stabilitas transien dan tegangan pada sistem tenaga listrik antara sistem tenaga listrik yang belum terpasang DG dengan sistem tenaga listrik yang telah terpasang DG.

1.5. Sistematika

Susunan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Bab 1

Pada bab 1 dijelaskan tentang pendahuluan dan latar belakang penulis dalam mengambil judul tugas akhir, dan akan dijelaskan permasalahan serta tujuan dilakukannya tugas akhir dengan topik yang bersangkutan.

2. Bab 2

Pada bab 2 dijelaskan tentang sumber pustaka yang dijadikan dasar teori selama pelaksanaan tugas akhir. Sumber pustaka yang dijelaskan pada bab 2 merupakan sumber pustaka utama yang dijadikan pedoman oleh penulis.

3. Bab 3

Pada bab 3 dijelaskan tentang perancangan tugas akhir yang akan dilakukan, seperti data yang digunakan, serta persiapan program simulasi yang akan dijalankan.

4. Bab 4

Pada bab 4 dijelaskan tentang analisa data yang telah dilakukan setelah proses simulasi program. Analisa data tersebut berupa penjelasan dari data hasil yang didapat setelah simulasi program selesai dilakukan.

5. Bab 5

Pada bab 5 akan dijelaskan tentang kesimpulan dan saran penulis tentang tugas akhir yang telah dilakukan.

6. Lampiran

Hal-hal tambahan yang berkaitan dengan tugas akhir akan dilampirkan pada bagian ini.

1.6. Relevansi dan Manfaat

Manfaat dari dilakukannya pembelajaran dalam analisis stabilitas transien dan tegangan pada suatu sistem tenaga listrik yang memiliki DG di dalamnya, adalah diketahuinya tingkat pengaruh yang dapat ditimbulkan dari *Distributed Generation* (DG) terhadap stabilitas transien dan tegangan pada sistem.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

BAB II DASAR TEORI

2.1. Distributed Generation

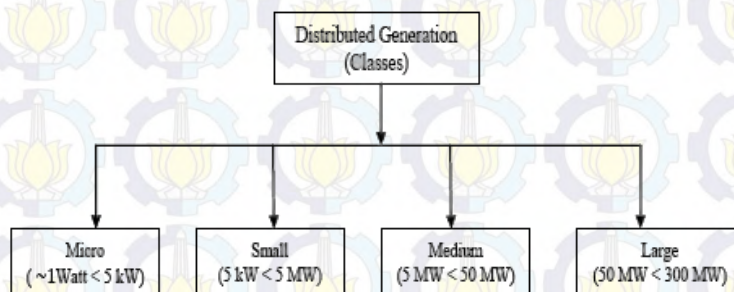
Distributed Generation (DG) atau dikenal dengan *Disperged Generation* (Amerika Utara), *Embedded Generation* (Amerika Selatan), *Decentralized Generation* (Eropa dan Asia), namun secara umum dikenal dengan nama *Distributed Generation* (DG) [6]. Istilah *distributed generation* sering digunakan pada sebuah pembangkitan listrik skala kecil yang terletak pada sistem distribusi tenaga listrik dan biasanya ditempatkan pada bus-bus yang terhubung langsung ke beban. Beberapa negara mendefinisikan *Distributed Generation* berdasarkan tingkat tegangan, sedangkan negara yang lain mendefinisikan *Distributed Generation* berdasarkan letak pembangkit pada sistem jaringan listrik. *Distributed Power Coalition Of America* (DPCA) mendefinisikan *Distributed Generation* yaitu teknologi pembangkitan energi listrik berskala kecil yang menghasilkan daya listrik di suatu tempat yang lebih dekat dengan konsumen dibandingkan dengan pembangkit listrik pusat dimana pembangkit dapat langsung dihubungkan dengan langsung ke konsumen atau ke sistem distribusi/distribusi milik *utility*. Disisi lain *International Council on Large Electricity System* (CIGRE) mendefinisikan *Distributed Generation* sebagai setiap unit pembangkit dengan kapasitas maksimum 50 MW sampai 100 MW yang biasanya terhubung ke jaringan distribusi. Sedangkan *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) mendefinisikan sebagai pembangkitan energi listrik yang dilakukan oleh peralatan yang lebih kecil dari pembangkit listrik pusat sehingga memungkinkan terjadi interkoneksi di hampir semua titik pada sistem tenaga listrik. Sehingga berdasarkan pengertian-pengertian diatas, istilah *Distributed Generation* (DG) secara umumnya adalah unit pembangkit listrik yang terhubung langsung ke jaringan distribusi atau di sisi konsumen dengan kapasitas yang relatif kecil (kurang dari 10 MW [7]).

Dalam hal manfaat bagi sistem pembangkit, DG mempunyai banyak keuntungan, yaitu meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem serta dapat memperbaiki kualitas daya dan level tegangan. DG juga dapat memberikan berbagai layanan untuk utilitas dan konsumen, termasuk sebagai pembangkit siaga, pembangkit pendukung beban puncak,

pembangkit beban dasar, pendukung penyediaan daya aktif, pendukung penyediaan daya reaktif, pendukung tegangan, stabilitas jaringan, cadangan berputar, dan dapat menurunkan rugi daya pada jaringan [8]. Disamping keuntungan, DG pun dapat menimbulkan beberapa kerugian, misal menambah jumlah arus hubung singkat apabila terjadi gangguan pada sistem. Oleh karena itu, terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam pemasangan DG yaitu besar arus hubung singkat, level tegangan serta kerugian pada sistem. Salah satu hal yang sangat penting dalam pembahasan DG adalah mengenai penentuan letak dan kapasitas optimal apabila menghasilkan penambahan arus hubung singkat dan kerugian daya yang minimal serta level tegangan yang terjaga, yaitu berada antara nilai minimal dan maksimal [9]

2.1.1. Tipe DG

Dalam pengklasifikasian tipenya, secara umum DG dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan kapasitasnya yaitu bisa dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Klasifikasi *Distributed Generation*

Tetapi pendefinisian kapasitas DG terdapat definisi yang berbeda-beda dan yang saat ini digunakan sebagai referensi adalah sebagai berikut:

1. The Electric Power Research Institute mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas beberapa kilowatt sampai dengan 50 MW.
2. Preston and Rastler mendefinisikan kapasitas DG mulai dari beberapa kilowatt hingga lebih dari 100 MW.
3. International Conference on Large High Voltage Electric Systems (CIGRE) mendefinisikan kapasitas DG berkisar antara 50-100 MW

4. Gas Research Institute menentukan DG sebagai pembangkit berkapasitas 25 KW hingga 100 MW

Selain itu juga terdapat kesepakatan antara pengarang dengan organisasi yang berbeda mengenai definisi dari tujuan DG yaitu tujuan DG adalah untuk menyediakan sumber daya listrik aktif. Berdasarkan definisi tujuan DG maka DG tidak dibutuhkan dalam penyediaan sumber daya listrik reaktif. Definisi lokasi DG pun bervariasi antara penulis yang berbeda. Sebagian besar penulis menentukan lokasi DG pada sisi jaringan distribusi, beberapa penulis lain menentukan lokasi DG pada sisi pelanggan bahkan beberapa penulis lokasi DG mencakup pada sisi jaringan transmisi [6].

Tabel 2.1 Teknologi DG

Teknologi DG	Kapasitas DG
Combine Cycle Gas Turbine	35 KW – 400 MW
Internal Combustion Turbine	5 KW – 10 KW
Combustion Turbine	1 MW – 250 MW
Micro Turbines (MT)	35 KW-1 MW
<i>Renewable</i>	
Small Hydro	1 – 100 MW
Micro Hydro	25 KW – 1 MW
Wind Turbine (WT)	200 W- 3MW
Photovoltaic Array (PV)	20 W- 100 KW
Solar terminal, central receiver	1 MW- 80 MW
Solar terminal, Lutz system	10 MW – 80 MW
Biomass, e.g. based in gasification	100 KW – 20 MW
Fuel cells, phosacid	200 KW – 2 MW
Fuel cells, molten carbonate	250 KW – 2 MW
Fuel cells, proton exchange	1 KW – 2 MW
Fuel cells, solid oxide	250 KW – 5 MW
Geothermal	5 – 100 MW
Ocean Energy	100 KW – 1 MW
Stirling Engine	2 – 10 KW
Battery Storage	500 KW- 5 MW

2.1.2. Keuntungan Distributed Generation

DG termasuk teknologi yang terus berkembang dan dapat beradaptasi dengan perubahan ekonomi dalam cara yang fleksibel karena ukurannya yang kecil dan konstruksi yang lebih sederhana dibandingkan dengan pusat-pusat pembangkit konvensional. Sebagian besar DG memang sangat fleksibel dalam beberapa hal seperti operasi, ukuran, dan kemajuan teknologi. Selain itu, DG dapat meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.

Dalam pemasangannya di jaringan distribusi, DG ditempatkan dekat dengan daerah beban dan beberapa keuntungan dalam pemakaian DG:

1. DG memberi keandalan yang lebih tinggi dalam pemanfaatan daya
2. DG sebagai sumber energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya
3. Dibandingkan dengan *power plants*, DG memiliki efisiensi yang lebih tinggi dalam penyaluran daya. Selain itu, bila dikoneksikan pada jaringan, DG dapat meningkatkan efisiensi sistem karena DG membantu mengurangi rugi-rugi pada sistem.
4. Dalam memproduksi energi listrik, DG bersifat ramah lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik oleh DG tergolong rendah, bahkan mendekati nol

2.2. Aliran Daya

Studi aliran daya atau yang biasa diketahui dengan sebutan *load flow*, merupakan bagian penting dari analisis aliran daya yang dibutuhkan untuk perencanaan, *economic scheduling*, dan pengontrolan sistem yang telah ada dan juga dapat merencanakan perluasan ke depannya. Informasi dasar yang diperoleh dari studi aliran daya adalah magnitudo dan sudut fasa tegangan pada setiap bus dan aliran daya reaktif dan aktif pada setiap saluran. Dalam pemecahan permasalahan aliran daya, sistem diasumsikan dalam keadaan beroperasi dibawah kondisi seimbang.[10] Pada sistem bus terdapat beberapa jenis bus, yaitu :

1. Bus Tidak Aktif (*Slack Bus*)
Merupakan bus yang digunakan sebagai referensi dimana terdapat spesifikasi magnitudo dan sudut fasanya.
2. Bus Beban (*Load Bus*)
Merupakan bus yang terdapat spesifikasi berupa daya aktif dan daya reaktif sedangkan magnitudo dan sudut fasanya tidak diketahui. Bus ini biasa disebut P-V Bus.

3. Voltage-Controlled Bus (Regulated Bus)

Bus ini merupakan bus generator yang memiliki spesifikasi berupa daya aktif dan magnitudo tegangannya. Batasan nilai untuk daya reaktif juga diketahui, Sudut fasa dari tegangannya tidak diketahui.

2.3.1. Persamaan Aliran Daya

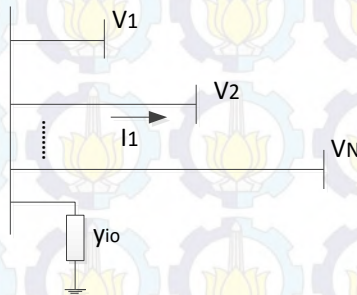
Berdasarkan tipikal bus dalam jaringan, ditunjukkan gambar 2.1, saluran mempunyai impedansi yang telah diubah menjadi admitansi untuk MVA base tertentu.

$$I_i = y_{i0} \cdot V_i + y_{i1} \cdot (V_i - V_1) + \dots + y_{iN} \cdot (V_i - V_N) \quad (2.1)$$

$$= (y_{i0} + y_{i1} + \dots + y_{iN}) \cdot V_i - y_{i1} \cdot V_1 - \dots - y_{iN} \cdot V_N$$

Persamaan diatas juga dapat ditulis menjadi :

$$I_i = V_i \cdot \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot V_j \quad j \neq i \quad (2.2)$$



Gambar 2.2 Tipikal bus pada sistem jaringan tenaga listrik

Daya nyata dan daya reaktif pada bus i adalah

$$P_i + Q_i = V_i \cdot I_i^* \quad (2.3)$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.4)$$

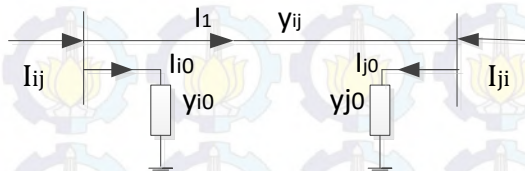
Dengan mensubstitusikan persamaan (2.2) ke (2.4)

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \cdot \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot V_j \quad (2.5)$$

Dari penjabaran diatas, perhitungan aliran daya menghasilkan persamaan aljabar nonlinier yang harus diselesaikan dengan teknik iterasi.

2.3.2. Rugi-Rugi Dan Aliran Daya

Setelah tegangan bus pada setiap bus diperoleh maka langkah selanjutnya adalah perhitungan aliran daya dan rugi-rugi saluran. Beberapa metode yang umum digunakan untuk menghitung rugi-rugi daya antara lain Gauss-Seidel, Newton-Raphson, dan sebagainya.



Gambar 2.3 Pemodelan jaringan untuk perhitungan rugi daya

Arus yang mengalir dari bus i ke j dapat ditulis sebagai berikut

$$I_{ij} = I_i + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0} \cdot V_i \quad (2.6)$$

Dengan cara yang sama, arus yang mengalir dari bus j ke bus i atau arus yang mengalir berlawanan dengan persamaan 2.6 adalah

$$I_{ji} = -I_i + I_{i0} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{j0} \cdot V_j \quad (2.7)$$

Selanjutnya perhitungan *losses* jaringan dapat dilakukan. Daya total S_{ij} yang mengalir dari bus i ke j dan total S_{ji} yang mengalir dari bus j ke i adalah

$$S_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* = V_i \left(\frac{V_i - V_j}{z_{ij}} + V_i Y_{ij0} \right)^* \quad (2.8)$$

$$S_{ji} = V_j \cdot I_{ji}^* = V_i \left(\frac{V_j - V_i}{z_{ji}} + V_j Y_{ji0} \right)^* \quad (2.9)$$

Sehingga rugi-rugi dari bus i ke j adalah penjumlahan aljabar dari aliran daya berdasarkan persamaan (2.8) dan (2.9)

$$S_{L\ ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.10)$$

Maka rugi saluran didapatkan dengan persamaan :

$$P_i = \sum_{j=1}^{no\ bus} (S_{ij} + S_{ji}) = \sum_{j=1}^{no\ bus} \{(P_{ij} + jQ_{ij}) + (P_{ji} + jQ_{ji})\} \quad (2.11)$$

2.3. Metode Newton-Raphson

Pada tugas akhir ini digunakan metode newton raphson yang memiliki keunggulan dibandingkan metode lainnya diantaranya yaitu dapat memecahkan persamaan aljabar nonlinear secara bersamaan. Metode ini diaplikasikan untuk mencari rugi-rugi daya pada sistem kelistrikan IEEE 30 bus. Penyelesaian aliran daya dengan metode Newton-Raphson didasarkan pada:

- Daya Base = 100 MVA
- Akurasi = 0,001
- Maksimum Iterasi = 100

Semua persamaan aliran daya dinyatakan dalam bentuk polar sehingga persamaan aliran daya dapat ditulis ulang sebagai berikut :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.12)$$

Persamaan (2.11) dapat ditulis ulang dalam bentuk polar menjadi :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.13)$$

$$P_i + Q_i = V_i \cdot I_i^* \quad (2.14)$$

Persamaan (2.13) dan (2.14) dapat ditulis ulang dalam bentuk polar menjadi

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle \delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.15)$$

Bagian real imajiner dipisahkan sehingga persamaannya menjadi :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.16)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.17)$$

Persamaan (2.16) dan (2.17) ke dalam bentuk Taylor Series sehingga didapatkan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \delta_n^{(k)} \\ \partial |V_2|^{(k)} \\ \vdots \\ \partial |V_n|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Persamaan 2.18 dapat ditulis ulang menjadi bentuk matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Dimana elemen \mathbf{J}_1

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.21)$$

Untuk elemen \mathbf{J}_2

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i}^n |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.23)$$

Untuk elemen \mathbf{J}_3

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.24)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.25)$$

Untuk elemen \mathbf{J}_4

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{j \neq i}^n |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.27)$$

$\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ adalah selisih antara nilai yang diinputkan dengan nilai hasil perhitungan :

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (2.28)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (2.29)$$

Estimasi tegangan bus yang baru dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (2.30)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \quad (2.31)$$

Proses iterasi akan berhenti jika persamaan berikut telah dipenuhi

$$|\Delta P_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (2.32)$$

$$|\Delta Q_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (2.33)$$

2.4. Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk kembali beroperasi pada kondisi normal di titik keseimbangan dalam kondisi saat dan setelah mengalami gangguan sehingga sistem tetap utuh. Sistem tenaga listrik merupakan sistem nonlinear dikarenakan beroperasi pada lingkungan yang terus berubah. Untuk menjaga operasi sistem tenaga listrik agar dapat berjalan dengan baik, maka kestabilan dari sistem perlu diperhatikan. Kestabilan sistem tenaga listrik dipengaruhi oleh beberapa hal dikarenakan variasi beban yang dinamis (berubah-ubah).

Gangguan yang dapat terjadi pada sistem tenaga listrik mengakibatkan terjadinya perbedaan arus dan tegangan pada setiap bus, serta perbedaan sudut rotor pada generator yang ada. Pada kondisi normal, sistem tenaga listrik akan seimbang antara daya input mekanis dari prime mover dengan daya output listrik generator pada sistem. Generator berputar pada kecepatan sinkron, namun ketika gangguan terjadi, timbul perbedaan antara daya output listrik terhadap daya input mekanis. Jika daya output listrik melebihi daya input mekanis generator, akan terbentuk fenomena perlambatan kecepatan putaran rotor atau sebaliknya yang dapat mempengaruhi kerja dari governor. Perbedaan tegangan pada pembangkit dan saluran dalam jaringan sistem akan mempengaruhi regulator tegangan. Sedangkan perubahan frekuensi pada sistem akan mempengaruhi beban sesuai dengan karakteristik beban tersebut. [11]

Analisis kestabilan pada umumnya digolongkan kedalam tiga jenis, tergantung pada sifat dan besarnya gangguan yaitu :

1. Kestabilan Keadaan Tetap (Steady State Stability)
2. Kestabilan Dinamis (Dynamic Stability)
3. Kestabilan Transien (Transient Stability)

Dengan mempertimbangkan beberapa hal seperti:

1. Ukuran gangguan
2. Pemodelan dan analisis gangguan yang spesifik
3. Waktu saat terjadi gangguan
4. Parameter sistem yang paling berpengaruh

Kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Kestabilan Sudut Rotor
2. Kestabilan Frekuensi
3. Kestabilan Tegangan

2.4.1. Kestabilan Keadaan Tetap

Kestabilan keadaan tetap adalah :

“Kemampuan sistem tenaga listrik untuk menerima gangguan kecil yang bersifat gradual, yang terjadi disekitar titik keseimbangan pada kondisi tetap”.

Kestabilan ini tergantung pada karakteristik komponen yang terdapat pada sistem tenaga listrik antara lain : Pembangkit, Beban, Jaringan transmisi, dan Kontrol sistem itu sendiri.

Model pembangkit yang digunakan adalah pembangkit yang sederhana (sumber tegangan konstan) karena hanya menyangkut gangguan kecil disekitar titik keseimbangan.

2.4.2. Kestabilan Dinamis

Kestabilan Dinamis adalah :

“Kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali ke titik keseimbangan setelah timbul gangguan yang relatif kecil secara tiba-tiba dalam waktu yang lama”

Analisa kestabilan dinamis lebih kompleks karena juga memasukkan komponen kontrol otomatis dalam perhitungannya.

2.4.3. Kestabilan Transien

Kestabilan Transien adalah :

“Kemampuan sistem untuk mencapai titik keseimbangan / sinkronisasi setelah mengalami gangguan yang besar sehingga sistem

kehilangan stabilitas karena gangguan terjadi diatas kemampuan sistem”

Analisis kestabilan transien merupakan analisis yang utama untuk menelaah perilaku sistem daya misalnya gangguan yang berupa :

1. Perubahan beban yang mendadak karena terputusnya unit pembangkit.
2. Perubahan pada jaringan transmisi misalnya gangguan hubung singkat atau pemutusan saklar (switching).

Sistem daya listrik masa kini jauh lebih luas, ditambah interkoneksi antar sistem yang rumit dan melibatkan beratus-ratus mesin yang secara dinamis saling mempengaruhi melalui perantara jala-jala tegangan extra tinggi, mesin-mesin ini mempunyai sistem penguatan yang berhubungan. Kisaran masalah yang dianalisis banyak menyangkut gangguan yang besar dan tidak lagi memungkinkan menggunakan proses kelinearan. Masalah kestabilan transien dapat lebih lanjut dibagi kedalam “Kestabilan ayunan pertama (first swing) dan ayunan majemuk (multi swing)”. Kestabilan ayunan pertama didasarkan pada model generator yang cukup sederhana tanpa memasukkan sistem pengaturannya, biasanya periode waktu yang diselidiki adalah detik pertama setelah timbulnya gangguan pada sistem. Bila pada sistem, mesin dijumpai tetap berada dalam keadaan serempak sebelum berakhirnya detik pertama, ini dikategorikan sistem masih stabil.

2.4.4. Kestabilan Sudut Rotor

Kestabilan sudut rotor adalah kemampuan generator sinkron yang terhubung dalam jaringan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kondisi sinkron pada kondisi saat dan setelah terjadinya gangguan. Generator harus dapat mempertahankan keseimbangan antara torsi mekanik dan torsi elektrik dikarenakan ketidakstabilan dapat mengakibatkan perubahan putaran sudut rotor sehingga generator kehilangan sinkronisasi dengan generator lainnya.

Generator diupayakan dalam keadaan sinkron saat terhubung kedalam jaringan, yaitu tegangan dan arus stator harus memiliki frekuensi yang sama dengan putaran rotor sehingga torsi mekanik harus menjaga putaran dengan bantuan penggerak utama. Torsi listrik dari generator diubah dengan merubah masukan torsi mekanik dari prime mover. Perubahan inti elektromagnetik pada mesin sinkron yang mengalami gangguan ada dua

komponen, yaitu komponen torsi sinkron pada fasa dengan penyimpangan sudut rotor dan komponen torsi peredam pada fasa dengan penyimpangan kecepatan.

2.4.5. Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan frekuensi agar tetap stabil setelah mengalami gangguan. Hal ini bergantung pada kemampuan untuk menjaga atau mengembalikan keseimbangan antara pembangkit dan beban. Kestabilan frekuensi sangat berpengaruh terhadap rugi-rugi pada pembangkitan maupun pada beban.

2.4.6. Kestabilan Tegangan

Menurut IEEE, kestabilan tegangan didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk dapat mempertahankan level tegangan semua cabang (node) dalam kondisi normal setelah sistem mengalami kondisi awal gangguan. Definisi ini akan memberikan gambaran bahwa kekokohan sistem tenaga dapat diukur dari kemampuan untuk menjaga keseimbangan antara daya yang dibutuhkan dengan daya yang dihasilkan. Sistem dapat dalam kondisi tidak stabil apabila adanya gangguan, meningkatnya beban yang dibutuhkan serta perubahan topologi jaringan yang mengakibatkan penurunan tegangan secara tidak terkendali. Kestabilan sistem dapat berasal dari kondisi disetiap komponen sistem tenaga [12], seperti:

1. Generator

Generator sebagai pembangkit listrik memberikan pasokan daya aktif dan reaktif yang cukup untuk dapat menjaga level tegangan beroperasi pada standard yang normal. Namun generator dibatasi oleh kurva kapabilitas sehingga menyebabkan output daya reaktif menjadi berkurang yang disebabkan oleh terbatasnya belitan medan.

2. Saluran Transmisi

Saluran transmisi juga menjadi penyebab lain yang penting dalam permasalahan stabilitas tegangan dimana saluran transmisi membatasi daya maksimum yang akan dikirim dan dapat diartikan sebagai batasan panas pada sistem transmisi.

3. Beban

Beban merupakan komponen yang dapat menyebabkan stabilitas tegangan terganggu. Beban memiliki dua kategori yaitu beban statis dan beban dinamis, kedua jenis beban tersebut dapat mempengaruhi profil tegangan hingga melampaui batas.

2.5. Tegangan Jatuh (Voltage Collapse)

Tegangan jatuh (voltage collapse) adalah sebuah fenomena yang selalu muncul bila adanya kenaikan beban yang sangat besar pada sistem tenaga listrik. Keadaan ini dapat muncul dalam bentuk peristiwa yang berurutan secara bersamaan dengan ketidakstabilan tegangan yang dapat menyebabkan terjadinya pemadaman (blackout) atau tegangan yang beroperasi pada level di bawah batas operasinya sehingga menjadi bagian yang penting dari sistem tenaga. Karena sifatnya yang non-linier dari sebuah jaringan sistem tenaga listrik, sebagian fenomena yang terjadi pada sistem tenaga menggunakan teknik non-linier untuk menganalisa tegangan jatuh (voltage collapse) dan mencari solusi untuk menghindarinya. Beberapa gangguan yang dapat mempengaruhi tegangan jatuh (voltage collapse), diantaranya adalah peningkatan beban secara terus menerus. Sebagian dari perubahan tersebut memiliki dampak yang signifikan dalam produksi, konsumsi, dan transmisi daya. Oleh karena itu disarankan untuk adanya tindakan pengontrolan dengan menggunakan perangkat kapasitor bank dan pembatasan beban [12].

2.6. Metode Analisis pada Stabilitas Tegangan

Beberapa saran yang digunakan untuk analisa stabilitas tegangan adalah metode yang berdasarkan analisa dinamik dan analisa statis.

1. Analisa dinamis (dynamic analysis)

Solusi numerik (simulasi) yang terdiri atas serangkaian persamaan diferensial dan aljabar pada pemodelan sistem tenaga listrik. Kondisi tersebut sama dengan kondisi transien, namun jenis simulasi tersebut membutuhkan cukup banyak sumber daya komputasi karena untuk memecahkan solusinya memerlukan waktu yang sangat lama dan hasil yang diperoleh tidak memberikan sebuah solusi tentang sensitivitas dan tingkat stabilitas

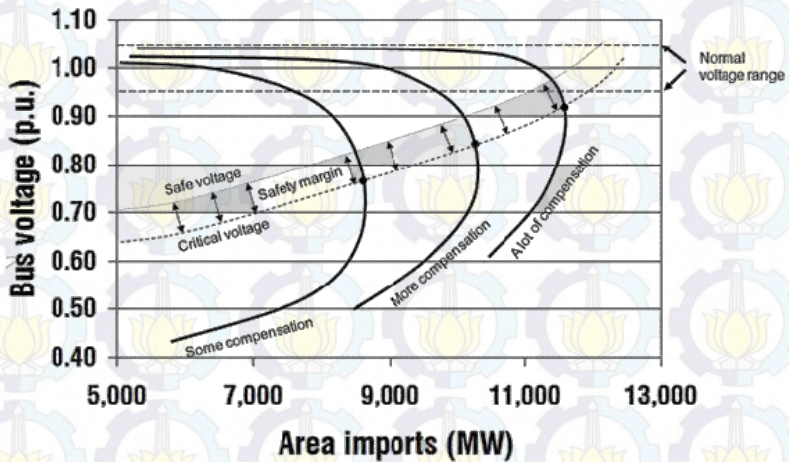
2. Analisa statis (static analysis)

Solusi numerik (simulasi) yang terdiri atas serangkaian persamaan aljabar yang mewakili sistem dalam kondisi stabil atau steady state [], dengan tujuan untuk mengevaluasi kelayakan titik ekuilibrium yang diwakili dengan kondisi sistem pengoperasian untuk menentukan nilai tegangan kritis sistem tersebut. Keuntungan yang berhubungan dengan teknik analisis statis adalah memberikan sebuah informasi tentang indentifikasi faktor utama pada permasalahan ketidakstabilan menggambar kurva P-V dan menentukan ranking indeks tiap bus dapat membantu untuk

menganalisa batas kestabilan tegangan dalam sistem. Pada sebuah skenario dengan penambahan beban dan dengan adanya gangguan seperti lepasnya generator atau lepasnya saluran transmisi.

2.6.1. Analisis Kestabilan Tegangan Berdasarkan Kurva P-V

Kurva P-V menggambarkan tegangan yang bervariasi seiring dengan perubahan beban daya aktif yang terus meningkat. Kurva ini dihasilkan dengan sederet solusi aliran daya untuk tingkat beban yang berbeda-beda secara merata, dengan menjaga faktor daya selalu konstan. Daya aktif yang dihasilkan berasal dari kenaikan rating generator yang proporsional atau faktor-faktor yang dipengaruhi oleh pengoperasiannya. Kenaikan komponen P pada masing-masing beban bergantung pada tegangan bus sesuai dengan pemodelan beban yang telah ditentukan. Penentuan titik kritis ketika terjadi kenaikan beban sangat penting karena dapat menyebabkan tegangan jatuh (*voltage collapse*) pada sistem seperti pada gambar



Gambar 2.2 Kurva P-V pada bus

2.7. Persamaan Ayunan (Swing Equation)

Untuk melakukan analisis kestabilan suatu sistem tenaga listrik, maka hal pertama yang harus dilakukan adalah membangun model matematika yang dapat menggambarkan dinamika sistem tenaga listrik saat ada gangguan besar. Model matematika yang dipakai untuk pembangkit listrik adalah persamaan ayunan (*swing equation*).

Persamaan ayunan adalah persamaan yang mengatur gerakan rotor suatu mesin serempak didasarkan pada prinsip dalam dinamika yang menyatakan :

”Momen putar percepatan (accelarating torque) adalah hasil kali momen kelembaban (moment of inertia) rotor dan percepatan sudutnya”

Untuk generator serempak, persamaan ayunannya adalah:

$$J = \frac{d^2\theta}{dt^2} = T_m - T_e \quad (2.34)$$

Dengan :

J = Momen inersia dari massa rotor (kg-m)

θ_m = Pergeseran sudut rotor terhadap sumbu yang stasioner (radianmekanis)

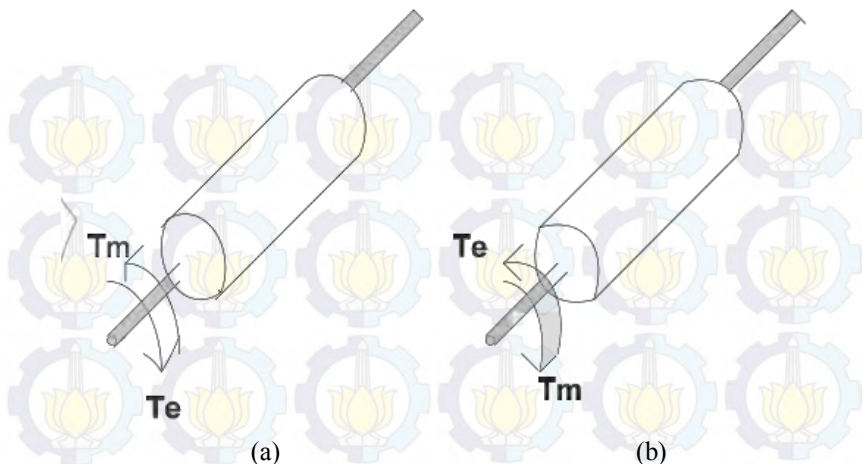
t = Waktu (detik)

T_m = Momen putar mekanis atau poros (penggerak) yang diberikan oleh penggerak mula dikurangi dengan momen putar perlambatan (retarding) yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran (N-m)

T_e = Momen putar listrik (N-m)

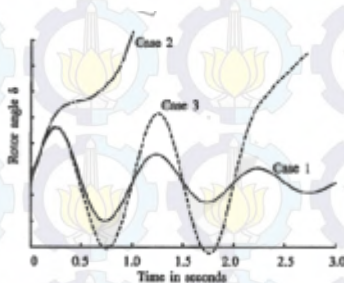
Jika T_m dan T_e dianggap positif untuk generator serempak berarti bahwa T_m adalah resultan momen putar poros yang mempunyai kecenderungan untukmempercepat rotor dalam arah yang positif. Prinsip dasar ini diilustrasikan pada Gambar 2.3 berikut.

Untuk generator yang bekerja dalam keadaan diam maka T_m dalam keadaan ini tidak ada percepatan ataupun perlambatan terhadap massa rotor, sedang kecepatan tetap resultan adalah kecepatan serempak. Bila terjadi gangguan akan menghasilkan suatu percepatan ($T_m > T_e$) atau perlambatan ($T_m < T_e$)



Gambar 2.3 Representasi suatu rotor mesin yang membandingkan arah perputaran serta medan putar mekanis dan listrik pada (a) Generator (b) Motor

Jika gangguan tidak dihilangkan secepatnya, maka perubahan putaran rotor dapat mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam sistem tenaga listrik tersebut. Studi stabilitas transien memiliki kurun waktu 3-5 detik setelah gangguan. Untuk sistem yang sangat besar dengan ayunan antar wilayah yang dominan maka kurun waktu tersebut bisa diperpanja hingga mencapai 10-20 detik.



Gambar 2.4 Respon sudut rotor terhadap gangguan

Gambar 2.4 memperlihatkan kondisi stabil dan tidak stabil suatu generator sinkron. Pada *case 1* memperlihatkan kondisi stabil, dimana sudut rotor terus meningkat hingga pada akhirnya mengalami osilasi yang

terus mengecil hingga mencapai kondisi *steady-state*. *Case 2* memperlihatkan kondisi *first swing instability*, sudut rotor terus bertambah hingga generator kehilangan sinkronisasinya. Pada *case 3* terdapat fenomena *multi swing instability*, osilasi pada generator akhirnya membesar dan menyebabkan generator menjadi lepas sinkron.

2.8. Critical Clearing Time (CCT)

Pengisolasian area akibat gangguan yang besar mengakibatkan perubahan struktur pada jaringan sistem tenaga listrik. Pengisolasian ini dapat dilakukan dengan pemutusan saluran melalui pemutus atau *circuit breaker* (CB) saluran maupun pelepasan generator melalui pemutus atau *circuit breaker* (CB) generator. Pemutusan tersebut harus kurang dari waktu pemutus kritisnya atau sering disebut dengan *Critical Clearing Time* (CCT), dengan tujuan sistem akan kembali stabil. Namun, apabila waktu pemutusan CB berada diatas waktu pemutus kritisnya, maka hampir dapat dipastikan bahwa generator akan kehilangan sinkronisasinya (tidak stabil).

2.9. Pemodelan Sistem untuk Analisis Stabilitas Transien

Model sistem tenaga listrik tanpa *infinite bus* didefinisikan menggunakan X_d' model generator dimana masing-masing generator diwakili oleh dua persamaan diferensial. Centre of Angle (COA) dari persamaan ayunan digunakan untuk simulasi *numerical simulation method* sebagai berikut:

$$M_i \ddot{\omega}_i = P_{mi} - P_{ei}(\theta) - \frac{M_i}{M_T} P_{COA} - D_i(\dot{\omega}_i) \quad (2.35)$$

$$\dot{\theta}_i = \dot{\omega}_i \quad (2.36)$$

Dimana:

$$M_T = \sum_{i=1}^n M_i ; \omega_0 = \frac{1}{M_T} \sum_{i=1}^n M_i \omega_i ; \delta_0 = \frac{1}{M_T} \sum_{i=1}^n M_i \delta_i ;$$

$$\theta_i = \delta_i - \delta_0 ; \dot{\omega}_i = \omega_i - \omega_0 ; P_{COA} = \sum_{i=1}^n (P_{mi} - P_{ei}(\theta)) ;$$

$$P_{ei}(\theta) = \sum_{j=i}^n Y_{ij} E_i E_j \sin(\theta_i - \theta_j + \alpha_{ij})$$

Keterangan:

- P_{mi} : Daya mekanis
- ω_i : Kecepatan sudut generator
- θ_i, δ_i : Sudut rotor generator
- M_i : Momen inersia
- D_i : Koefisien redaman
- E_i : Tegangan generator
- P_{ei} : Daya listrik
- M_T : Total momen inersia

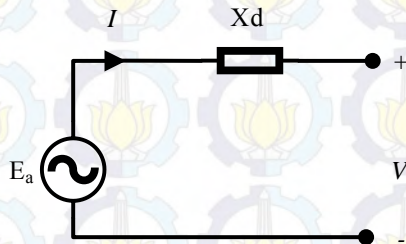
Ketika system terhubung dengan *infinite bus*, maka dimodelkan seperti pada persamaan 2.37:

$$M\dot{\omega} = P_m - P_e(\delta) \quad (2.37)$$

Keterangan:

- M_T : Momen inersia
- $\dot{\omega} = \frac{d\omega}{dt}$: Percepatan sudut
- P_m : Daya mekanis
- P_e : Daya listrik

Nilai P_m dan P_e dicari dengan memodelkan generator seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Pemodelan Generator

Dari gambar 2.5 didapat persamaan:

$$E_a = jx'_d \cdot I + V_t \quad (2.38)$$

$$I = \frac{S}{V} \quad (2.39)$$

$$S = P - jQ \quad (2.40)$$

Dengan substitusi persamaan 2.39 kedalam persamaan 2.38 didapat:

$$E_a = jx'_d \cdot \frac{S}{V} + V_t \quad (2.41)$$

Untuk daya mekanis generator didapat melalui:

$$P_m = E_a^* \cdot Y_{red_pre} \cdot E_a \quad (2.42)$$

Dan daya listrik generator didapat melalui:

$$P_e = v \cdot (Y_{red_post} \cdot v)^* \quad (2.43)$$

2.10. Metode Reduksi Kron

Metode reduksi kron digunakan dalam analisis perhitungan stabilitas transien pada sistem multimesin dikarenakan tingkat kerumitan dalam perhitungan matematis. Tujuan dari reduksi ini adalah mempermudah alur perhitungan.

Reduksi kron mereduksi matriks admitansi dikarenakan tidak adanya arus yang masuk maupun keluar pada bus tertentu sehingga bernilai nol.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \\ I_{m+n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1(m+n)} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2(m+n)} \\ Y_{n1} & Y_{nn} & \dots & Y_{n(m+n)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{(m+n)1} & Y_{(m+n)1} & \dots & Y_{(m+n)(m+n)} \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

Persamaan 2.44 dapat dengan sederhana ditulis sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} I_n \\ I_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_n & Y_m \\ Y_{nm}^t & Y_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \\ E_m \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

Dimana, n menunjukkan bus beban dan m menunjukkan bus generator. Dikarenakan tidak adanya arus yang mengalir pada bus beban, maka:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_n & Y_m \\ Y_{nm}^t & Y_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \\ E_m \end{bmatrix} \quad (2.46)$$

Dari persamaan 2.36 didapat:

$$Y_n V_n + Y_{nm} E_m = 0 \quad (2.47)$$

$$V_n = -\left(\frac{Y_{nm} E_m}{Y_n}\right) = -(Y_n^{-1} Y_{nm} E_m) \quad (2.48)$$

$$Y_{nm}^t V_n + Y_{mm} E_m = I_m \quad (2.49)$$

Dengan substitusi persamaan 2.38 kedalam persamaan 2.39, didapat:

$$I_m = Y_{nm}^t (-Y_n^{-1} Y_{nm} E_m) + Y_{mm} E_m \quad (2.50)$$

$$I_m = (-Y_{nm}^t Y_n^{-1} Y_{nm} E_m) + Y_{mm} E_m \quad (2.51)$$

$$Y_{reduksi} = Y_{mm} - Y_{nm}^t Y_n^{-1} Y_{nm} \quad (2.52)$$

$$I_m = Y_{reduksi} E_m \quad (2.53)$$

Dengan penyederhanaan diatas, akan mempermudah perhitungan dan analisis stabilitas transien pada sistem.

