

repository.ub.ac.id

**ANALISIS KESTABILAN SISTEM DAYA PADA INTERKONEKSI
PT.AJINOMOTO INDONESIA DAN PT.AJINEX INTERNASIONAL
MOJOKERTO FACTORY**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
TRİYUDHA YUSTICEA SULAKSONO
NIM. 0810633019 - 63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS KESTABILAN SISTEM DAYA PADA INTERKONEKSI
PT.AJINOMOTO INDONESIA DAN PT.AJINEX INTERNASIONAL MOJOKERTO
FACTORY**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

TRİYUDHA YUSTICEA SULAKSONO

NIM. 0810633019 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19730520 200801 1 013

Hery Purnomo, Ir., MT.

NIP. 19550708 198212 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KESTABILAN SISTEM DAYA PADA INTERKONEKSI
PT.AJINOMOTO INDONESIA DAN PT.AJINEX INTERNASIONAL *MOJOKERTO*
FACTORY

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

TRİYUDHA YUSTICEA SULAKSONO

NIM. 0810633019 - 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 13 Mei 2013

Majelis Penguji :

Mahfudz Shidiq, Ir.,MT.
NIP. 19580609 198703 1 003

Hari Santoso, Ir.,MS.
NIP. 19531205 198503 1 001

Soemarwanto, Ir.,MT.
NIP. 19500715 198003 1 002

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS.
NIP. 19580728 198701 1 001

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena hanya dengan berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul "Analisis Kestabilan Sistem Daya pada Interkoneksi PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory*". Penelitian tersebut disusun dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penelitian ini membahas tentang analisis kestabilan sistem daya meliputi kestabilan tegangan dan kestabilan sudut rotor di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory*. Penelitian dilakukan dengan menganalisis kestabilan sistem daya pada kondisi awal, yaitu kondisi sebelum interkoneksi dan kestabilan sistem setelah interkoneksi.

Dalam menyelesaikan penelitian ini, banyak kendala yang dihadapi oleh penulis. Namun, kendala tersebut dapat terselesaikan berkat bantuan dari pihak-pihak yang telah meluangkan waktu untuk membantu penulis. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut, yaitu:

1. Bapak Dr.Ir.Sholeh Hadi Pramono.,MS selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.Sc, Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Mochammad Rif'an S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Hery Purnomo,Ir.,MT. selaku dosen pembimbing skripsi.
5. Ibu, Bapak, dan keluarga tercinta atas segala bentuk cinta kasihnya kepadaku yang terwujud dalam bentuk materil, doa dan perjuangannya yang tidak terkira nilainya.
6. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, khususnya rekan-rekan mahasiswa Teknik Energi Elektrik.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penyusunan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan, baik itu dalam materi yang ditulis serta sistematika penulisannya. Oleh karena itu, saran dan

kritik masih sangat diharapkan agar skripsi ini dapat menjadi karya tulis yang mendekati sempurna. Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Maret 2013