2.11. Metode Runge-kutta Orde 4

Metode runge-kutta memperkirakan penyelesaian dari deret taylor, namun penyelesaian tersebut tidak seperti deret taylor yang sesungguhnya. Metode runge-kutta tidak membutuhkan evaluasi eksplisit dari turunan yang lebih tinggi dari sebelumnya. Efek dari adanya turunan

yang lebih tinggi adalah dimasukkannya beberapa evaluasi dari turunan pertama.

Dalam metode runge-kutta orde 4, dimana nilai X diperoleh ketika $t = t_0 + \Delta t$ secara umum memiliki persamaan sebagai berikut :

$$x_{n+1} = x_n + \frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (2.54)$$

Dimana:

$$k_1 = f(x_n, t_n) \Delta t \quad (2.55)$$

$$k_2 = f\left(x_n + \frac{k_1}{2}, t_n + \frac{\Delta t}{2}\right) \Delta t \quad (2.56)$$

$$k_3 = f\left(x_n + \frac{k_2}{2}, t_n + \frac{\Delta t}{2}\right) \Delta t \quad (2.57)$$

$$k_4 = f(x_n + k_3, t_n + \Delta t) \Delta t \quad (2.58)$$

Keterangan:

k_1 = (lengkungan pada saat awal time step)* Δt

k_2 = (pendekatan pertama pada lengkungan saat pertengahan step)* Δt

k_3 = (pendekatan kedua pada lengkungan saat pertengahan step)* Δt

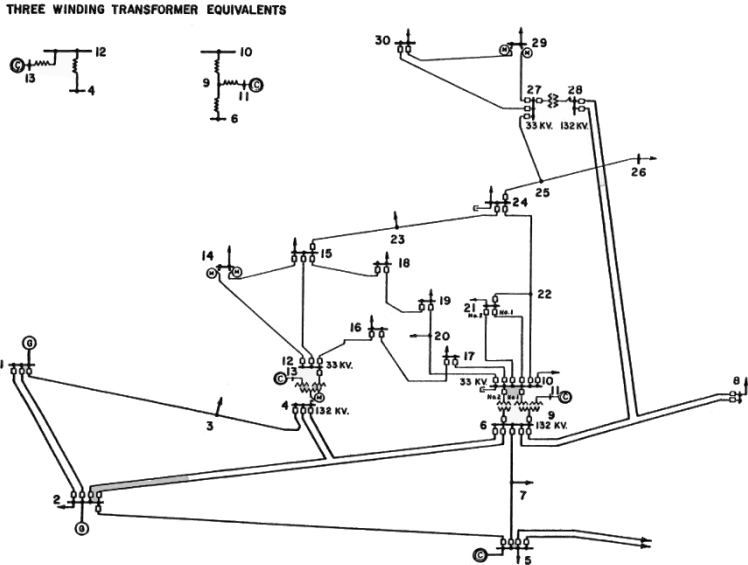
k_4 = (lengkungan pada saat akhir time step)* Δt

BAB 3

PERANCANGAN SISTEM ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN TEGANGAN

3.1. Sistem Kelistrikan IEEE 30 Bus

Sistem kelistrikan yang akan digunakan dalam simulasi analisis stabilitas transien dan tegangan adalah sistem kelistrikan IEEE 30 Bus



Gambar 3.1 Sistem kelistrikan IEEE 30 Bus

Single line diagram sistem tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 3.1. Data bus dan generator untuk sistem IEEE 30 bus ditunjukkan pada tabel 3.1 dan 3.2, sedangkan untuk data saluran terdapat pada tabel 3.3

Tabel 3.1 Data bus sistem IEEE 30 Bus

No. Bus	Tegangan		Beban		Generator				Injected MVAR
	Besar	Θ	MW	MVAR	MW	MVAR	Qmin	Qmax	
1	1.060	0	0	0	0	0	-50	50	0
2	1.043	0	21.7	12.7	50	0	-50	50	0
3	1.000	0	2.4	1.2	0	0	0	0	0
4	1.010	0	7.6	1.6	0	0	0	0	0
5	1.010	0	94.2	19	50	0	-50	50	0

Lanjutan Tabel 3.1 Data Bus Sistem IEEE 30 Bus

No. Bus	Tegangan		Beban		Generator				Injected MVAR
	Besar	Θ	MW	MVAR	MW	MVAR	Qmin	Qmax	
6	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1.000	0	22.8	10.9	0	0	0	0	0
8	1.010	0	30	30	50	0	-40	40	0
9	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1.000	0	5.8	2	0	0	0	0	0.190
11	1.050	0	0	0	20	0	-30	30	0
12	1.000	0	11.2	7.5	0	0	0	0	0
13	1.050	0	0	0	20	0	-30	30	0
14	1.000	0	12.4	1.6	0	0	0	0	0
15	1.000	0	8.2	2.5	0	0	0	0	0
16	1.000	0	3.5	1.8	0	0	0	0	0
17	1.000	0	9	5.8	0	0	0	0	0
18	1.000	0	3.2	0.9	0	0	0	0	0
19	1.000	0	9.5	3.4	0	0	0	0	0
20	1.000	0	2.2	0.7	0	0	0	0	0
21	1.000	0	17.5	11.2	0	0	0	0	0
22	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0
23	1.000	0	3.2	1.6	0	0	0	0	0
24	1.000	0	8.7	6.7	0	0	0	0	0.043
25	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0
26	1.000	0	3.5	2.3	0	0	0	0	0
27	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0
28	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0
29	1.000	0	2.4	0.9	0	0	0	0	0
30	1.000	0	10.6	1.9	0	0	0	0	0

Keterangan pada tabel 3.1 Data bus sistem jaringan IEEE 30 bus:

- Kolom 1 merupakan nomor bus
- Kolom 2 berisi kode bus
Kode 1 digunakan untuk *slack bus* atau *swing bus*. Bus ini digunakan sebagai referensi dimana magnitudo dan sudut fasa tegangan sesuai dengan yang telah ditetapkan. Sedangkan kode 2 digunakan untuk generator yang berfungsi sebagai *voltage control* yang disebut juga dengan P-V bus atau *Regulated busse*. Dan kode 0 digunakan untuk bus beban dimana P dan Q ditentukan, magnitudo dan sudut fasa tegangan tidak diketahui disebut juga *load busses* atau P-Q bus.
- Kolom 3 merupakan magnitudo tegangan per unit
- Kolom 4 dan 5 adalah beban dalam MW dan MVAR
- Kolom 6 dan 7 adalah MW dan MVAR pembangkitan

- Kolom 8 dan 9 adalah minimum MVAR dan maksimum MVAR pembangkitan
- Kolom 10 adalah *injected* MVAR berupa kapasitor shunt

Tabel 3.2 Data Generator Sistem IEEE 30 Bus

Bus	H	Xd
1	50	0.324
2	9	0.232
5	9	0.232
8	6	0.174
11	6	0.174
13	6	0.174

Keterangan pada tabel 3.2 Data Generator Sistem IEEE 30 bus:

- Kolom 1 adalah bus dimana generator terhubung
- Kolom 2 adalah momen inersia generator
- Kolom 3 adalah reaktansi transien

Tabel 3.3 Data Saluran Sistem IEEE 30 Bus

From	To	R (p.u)	X (p.u)	$\frac{1}{2}$ B (p.u)	Tap Set.
1	2	0.0192	0.0575	0.0264	1
1	3	0.0452	0.1852	0.0204	1
2	4	0.0570	0.1737	0.0184	1
3	4	0.0132	0.0379	0.0042	1
2	5	0.0472	0.1983	0.2090	1
2	6	0.0581	0.1763	0.1870	1
4	6	0.0119	0.0414	0.0045	1
5	7	0.0560	0.1160	0.0102	1
6	7	0.0267	0.0820	0.0085	1
6	8	0.0120	0.0420	0.0045	1
6	9	0	0.2080	0	0.978
6	10	0	0.5560	0	0.969
9	11	0	0.2080	0	1
9	10	0	0.1100	0	1
4	12	0	0.2560	0	0.932
12	13	0	0.1400	0	1
12	14	0.1231	0.2559	0	1

Lanjutan Tabel 3.3 Data Saluran Sistem IEEE 30 Bus

From	To	R (p.u)	X (p.u)	½ B (p.u)	Tap Set.
12	15	0.0662	0.1304	0	1
12	16	0.0945	0.1987	0	1
14	15	0.2210	0.1997	0	1
16	17	0.0824	0.1923	0	1
15	18	0.1073	0.2185	0	1
18	19	0.0639	0.1292	0	1
19	20	0.0340	0.0680	0	1
10	20	0.0936	0.2090	0	1
10	17	0.0324	0.0845	0	1
10	21	0.0348	0.0749	0	1
10	22	0.0727	0.1499	0	1
21	22	0.0116	0.0236	0	1
15	23	0.1000	0.2020	0	1
22	24	0.1150	0.1790	0	1
23	24	0.1320	0.2700	0	1
24	25	0.1885	0.3292	0	1
25	26	0.2544	0.3800	0	1
25	27	0.1093	0.2087	0	1
28	27	0	0.3960	0	0.968
27	29	0.2198	0.4153	0	1
27	30	0.3202	0.6027	0	1
29	30	0.2399	0.4533	0	1
8	28	0.0636	0.2000	0.0214	1
6	28	0.0169	0.0599	0.0650	1

Keterangan pada tabel 3.3 data saluran sistem distribusi IEEE 30 bus:

- Kolom 1 menunjukkan *line bus number*
- Kolom 2 adalah nilai resistansi dalam p.u
- Kolom 3 adalah besarnya reaktansi dalam p.u
- Kolom 4 adalah $\frac{1}{2}$ dari total *line charging* dalam p.u yang ditentukan MVA bus
- Kolom 5 adalah trafo *tap setting*. Untuk *line* di set 1.

3.2. Simulasi Stabilitas Transien

Stabilitas transien pada sistem uji diinvestigasi dengan diberikannya gangguan hubung-singkat 3 fasa ke tanah pada beberapa saluran antar bus. Secara detail, 10 titik kemungkinan gangguan disimulasikan. Detail bus terdapat pada tabel 3.1.

Dalam pengerjaan stabilitas transien pada sistem transmisi, 3 indikator stabilitas transien akan diamati:

- Perbedaan Sudut Rotor
- Kecepatan Sudut Rotor
- Pemutusan waktu krisis (*Critical Clearing Time*)

Detail dari beberapa indikator tersebut dapat ditemukan pada bab 2

Tabel 3.1 Bus Titik Gangguan dan Bus yang Terbuka Akibat Gangguan

Kasus	Lokasi Gangguan	Bus Terbuka
A	Diantara bus 1-2	1-2
B	Diantara bus 1-4	1-4
C	Diantara bus 2-4	2-4
D	Diantara bus 2-5	2-5
E	Diantara bus 2-6	2-6
F	Diantara bus 5-7	5-7
G	Diantara bus 8-6	8-6
H	Diantara bus 8-28	8-28
I	Diantara bus 11-9	11-9
J	Diantara bus 13-12	13-12

3.2.1. Kondisi Sistem Pengujian

Sistem uji dalam simulasi dan analisis stabilitas transien, dimana menggunakan sistem multi mesin IEEE 30 bus, terdapat dalam kondisi dengan kriteria sebagai berikut:

1. Sistem tidak terhubung kedalam *infinite bus*.
2. Pengaruh dari governor diabaikan dan daya input dianggap konstan selama periode simulasi.
3. *Damping* atau daya asinkron diabaikan.

3.2.1. Skenario Simulasi Stabilitas Transien

Pada bagian ini, dampak dari tingkat pembangkitan DG (Distributed Generation) terhadap stabilitas transien sistem akan diinvestigasi. Untuk tujuan tersebut, 2 buah skenario analisis dibentuk. Pada skenario pertama, dilakukan analisis stabilitas transien dengan tingkat pembangkitan DG sebesar 0%. Skenario kedua, DG memberikan supply pembangkitan untuk menangani sebagian beban. Hasilnya, total nilai pembangkitan pada pembangkit pusat berkurang.

Tingkat pembangkitan DG didefinisikan sebagai berikut:

$$\%DG_{tingkat\ pembangkitan} = \frac{P_{DG}}{P_{DG} + P_{CG}} \times 100, \quad (3.1)$$

Dengan P_{DG} dan P_{CG} masing-masing merupakan total daya aktif yang dibangkitkan oleh DG dan Pembangkit Pusat.

Detail dari skenario diatas adalah sebagai berikut:

Skenario 1:

- Sistem berada dalam kondisi tingkat pembangkitan DG sebesar 0% dianalisa, kemudian dijadikan sebagai kasus dasar untuk skenario selanjutnya.

Skenario II:

- Sistem berada dalam kondisi dilakukannya penambahan tingkat pembangkitan DG dengan tujuan sebagian beban sistem akan ditangani. Penanganan sebagian beban sistem dilakukan dengan memasang DG terhadap setiap bus beban melalui impedansi sebesar $j0.05$ (representasi dari $X_T + X_L$ pada gambar dengan R_L diabaikan) dalam sistem dengan base 100 MVA. Tingkat pembangkitan DG dinaikan dari 3%, 10%, dan 30% terhadap besarnya pembangkitan total yang dibutuhkan sistem. Bersamaan dengan naiknya tingkat pembangkitan DG, maka tingkat pembangkitan daya aktif dari Pembangkit Pusat akan dikurangi dengan nilai yang sama.

3.2.2. Prosedur Simulasi dan Analisis Stabilitas Transien

Dalam melakukan analisis stabilitas transien, berikut adalah prosedur yang akan dilakukan :

1. Persiapan semua data sistem uji yang dibutuhkan.
2. Dilakukan perhitungan aliran daya dengan menggunakan metode newton-raphson.
3. Ditentukan kasus yang akan diuji serta penentuan titik gangguan.
4. Dilakukan reduksi matriks ybus dengan menggunakan metode reduksi kron.
5. Mencari besarnya tegangan dan daya generator pada saat sebelum, saat, dan sesudah terjadinya gangguan.
6. Hasil dari tahap 5 akan dikonversi menjadi model *state variable* dengan menggunakan metode runge kutta orde 4.

3.3. Simulasi Stabilitas Tegangan

Stabilitas transien pada sistem uji diinvestigasi dengan melihat kurva P-V pada beberapa bus beban dan mengamati nilai transfer daya aktif maksimum sebelum nilai tegangan jatuh.

Dalam pengerjaan stabilitas tegangan pada sistem transmisi, 3 indikator stabilitas tegangan akan diamati:

- Tegangan bus saat transfer daya maksimum
- Nilai daya beban maksimum sebelum nilai tegangan bus jatuh
- Besarnya nilai perubahan tegangan terhadap perubahan daya beban

Detail dari kurva P-V dapat ditemukan pada bab 2

3.3.1. Skenario Simulasi Stabilitas Tegangan

Pada bagian ini, dampak dari tingkat pembangkitan DG (Distributed Generation) terhadap stabilitas tegangan sistem akan diinvestigasi. Stabilitas tegangan dapat dilihat dari kurva P-V yang terbentuk akibat adanya penambahan beban terhadap besarnya tegangan bus yang sensitif. Untuk tujuan tersebut, 2 buah skenario analisis dibentuk. Pada skenario pertama, dilakukan analisis stabilitas tegangan dengan tingkat pembangkitan DG sebesar 0%. Skenario kedua, DG memberikan supply pembangkitan untuk menangani sebagian beban. Hasilnya, total nilai pembangkitan pada pembangkit pusat berkurang.

Detail dari skenario diatas adalah sebagai berikut:

Skenario 1:

- Aliran daya sistem yang berada dalam kondisi tingkat pembangkitan DG sebesar 0% dianalisa menggunakan metode newton-raphson.
- Dilakukan peningkatan beban secara konstan hingga perhitungan aliran daya tidak konvergen. Tujuannya adalah mencari bus dengan sensitivitas tegangan yang tinggi, kemudian dijadikan sebagai kasus dasar untuk skenario selanjutnya.

Skenario II:

- Sistem berada dalam kondisi dilakukannya penambahan tingkat pembangkitan DG dengan tujuan sebagian beban sistem akan ditangani. Penanganan sebagian beban sistem dilakukan dengan memasang DG terhadap setiap bus beban melalui impedansi sebesar $j0.05$ (representasi dari $X_T + X_L$ pada gambar dengan R_L diabaikan) dalam sistem dengan base 100 MVA. Tingkat

pembangkitan DG dinaikan dari 3%, 10%, dan 30% terhadap besarnya pembangkitan total yang dibutuhkan sistem. Bersamaan dengan naiknya tingkat pembangkitan DG, maka tingkat pembangkitan daya aktif dari Pembangkit Pusat akan dikurangi dengan nilai yang sama.

- Aliran daya sistem dianalisa menggunakan metode newton-raphson.
- Dilakukan peningkatan beban secara konstan hingga perhitungan aliran daya tidak konvergen.
- Menganalisa perbedaan besarnya tegangan pada bus sensitif terhadap besarnya tegangan pada bus sensitif yang telah ditemukan pada skenario pertama.

3.2.2. Prosedur Simulasi dan Analisis Stabilitas Tegangan

Dalam melakukan analisis stabilitas tegangan, berikut adalah prosedur yang akan dilakukan :

1. Persiapan semua data sistem uji yang dibutuhkan.
2. Tentukan besarnya power faktor yang diinginkan.
3. Pilih salah satu kandidat bus untuk dilakukan pengujian.
4. Dilakukan perhitungan aliran daya dengan menggunakan metode newton-raphson.
5. Simpan data daya aktif beban dan besarnya tegangan pada bus tersebut.
6. Tambahkan daya aktif beban pada bus tersebut sebesar 0.1 dari daya beban sebelumnya. ($P = P + 0.1P$)
7. Lakukan tahap 4 s/d 6 hingga aliran daya tidak lagi konvergen.
8. Saat aliran daya tidak lagi konvergen, kurangi daya aktif beban pada bus tersebut sebesar 0.1 dari daya beban sebelumnya. ($P = P - 0.1P$)
9. Kurangi penambahan daya aktif beban menjadi sebesar 0.01 dari daya beban sebelumnya. ($P = P + 0.01P$)
10. Lakukan tahap 4 dan 5 serta 9 hingga aliran daya tidak lagi konvergen.
11. Plot kurva P-V
12. Hitung margin $\Delta P = \text{Daya beban maksimum} - \text{Daya beban awal}$
13. Hitung nilai perubahan tegangan pada saat daya beban maksimum dengan daya beban awal.

BAB 4 HASIL DAN ANALISA

4.1. Daya keluaran pada sistem IEEE 30 Bus

Aliran daya pada sistem IEEE 30 bus didapat dengan menggunakan metode newton raphson. Daya keluaran generator dan tanpa menggunakan DG ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Tegangan dan daya keluaran dari masing-masing bus

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method Maximum Power Mismatch = 3.95447e-008 No. of Iterations = 10							
No. Bus	Tegangan		Beban		Generator		Injected MVAR
	Besar	Sudut	MW	MVAR	MW	MVAR	
1	1.050	0.000	0	0	104.525	11.368	0
2	1.035	-1.984	21.7	12.7	50	18.852	0
3	1.017	-3.433	2.4	1.2	0	0	0
4	1.009	-4.085	7.6	1.6	0	0	0
5	1.010	-6.337	94.2	19	50	23.362	0
6	1.009	-4.609	0	0	0	0	0
7	1.001	-5.849	22.8	10.9	0	0	0
8	1.010	-4.282	30	30	50	26.621	0
9	1.025	-6.131	0	0	0	0	0
10	1.010	-8.170	5.800	2.000	0	0	0.190
11	1.050	-3.916	0	0	20.000	12.927	0
12	1.037	-7.898	11.200	7.500	0	0	0
13	1.050	-6.424	0	0	20.000	10.223	0
14	1.014	-9.271	12.4	1.6	0	0	0
15	1.012	-8.944	8.2	2.5	0	0	0
16	1.018	-8.293	3.5	1.8	0	0	0
17	1.007	-8.425	9	5.8	0	0	0
18	0.999	-9.408	3.2	0.9	0	0	0
19	0.994	-9.481	9.5	3.4	0	0	0
20	0.998	-9.212	2.2	0.7	0	0	0
21	0.998	-8.672	17.5	11.2	0	0	0
22	0.987	-8.666	0	0	0	0	0

No. Bus	Tegangan		Beban		Generator		Injected MVAR
	Besar	Sudut	MW	MVAR	MW	MVAR	
23	0.998	-9.206	3.2	1.6	0	0	0
24	0.987	-9.189	8.7	6.7	0	0	0.043
25	0.995	-9.171	0	0	0	0	0
26	0.977	-9.611	3.5	2.3	0	0	0
27	1.008	-8.876	0	0	0	0	0
28	1.006	-4.998	0	0	0	0	0
29	0.988	-10.144	2.4	0.9	0	0	0
30	0.976	-11.055	10.6	1.9	0	0	0
Total			289.6	126.2	294.5	103.3	0.233

Sebelum pemasangan DG, daya total pada beban sebesar 289,6 MW dan 126,2 MVAR sepenuhnya ditanggung oleh 6 generator pusat dengan pembangkitan total sebesar 294,525 MW dan 103,354 MVAR.

4.2. Hasil simulasi stabilitas transien sistem

Pada bagian ini akan diperlihatkan kondisi stabilitas transien dari sistem dengan melihat pada 3 kondisi seperti yang telah dijelaskan pada bab 3.

4.2.1. Parameter Awal

Berikut merupakan parameter awal yang diperlukan dalam melakukan perhitungan transien:

Tabel 4.2 Parameter awal analisis stabilitas transien dengan tingkat pembangkitan DG 0%

Tingkat Pembangkitan DG 0%			
Gen Bus	E (p.u)	d0 (degree)	Pm (p.u)
1	1.1320	16.554	1.1842
2	1.0507	1.477	0.5400
3	1.0146	-3.742	0.1980
4	1.0068	-4.830	0.2546
5	1.0204	-10.617	0.1417
6	1.0086	-4.609	0.3927

Tabel 4.3 Parameter awal analisis stabilitas transien dengan tingkat pembangkitan DG 3%

Tingkat Pembangkitan DG 3%			
Gen Bus	E (p.u)	d0 (degree)	Pm (p.u)
1	1.1426	13.6321	1.0407
2	1.0749	1.7675	0.5608
3	1.0237	-3.1058	0.2116
4	1.0158	-4.0506	0.2758
5	1.0044	-9.7029	0.1536
6	1.0147	-3.7195	0.4194

Tabel 4.4 Parameter awal analisis stabilitas transien dengan tingkat pembangkitan DG 0%

Tingkat Pembangkitan DG 10%			
Gen Bus	E (p.u)	d0 (degree)	Pm (p.u)
1	1.0731	11.3113	0.8551
2	1.1199	1.8933	0.6021
3	1.0186	-2.6017	0.2344
4	1.0117	-3.4441	0.3115
5	1.0029	-8,8279	0.2015
6	1.0120	-3.0135	0.4609

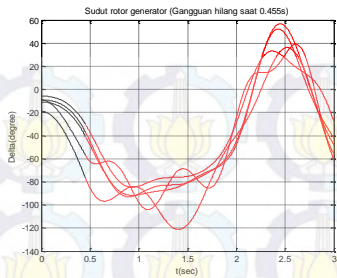
Tabel 4.5 Parameter awal analisis stabilitas transien dengan tingkat pembangkitan DG 0%

Tingkat Pembangkitan DG 30%			
Gen Bus	E (p.u)	d0 (degree)	Pm (p.u)
1	1.1117	-0.2028	0.2495
2	1.1020	3.5493	0.6928
3	1.0204	-0.4038	0.3170
4	1.0145	-0.7782	0.4398
5	0.9909	-5.2684	0.3456
6	1.0145	0.1309	0.6163

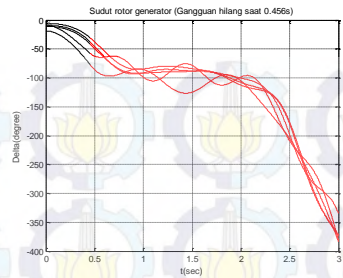
4.2.2. Hasil simulasi dengan tingkat pembangkitan DG sebesar 0%

4.2.2.1. Gangguan Pada Kasus A

Simulasi pada kasus A menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,455-0,456, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,455 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,456 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus A dapat dilihat sebagai berikut:

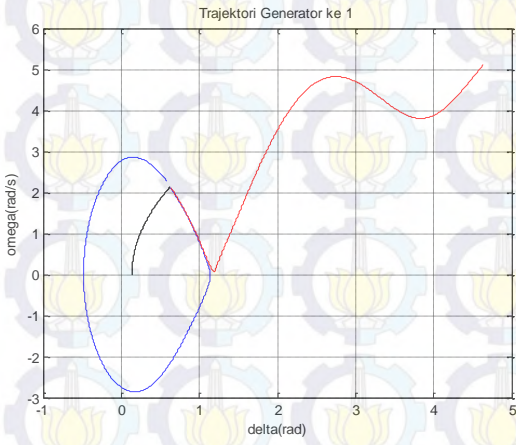


(a)

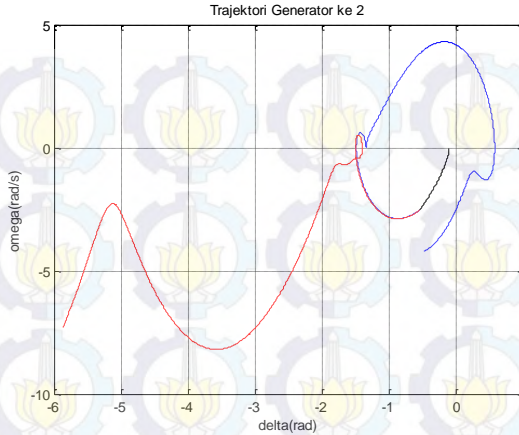


(b)

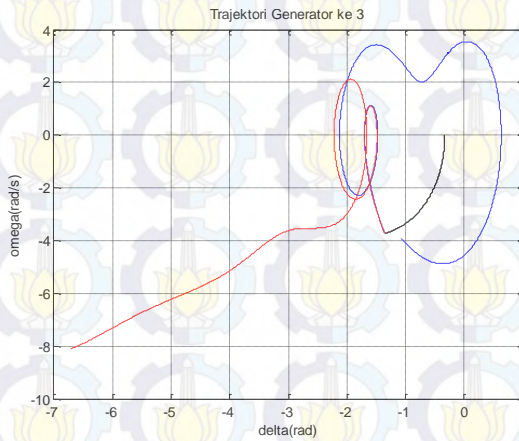
Gambar 4.1 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,455 detik (b) 0,456 detik



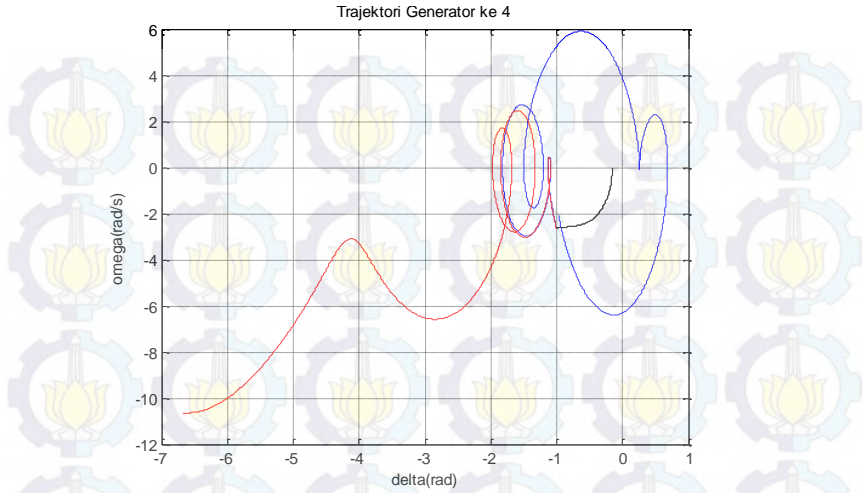
Gambar 4.2 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,455 detik (merah) 0,456 detik



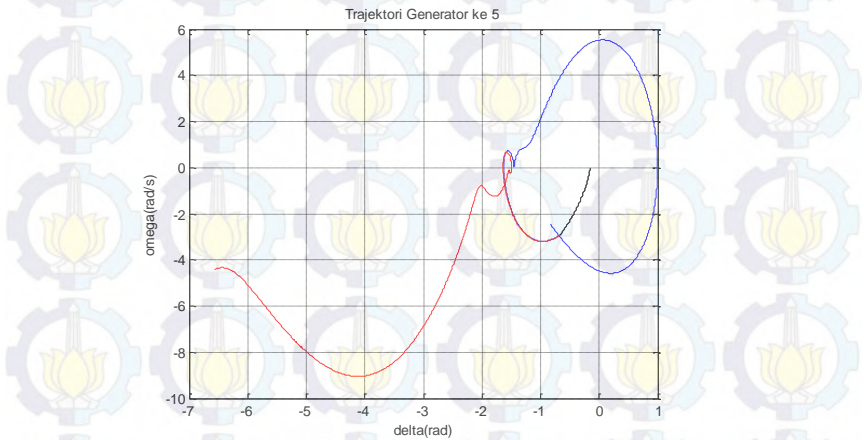
Gambar 4.3 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,455 detik (merah) 0,456 detik



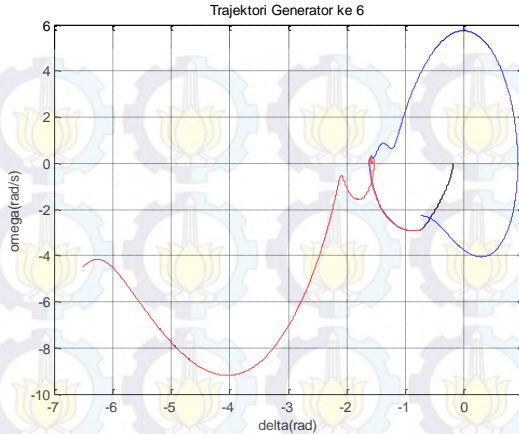
Gambar 4.4 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,455 detik (merah) 0,456 detik



Gambar 4.5 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,455 detik (merah) 0,456 detik



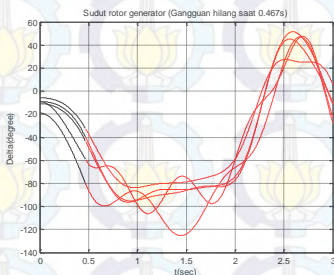
Gambar 4.6 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,455 detik (merah) 0,456 detik



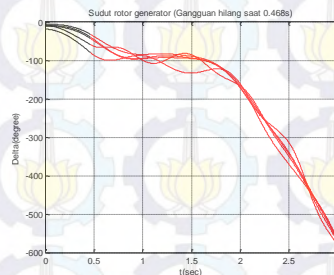
Gambar 4.7 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,455 detik (merah) 0,456 detik

4.2.2.2. Gangguan Pada Kasus B

Simulasi pada kasus B menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,467-0,468, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,467 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,468 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus B dapat dilihat sebagai berikut:

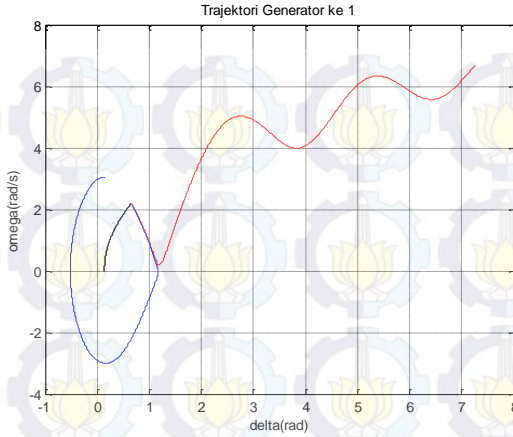


(a)

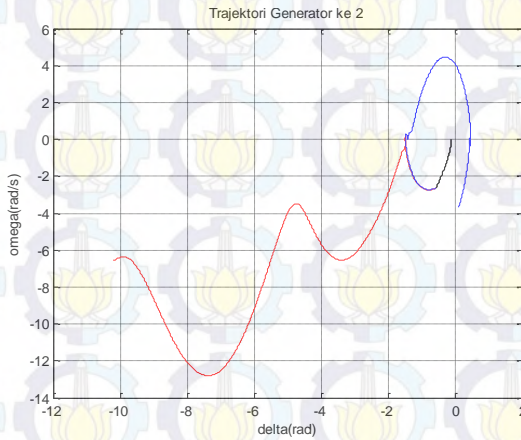


(b)

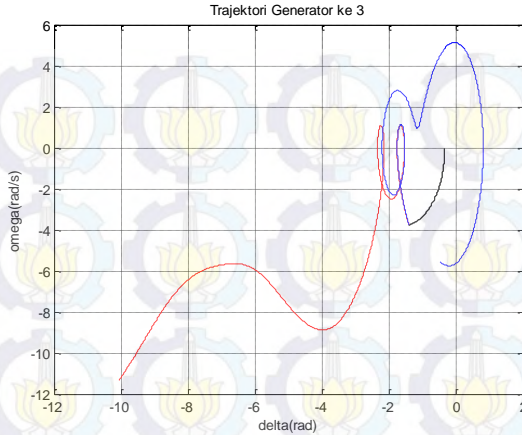
Gambar 4.7 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,467 detik (b) 0,468 detik



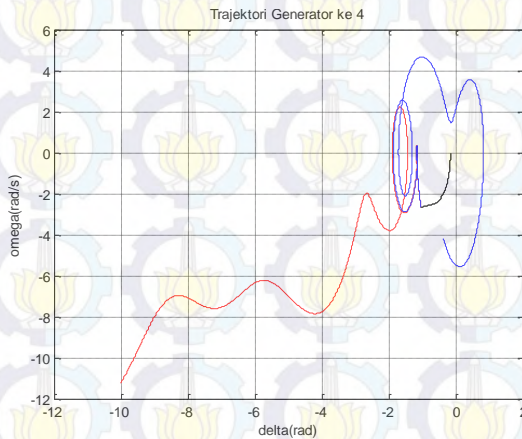
Gambar 4.8 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,467 detik (merah) 0,468 detik



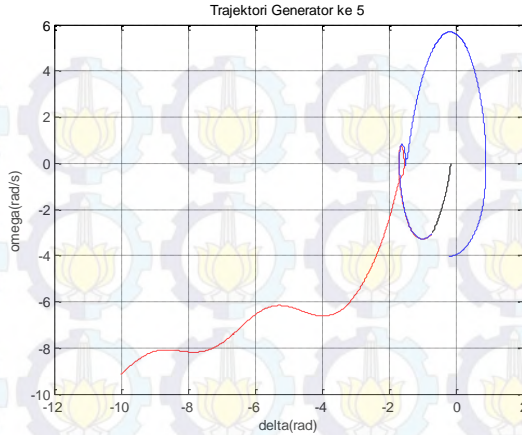
Gambar 4.9 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,467 detik (merah) 0,468 detik



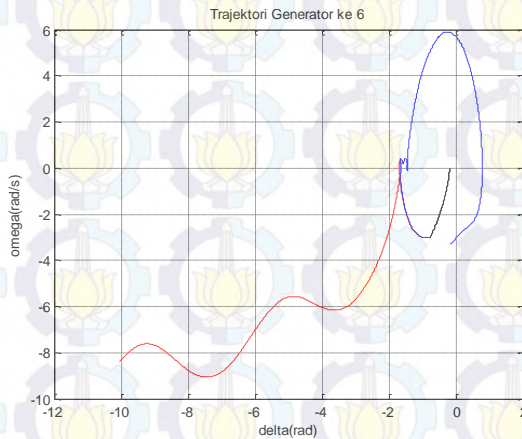
Gambar 4.10 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,467 detik (merah) 0,468 detik



Gambar 4.11 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,467 detik (merah) 0,468 detik



Gambar 4.12 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,467 detik (merah) 0,468 detik

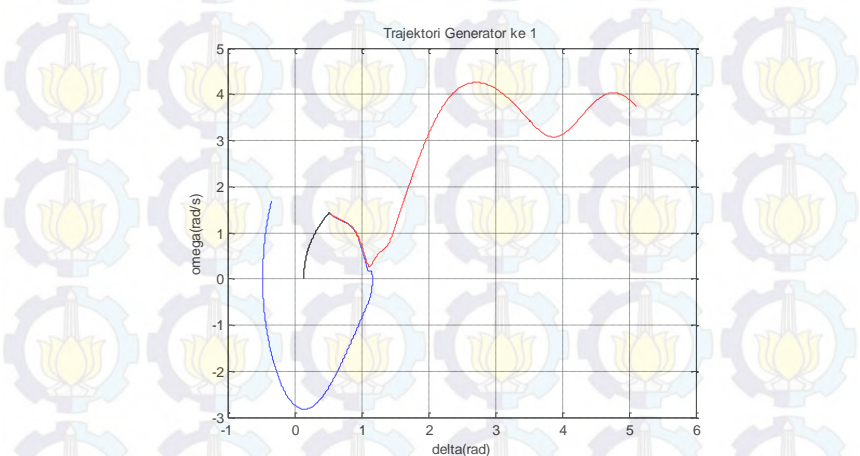
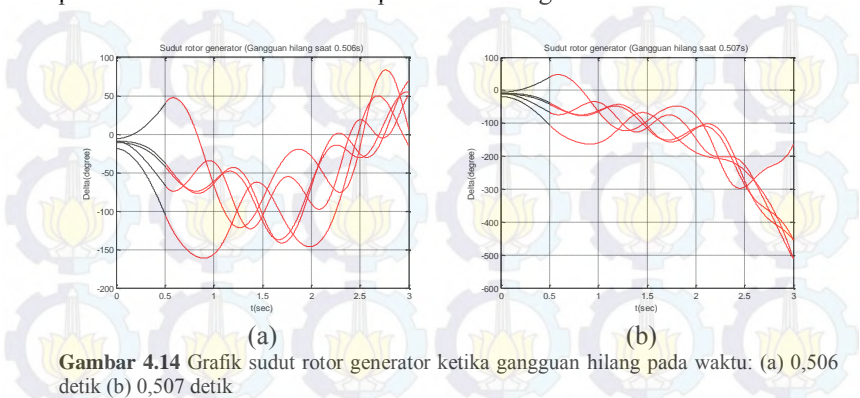


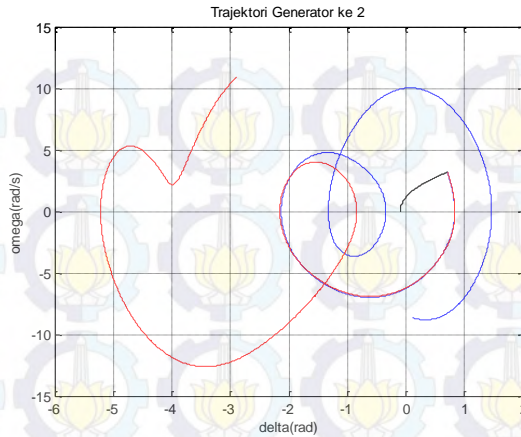
Gambar 4.13 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,467 detik (merah) 0,468 detik

4.2.2.3. Gangguan Pada Kasus C

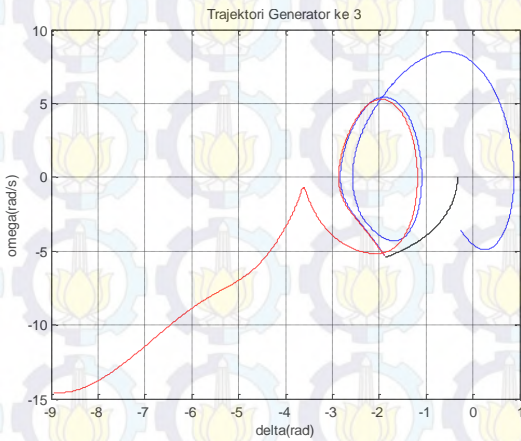
Simulasi pada kasus C menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,506-0,507, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0.506 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0.507 mengakibatkan

sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus C dapat dilihat sebagai berikut:

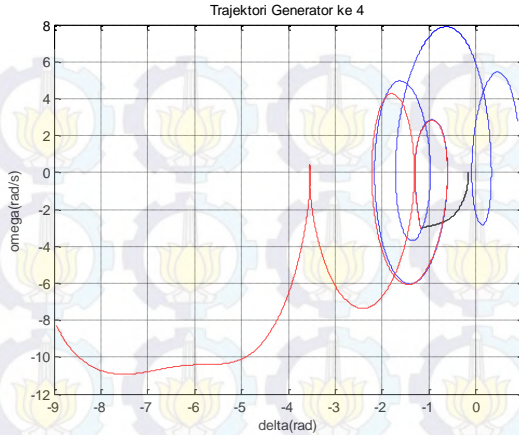




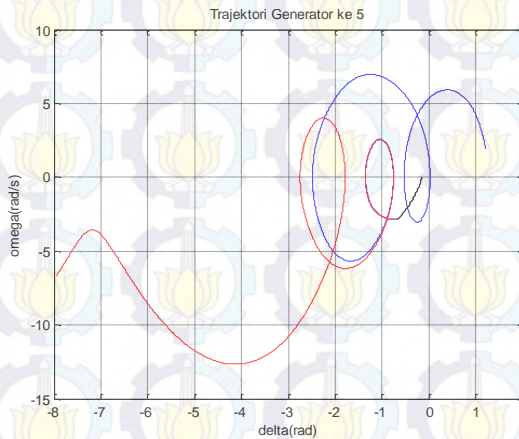
Gambar 4.16 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,506 detik (merah) 0,507 detik



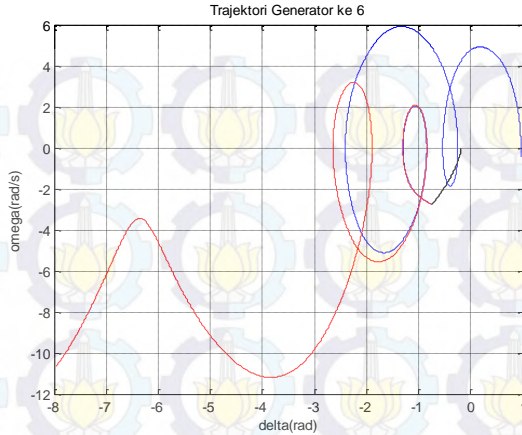
Gambar 4.17 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,506 detik (merah) 0,507 detik



Gambar 4.18 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,506 detik (merah) 0,507 detik



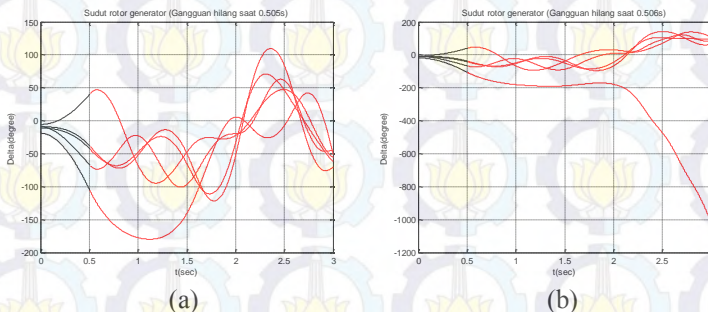
Gambar 4.19 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,506 detik (merah) 0,507 detik



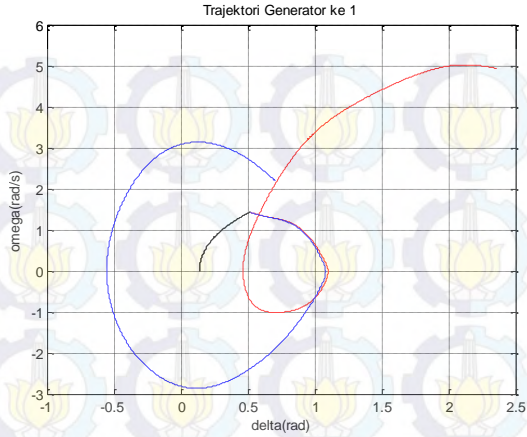
Gambar 4.20 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,506 detik (merah) 0,507 detik

4.2.2.4. Gangguan Pada Kasus D

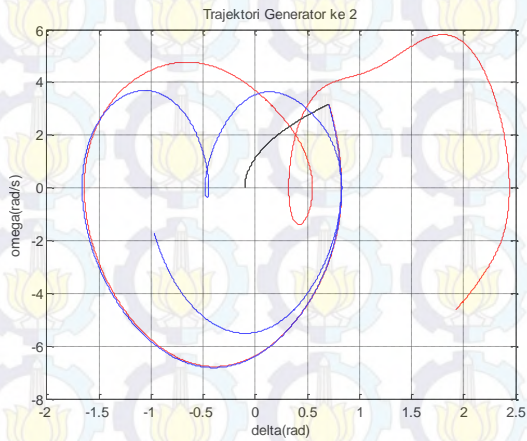
Simulasi pada kasus D menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,505-0,506, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0.505 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0.506 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus D dapat dilihat sebagai berikut:



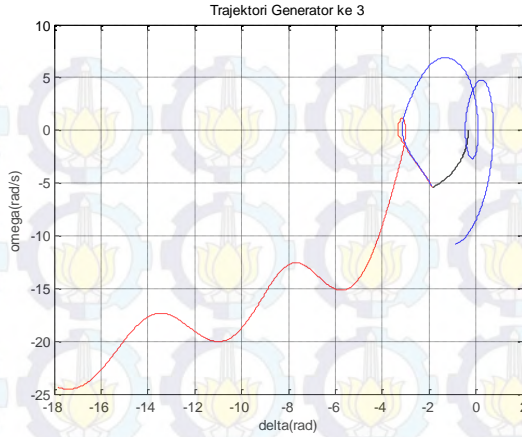
Gambar 4.21 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,505 detik (b) 0,506 detik



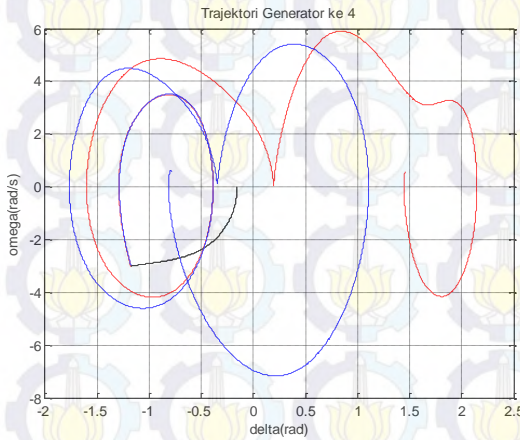
Gambar 4.22 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,505 detik (merah) 0,506 detik



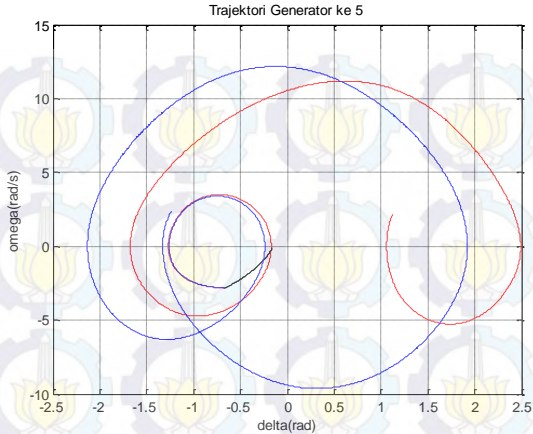
Gambar 4.23 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,505 detik (merah) 0,506 detik



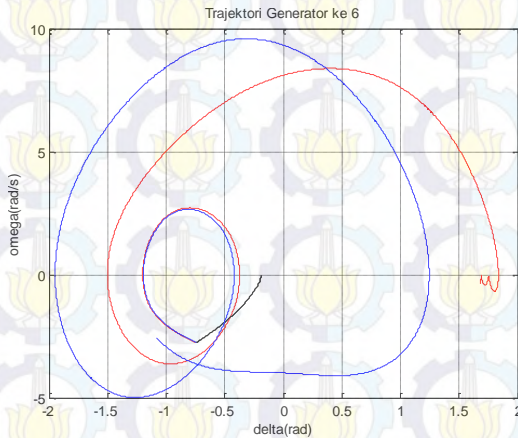
Gambar 4.24 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,505 detik (merah) 0,506 detik



Gambar 4.25 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,505 detik (merah) 0,506 detik



Gambar 4.26 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,505 detik (merah) 0,506 detik

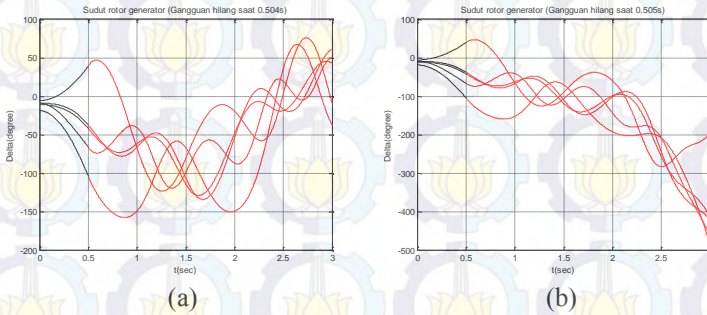


Gambar 4.27 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,505 detik (merah) 0,506 detik

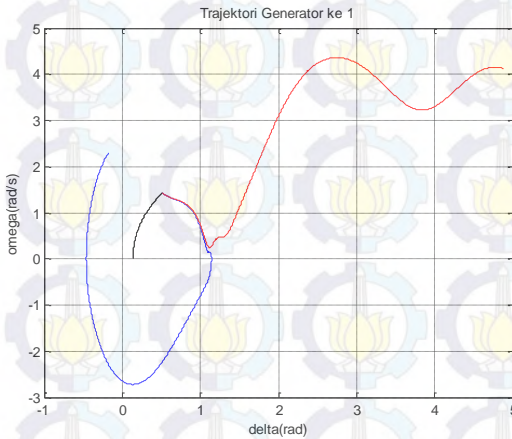
4.2.2.5. Gangguan Pada Kasus E

Simulasi pada kasus E menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,504-0,505, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0.504 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0.505 mengakibatkan

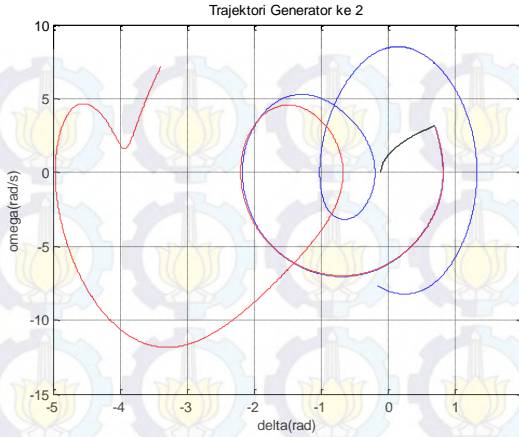
sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus E dapat dilihat sebagai berikut:



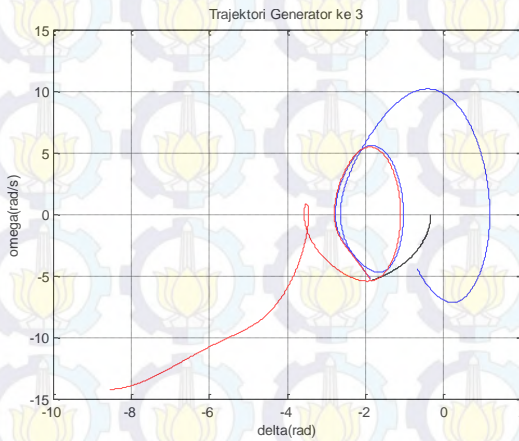
Gambar 4.28 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,504 detik (b) 0,505 detik



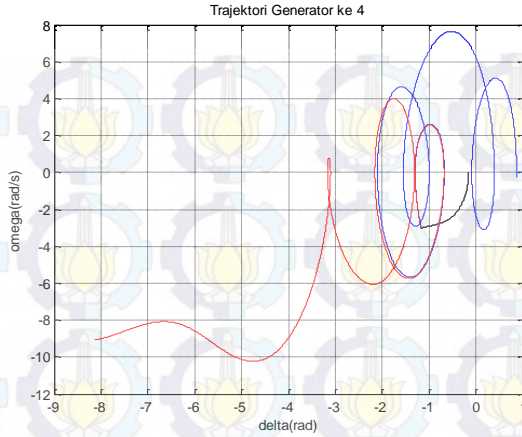
Gambar 4.29 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,504 detik (merah) 0,505 detik



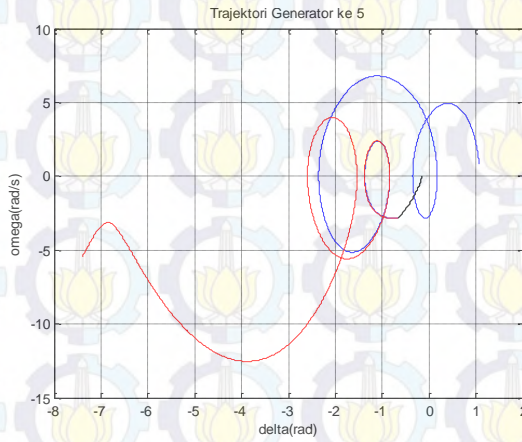
Gambar 4.30 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,504 detik (merah) 0,505 detik



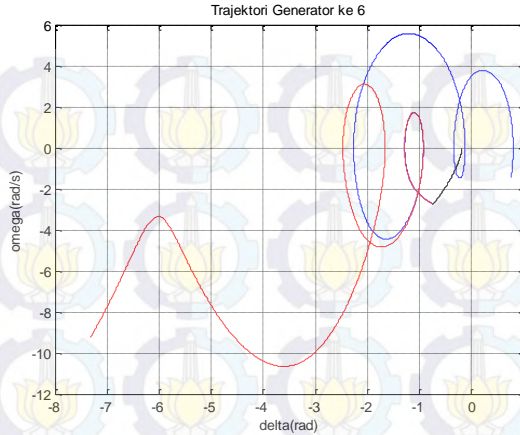
Gambar 4.31 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,504 detik (merah) 0,505 detik



Gambar 4.32 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,504 detik (merah) 0,505 detik



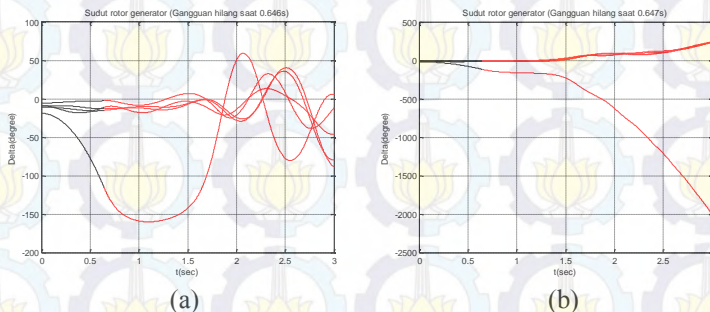
Gambar 4.33 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,504 detik (merah) 0,505 detik



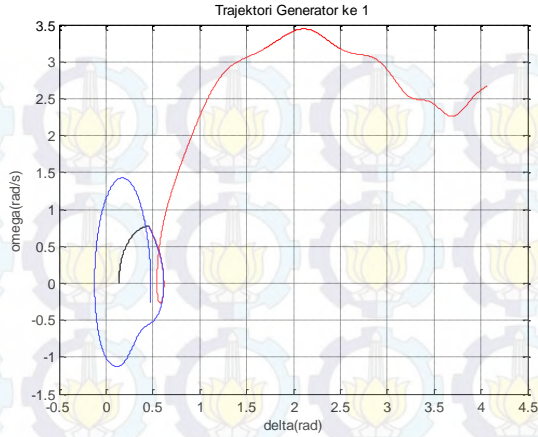
Gambar 4.34 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,504 detik (merah) 0,505 detik

4.2.2.6. Gangguan Pada Kasus F

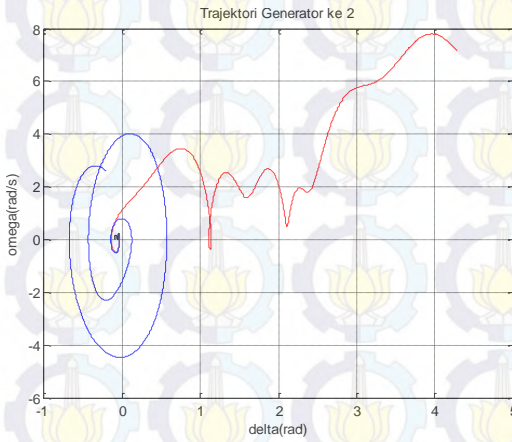
Simulasi pada kasus F menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,646-0,647, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0.646 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0.647 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus F dapat dilihat sebagai berikut:



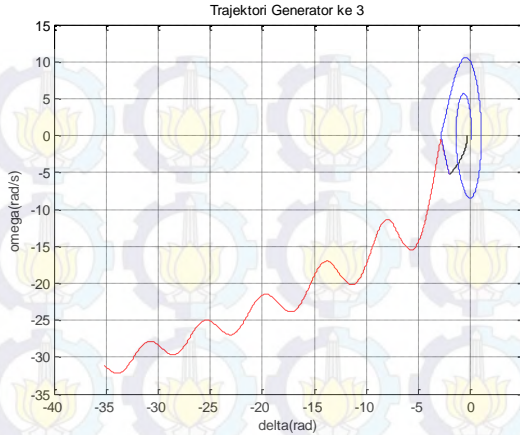
Gambar 4.35 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,646 detik (b) 0,647 detik



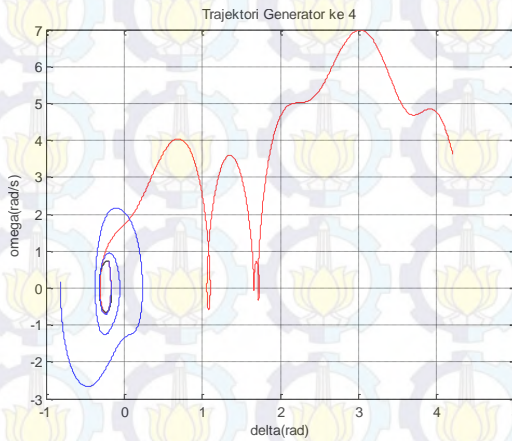
Gambar 4.36 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,646 detik (merah) 0,647 detik



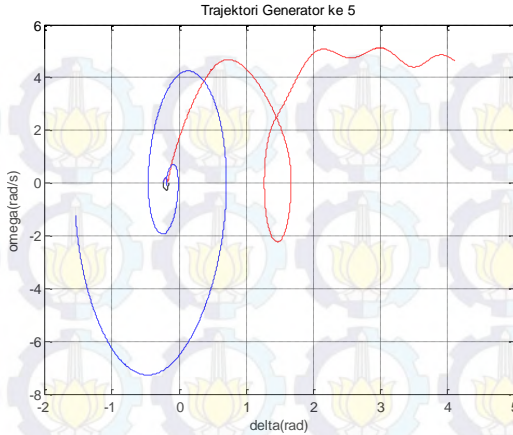
Gambar 4.37 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,646 detik (merah) 0,647 detik



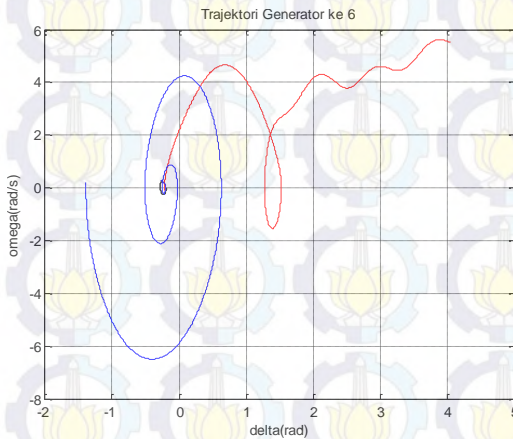
Gambar 4.38 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,646 detik (merah) 0,647 detik



Gambar 4.39 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,646 detik (merah) 0,647 detik



Gambar 4.40 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,646 detik (merah) 0,647 detik

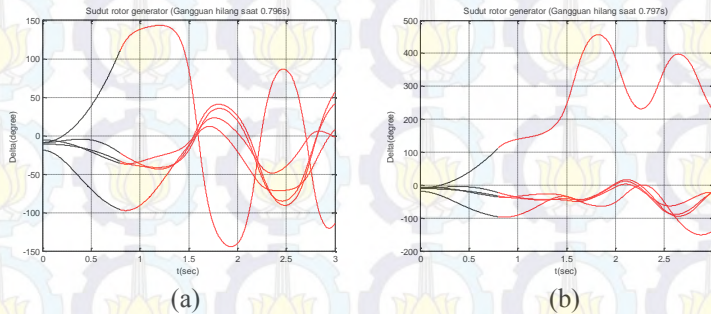


Gambar 4.41 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,646 detik (merah) 0,647 detik

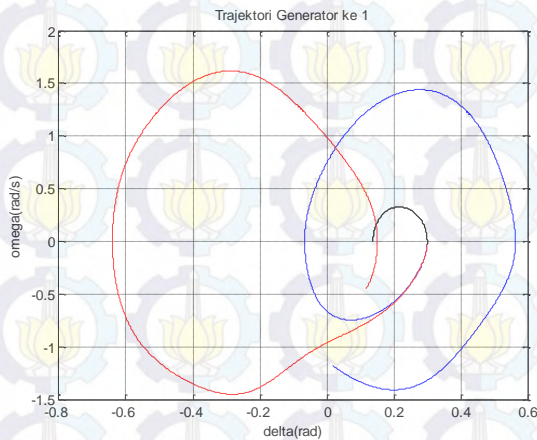
4.2.2.7. Gangguan Pada Kasus G

Simulasi pada kasus G menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,796-0,797, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0.796 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0.797 mengakibatkan

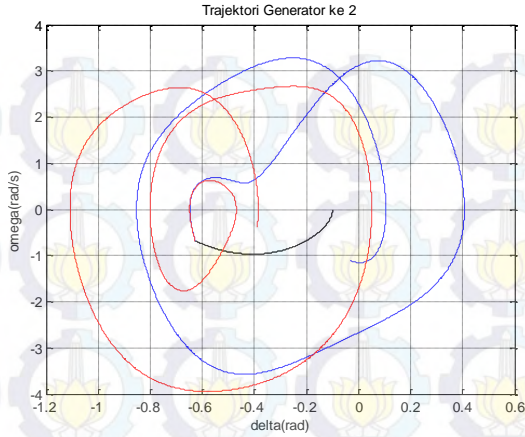
sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus G dapat dilihat sebagai berikut:



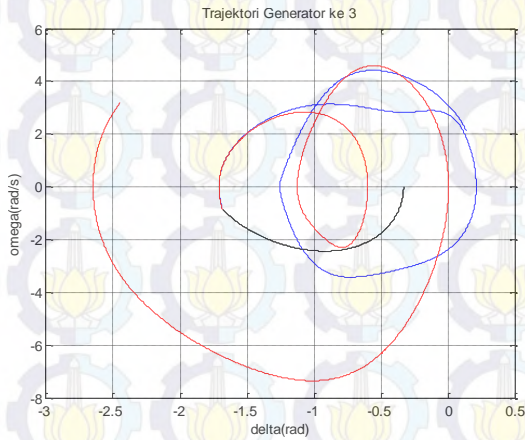
Gambar 4.42 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,797 detik (b) 0,798 detik



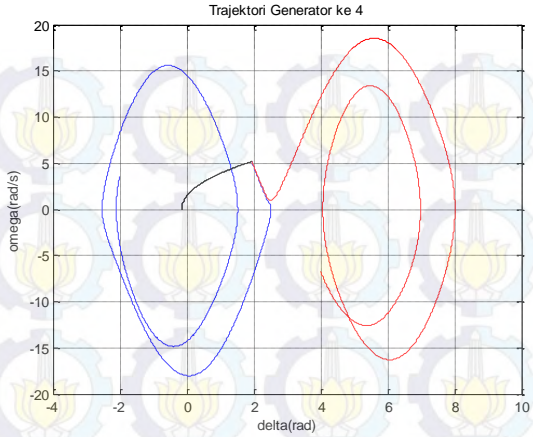
Gambar 4.43 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,797 detik (merah) 0,798 detik



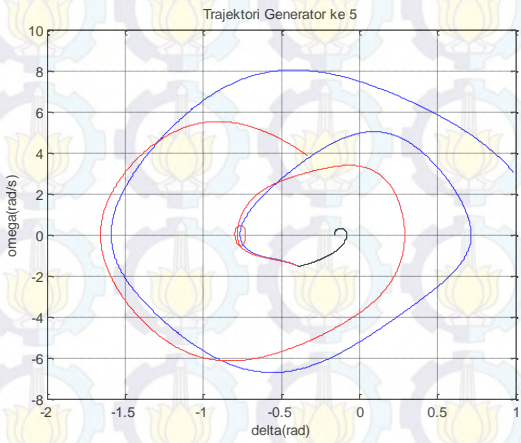
Gambar 4.44 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,797 detik (merah) 0,798 detik



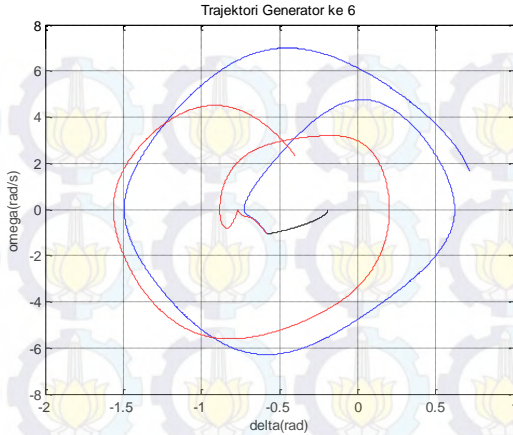
Gambar 4.45 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,797 detik (merah) 0,798 detik



Gambar 4.46 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,797 detik (merah) 0,798 detik



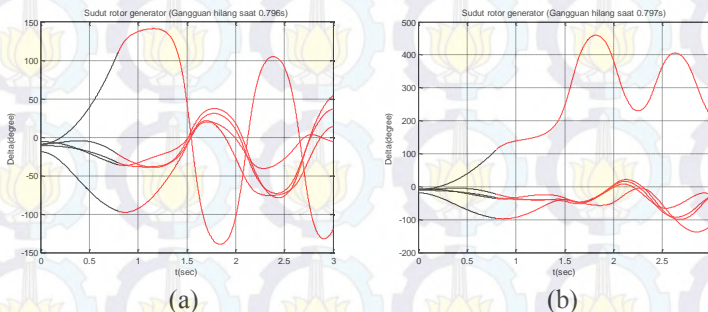
Gambar 4.47 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,797 detik (merah) 0,798 detik



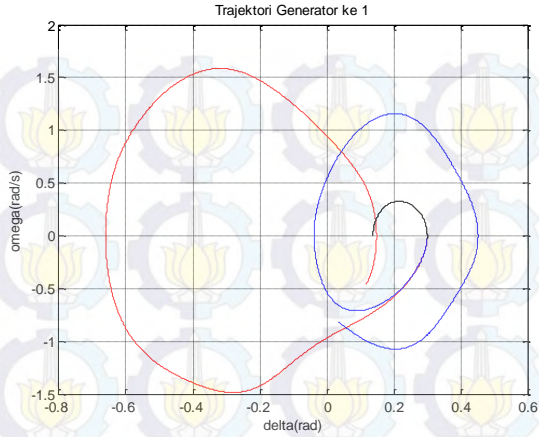
Gambar 4.48 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,797 detik (merah) 0,798 detik

4.2.2.8. Gangguan Pada Kasus H

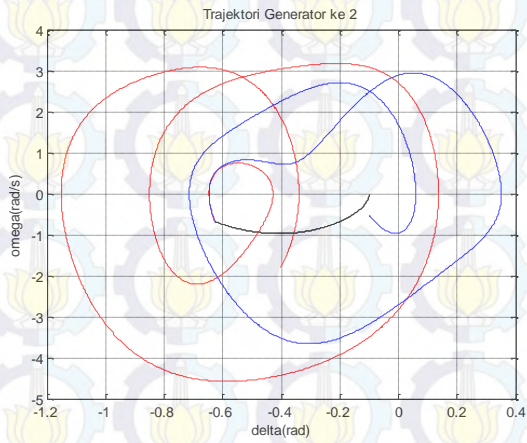
Simulasi pada kasus H menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,796-0,797, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0.796 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0.797 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus H dapat dilihat sebagai berikut:



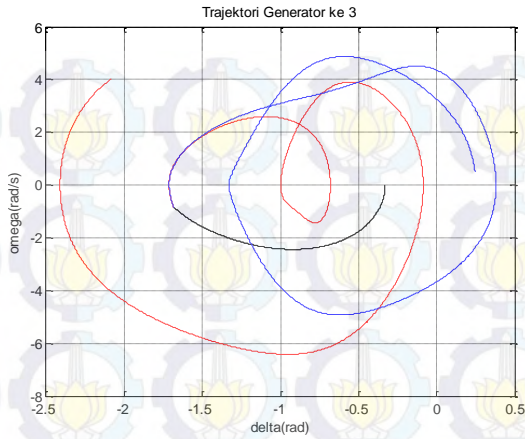
Gambar 4.49 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik



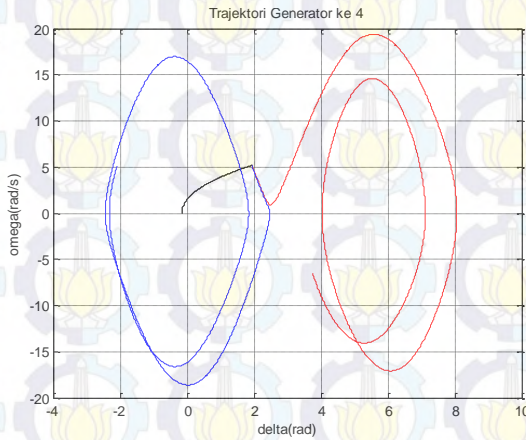
Gambar 4.50 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik



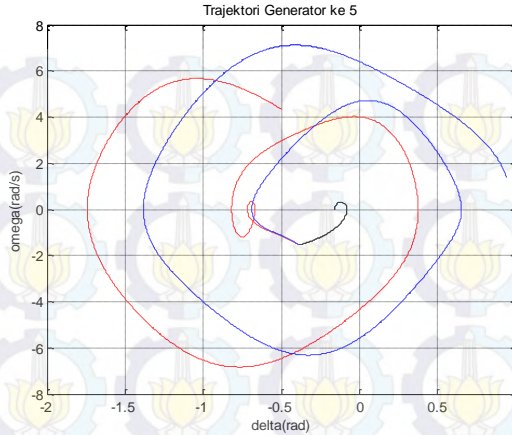
Gambar 4.51 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik



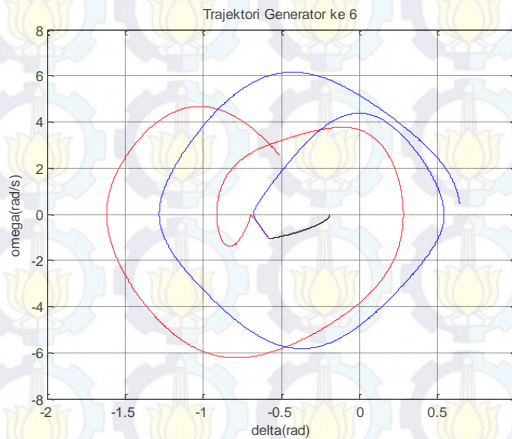
Gambar 4.52 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik



Gambar 4.53 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik



Gambar 4.54 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik

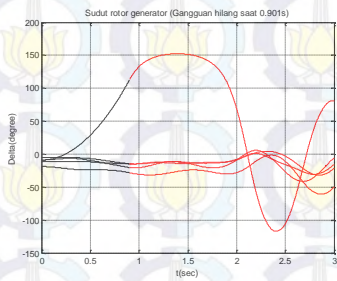


Gambar 4.55 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,796 detik (merah) 0,797 detik

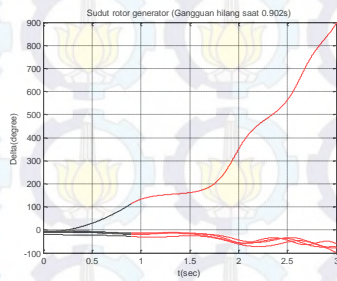
4.2.2.9. Gangguan Pada Kasus I

Simulasi pada kasus I menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,901-0,902, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0.901 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0.902 mengakibatkan

sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus I dapat dilihat sebagai berikut:

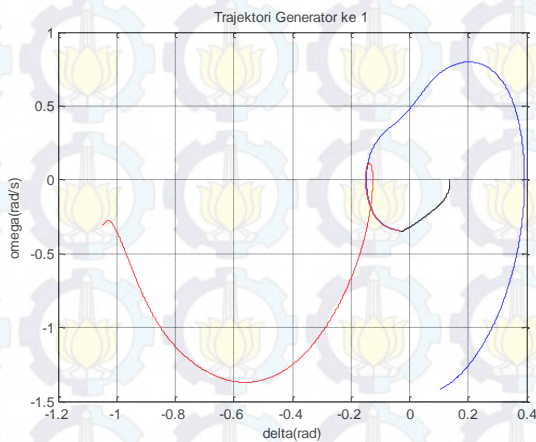


(a)

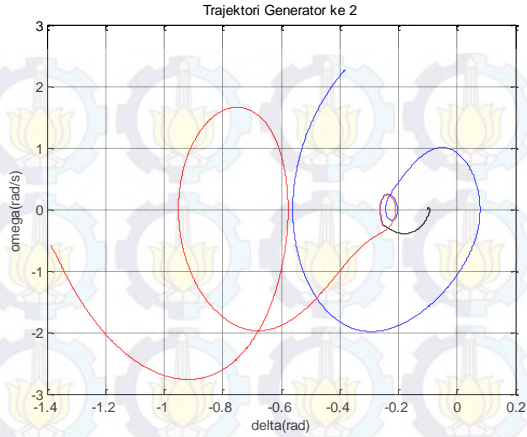


(b)

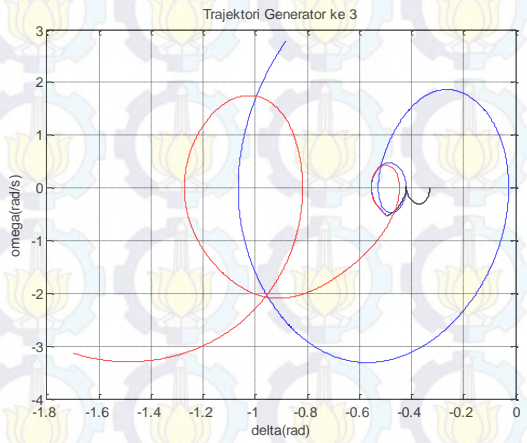
Gambar 4.56 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,901 detik (b) 0,902 detik



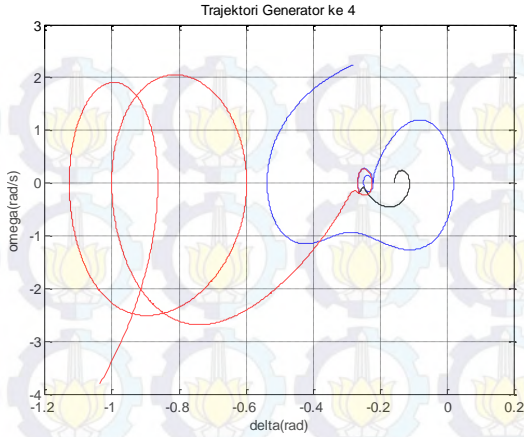
Gambar 4.57 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,901 detik (merah) 0,902 detik



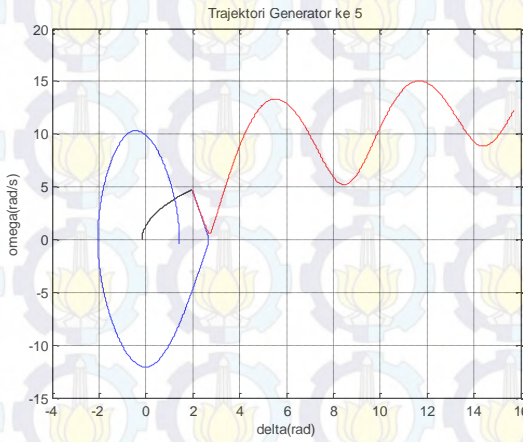
Gambar 4.58 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,901 detik (merah) 0,902 detik



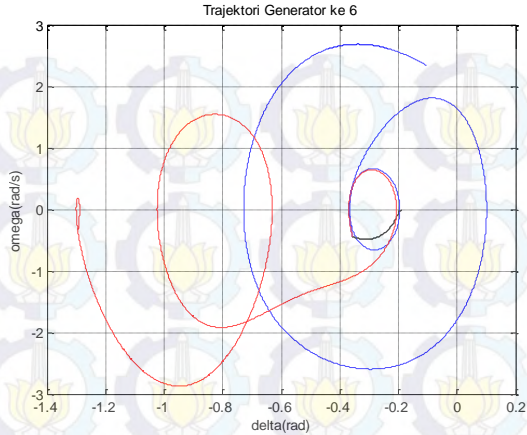
Gambar 4.59 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,901 detik (merah) 0,902 detik



Gambar 4.60 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,901 detik (merah) 0,902 detik



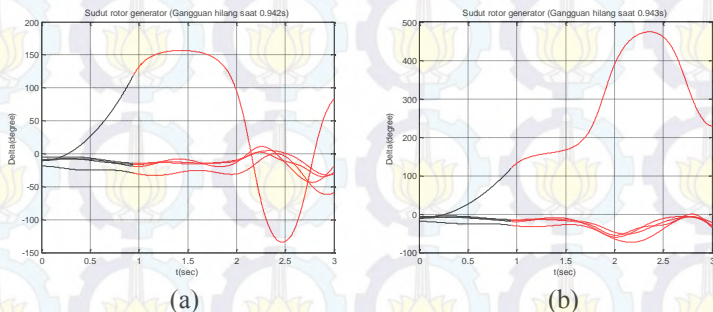
Gambar 4.61 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,901 detik (merah) 0,902 detik



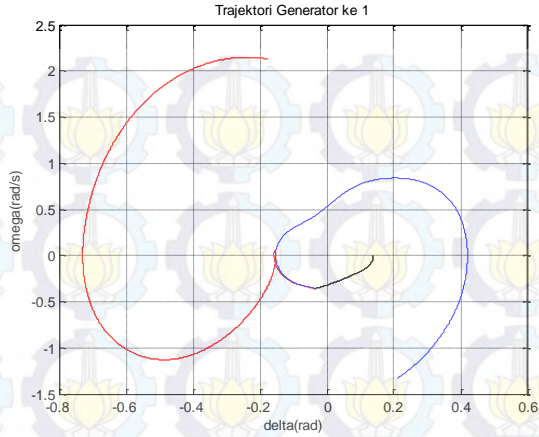
Gambar 4.62 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,901 detik (merah) 0,902 detik

4.2.2.10. Gangguan Pada Kasus J

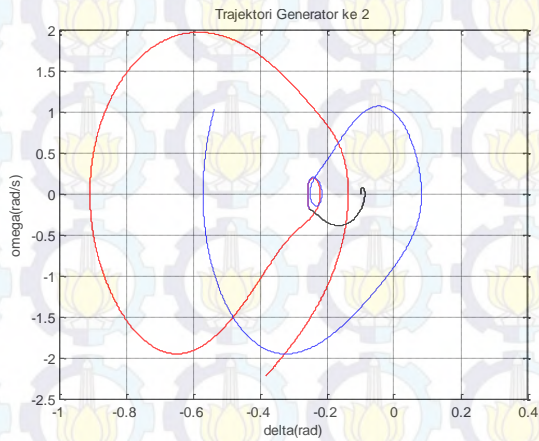
Simulasi pada kasus J menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,942-0,943, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0.942 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0.943 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus J dapat dilihat sebagai berikut:



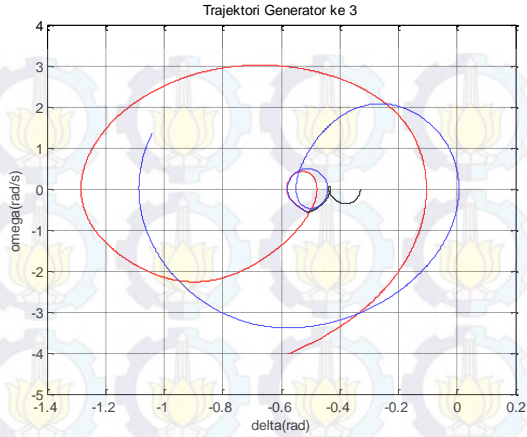
Gambar 4.63 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,942 detik (b) 0,943 detik



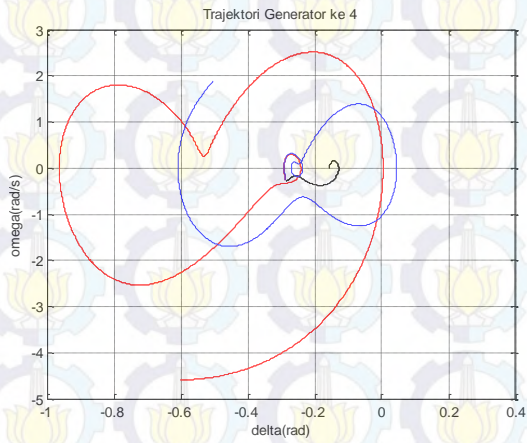
Gambar 4.64 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,942 detik (merah) 0,943 detik



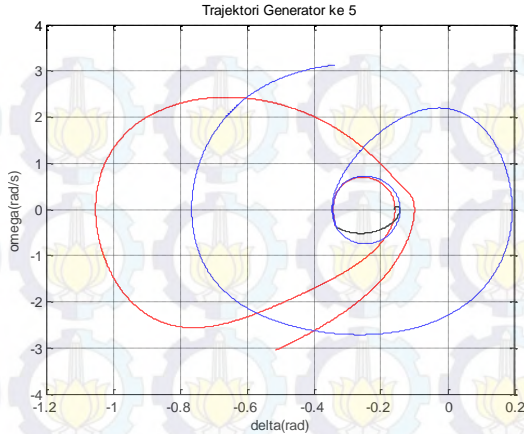
Gambar 4.65 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,942 detik (merah) 0,943 detik



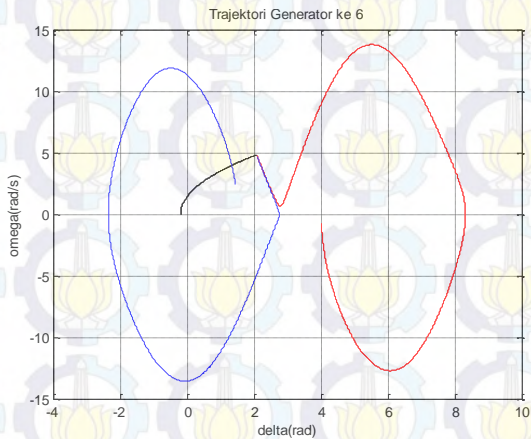
Gambar 4.66 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,942 detik (merah) 0,943 detik



Gambar 4.67 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,942 detik (merah) 0,943 detik



Gambar 4.68 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,942 detik (merah) 0,943 detik



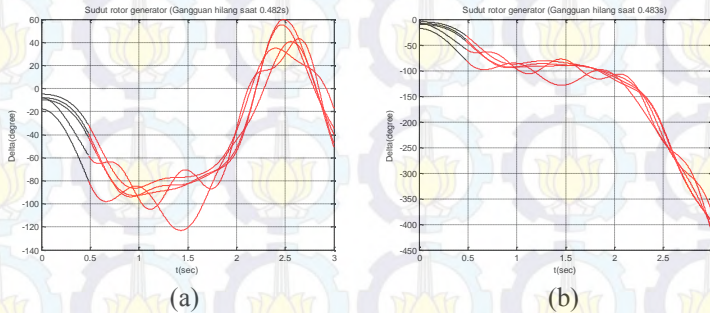
Gambar 4.69 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,942 detik (merah) 0,943 detik

4.2.3. Hasil simulasi dengan tingkat pembangkitan DG sebesar 3%

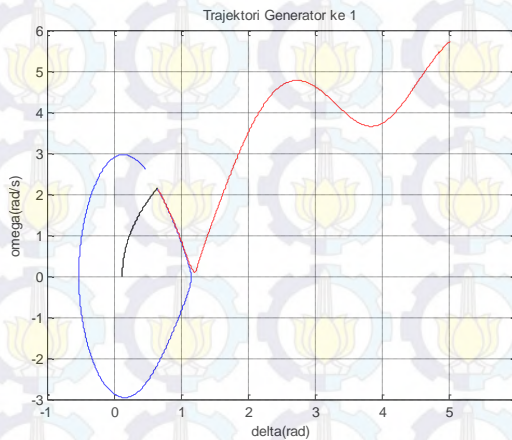
4.2.3.1. Gangguan Pada Kasus A

Simulasi pada kasus A menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,482-0,483, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,482 mengakibatkan sistem mampu menjaga

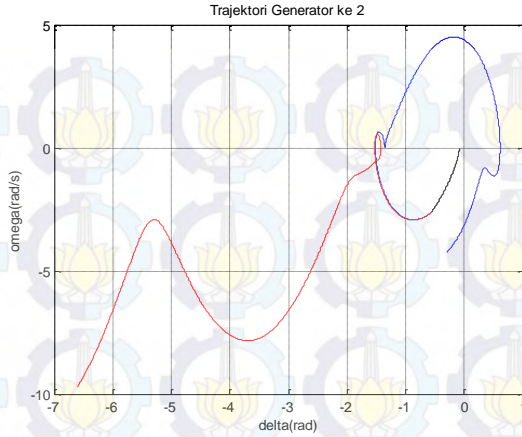
kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,483 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus A dapat dilihat sebagai berikut:



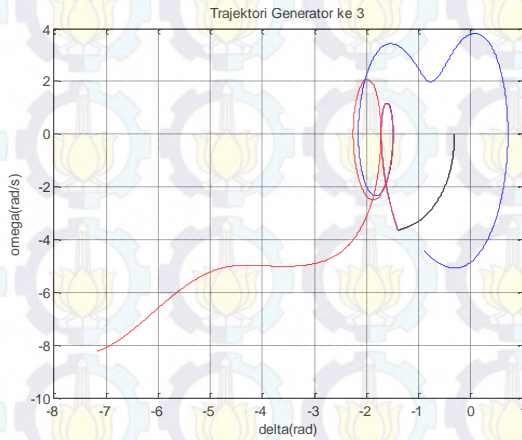
Gambar 4.70 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,481 detik (b) 0,482 detik



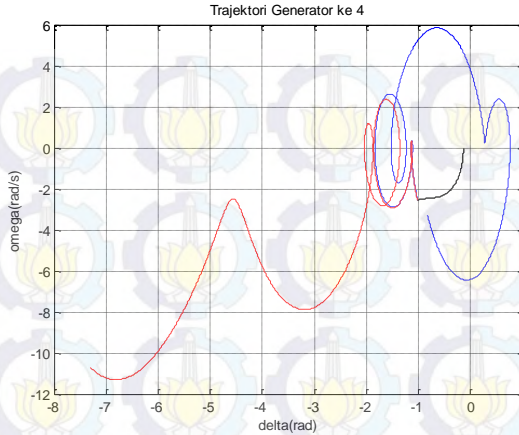
Gambar 4.71 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,481 detik (merah) 0,482 detik



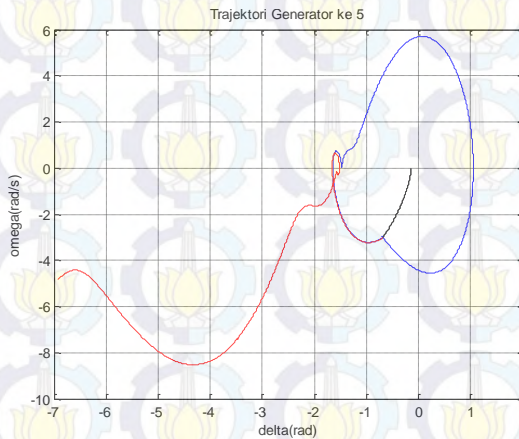
Gambar 4.72 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,481 detik (merah) 0,482 detik



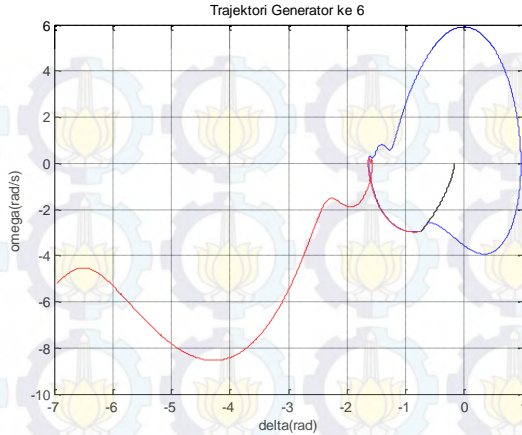
Gambar 4.73 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,481 detik (merah) 0,482 detik



Gambar 4.74 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,481 detik (merah) 0,482 detik



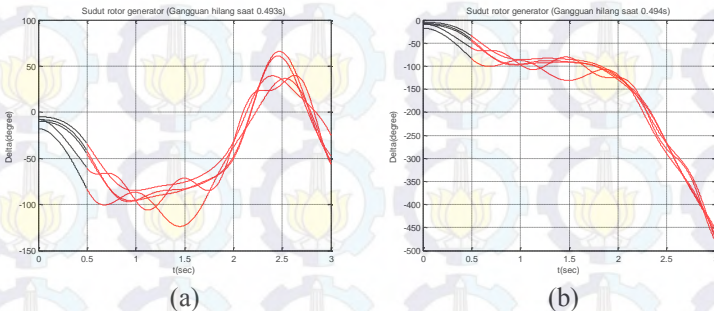
Gambar 4.75 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,481 detik (merah) 0,482 detik



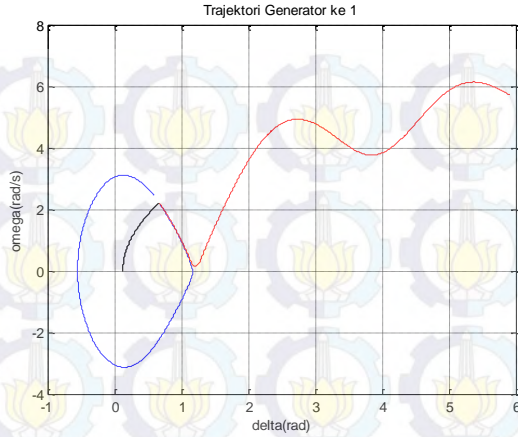
Gambar 4.76 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,481 detik (merah) 0,482 detik

4.2.3.2. Gangguan Pada Kasus B

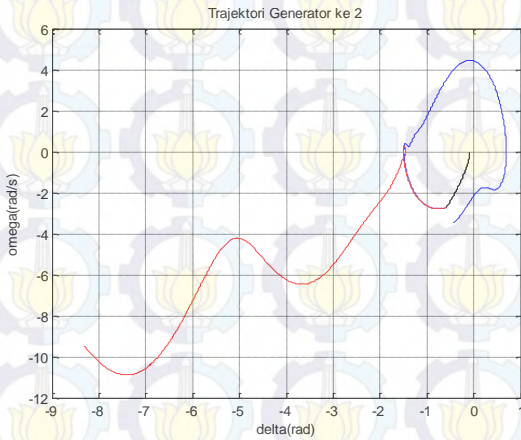
Simulasi pada kasus B menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,493-0,494, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,493 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,494 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus A dapat dilihat sebagai berikut:



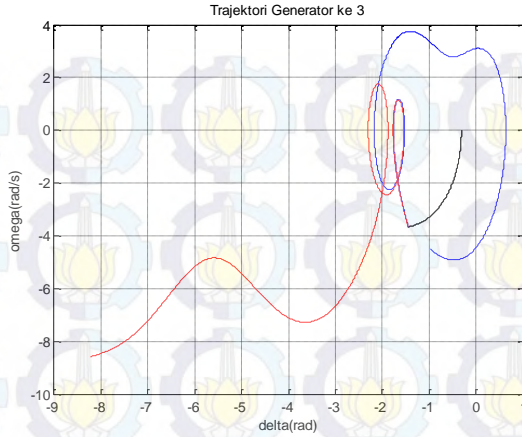
Gambar 4.77 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,493 detik (b) 0,494 detik



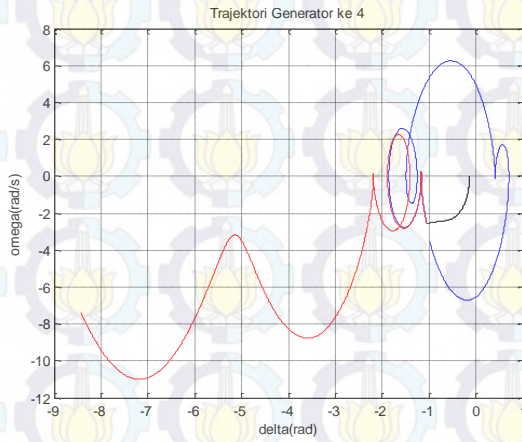
Gambar 4.78 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,493 detik (merah) 0,494 detik



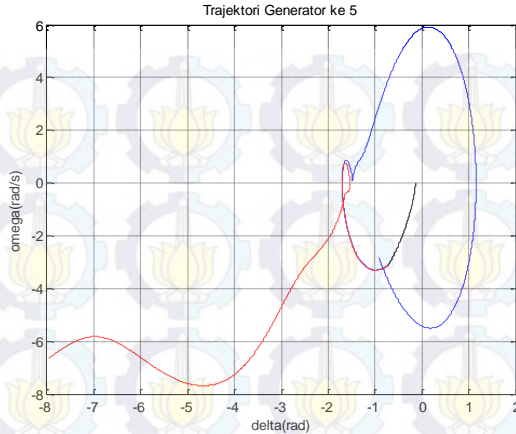
Gambar 4.79 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,493 detik (merah) 0,494 detik



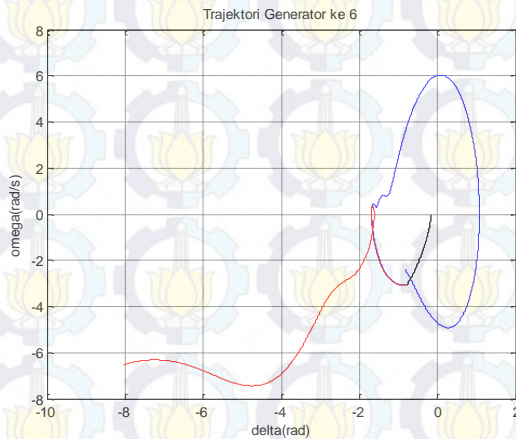
Gambar 4.80 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,493 detik (merah) 0,494 detik



Gambar 4.81 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,493 detik (merah) 0,494 detik



Gambar 4.82 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,493 detik (merah) 0,494 detik

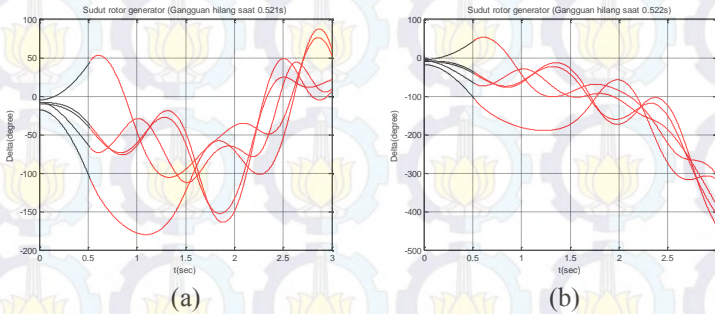


Gambar 4.83 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,493 detik (merah) 0,494 detik

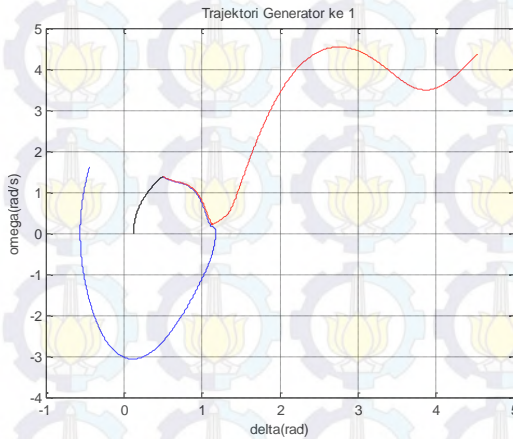
4.2.3.3. Gangguan Pada Kasus C

Simulasi pada kasus C menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,521-0,522, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,521 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,522 mengakibatkan

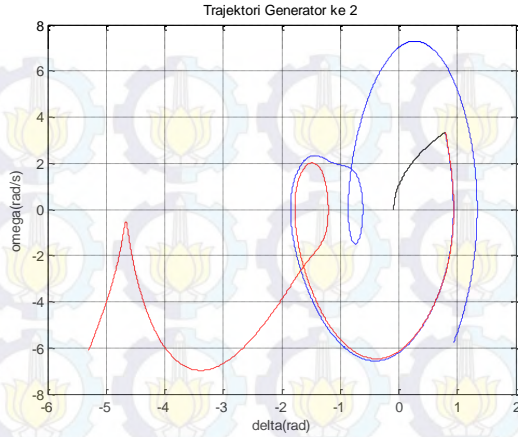
sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus C dapat dilihat sebagai berikut:



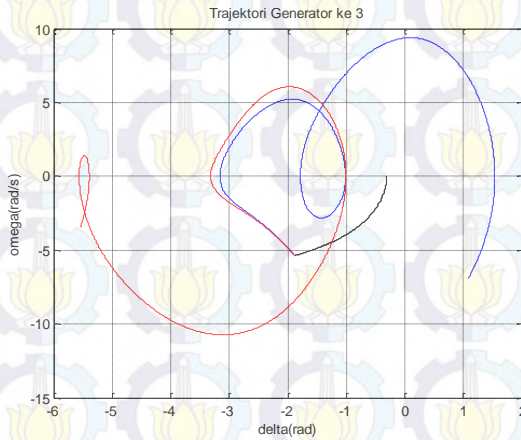
Gambar 4.84 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,521 detik (b) 0,522 detik



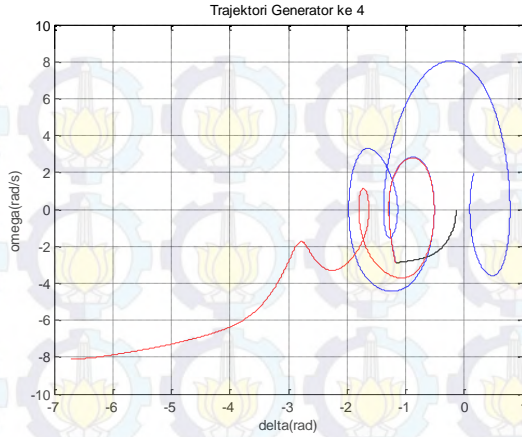
Gambar 4.85 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,521 detik (merah) 0,522 detik



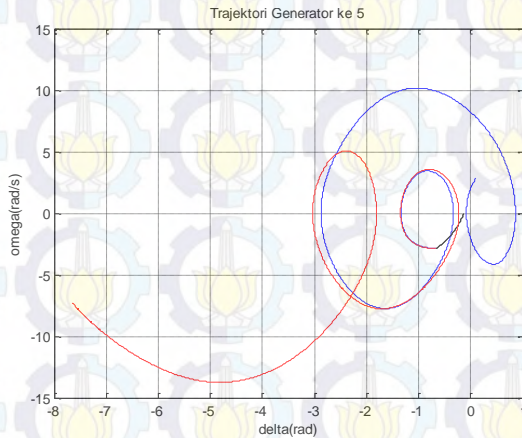
Gambar 4.86 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,521 detik (merah) 0,522 detik



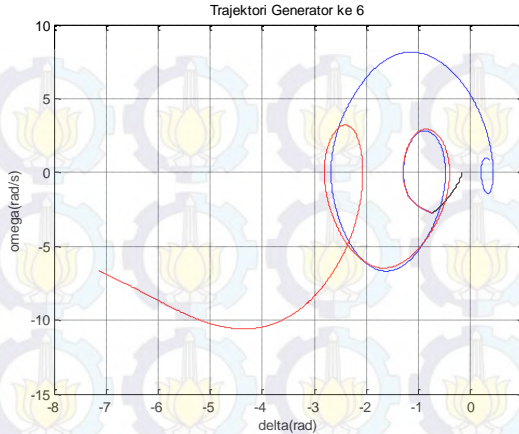
Gambar 4.87 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,521 detik (merah) 0,522 detik



Gambar 4.88 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,521 detik (merah) 0,522 detik



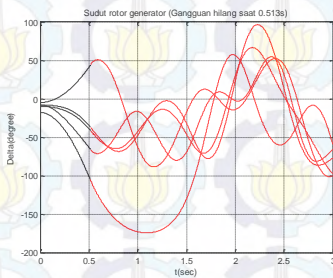
Gambar 4.89 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,521 detik (merah) 0,522 detik



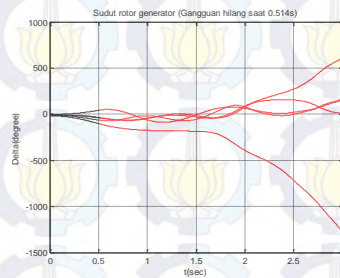
Gambar 4.90 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,521 detik (merah) 0,522 detik

4.2.3.4. Gangguan Pada Kasus D

Simulasi pada kasus D menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,513-0,514, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,513 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,514 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus A dapat dilihat sebagai berikut:

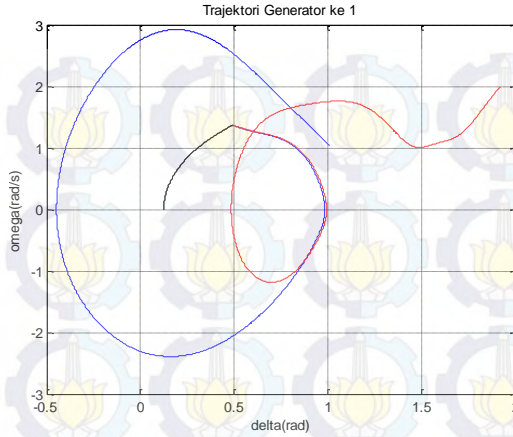


(a)

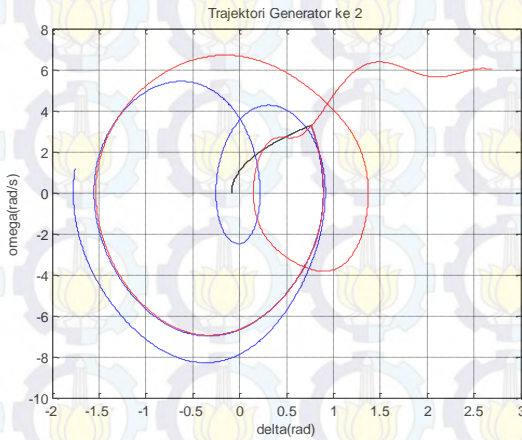


(b)

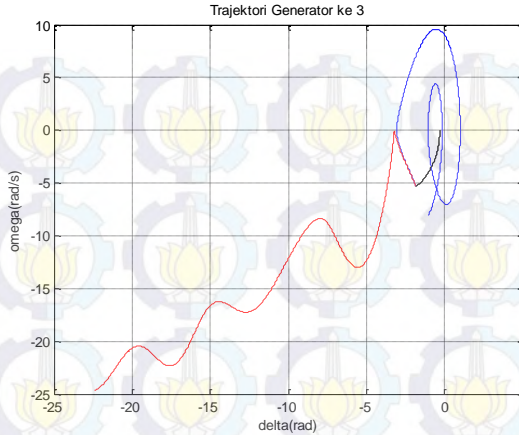
Gambar 4.91 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,513 detik (b) 0,514 detik



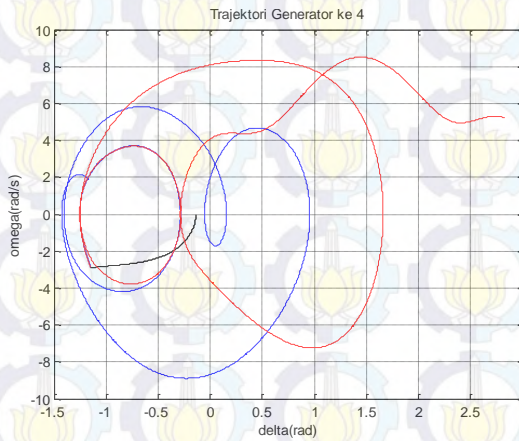
Gambar 4.92 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,513 detik (merah) 0,514 detik



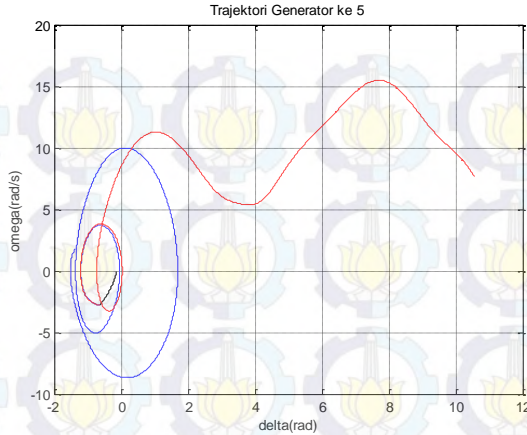
Gambar 4.93 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,513 detik (merah) 0,514 detik



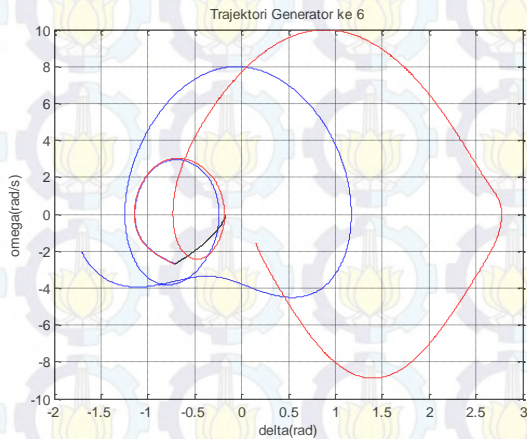
Gambar 4.94 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,513 detik (merah) 0,514 detik



Gambar 4.95 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,513 detik (merah) 0,514 detik



Gambar 4.96 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,513 detik (merah) 0,514 detik

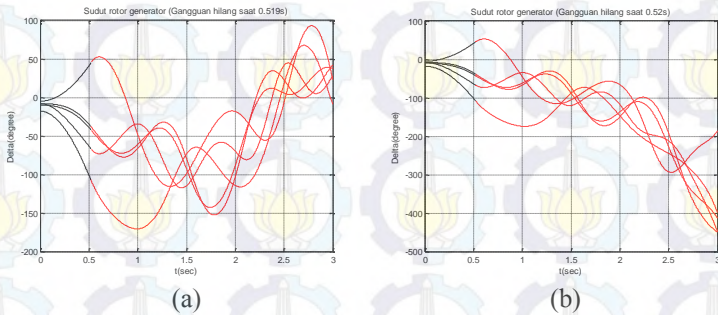


Gambar 4.97 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,513 detik (merah) 0,514 detik

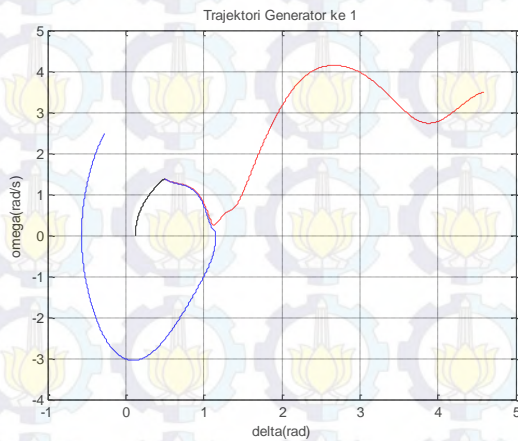
4.2.3.5. Gangguan Pada Kasus E

Simulasi pada kasus E menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,519-0,520, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,519 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,520 mengakibatkan

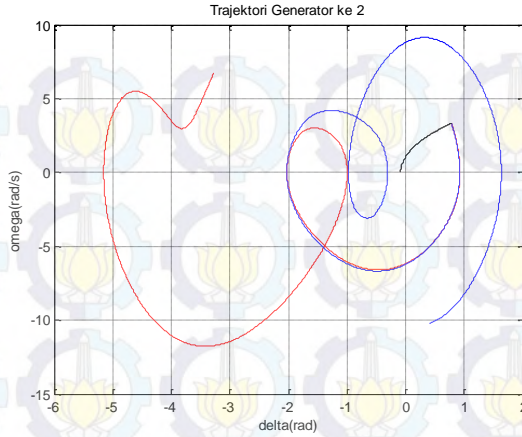
sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus E dapat dilihat sebagai berikut:



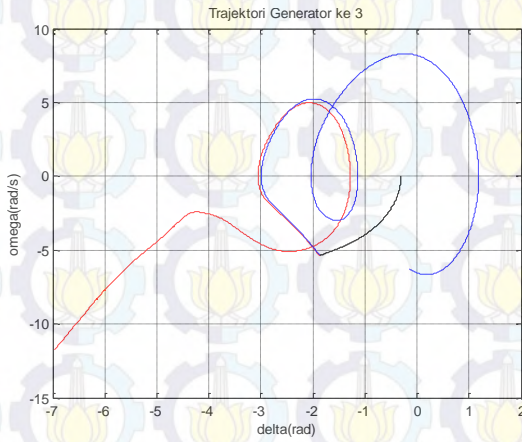
Gambar 4.98 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,519 detik (b) 0,520 detik



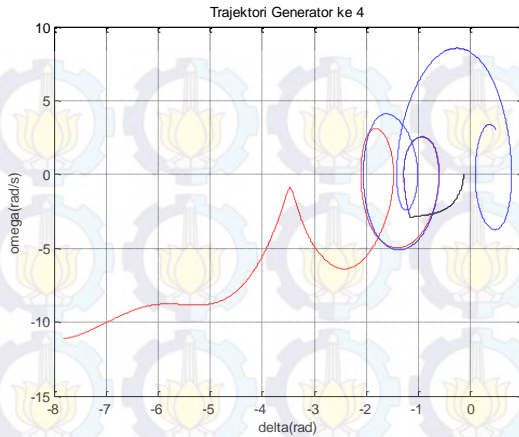
Gambar 4.99 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,519 detik (merah) 0,520 detik



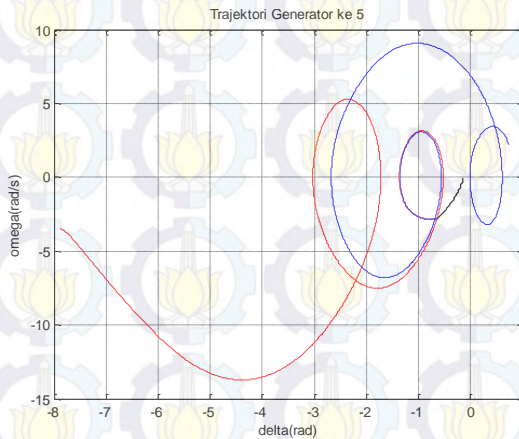
Gambar 4.100 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,519 detik (merah) 0,520 detik



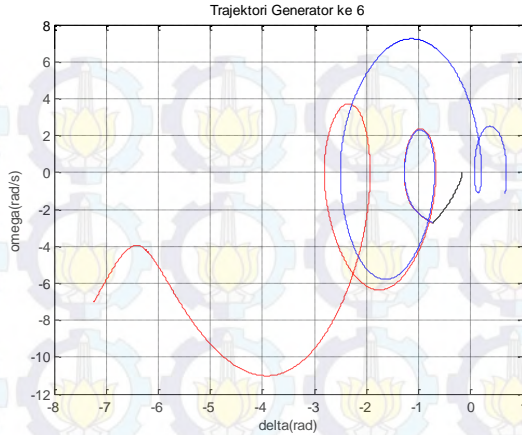
Gambar 4.101 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,519 detik (merah) 0,520 detik



Gambar 4.102 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,519 detik (merah) 0,520 detik



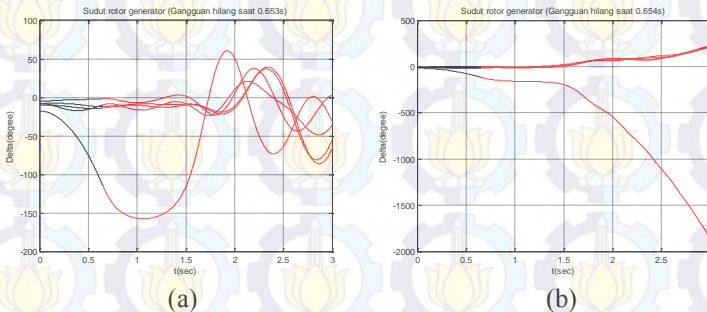
Gambar 4.103 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,519 detik (merah) 0,520 detik



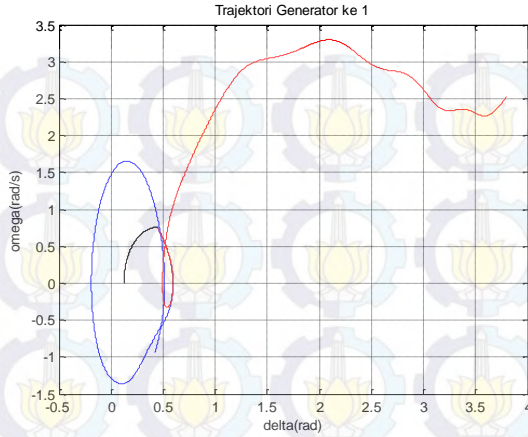
Gambar 4.104 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,519 detik (merah) 0,520 detik

4.2.3.6. Gangguan Pada Kasus F

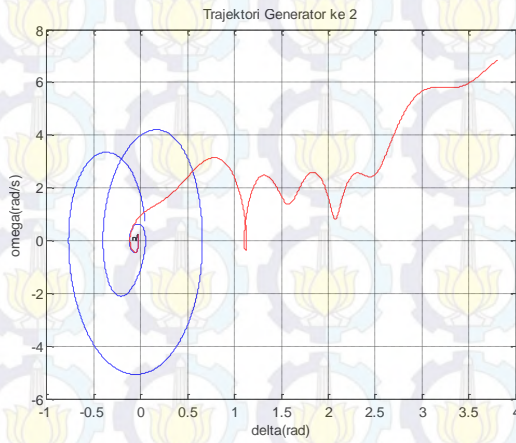
Simulasi pada kasus F menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,653-0,654, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,653 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,654 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus F dapat dilihat sebagai berikut:



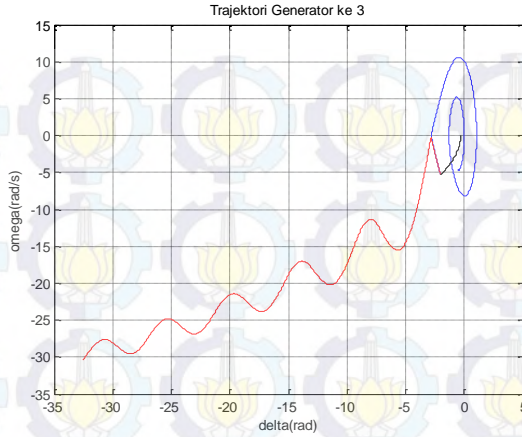
Gambar 4.105 Grafik sudut generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,653 detik (b) 0,654 detik



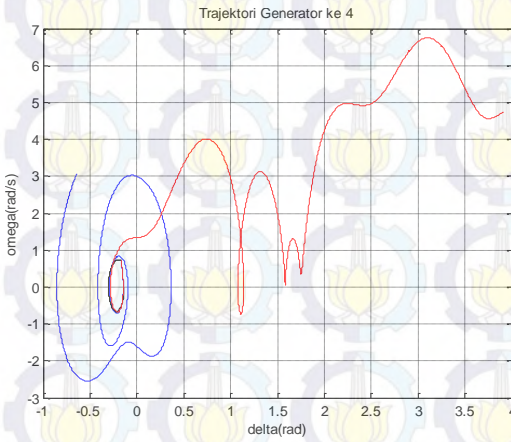
Gambar 4.106 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,653 detik (merah) 0,654 detik



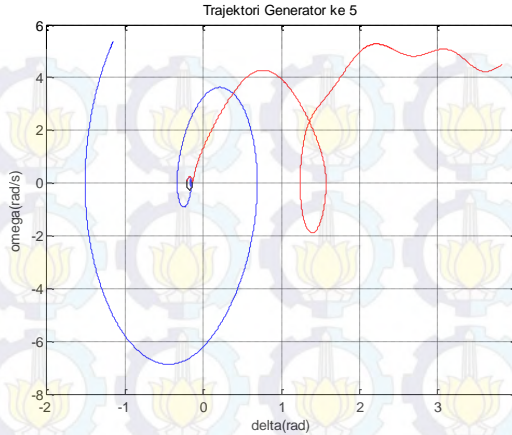
Gambar 4.107 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,653 detik (merah) 0,654 detik



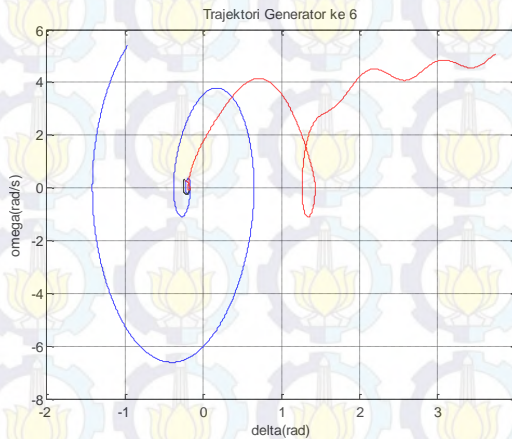
Gambar 4.108 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,653 detik (merah) 0,654 detik



Gambar 4.109 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,653 detik (merah) 0,654 detik



Gambar 4.110 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,653 detik (merah) 0,654 detik

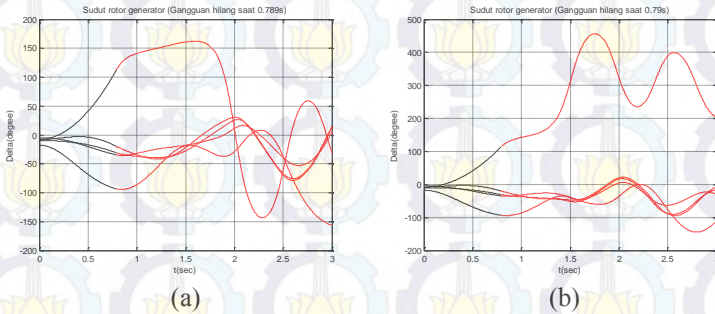


Gambar 4.111 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,653 detik (merah) 0,654 detik

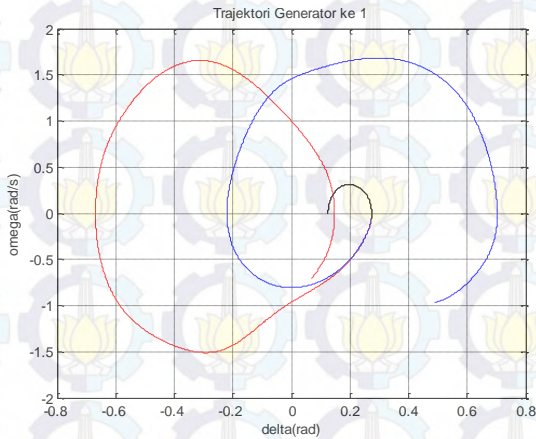
4.2.3.7. Gangguan Pada Kasus G

Simulasi pada kasus G menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,789-0,790, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,789 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,790 mengakibatkan

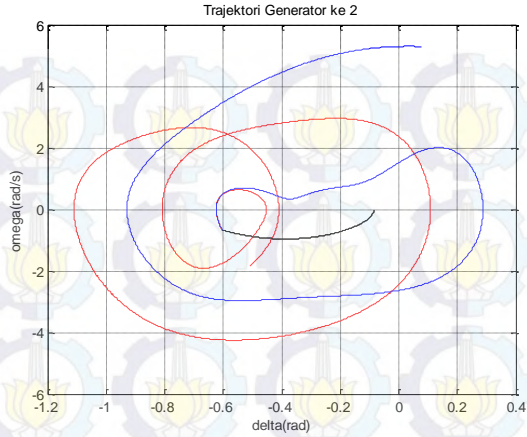
sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus G dapat dilihat sebagai berikut:



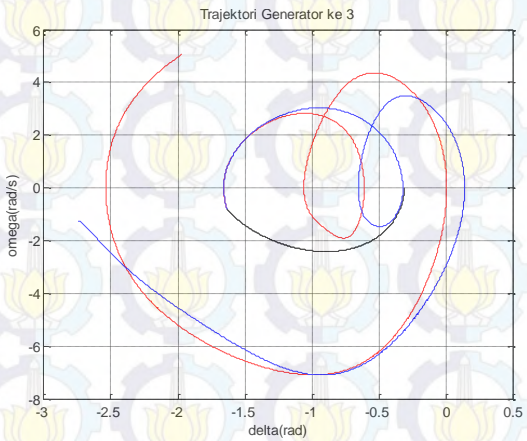
Gambar 4.112 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,789 detik (b) 0,790 detik



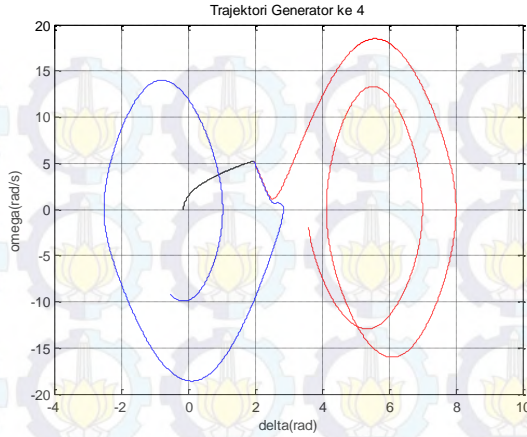
Gambar 4.113 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik



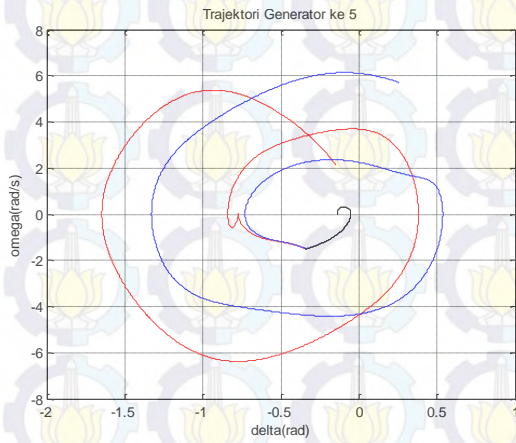
Gambar 4.114 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik



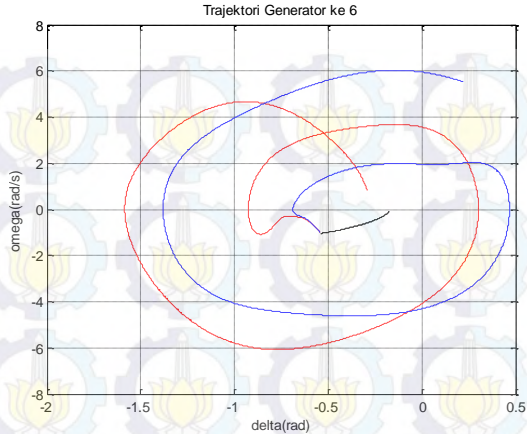
Gambar 4.115 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik



Gambar 4.116 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik



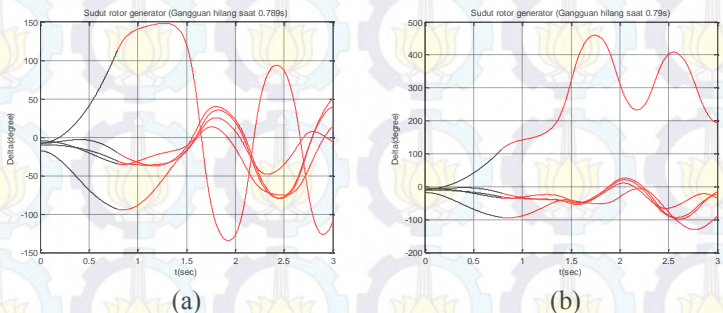
Gambar 4.117 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik



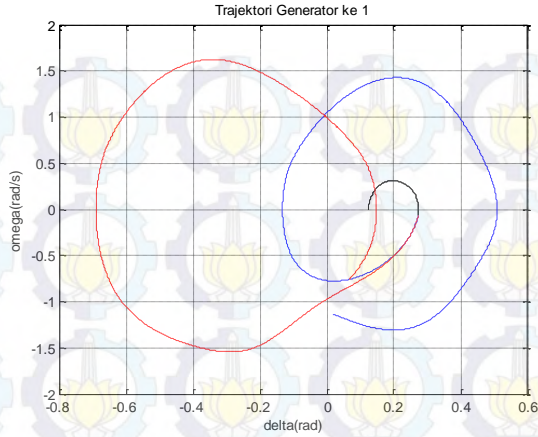
Gambar 4.118 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik

4.2.3.8. Gangguan Pada Kasus H

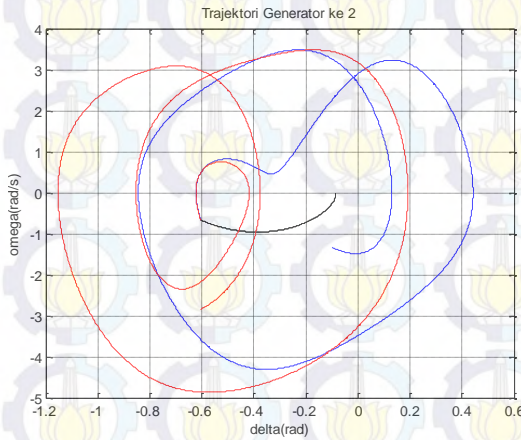
Simulasi pada kasus H menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,789-0,790, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,789 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,790 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus H dapat dilihat sebagai berikut:



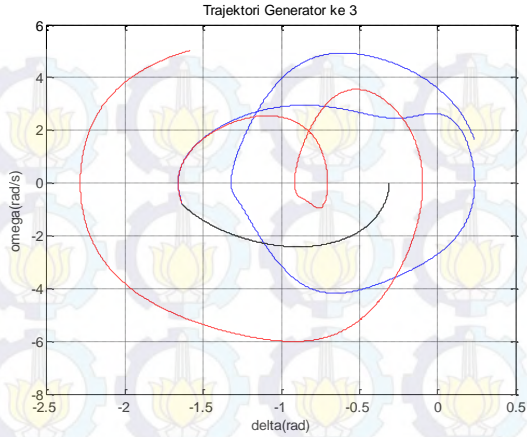
Gambar 4.119 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,789 detik (b) 0,790 detik



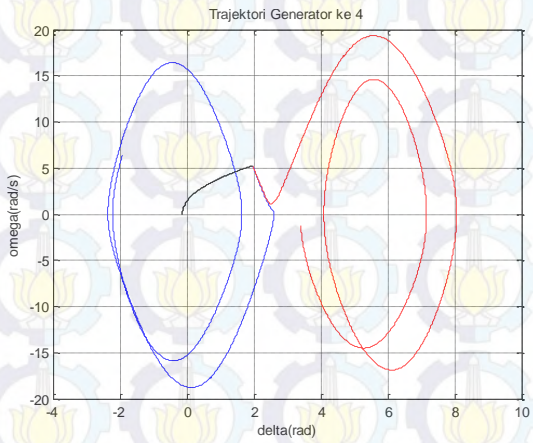
Gambar 4.120 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik



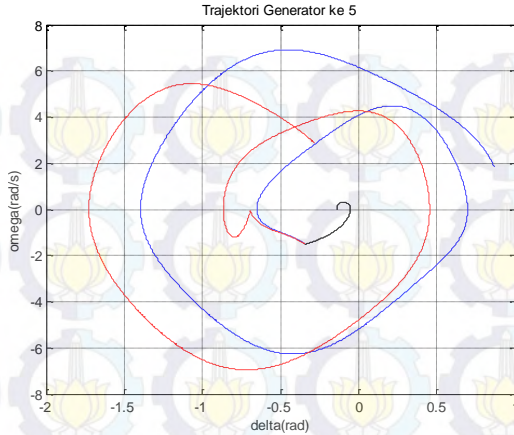
Gambar 4.121 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik



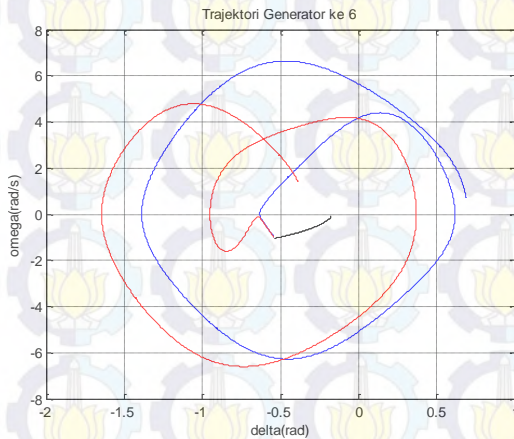
Gambar 4.122 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik



Gambar 4.123 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik



Gambar 4.124 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik

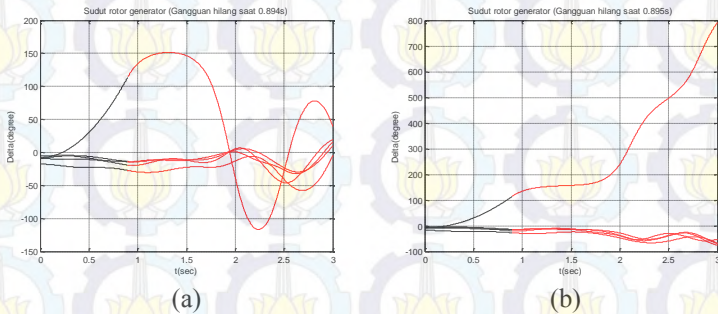


Gambar 4.125 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,789 detik (merah) 0,790 detik

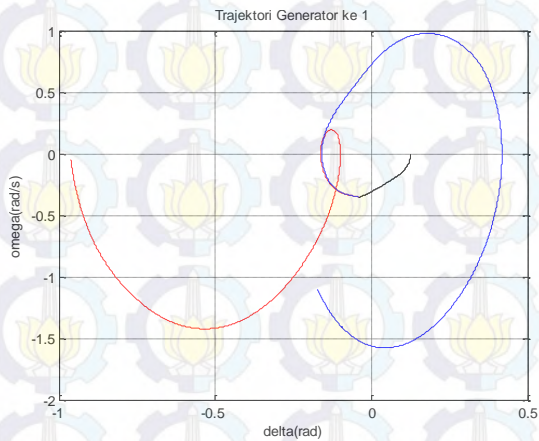
4.2.3.9. Gangguan Pada Kasus I

Simulasi pada kasus I menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,894-0,895, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,894 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,895 mengakibatkan

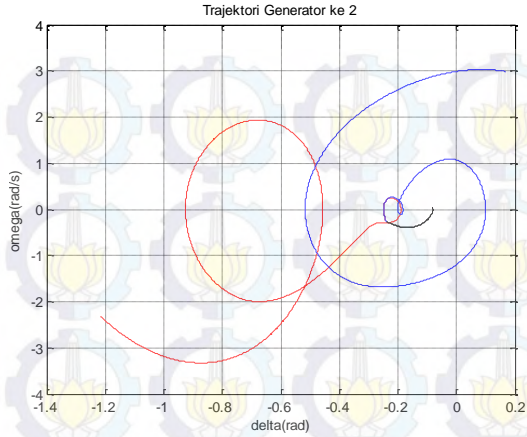
sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus I dapat dilihat sebagai berikut:



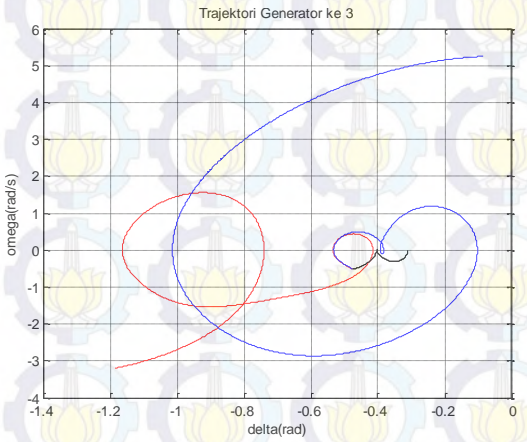
Gambar 4.126 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,894 detik (b) 0,895 detik



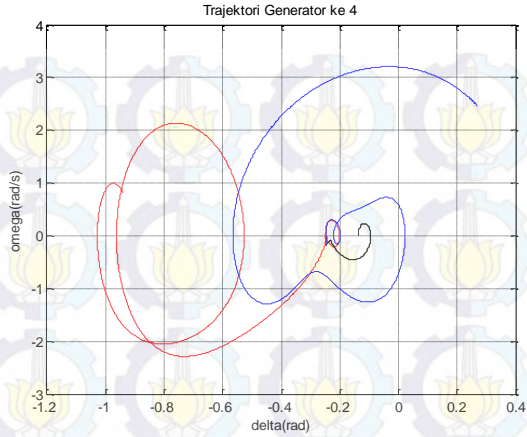
Gambar 4.127 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,894 detik (merah) 0,895 detik



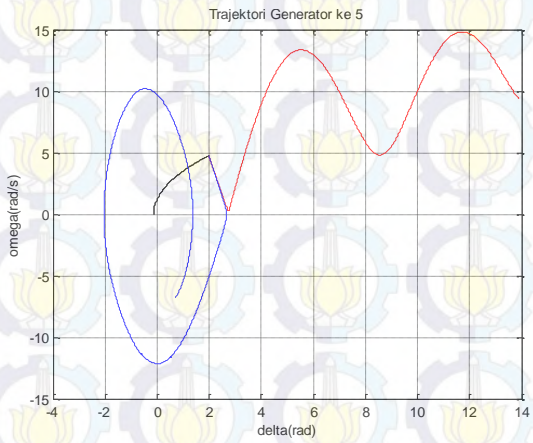
Gambar 4.128 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,894 detik (merah) 0,895 detik



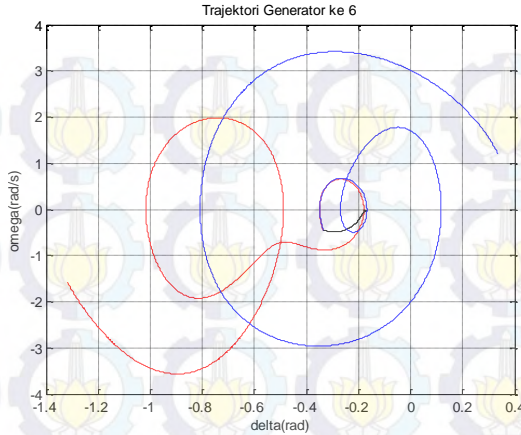
Gambar 4.129 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,894 detik (merah) 0,895 detik



Gambar 4.130 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,894 detik (merah) 0,895 detik



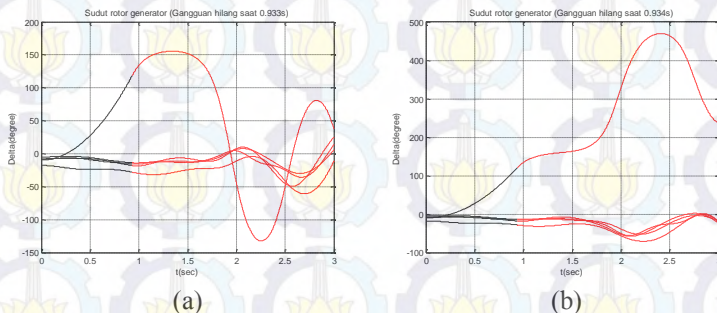
Gambar 4.131 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,894 detik (merah) 0,895 detik



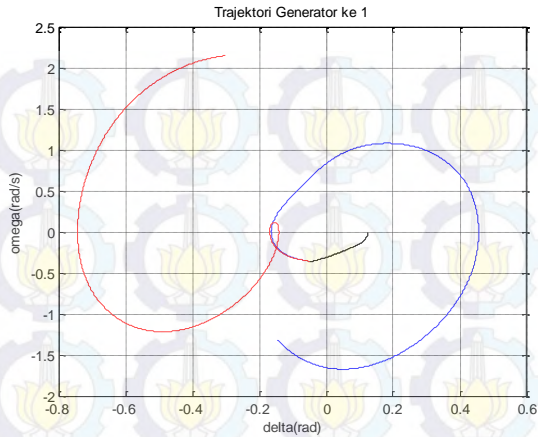
Gambar 4.132 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,894 detik (merah) 0,895 detik

4.2.3.10. Gangguan Pada Kasus J

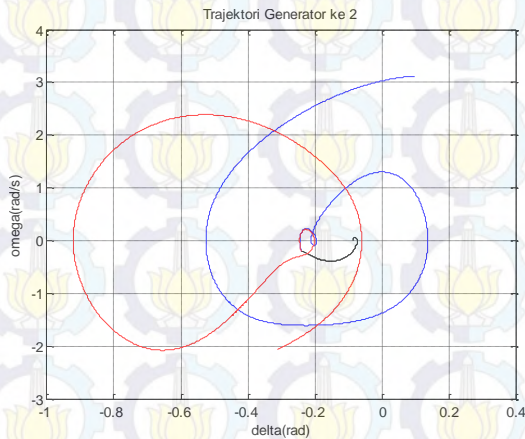
Simulasi pada kasus J menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,933-0,934, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,933 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,934 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus J dapat dilihat sebagai berikut:



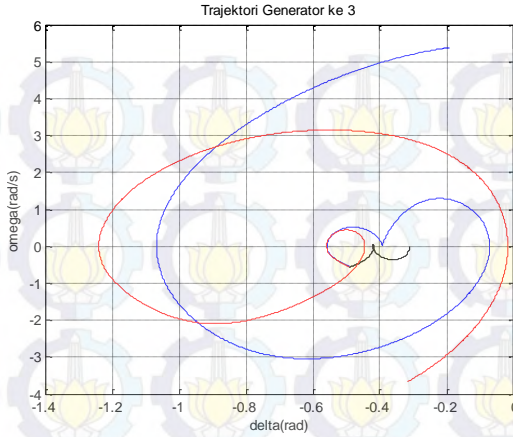
Gambar 4.133 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,933 detik (b) 0,934 detik



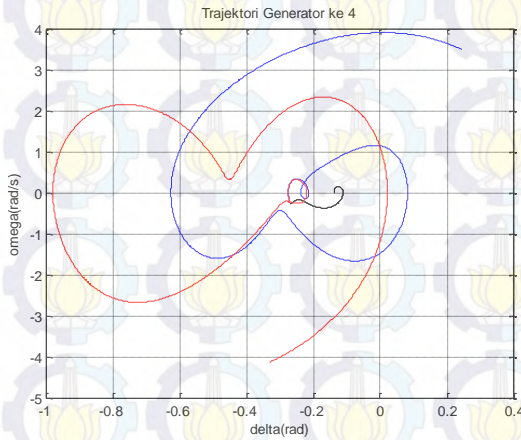
Gambar 4.134 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,933 detik (merah) 0,934 detik



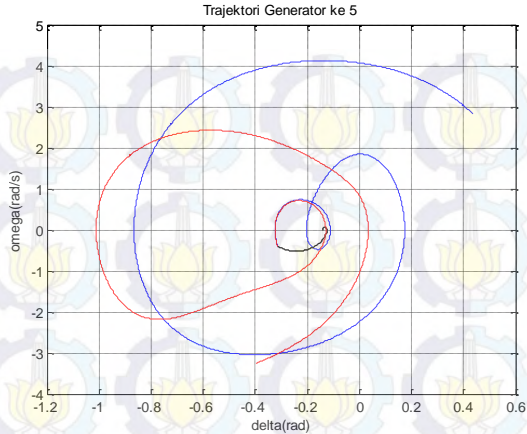
Gambar 4.135 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,933 detik (merah) 0,934 detik



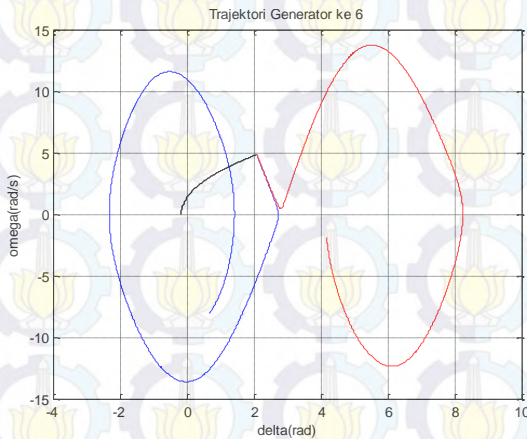
Gambar 4.136 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,933 detik (merah) 0,934 detik



Gambar 4.137 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,933 detik (merah) 0,934 detik



Gambar 4.138 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,933 detik (merah) 0,934 detik



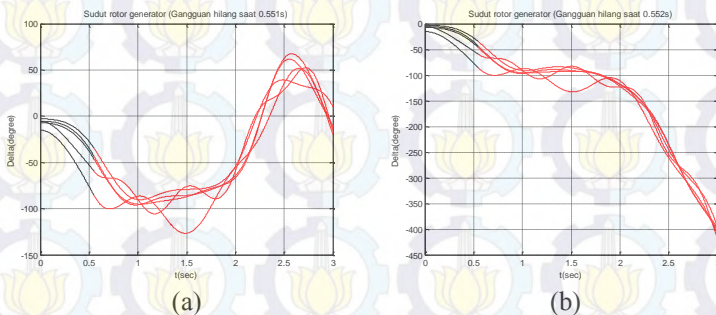
Gambar 4.139 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,933 detik (merah) 0,934 detik

4.2.4. Hasil simulasi dengan tingkat pembangkitan DG sebesar 10%

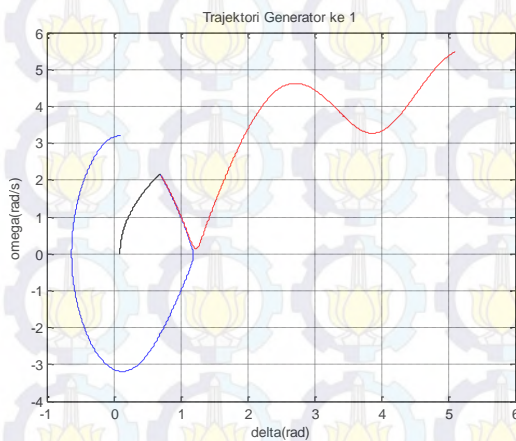
4.2.4.1. Gangguan Pada Kasus A

Simulasi pada kasus A menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,551-0,552, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,551 mengakibatkan sistem mampu menjaga

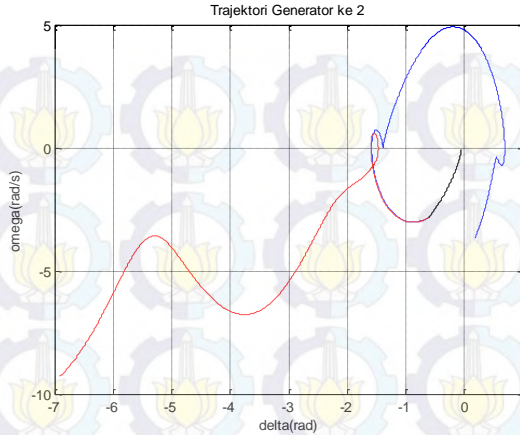
kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,552 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus A dapat dilihat sebagai berikut:



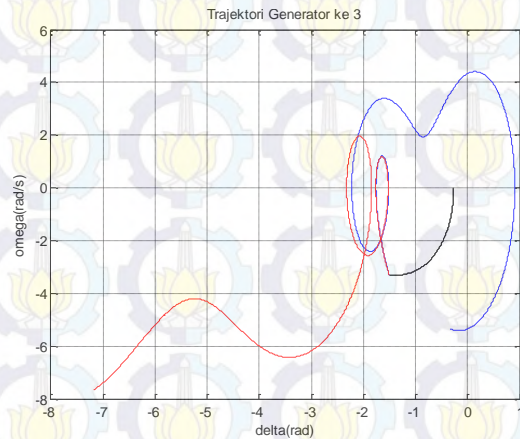
Gambar 4.140 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,551 detik (b) 0,552 detik



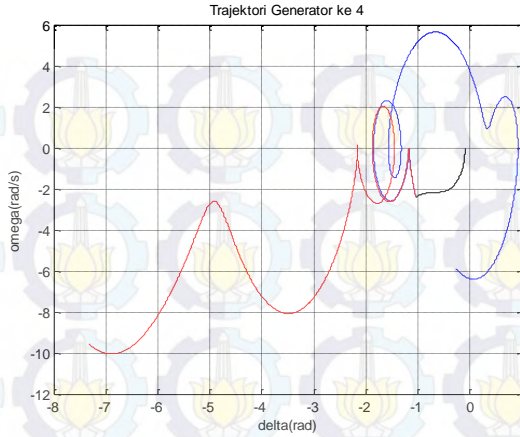
Gambar 4.141 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,551 detik (merah) 0,552 detik



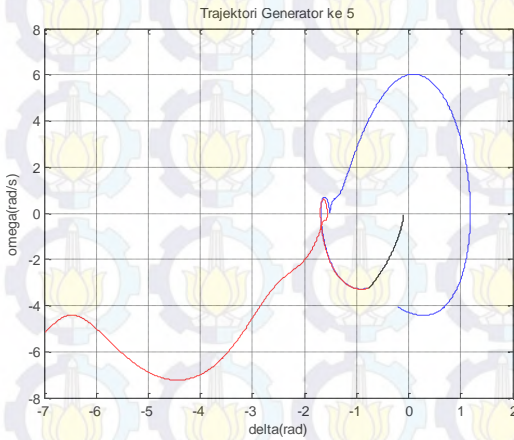
Gambar 4.142 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,551 detik (merah) 0,552 detik



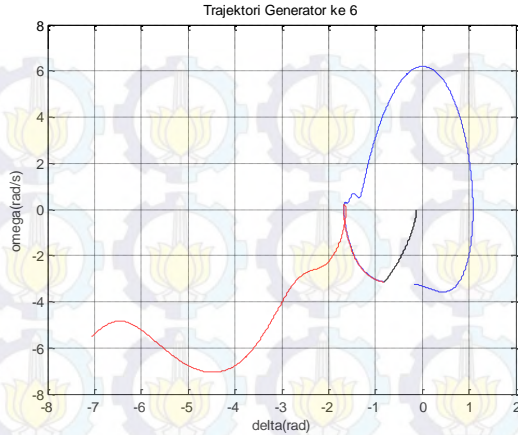
Gambar 4.143 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,551 detik (merah) 0,552 detik



Gambar 4.144 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,551 detik (merah) 0,552 detik



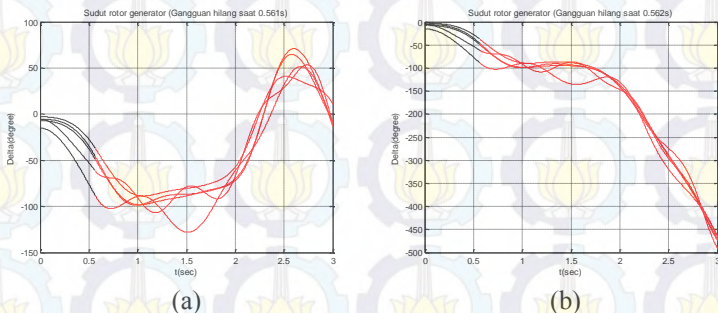
Gambar 4.143 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,551 detik (merah) 0,552 detik



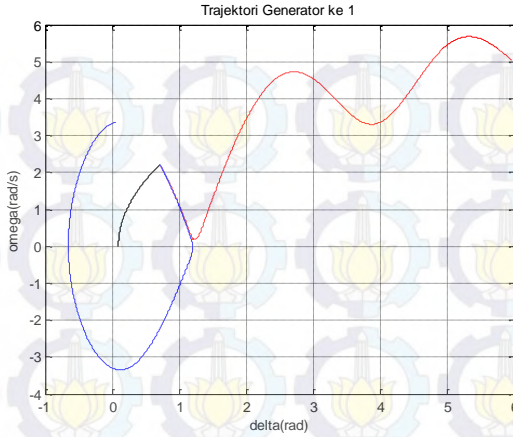
Gambar 4.144 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,551 detik (merah) 0,552 detik

4.2.4.2. Gangguan Pada Kasus B

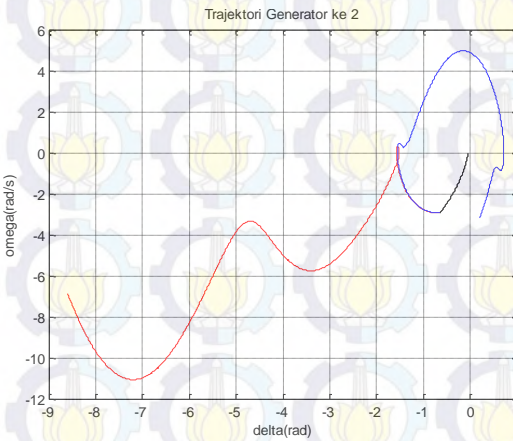
Simulasi pada kasus B menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,561-0,562, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,561 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,562 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus B dapat dilihat sebagai berikut:



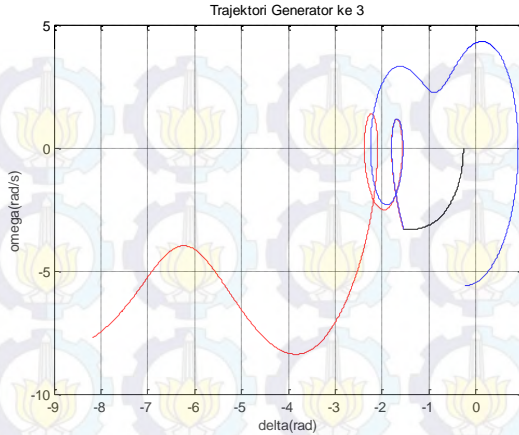
Gambar 4.145 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,561 detik (b) 0,562 detik



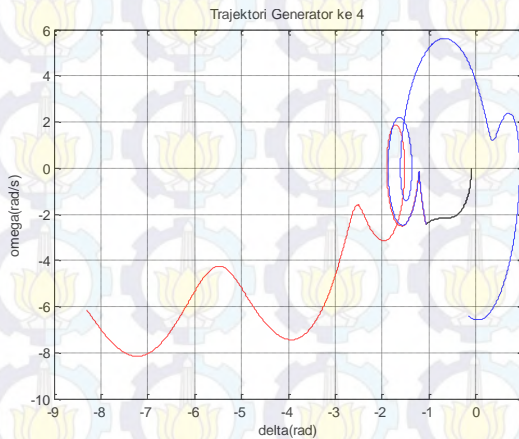
Gambar 4.146 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,561 detik (merah) 0,562 detik



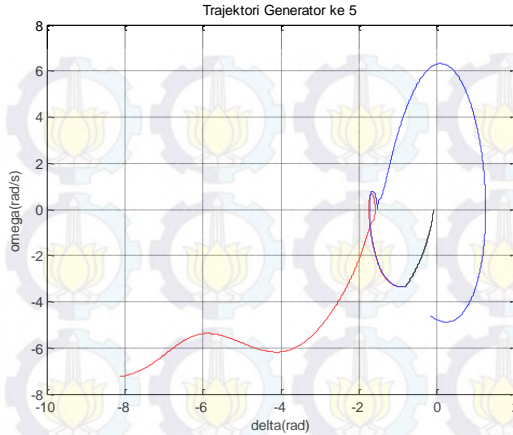
Gambar 4.147 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,561 detik (merah) 0,562 detik



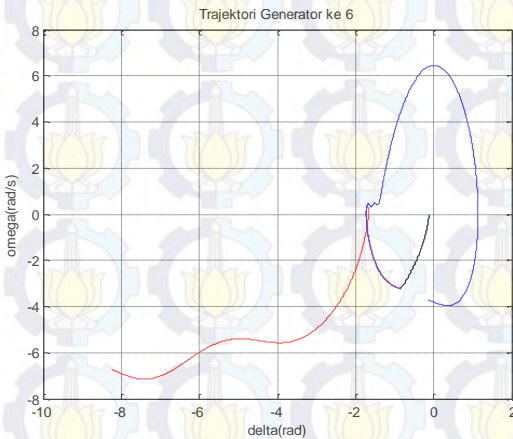
Gambar 4.148 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,561 detik (merah) 0,562 detik



Gambar 4.149 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,561 detik (merah) 0,562 detik



Gambar 4.150 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,561 detik (merah) 0,562 detik

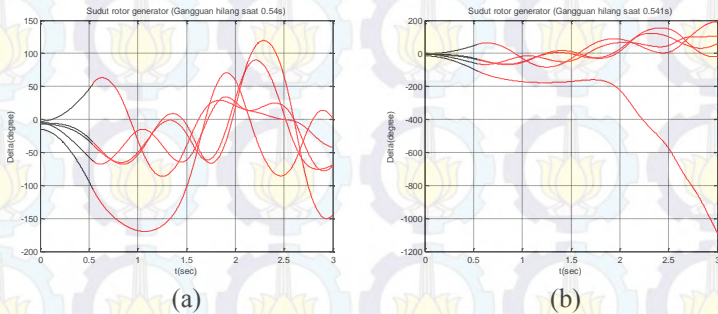


Gambar 4.151 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,561 detik (merah) 0,562 detik

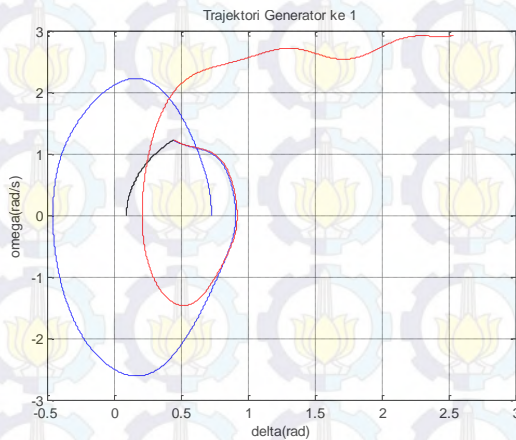
4.2.4.3. Gangguan Pada Kasus C

Simulasi pada kasus C menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,540-0,541, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,540 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,541 mengakibatkan

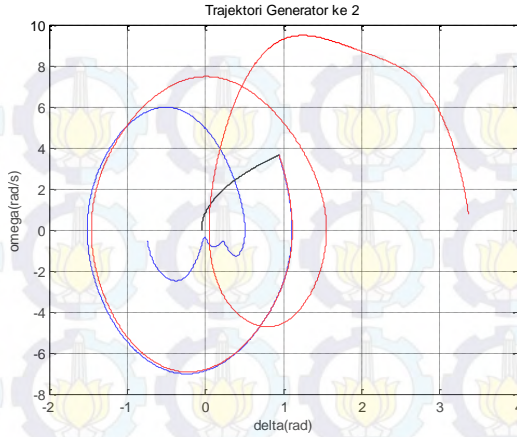
sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus C dapat dilihat sebagai berikut:



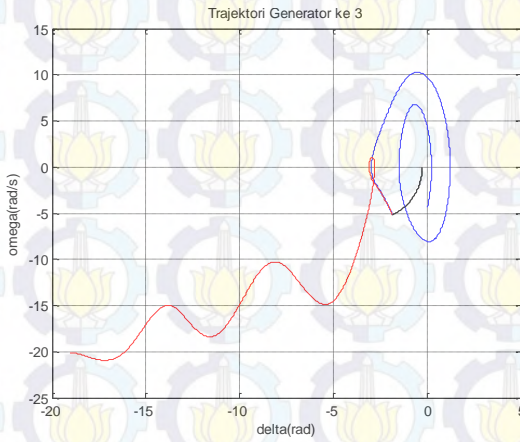
Gambar 4.152 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,540 detik (b) 0,541 detik



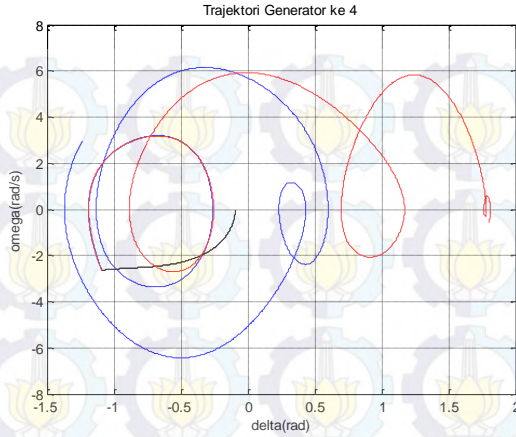
Gambar 4.153 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,540 detik (merah) 0,541 detik



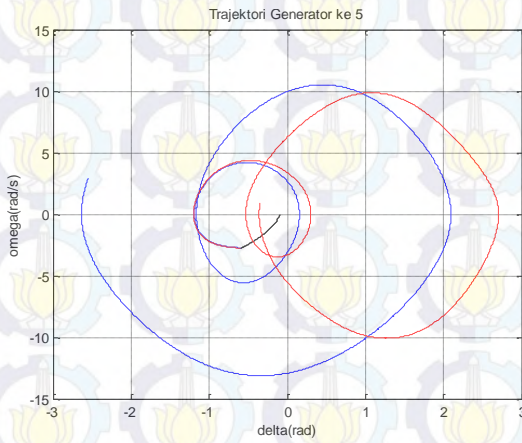
Gambar 4.154 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,540 detik (merah) 0,541 detik



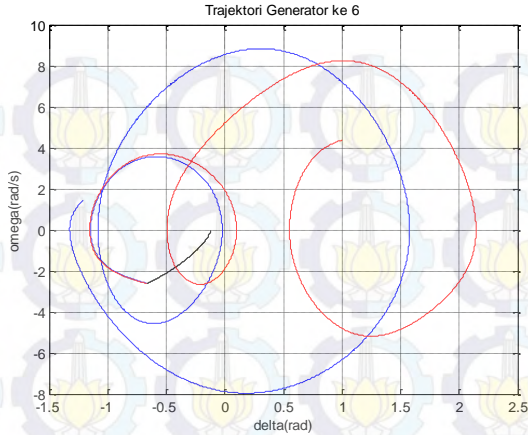
Gambar 4.155 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,540 detik (merah) 0,541 detik



Gambar 4.156 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,540 detik (merah) 0,541 detik



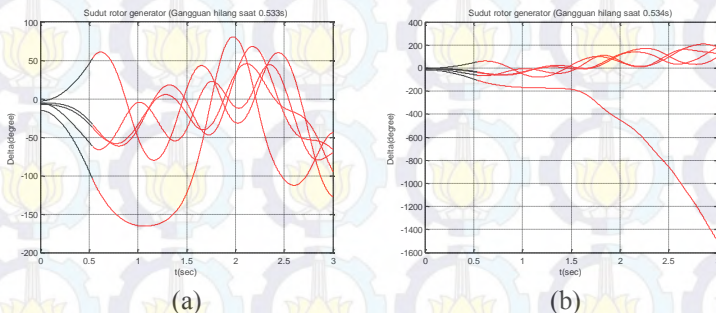
Gambar 4.157 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,540 detik (merah) 0,541 detik



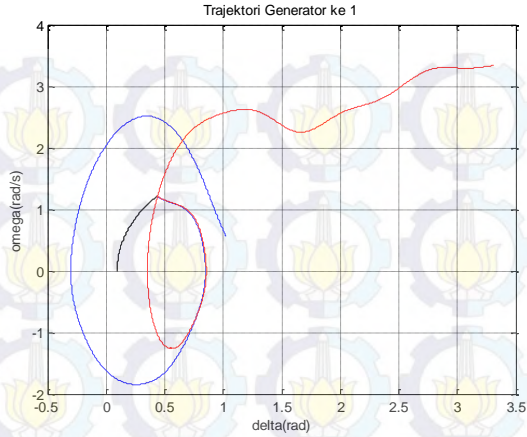
Gambar 4.158 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,540 detik (merah) 0,541 detik

4.2.4.4. Gangguan Pada Kasus D

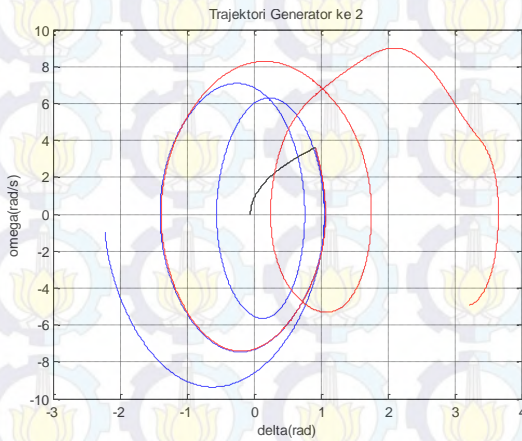
Simulasi pada kasus D menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,533-0,534, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,533 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,534 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus D dapat dilihat sebagai berikut:



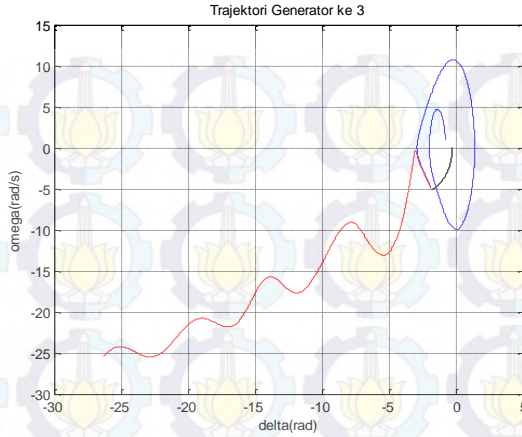
Gambar 4.159 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,533 detik (b) 0,534 detik



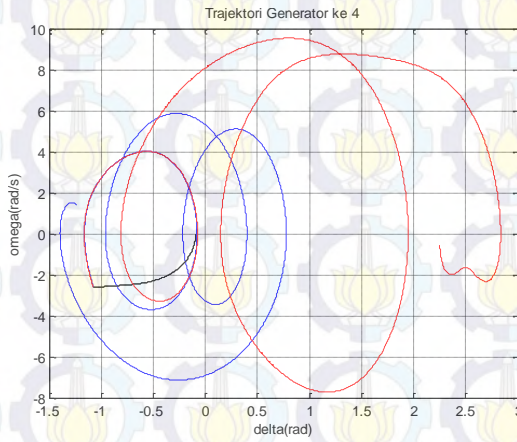
Gambar 4.160 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,533 detik (merah) 0,534 detik



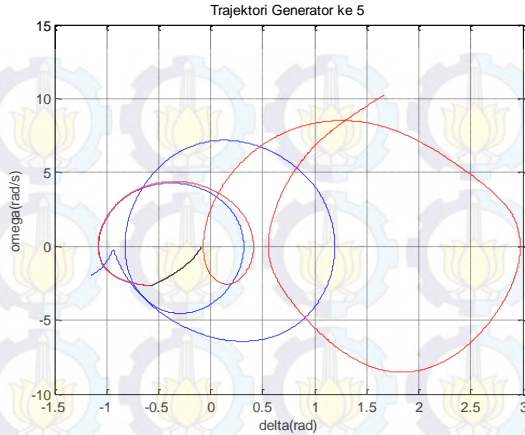
Gambar 4.161 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,533 detik (merah) 0,534 detik



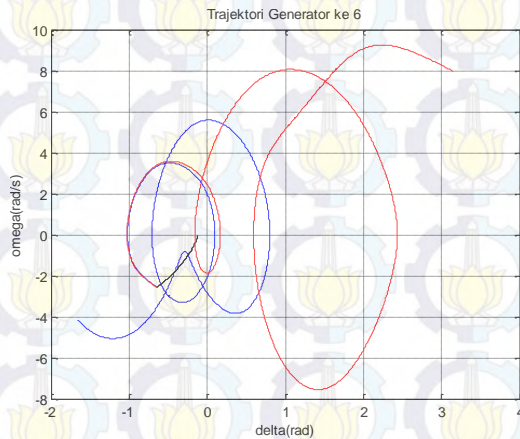
Gambar 4.162 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,533 detik (merah) 0,534 detik



Gambar 4.163 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,533 detik (merah) 0,534 detik



Gambar 4.164 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,533 detik (merah) 0,534 detik

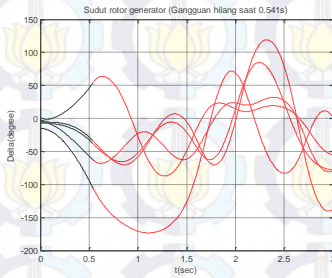


Gambar 4.165 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,533 detik (merah) 0,534 detik

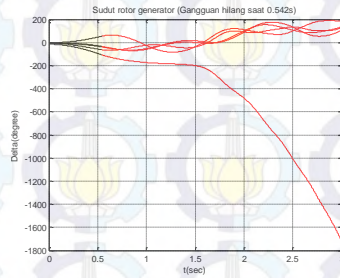
4.2.4.5. Gangguan Pada Kasus E

Simulasi pada kasus E menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,541-0,542, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,541 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,542 mengakibatkan

sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus E dapat dilihat sebagai berikut:

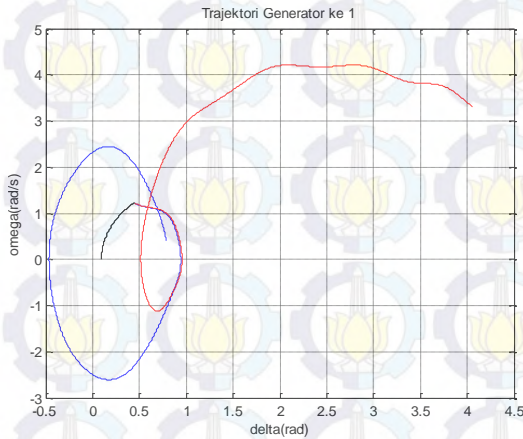


(a)

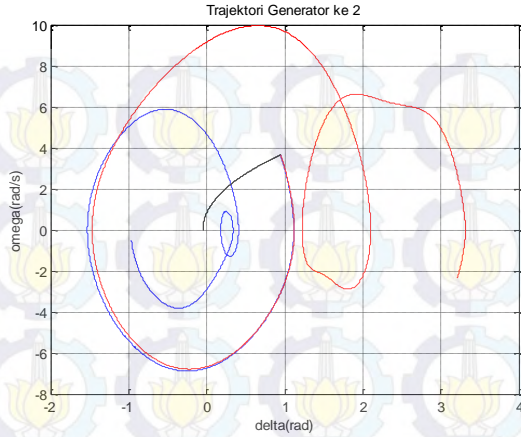


(b)

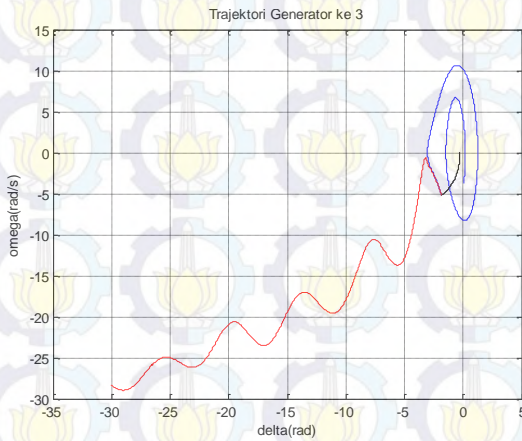
Gambar 4.166 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,541 detik (b) 0,542 detik



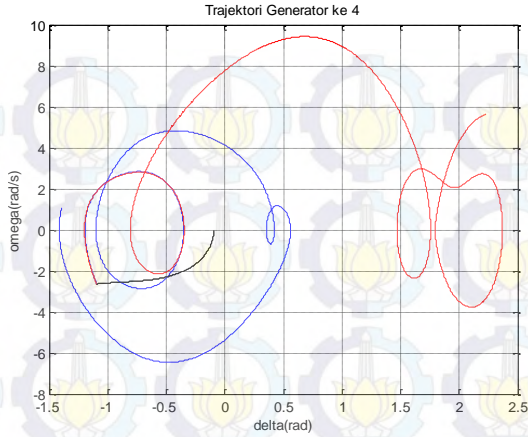
Gambar 4.167 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,541 detik (merah) 0,542 detik



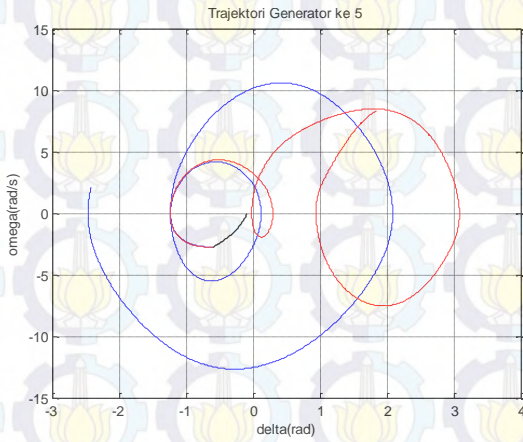
Gambar 4.168 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,541 detik (merah) 0,542 detik



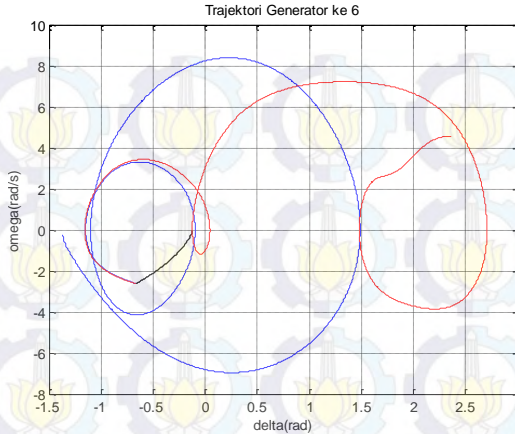
Gambar 4.169 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,541 detik (merah) 0,542 detik



Gambar 4.170 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,541 detik (merah) 0,542 detik



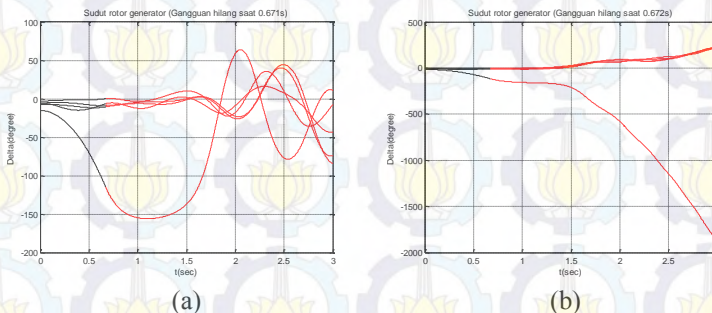
Gambar 4.171 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,541 detik (merah) 0,542 detik



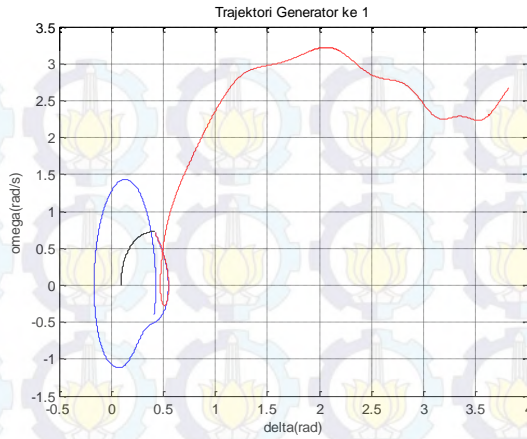
Gambar 4.172 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,541 detik (merah) 0,542 detik

4.2.4.6. Gangguan Pada Kasus F

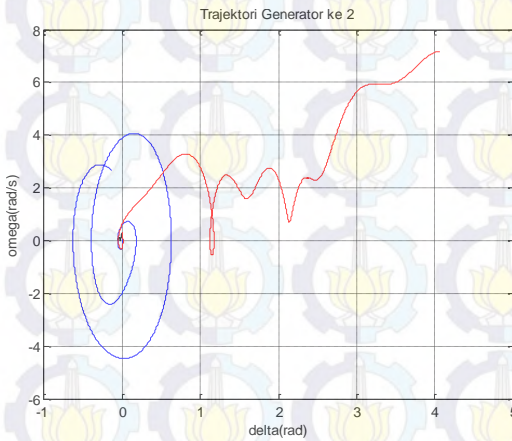
Simulasi pada kasus F menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,671-0,672, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,671 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,672 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus F dapat dilihat sebagai berikut:



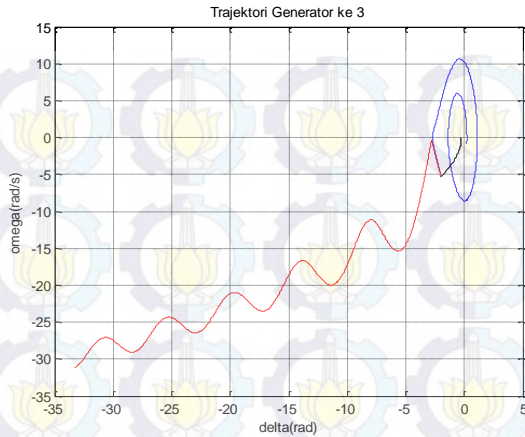
Gambar 4.173 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,671 detik (b) 0,672 detik



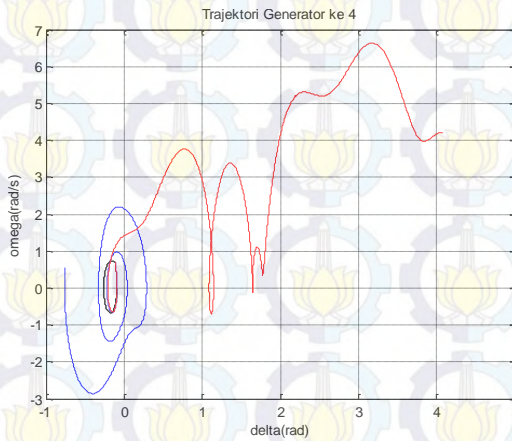
Gambar 4.173 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,671 detik (merah) 0,672 detik



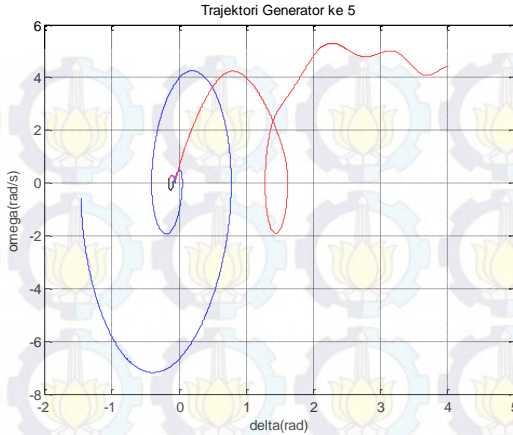
Gambar 4.174 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,671 detik (merah) 0,672 detik



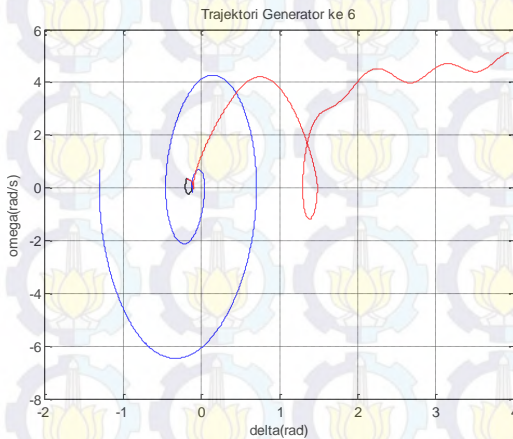
Gambar 4.175 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,671 detik (merah) 0,672 detik



Gambar 4.176 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,671 detik (merah) 0,672 detik



Gambar 4.177 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,671 detik (merah) 0,672 detik

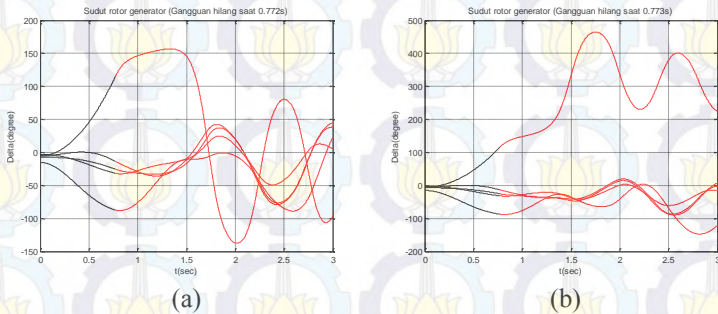


Gambar 4.178 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,671 detik (merah) 0,672 detik

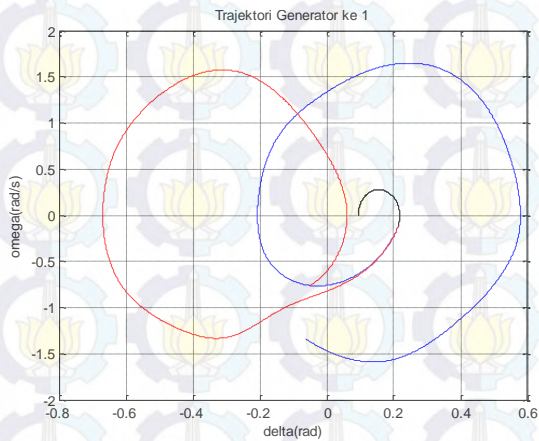
4.2.4.7. Gangguan Pada Kasus G

Simulasi pada kasus G menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,772-0,773, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,772 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,773 mengakibatkan

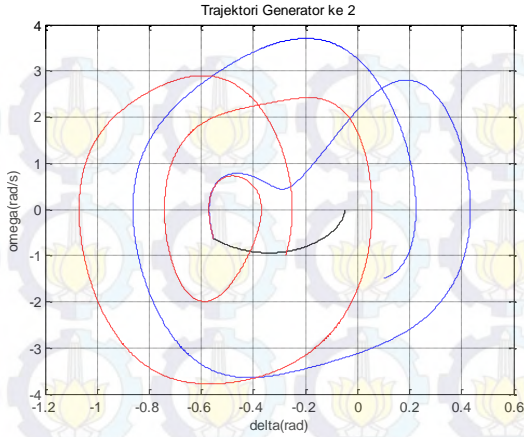
sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus G dapat dilihat sebagai berikut:



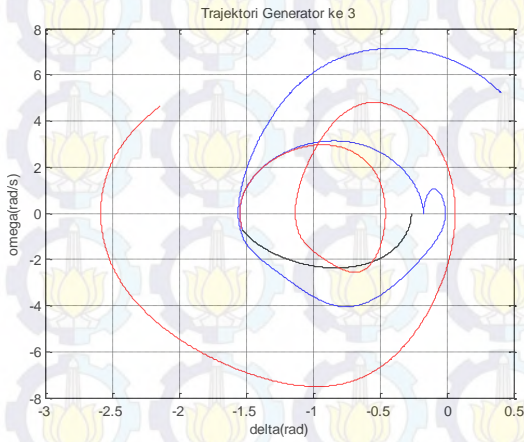
Gambar 4.179 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,772 detik (b) 0,773 detik



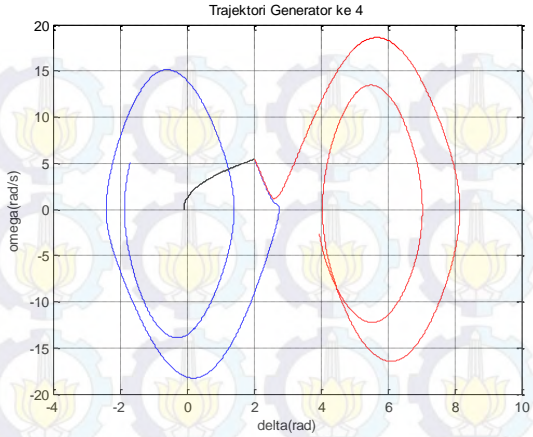
Gambar 4.180 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik



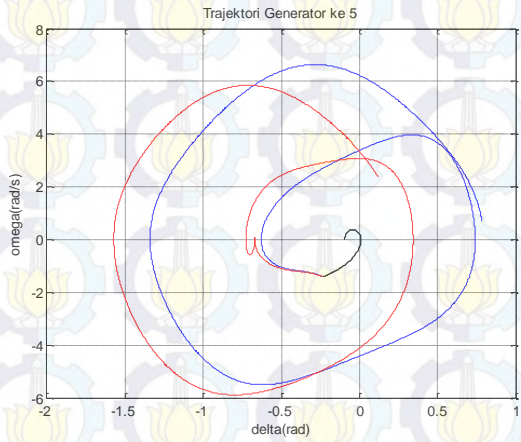
Gambar 4.181 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik



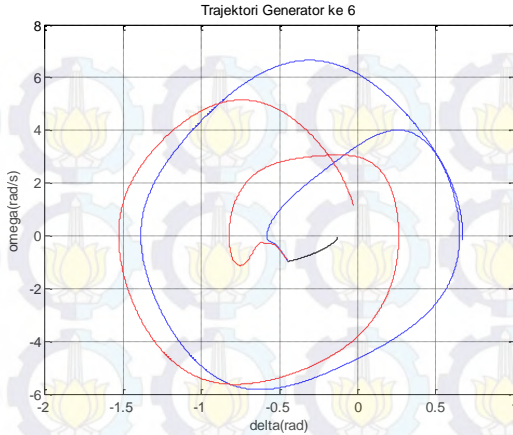
Gambar 4.182 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik



Gambar 4.183 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik



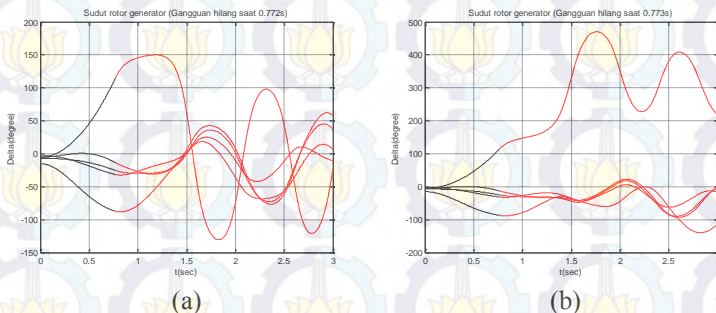
Gambar 4.184 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik



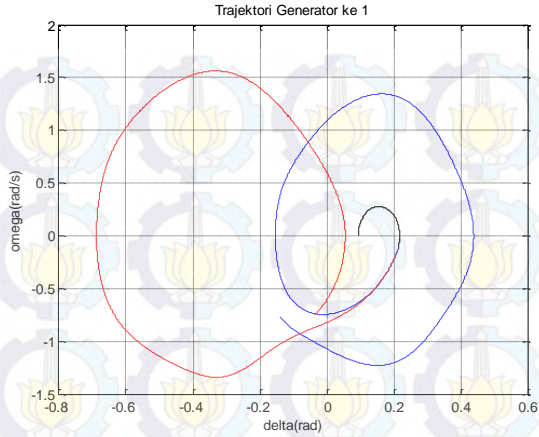
Gambar 4.185 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik

4.2.4.8. Gangguan Pada Kasus H

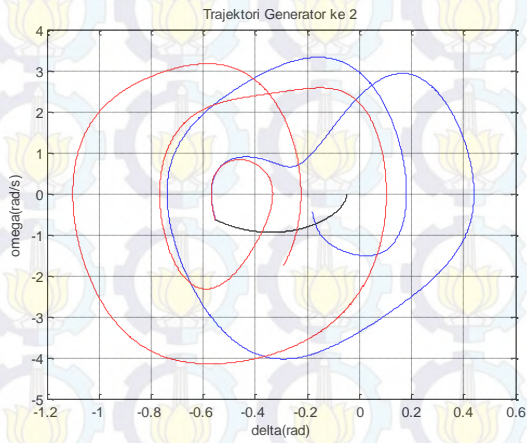
Simulasi pada kasus H menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,772-0,773, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,772 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,773 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus H dapat dilihat sebagai berikut:



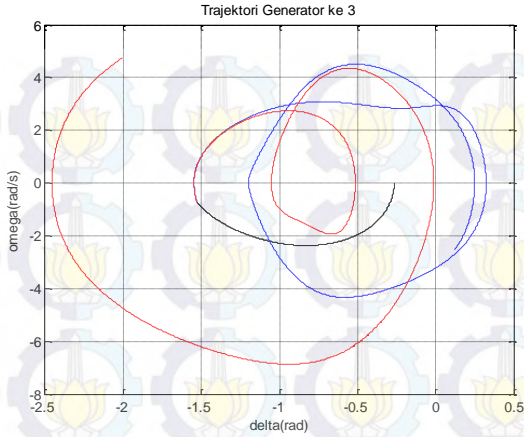
Gambar 4.186 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,772 detik (b) 0,773 detik



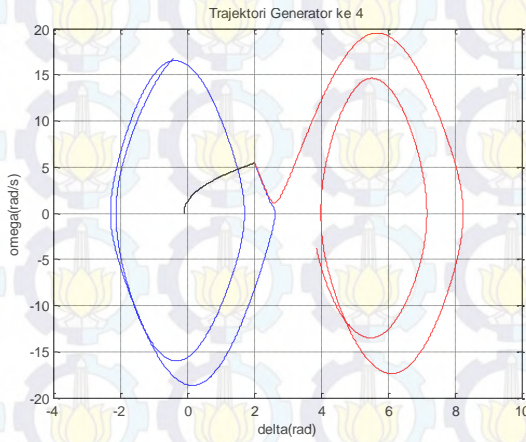
Gambar 4.187 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik



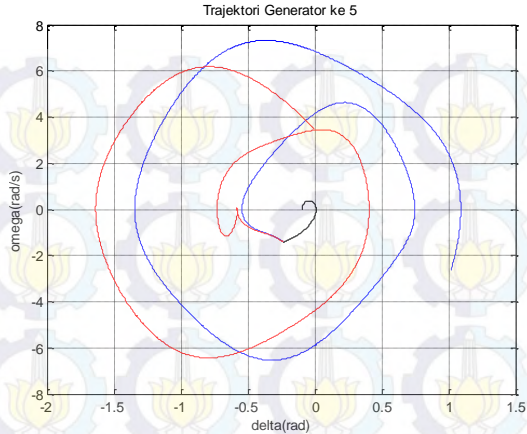
Gambar 4.188 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik



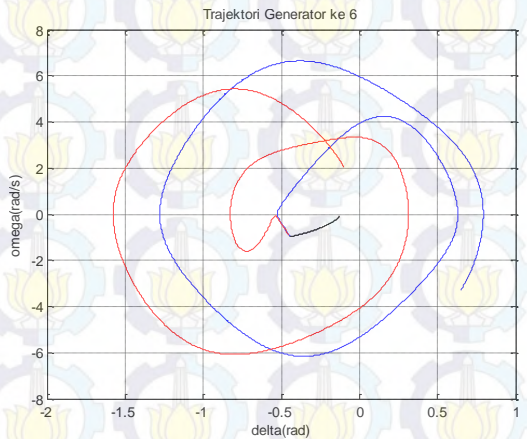
Gambar 4.189 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik



Gambar 4.190 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik



Gambar 4.191 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik

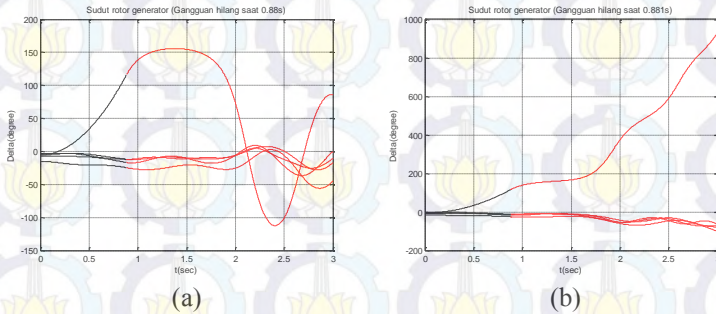


Gambar 4.192 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,772 detik (merah) 0,773 detik

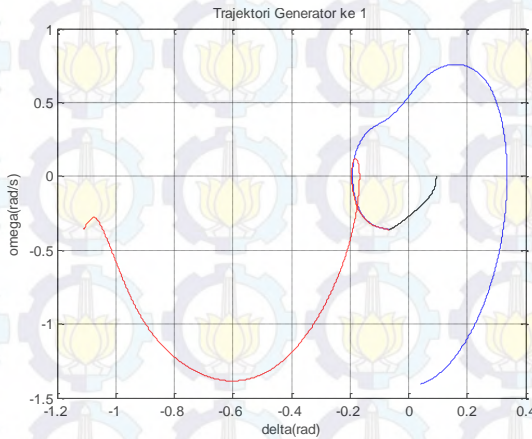
4.2.4.9. Gangguan Pada Kasus I

Simulasi pada kasus I menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,880-0,881, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,880 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,881 mengakibatkan

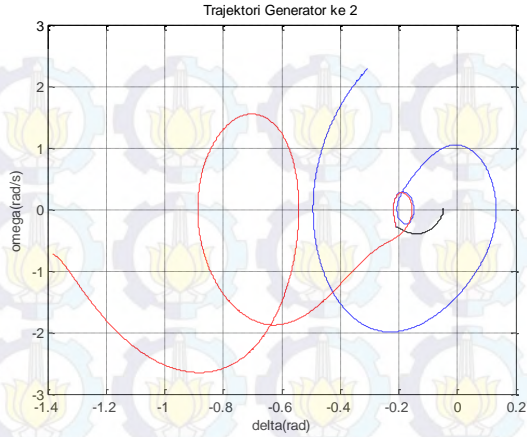
sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus I dapat dilihat sebagai berikut:



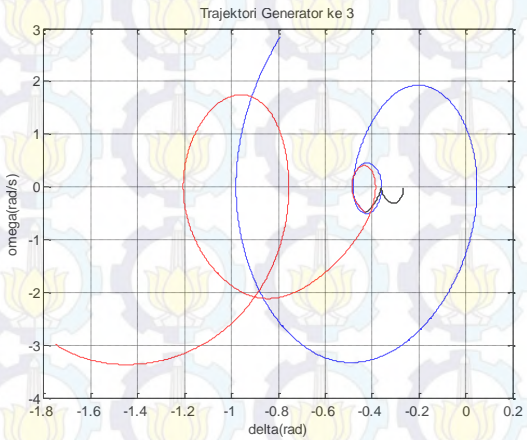
Gambar 4.193 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,880 detik (b) 0,881 detik



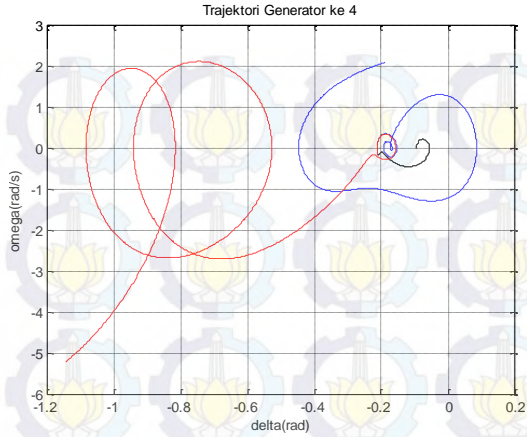
Gambar 4.194 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,880 detik (merah) 0,881 detik



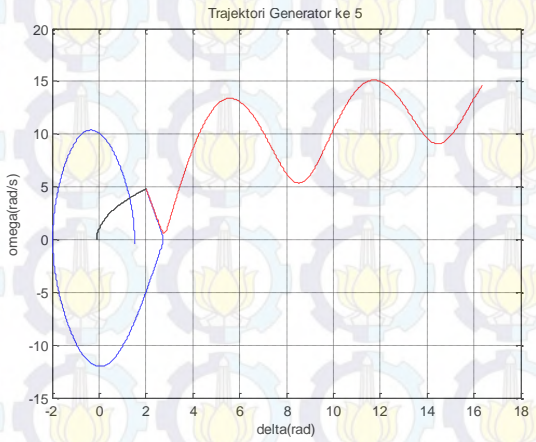
Gambar 4.195 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,880 detik (merah) 0,881 detik



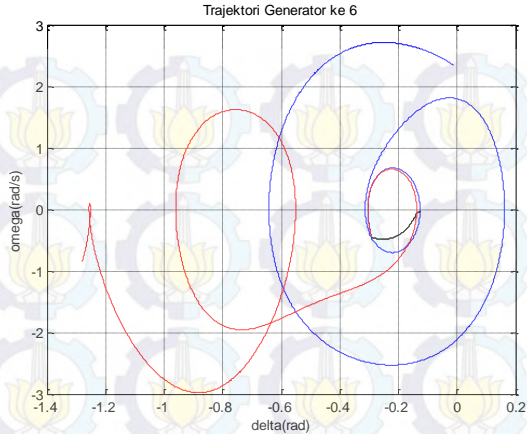
Gambar 4.196 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,880 detik (merah) 0,881 detik



Gambar 4.197 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,880 detik (merah) 0,881 detik



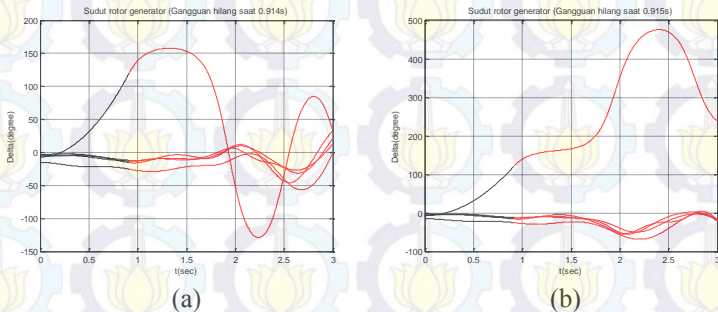
Gambar 4.198 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,880 detik (merah) 0,881 detik



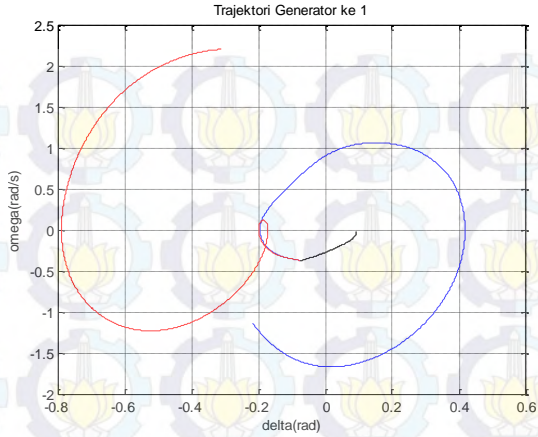
Gambar 4.199 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,880 detik (merah) 0,881 detik

4.2.4.10. Gangguan Pada Kasus J

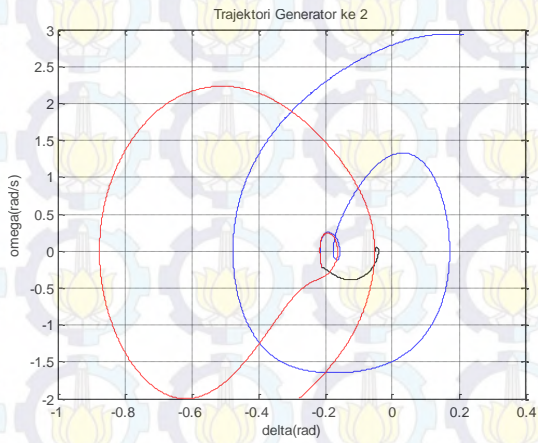
Simulasi pada kasus J menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,914-0,915, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,915 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,915 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus J dapat dilihat sebagai berikut:



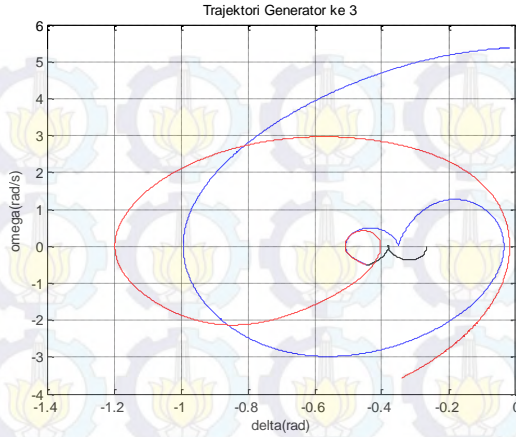
Gambar 4.200 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,914 detik (b) 0,915 detik



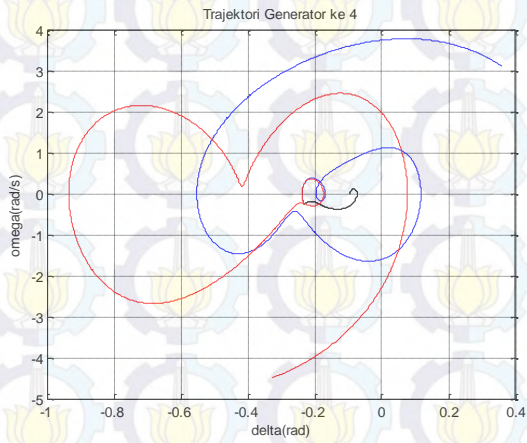
Gambar 4.201 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,914 detik (merah) 0,915 detik



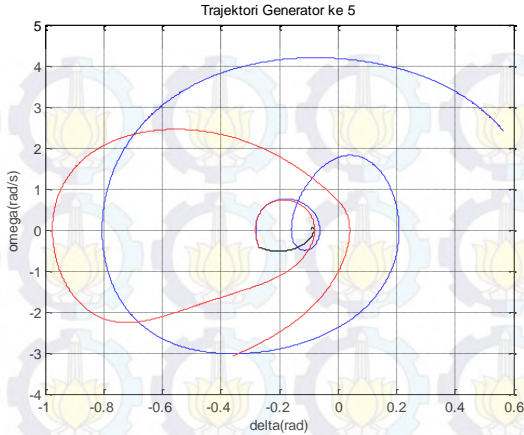
Gambar 4.202 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,914 detik (merah) 0,915 detik



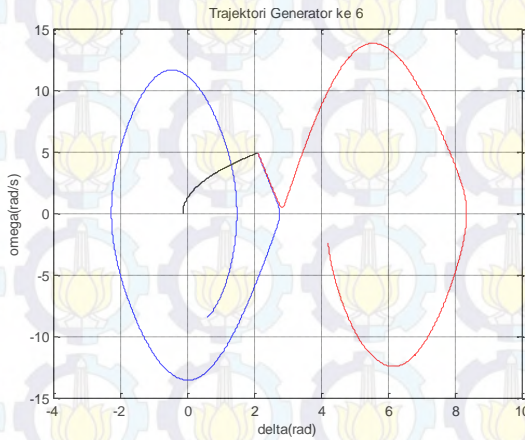
Gambar 4.203 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,914 detik (merah) 0,915 detik



Gambar 4.204 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,914 detik (merah) 0,915 detik



Gambar 4.205 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,914 detik (merah) 0,915 detik



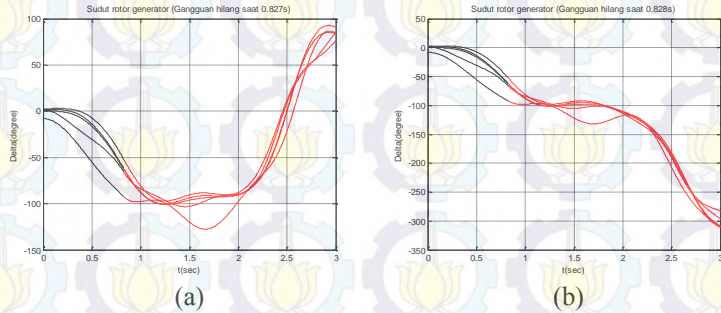
Gambar 4.206 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,914 detik (merah) 0,915 detik

4.2.5. Hasil simulasi dengan tingkat pembangkitan DG sebesar 30%

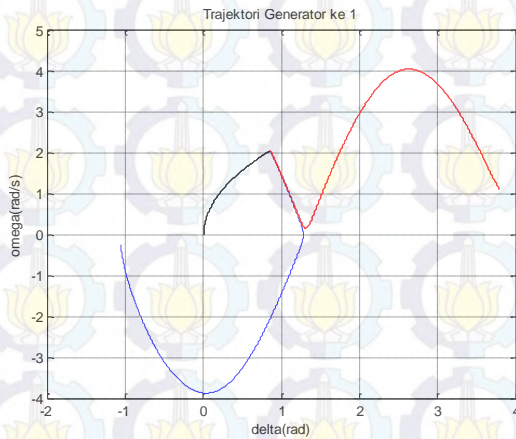
4.2.5.1. Gangguan Pada Kasus A

Simulasi pada kasus A menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,827-0,828, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,827 mengakibatkan sistem mampu menjaga

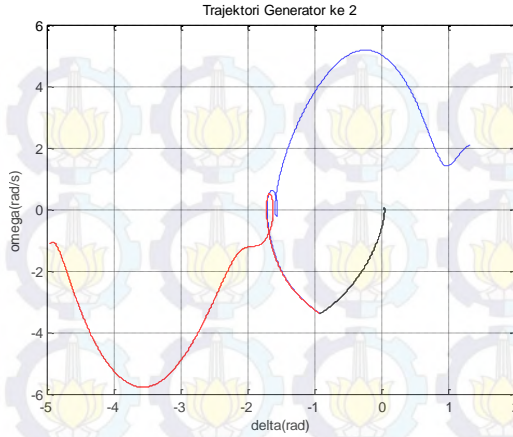
kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,828 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus A dapat dilihat sebagai berikut:



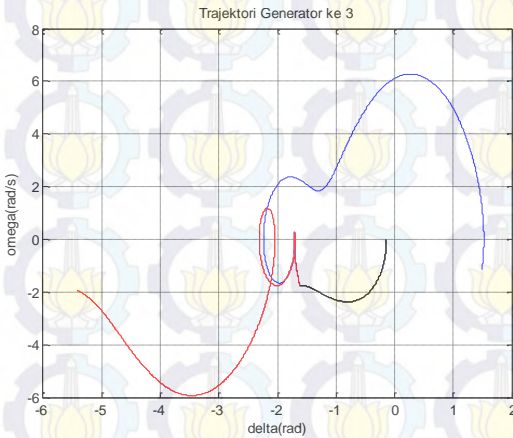
Gambar 4.207 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,827 detik (b) 0,828 detik



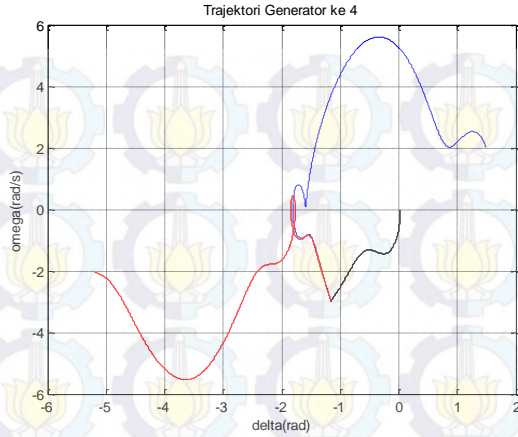
Gambar 4.208 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,827 detik (merah) 0,828 detik



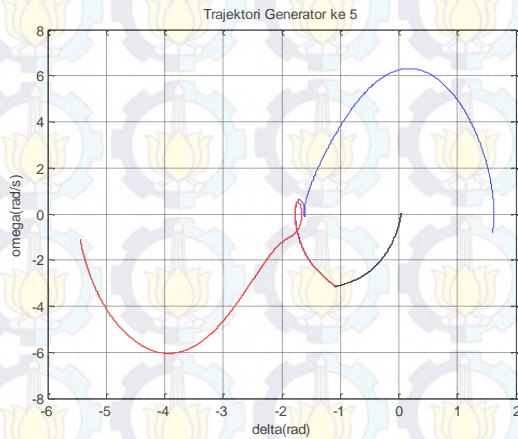
Gambar 4.209 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,827 detik (merah) 0,828 detik



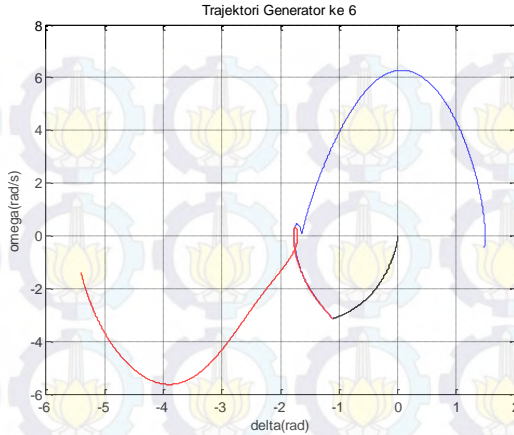
Gambar 4.210 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,827 detik (merah) 0,828 detik



Gambar 4.211 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,827 detik (merah) 0,828 detik



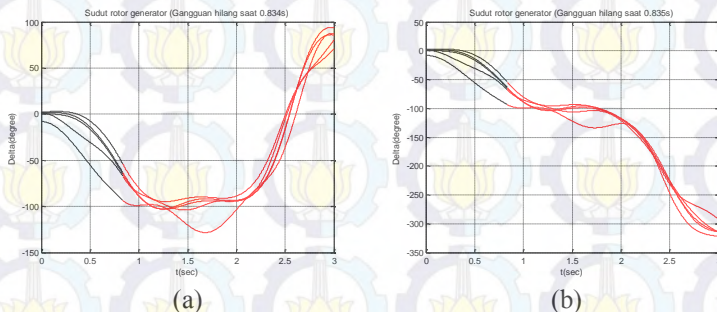
Gambar 4.212 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,827 detik (merah) 0,828 detik



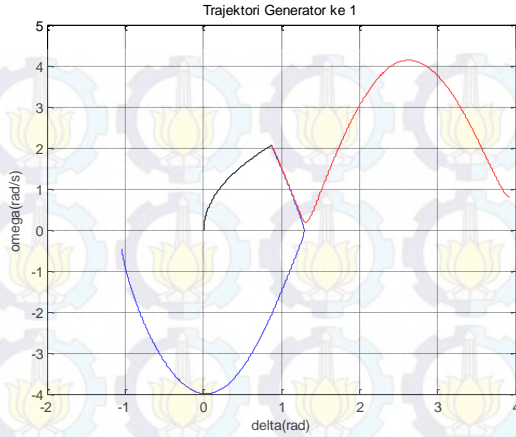
Gambar 4.213 Trajektori generator 7 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,827 detik (merah) 0,828 detik

4.2.5.2. Gangguan Pada Kasus B

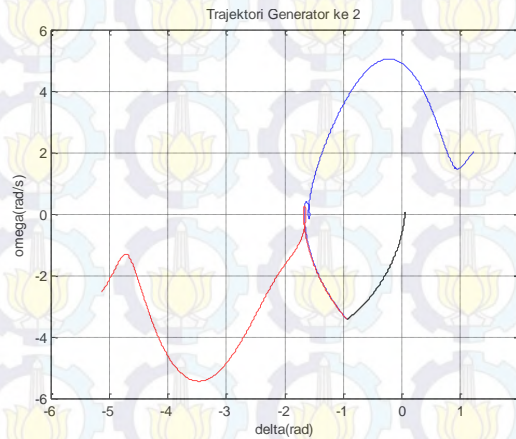
Simulasi pada kasus B menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,834-0,835, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,834 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,835 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus B dapat dilihat sebagai berikut:



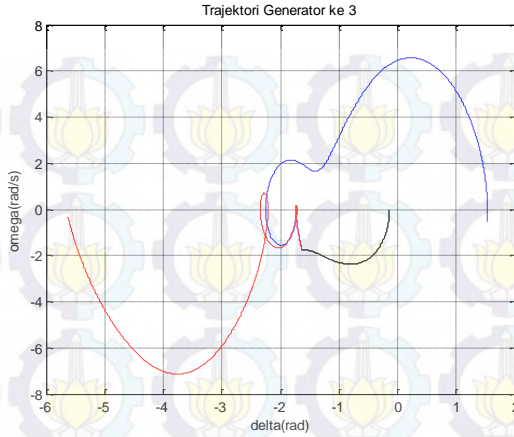
Gambar 4.214 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,834 detik (b) 0,835 detik



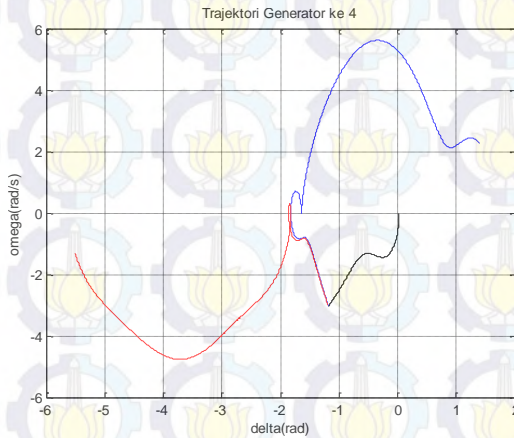
Gambar 4.215 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,834 detik (merah) 0,835 detik



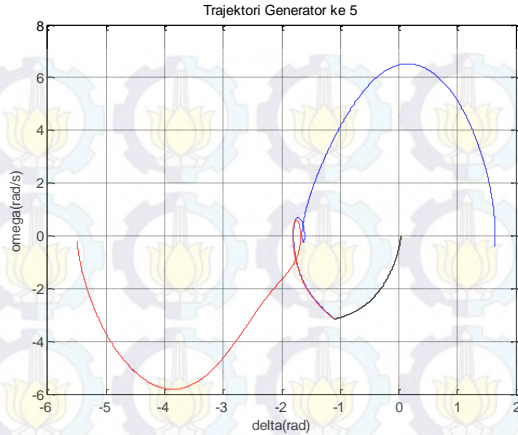
Gambar 4.216 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,834 detik (merah) 0,835 detik



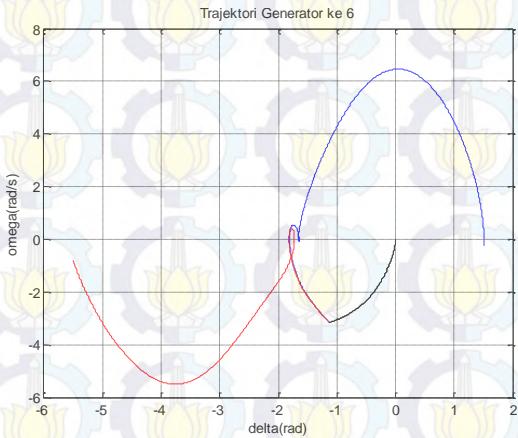
Gambar 4.217 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,834 detik (merah) 0,835 detik



Gambar 4.218 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,834 detik (merah) 0,835 detik



Gambar 4.219 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,834 detik (merah) 0,835 detik

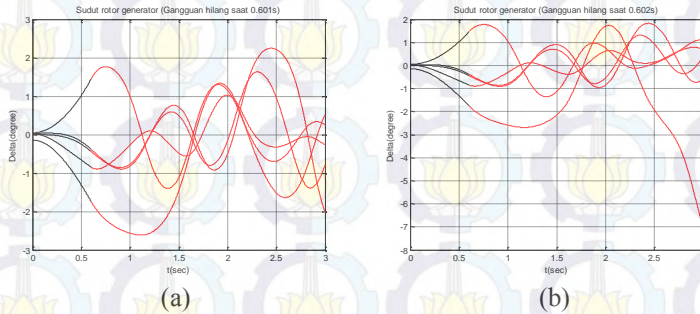


Gambar 4.220 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,834 detik (merah) 0,835 detik

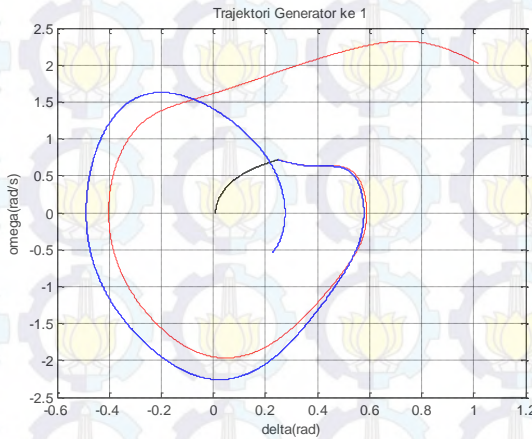
4.2.5.3. Gangguan Pada Kasus C

Simulasi pada kasus C menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,601-0,602, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,601 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,602 mengakibatkan

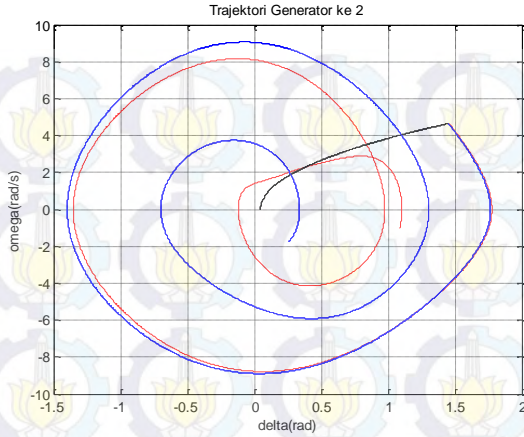
sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus C dapat dilihat sebagai berikut:



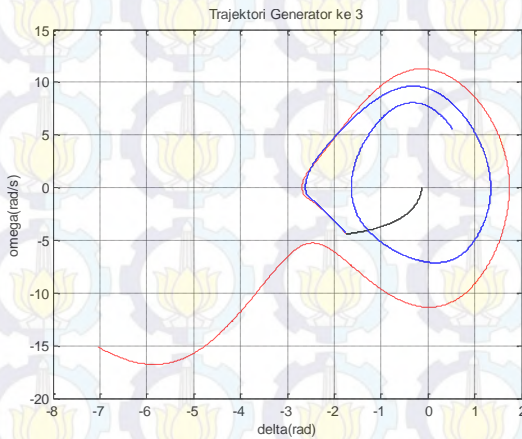
Gambar 4.221 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,601 detik (b) 0,602 detik



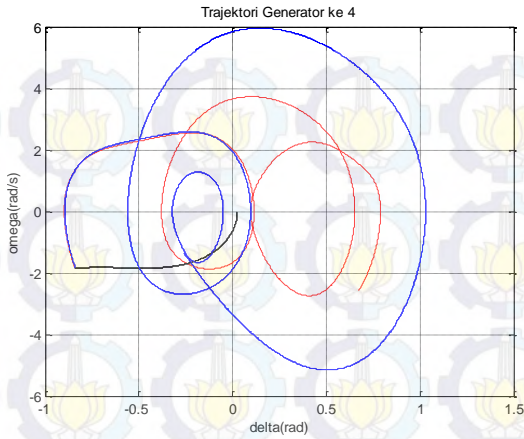
Gambar 4.222 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,601 detik (merah) 0,602 detik



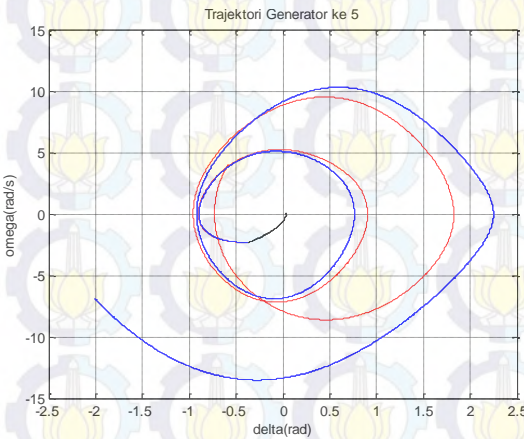
Gambar 4.223 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,601 detik (merah) 0,602 detik



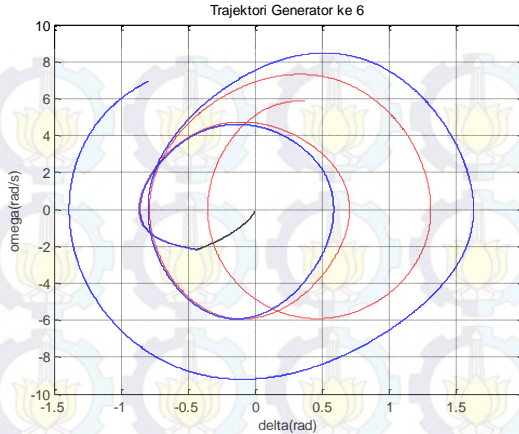
Gambar 4.224 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,601 detik (merah) 0,602 detik



Gambar 4.225 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,601 detik (merah) 0,602 detik



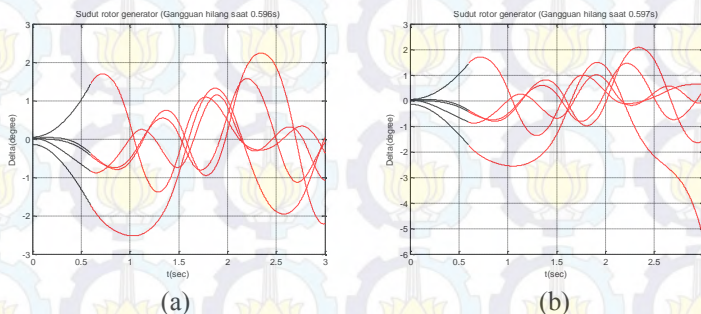
Gambar 4.226 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,601 detik (merah) 0,602 detik



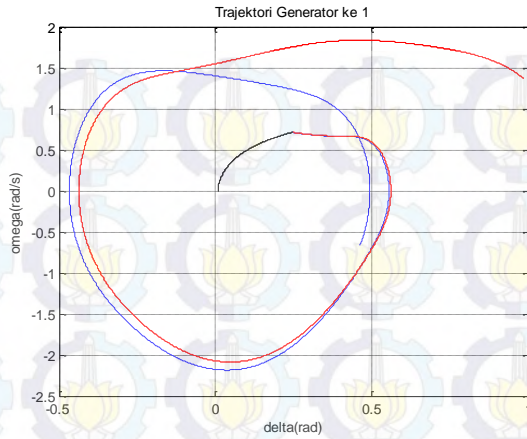
Gambar 4.227 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,601 detik (merah) 0,602 detik

4.2.5.4. Gangguan Pada Kasus D

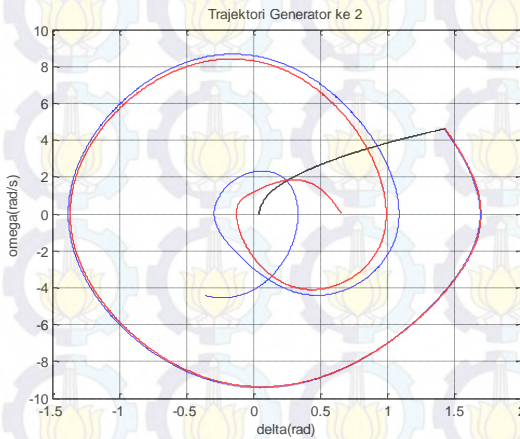
Simulasi pada kasus D menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,596-0,597, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,596 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,597 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus D dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 4.228 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,596 detik (b) 0,597 detik

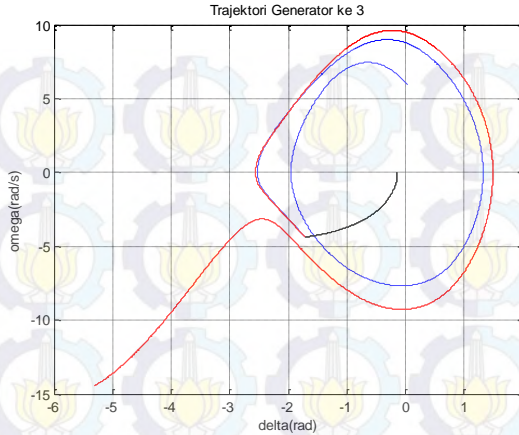


Gambar 4.229 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,596 detik (merah) 0,597 detik

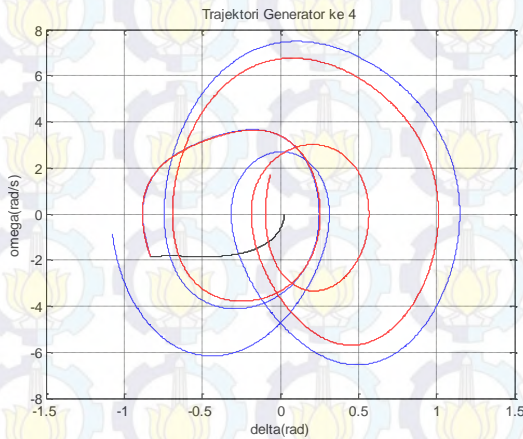


8

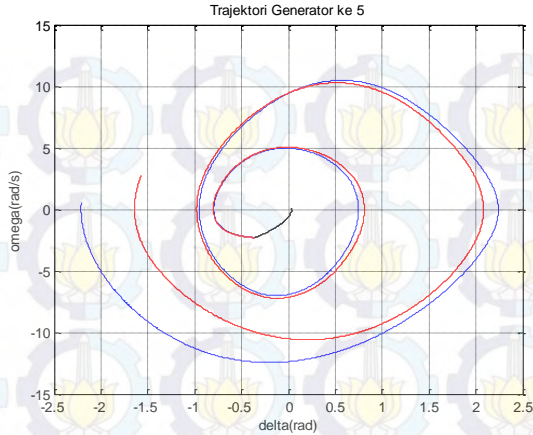
Gambar 4.230 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,596 detik (merah) 0,597 detik



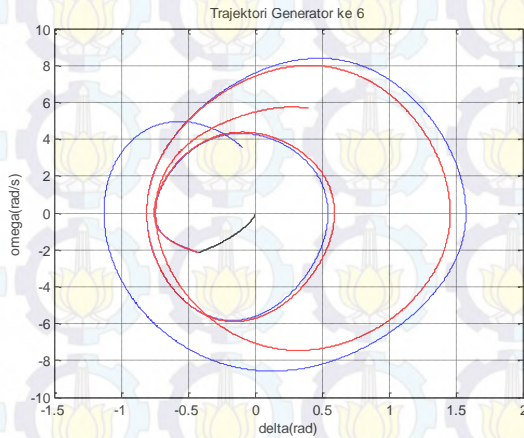
Gambar 4.231 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,596 detik (merah) 0,597 detik



Gambar 4.232 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,596 detik (merah) 0,597 detik



Gambar 4.234 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,596 detik (merah) 0,597 detik

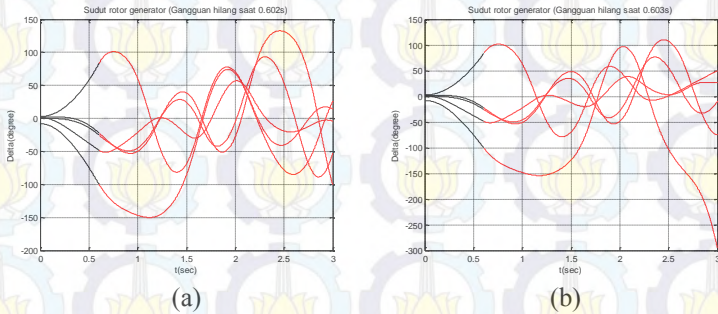


Gambar 4.235 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,596 detik (merah) 0,597 detik

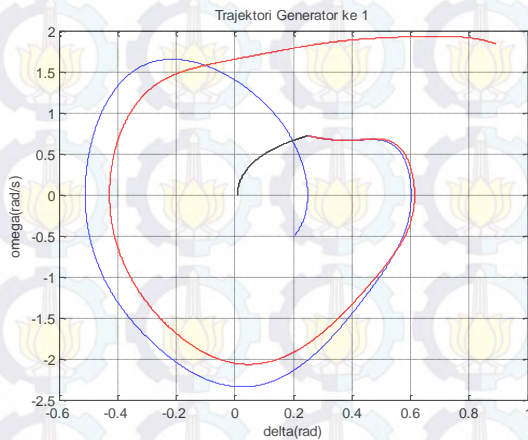
4.2.5.5. Gangguan Pada Kasus E

Simulasi pada kasus E menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,602-0,603, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,602 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,603 mengakibatkan

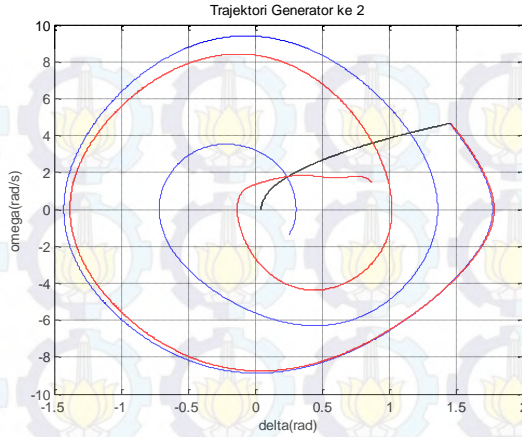
sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus E dapat dilihat sebagai berikut:



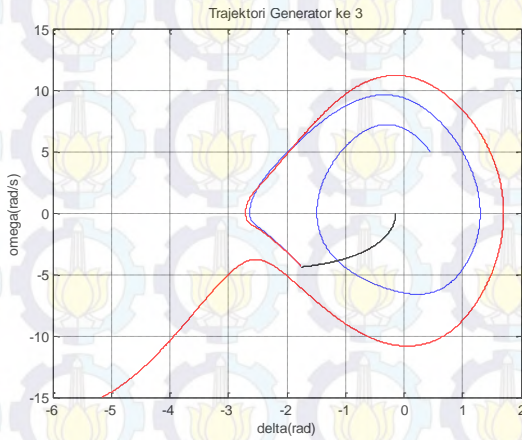
Gambar 4.236 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,602 detik (b) 0,603 detik



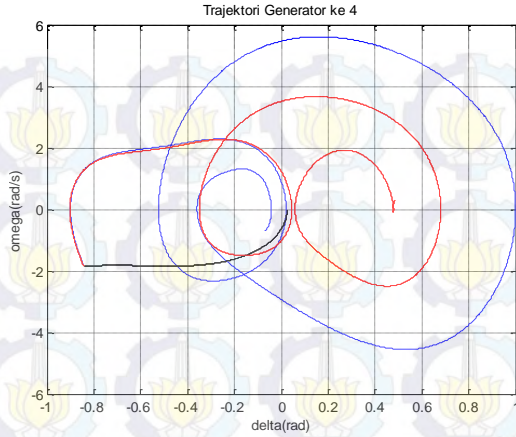
Gambar 4.237 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,602 detik (merah) 0,603 detik



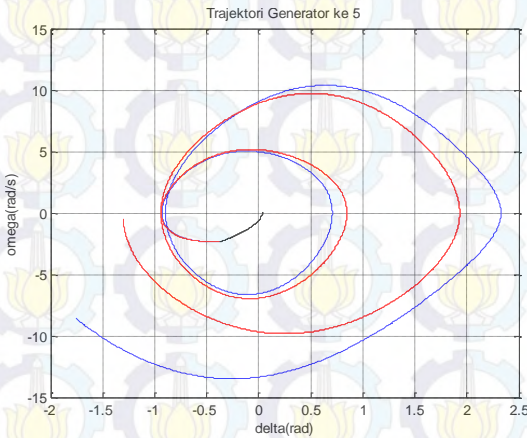
Gambar 4.238 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,602 detik (merah) 0,603 detik



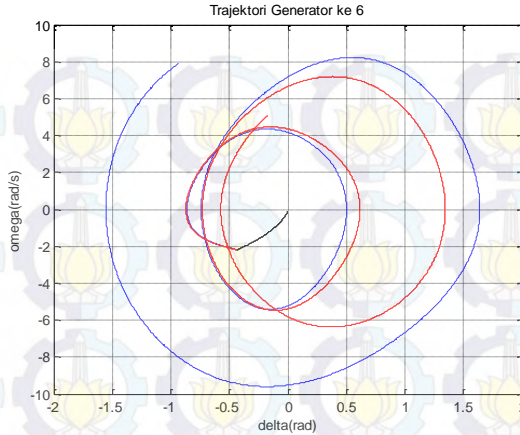
Gambar 4.239 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,602 detik (merah) 0,603 detik



Gambar 4.240 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,602 detik (merah) 0,603 detik



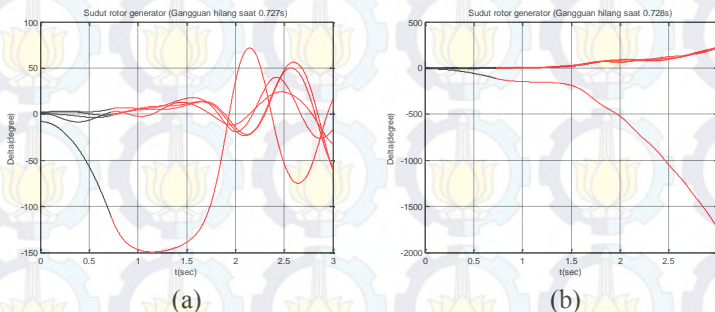
Gambar 4.241 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,602 detik (merah) 0,603 detik



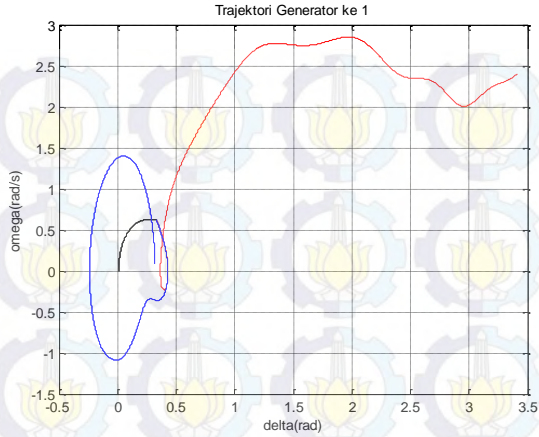
Gambar 4.242 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,602 detik (merah) 0,603 detik

4.2.5.6. Gangguan Pada Kasus F

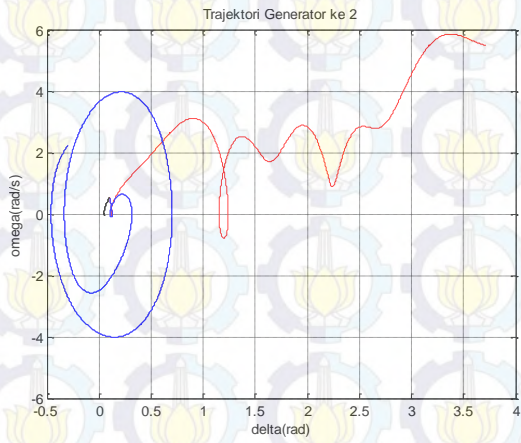
Simulasi pada kasus F menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,727-0,728, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,727 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,728 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus F dapat dilihat sebagai berikut:



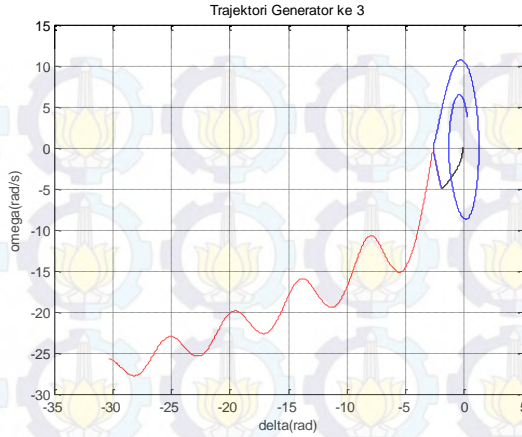
Gambar 4.243 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,727 detik (b) 0,728 detik



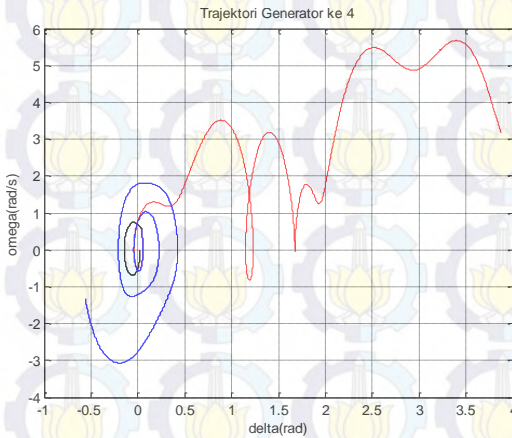
Gambar 4.244 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



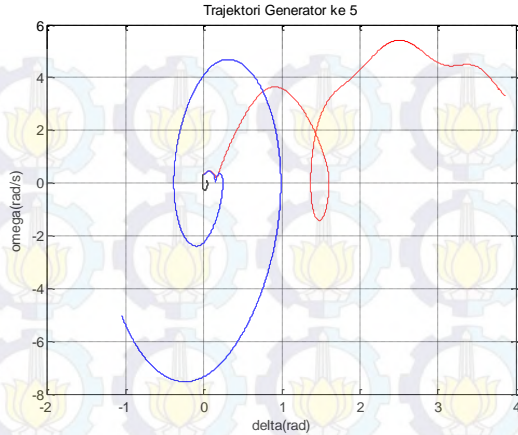
Gambar 4.245 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



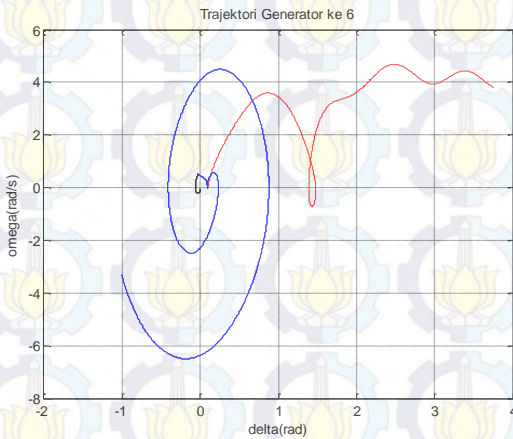
Gambar 4.246 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



Gambar 4.247 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



Gambar 4.248 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik

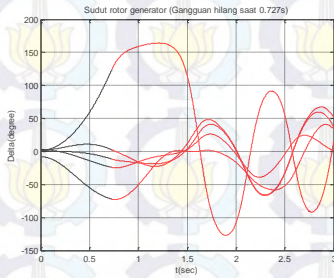


Gambar 4.249 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik

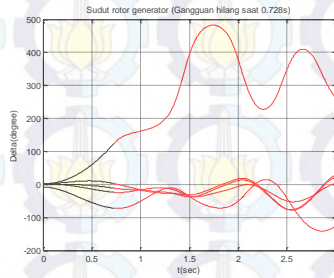
4.2.5.7. Gangguan Pada Kasus G

Simulasi pada kasus G menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,727-0,728, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,727 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,728 mengakibatkan

sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus G dapat dilihat sebagai berikut:

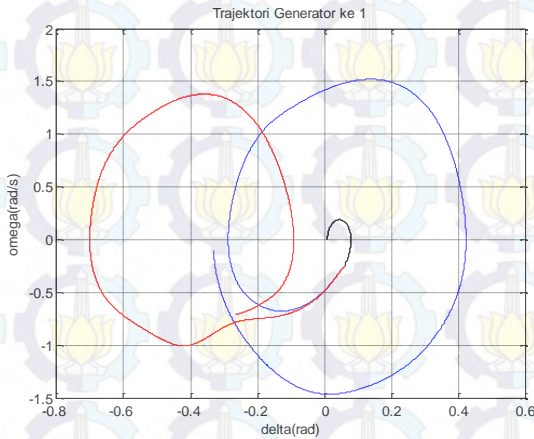


(a)

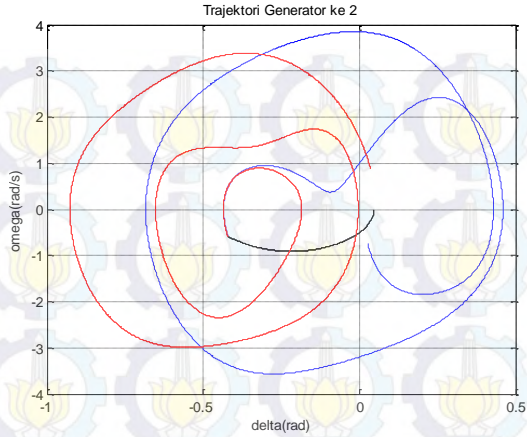


(b)

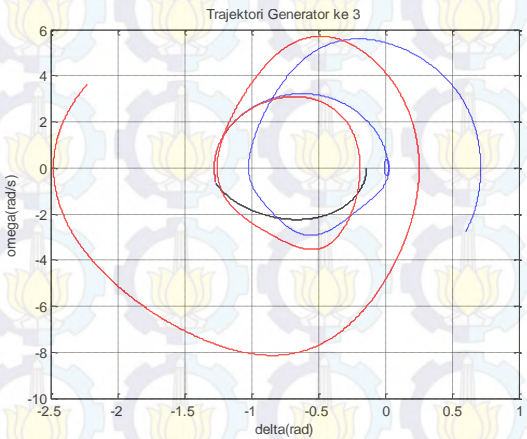
Gambar 4.250 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,727 detik (b) 0,728 detik



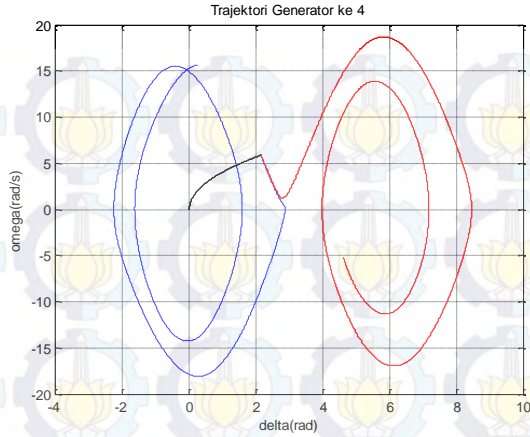
Gambar 4.251 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



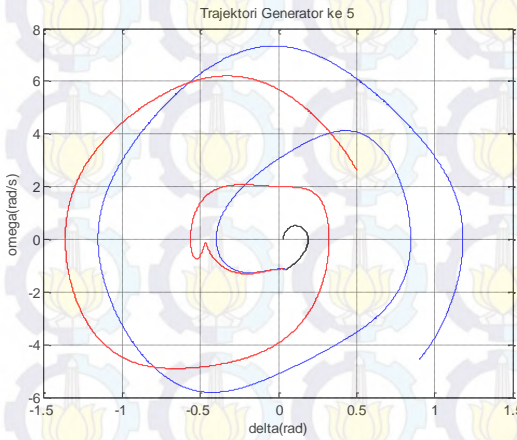
Gambar 4.252 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



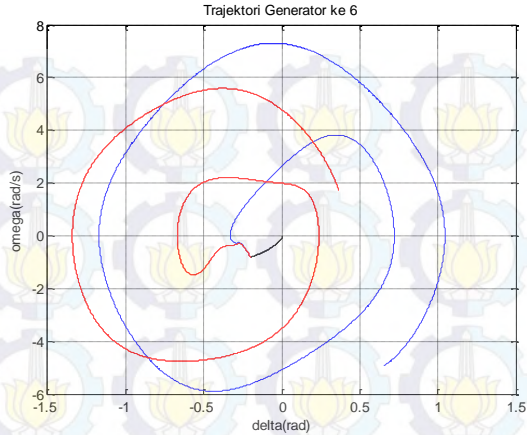
Gambar 4.253 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



Gambar 4.254 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



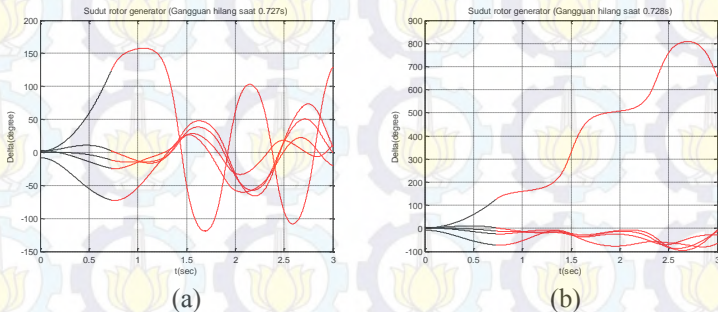
Gambar 4.255 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



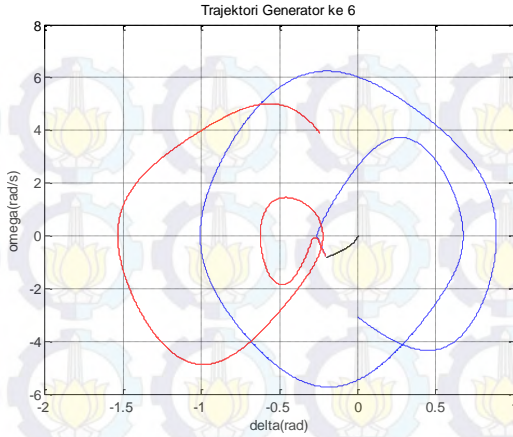
Gambar 4.256 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik

4.2.5.8. Gangguan Pada Kasus H

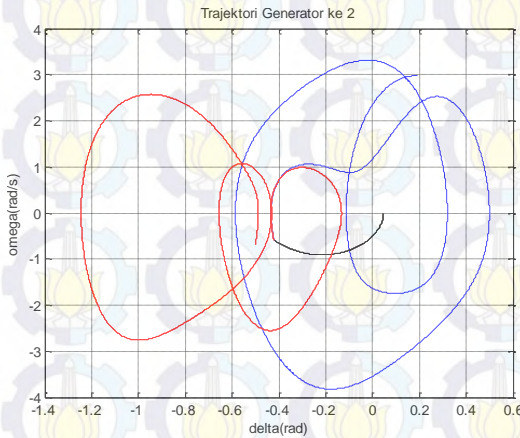
Simulasi pada kasus H menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,727-0,728, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,727 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,728 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus H dapat dilihat sebagai berikut:



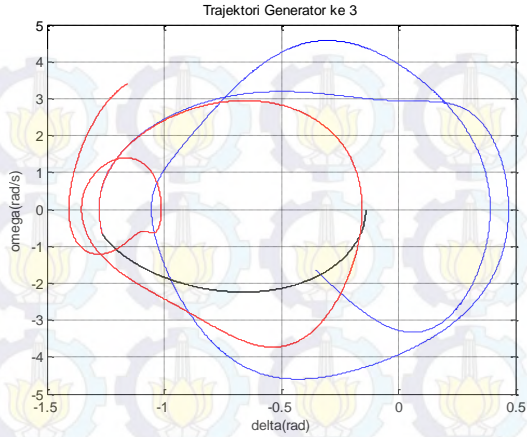
Gambar 4.257 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,727 detik (b) 0,728 detik



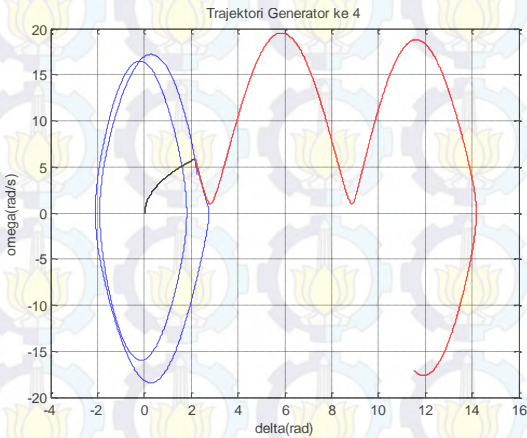
Gambar 4.258 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



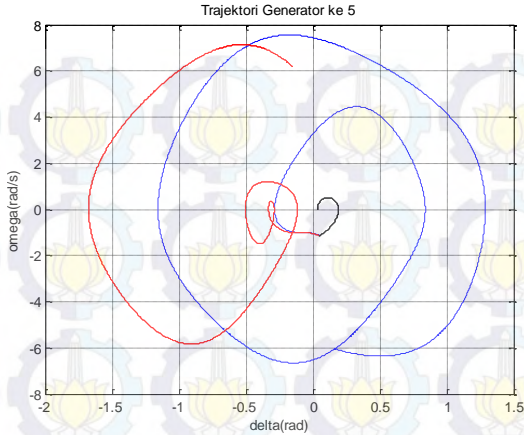
Gambar 4.259 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



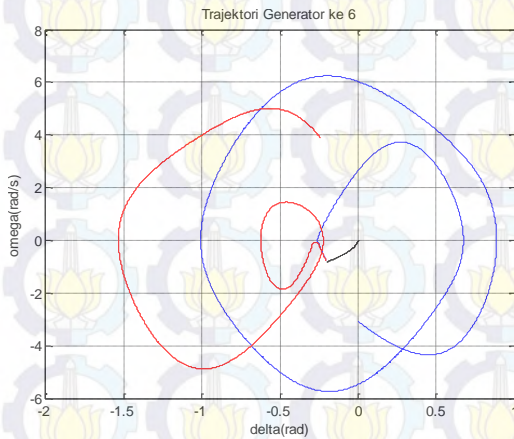
Gambar 4.260 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



Gambar 4.261 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik



Gambar 4.262 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik

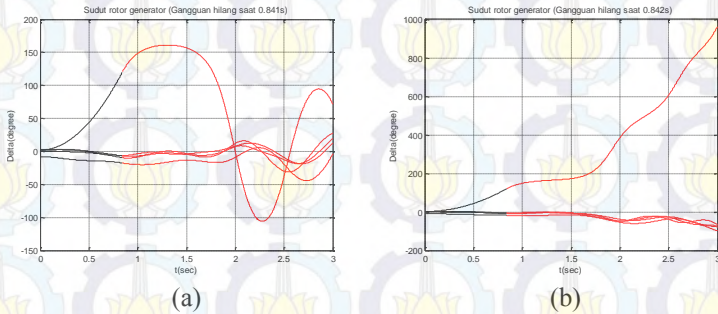


Gambar 4.263 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,727 detik (merah) 0,728 detik

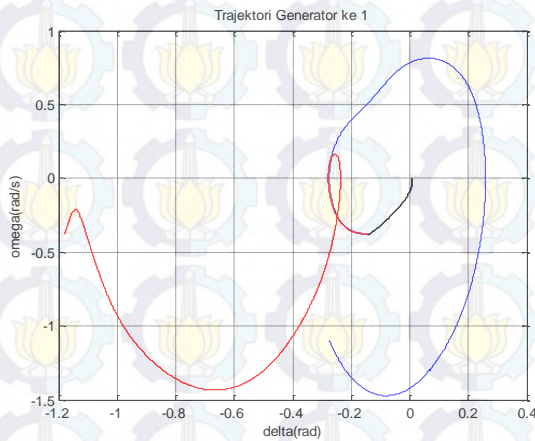
4.2.5.9. Gangguan Pada Kasus I

Simulasi pada kasus I menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,841-0,842, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,841 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,842 mengakibatkan

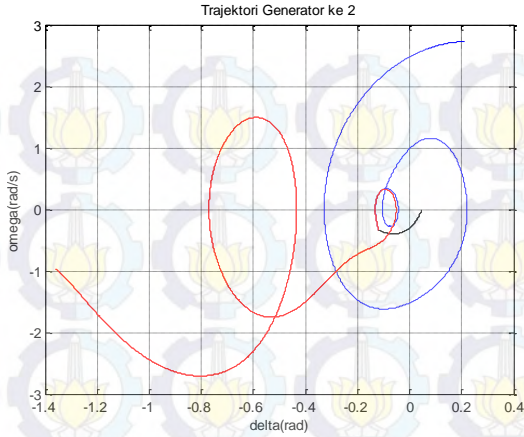
sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus I dapat dilihat sebagai berikut:



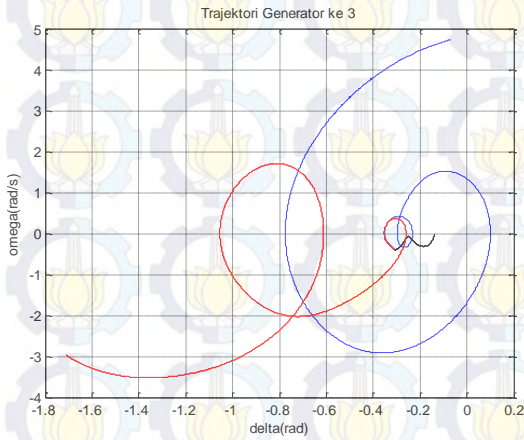
Gambar 4.264 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,841 detik (b) 0,842 detik



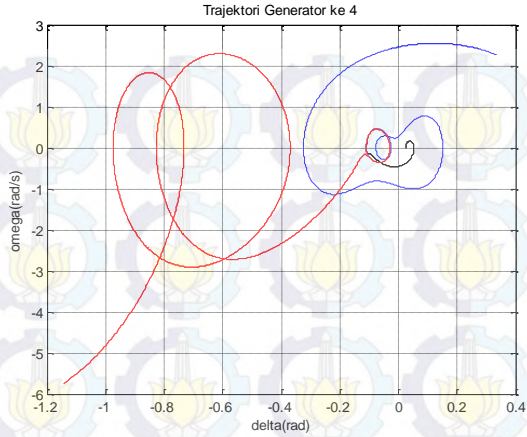
Gambar 4.265 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,841 detik (merah) 0,842 detik



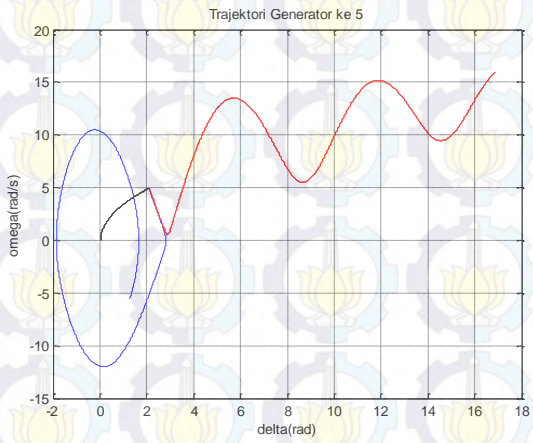
Gambar 4.266 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,841 detik (merah) 0,842 detik



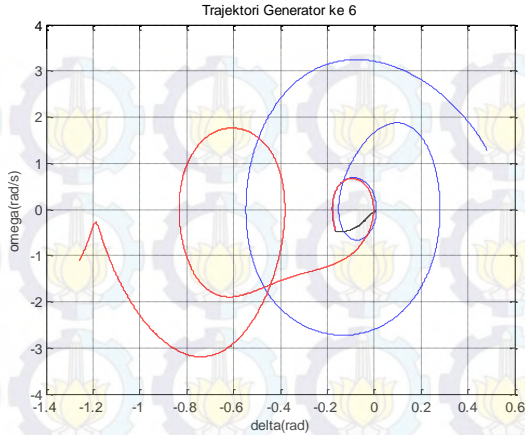
Gambar 4.267 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,841 detik (merah) 0,842 detik



Gambar 4.268 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,841 detik (merah) 0,842 detik



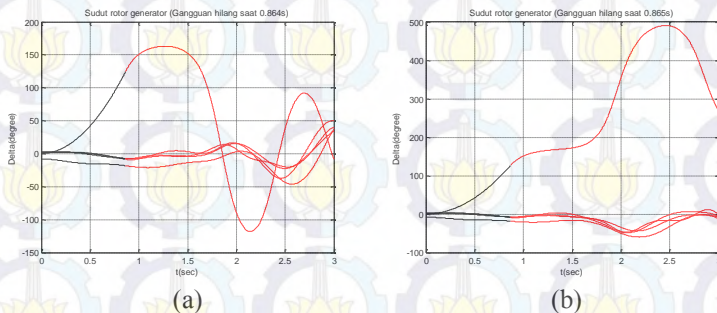
Gambar 4.269 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,841 detik (merah) 0,842 detik



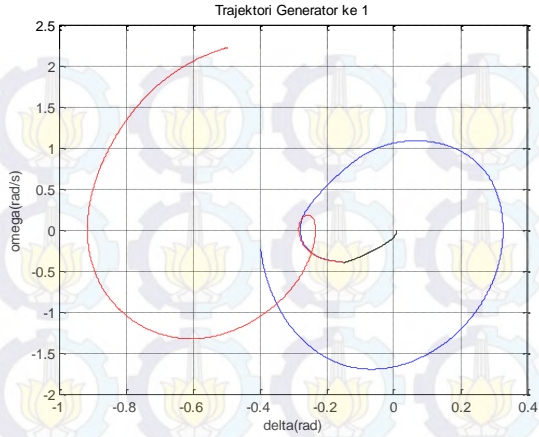
Gambar 4.270 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,841 detik (merah) 0,842 detik

4.2.5.10. Gangguan Pada Kasus J

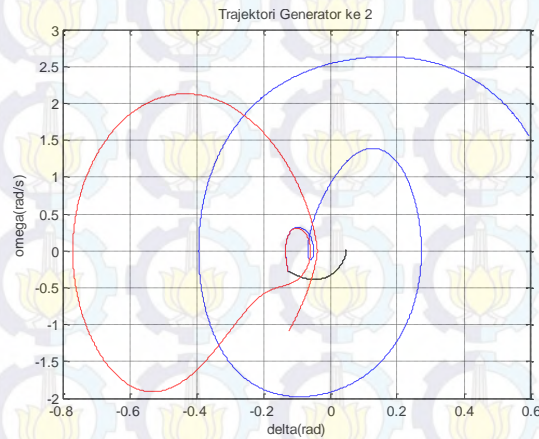
Simulasi pada kasus J menghasilkan nilai pembukaan kritis (critical clearing time (CCT) pada rentang waktu 0,864-0,865, dimana pelepasan gangguan pada waktu 0,864 mengakibatkan sistem mampu menjaga kestabilannya dan pelepasan gangguan pada waktu 0,865 mengakibatkan sistem tidak mampu menjaga kestabilannya. Kondisi stabilitas transien pada sistem dalam kasus J dapat dilihat sebagai berikut:



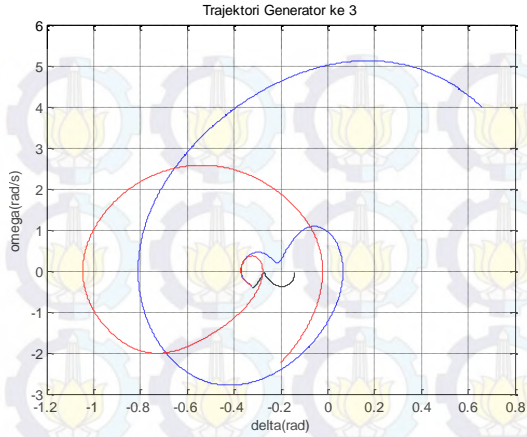
Gambar 4.271 Grafik sudut rotor generator ketika gangguan hilang pada waktu: (a) 0,864 detik (b) 0,865 detik



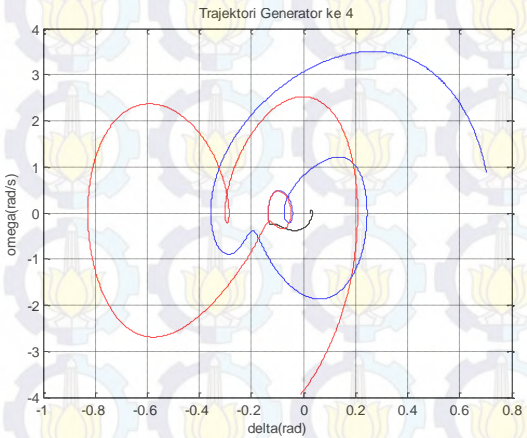
Gambar 4.272 Trajektori generator 1 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,864 detik (merah) 0,865 detik



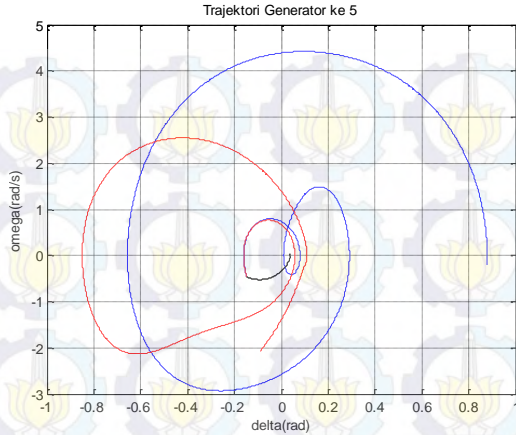
Gambar 4.273 Trajektori generator 2 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,864 detik (merah) 0,865 detik



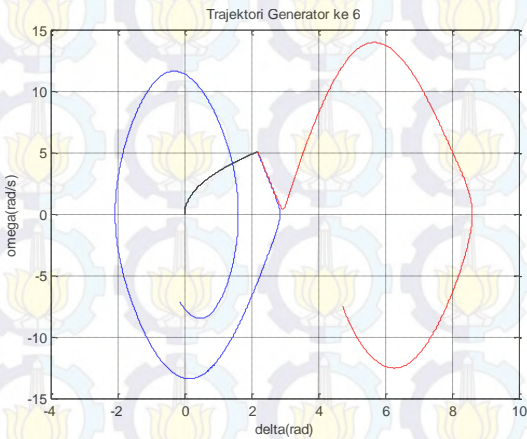
Gambar 4.274 Trajektori generator 3 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,864 detik (merah) 0,865 detik



Gambar 4.275 Trajektori generator 4 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,864 detik (merah) 0,865 detik



Gambar 4.276 Trajektori generator 5 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,864 detik (merah) 0,865 detik



Gambar 4.277 Trajektori generator 6 ketika gangguan hilang pada waktu: (biru) 0,864 detik (merah) 0,865 detik

4.2.5 Hasil Simulasi Pemutusan Waktu Kritis (Critical Clearing Time)

Dari ketiga skenario simulasi stabilitas transien, maka didapat data pemutusan waktu kritis sebagai berikut:

Tabel 4.6 Critical clearing time sistem dengan tingkan pembangkitan DG berbeda (dalam satuan detik)

CASE	Open	Open	Tingkat Pembangkitan DG (%)			
			0		3	
	Bus	Bus	t s	t u	t s	t u
A	1	2	0.455	0.456	0.482	0.483
B	1	4	0.467	0.468	0.493	0.494
C	2	4	0.506	0.507	0.521	0.522
D	2	5	0.505	0.506	0.513	0.514
E	2	6	0.504	0.505	0.519	0.520
F	5	7	0.646	0.647	0.653	0.654
G	8	6	0.796	0.797	0.789	0.790
H	8	28	0.796	0.797	0.789	0.790
I	11	9	0.901	0.902	0.894	0.895
J	13	12	0.942	0.943	0.933	0.934
CASE	Open	Open	Tingkat Pembangkitan DG (%)			
			10		30	
	Bus	Bus	t s	t u	t s	t u
A	1	2	0.551	0.552	0.551	0.552
B	1	4	0.561	0.562	0.561	0.562
C	2	4	0.540	0.541	0.540	0.541
D	2	5	0.533	0.534	0.533	0.534
E	2	6	0.541	0.542	0.541	0.542
F	5	7	0.671	0.672	0.671	0.672
G	8	6	0.772	0.773	0.772	0.773
H	8	28	0.772	0.773	0.772	0.773
I	11	9	0.880	0.881	0.880	0.881
J	13	12	0.914	0.915	0.914	0.915

4.2.6 Hasil analisa stabilitas transien

Berdasarkan hasil simulasi yang telah diberikan pada bagian 4.2.1 s/d 4.2.5 dapat diketahui beberapa hal, antara lain:

- Ketika DG mengganggu sebagian beban sistem, indikator stabilitas secara umum meningkat (sebagian mengalami penurunan).
- Semakin besar beban yang ditanggung oleh DG menyebabkan adanya peningkatan indikator stabilitas pada sistem secara umum.

Hasil simulasi stabilitas transien dapat dijelaskan sebagai berikut. Dalam skenario simulasi stabilitas transien, seluruh pembangkit pusat tetap terhubung dalam sistem. Oleh karena itu, seluruh kontrol daya aktif dan reaktif serta inersia dari pembangkit pusat tidak berubah. Namun, aliran daya aktif pada jalur transmisi menjadi lebih kecil ketika DG di-

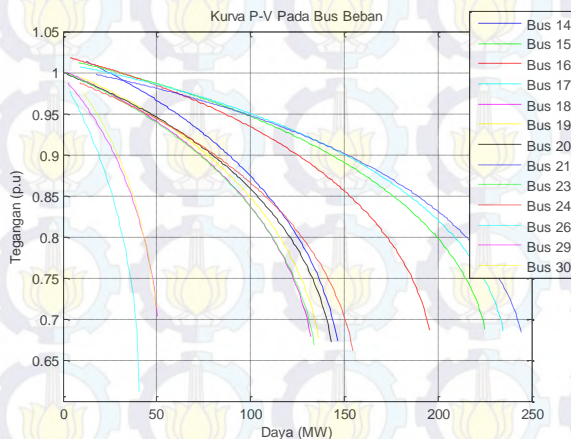
implementasikan, dimana daya aktif yang dibangkitkan oleh DG secara langsung dikonsumsi oleh beban dalam feeder yang sama. Karenanya, aliran daya aktif pada jalur transmisi berkurang ketika DG menanggung sebagian beban sistem. Dapat diketahui bahwa aliran daya yang besar memiliki dampak terhadap osilasi: semakin besar jalur tersebut dibebani, mengakibatkan semakin lemahnya koneksi antara generator dan beban serta semakin besarnya osilasi yang terdapat pada pembangkit pusat. Oleh sebab itu, ketika seluruh pembangkit pusat terhubung pada sistem dan bersamaan dengan itu, DG di-impelentasikan pada lokasi yang dekat dengan beban, impelementasi dari DG akan menjadi sebuah 'reduktor beban' yang mereduksi aliran daya pada jaringan transmisi dan meningkatkan stabiitas transien pada jaringan tersebut.

4.3. Hasil simulasi stabilitas tegangan sistem

Pada bagian ini akan diperlihatkan kondisi stabilitas tegangan pada tiap tiap bus beban dari sistem dengan melihat pada 3 kondisi seperti yang telah dijelaskan pada bab 3.

4.3.1. Kurva P-V pada bus beban

Berikut adalah kurva P-V pada setiap bus beban akibat penambahan daya beban aktif.



Gambar 4.278 Kurva P-V pada setiap bus beban akibat penambahan daya beban aktif

4.3.2. Perbandingan tegangan terhadap penambahan beban

Berdasarkan kurva P-V yang ada pada bagian sebelumnya, maka didapat perbandingan profil tegangan pada setiap bus beban akibat penambahan daya aktif pada beban hingga mencapai kondisi tidak konvergen:

Tabel 4.7 Perbandingan antara tegangan dalam kondisi sebelum dan setelah penambahan beban daya aktif

Bus No	Kondisi Awal		Setelah Penambahan Beban	
	Vm (p.u)	PI (MW)	Vm (p.u)	PI (MW)
14	1.014	12.4	0.674	146.4
15	1.012	8.2	0.735	218.2
16	1.019	3.5	0.69	189.5
17	1.007	9	0.738	227
18	0.999	3.2	0.736	125.2
19	0.994	9.5	0.747	127.5
20	0.997	2.2	0.732	136.2
21	0.997	17.5	0.737	235.5
23	0.997	3.2	0.728	127.2
24	0.987	8.7	0.724	146.7
26	0.976	3.5	0.657	39.5
29	0.988	2.4	0.711	48.4
30	0.976	10.6	0.703	48.6

Berdasarkan kondisi awal dan akhir maka didapat besar perubahan tegangan terhadap penambahan beban adalah:

Tabel 4.8 Rasio perubahan tegangan terhadap penambahan beban pada setiap bus beban

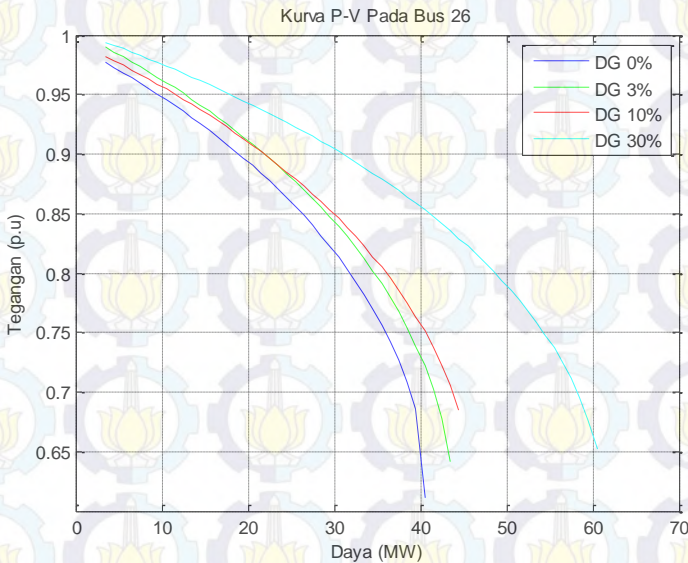
Bus	ΔV	ΔP	$\Delta V/\Delta P$
14	0.328	186	0.0018
15	0.112	134	0.0008
16	0.330	186	0.0018
17	0.269	218	0.0012
18	0.263	122	0.0022
19	0.248	11	0.0021
20	0.266	134	0.0020
21	0.260	218	0.0012
23	0.270	124	0.0022
24	0.264	138	0.0019
26	0.320	36	0.0089
29	0.278	46	0.0060
30	0.274	38	0.0072

Dari tabel rasio antara perubahan tegangan terhadap perubahan daya beban, maka didapat nilai rasio terbesar dengan nilai 0,0089 yang terdapat pada bus 26. Nilai rasio terbesar ini menandakan bahwa bus 26

merupakan bus paling sensitif terhadap peningkatan beban, mengakibatkan tegangan pada bus 26 mudah turun ketika terjadi peningkatan beban.

4.3.3. Perbandingan kurva P-V terhadap penambahan DG

Berikut adalah perbandingan kurva P-V pada bus 26 terhadap pemasangan DG pada setiap bus beban dengan tingkat pembangkitan berbeda:



Gambar 4.278 Kurva P-V pada bus 26 akibat pemasangan DG

Berdasarkan gambar 4.278 terlihat bahwa dengan dilakukannya pemasangan DG pada bus 26, mengakibatkan perubahan pada kurva P-V pada bus tersebut. Pemasangan DG ini menyebabkan bus 26 mampu menampung daya beban lebih besar dibandingkan saat sebelum adanya pemasangan DG. Semakin besar tingkat pembangkitan DG menyebabkan semakin besar daya beban yang mampu ditampung oleh bus tersebut sebelum tegangan bus 26 mengalami tegangan drop hingga berada dibawah 0.95 p.u.

4.3.4 Hasil analisa stabilitas tegangan sistem

Berdasarkan hasil simulasi yang telah diberikan pada bagian 4.3.1 s/d 4.3.3 dapat diketahui beberapa hal, antara lain:

- Ketika DG menanggung sebagian beban pada bus 26 (bus dengan sensitivitas tertinggi), nilai tegangan pada bus tersebut meningkat.
- Semakin besar beban yang ditanggung oleh DG menyebabkan peningkatan kurva P-V pada bus 26.

Hasil simulasi stabilitas tegangan dapat dijelaskan sebagai berikut. Dalam skenario simulasi stabilitas tegangan, peningkatan beban pada suatu bus beban akan mengakibatkan pelemahan tegangan pada bus beban tersebut. Ketika DG di-implementasikan, daya aktif yang dibangkitkan oleh DG secara langsung dikonsumsi oleh beban dalam bus yang sama. Oleh sebab itu, implementasi dari DG akan menjadi sebuah 'reduktor beban' yang mereduksi besarnya beban yang ada pada bus tersebut. Dikarenakan kondisi tersebut, dengan nilai beban yang sama, maka besar tegangan pada bus tersebut akan meningkat. Sehingga bus tersebut mampu menghadapi peningkatan beban lebih besar dibandingkan pada kondisi tidak terpasangnya DG pada bus beban tersebut.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan studi “Analisis Stabilitas Transien dan Tegangan pada Sistem Tenaga Listrik akibat Instalasi Pembangkitan Terdistribusi”, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisa stabilitas transien dan tegangan terhadap sistem tenaga listrik sangat diperlukan guna menjaga sistem agar mampu bekerja dalam kondisi aman dan kontinu.
2. Pembangkitan Terdistribusi atau lebih dikenal dengan *Distributed Generation* (DG) memiliki peran sebagai reduktor beban sehingga dapat memberikan dampak terhadap stabilitas transien dan tegangan sistem.
3. Secara umum, semakin besar tingkat pembangkitan DG, maka semakin baik pula indikator stabilitas transien dan tegangan sistem. Untuk stabilitas transien dapat diketahui dengan peningkatan waktu pemutusan kritis atau lebih dikenal dengan Critical Clearing Time (CCT). Untuk stabilitas tegangan, dapat diketahui dari peningkatan kurva P-V.

5.2. Saran

Dalam pengembangan penelitian selanjutnya, terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan, antara lain:

1. Pengembangan studi analisis stabilitas transien dengan menggunakan berbagai jenis DG, baik DG berbasis mesin sinkron, mesin asinkron, serta DG berbasis inverter.
2. Pengembangan studi analisis stabilitas transien dapat memperhitungkan kekuatan koneksi DG dengan memberikan variasi nilai impedansi pada jalur koneksi DG dengan beban.
3. Pengembangan studi analisis tegangan dapat memperhitungkan beban dinamis, dengan memperhatikan perubahan beban setiap waktu dalam batasan waktu tertentu.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jenkins N, Allan R, Crossley P, Kirschen D, Strbac G. *“Embedded generation.”* IEE power and energy series: IEE books; 2000.
- [2] Barin A, Pozzatti LF, Canha LN, Machado RQ, Abaide AR, Arend G. *“Multi-objective analysis of impacts of distributed generation placement on the operational characteristics of networks for distribution system planning.”* Int J Electro Power Energy System 2010; 32(10):1157–64.
- [3] Slootweg JG, Kling WL. *“Impacts of distributed generation on power system transient stability.”* IEEE Power Eng Soc Summer Meet 2002;2:862–7.
- [4] Reza M, Slootweg JG, Schavemaker PH, Kling WL, Van der Sluis L. *“Investigating impacts of distributed generation on transmission system stability.”* IEEE Bologna power tech conference, vol. 2; 2003.
- [5] Davood K, Ahmad SY, Hossein MK, *“Impact of distributed generations on power system transient and voltage stability.”* Electrical Power and Energy System 43 (2012) : 488-500.
- [6] Thomas Ackerman, Goran Andersson, Lennart Soder, *Distributed Generation: a definition.* Electric Power Systems Research 57, Elsevier, 2001, pp.195-204.
- [7] K. Purchala, R. Belmans. *“Distributed Generation and Grid Integration Issues”.* Imperial College, London (2003)
- [8] Wang C, Nehrir MH, *“Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power System”.* IEEE Trans Power Syst; 19(4):2068-76,2004
- [9] M. Elnashar, Ramadan El Shatshat, Magdt M.A. Salama. *“Optimum Siting and Sizing of A Large Distributed Generator in A Mesh Connected System”.* Electric Power System Research, 80.(2009) 690-697.
- [10] Hadi Saadat, *“Power System Analysis”*, McGraw-Hill, Singapore, (2004).
- [11] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, EPRI Power System Engineering Series (Mc Graw-Hill, New York, 1994).
- [12] T. Van Cutsem and C. Vournas, *Voltage Stability of Electric Power Systems.* Norwell, MA: Kluwer, 1998.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



Arfanizar Fathurochman, lahir di Cirebon pada hari tanggal 16 Desember 1993, penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Muhammadiyah 12 Pamulang pada tahun 2005, menyelesaikan sekolah menengah pertama di SMPN 4 Tangerang Selatan pada tahun 2008, selanjutnya melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas dan menyelesaikannya pada tahun 2010 yaitu di SMAN 2 Kota Tangerang Selatan, dan mengambil program diploma di Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) program studi elektronika dan selesai pada tahun 2013, selanjutnya melanjutkan program Strata satu di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga, dan selesai pada tahun 2016.

Kontak : arfanizar.fth@gmail.com / 0877-7477-3300

- Halaman ini sengaja dikosongkan -