Penulis



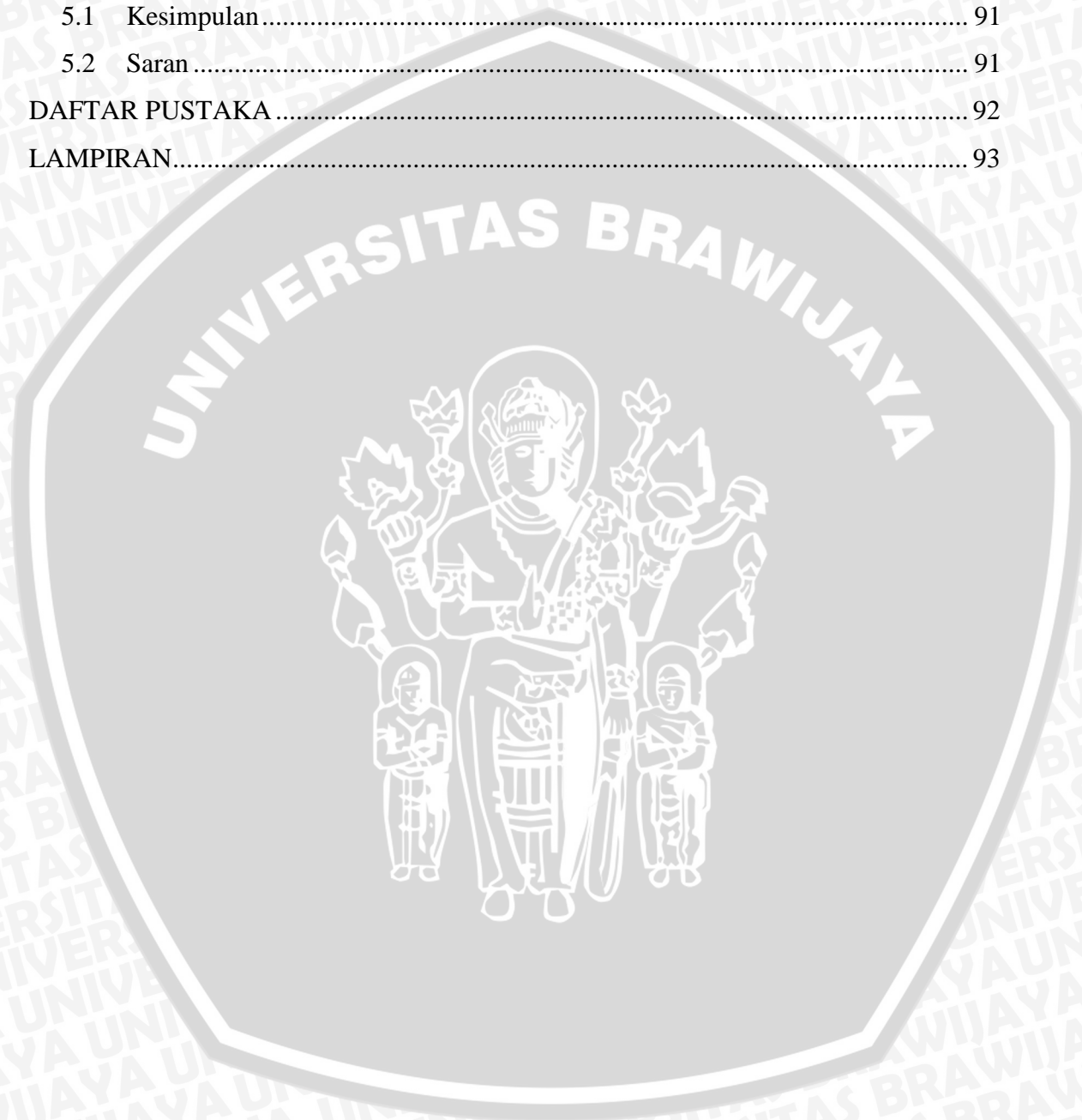
DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Analisis Aliran Daya.....	5
2.2 Persamaan Aliran Daya.....	5
2.3 Metode Aliran Daya.....	8
2.4 Sistem Per Unit.....	10
2.5 Stabilitas Sistem Daya.....	11
2.5.1 Stabilitas <i>Steady State</i>	11
2.5.2 Stabilitas <i>Transient</i>	11
2.5.3 Stabilitas Dinamis.....	12
2.6 Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan.....	12
2.6.1 Stabilitas Sudut Rotor.....	12
2.6.2 Persamaan Ayunan.....	14
2.6.3 Hubungan Sudut Daya.....	16
2.7 Stabilitas tegangan.....	17
2.8 Persamaan Dalam Studi Stabilitas.....	19
2.8.1 Persamaan Keadaan Mantap (<i>Steady State</i>).....	19
2.8.2 Persamaan Peralihan.....	20
2.8.3 Persamaan Sub-peralihan.....	21



2.9	Unit Pembangkiti	22
2.9.1	Generator Sinkron	22
2.9.2	<i>Exciters dan Automatic Voltage Regulators</i>	23
2.9.3	Turbin Gas	24
2.10	Komputer Digital untuk Analisis Sistem Daya	25
BAB III METODE PENELITIAN		26
3.1	Studi Literatur	27
3.2	Pengambilan Data	27
3.3	Pemodelan	27
3.4	Simulasi	27
3.5	Hasil Simulasi dan Analisis	30
3.6	Kesimpulan dan Saran	30
BAB IV SIMULASI DAN PEMBAHASAN HASIL		32
4.1	Kondisi Kelistrikan di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional <i>Mojokerto Factory</i>	32
4.1.1	Sistem Pembangkitan	32
4.1.2	Sistem Distribusi Daya	32
4.2	Pemodelan Sistem dan Pengolahan Data	33
4.2.1	Pemodelan Sistem	33
4.2.2	Data Generator	36
4.2.3	Data Saluran	37
4.2.4	Data Beban	38
4.3	Simulasi Aliran Daya	39
4.3.1	Simulasi Aliran Daya PT.Ajinomoto Indonesia <i>Mojokerto Factory</i>	39
4.3.2	Simulasi Aliran Daya PT.Ajinex Internasional <i>Mojokerto Factory</i>	40
4.3.3	Simulasi Aliran Daya pada Sistem Interkoneksi	41
4.3.4	Pemilihan Konduktor Interkoneksi	45
4.4	Rangkaian Ekuivalen Sistem	45
4.5	Simulasi Stabilitas Tegangan dan Sudut rotor Sebelum Interkoneksi	47
4.5.1	Simulasi Stabilitas Tegangan dan Sudut rotor pada Sistem Daya PT.Ajinomoto Indonesia <i>Mojokerto Factory</i>	47
4.5.2	Simulasi Stabilitas Tegangan dan Sudut rotor pada Sistem Daya PT.Ajinex Internasional <i>Mojokerto Factory</i>	55
4.6	Simulasi Stabilitas Tegangan dan Sudut Rotor Setelah Interkoneksi	63

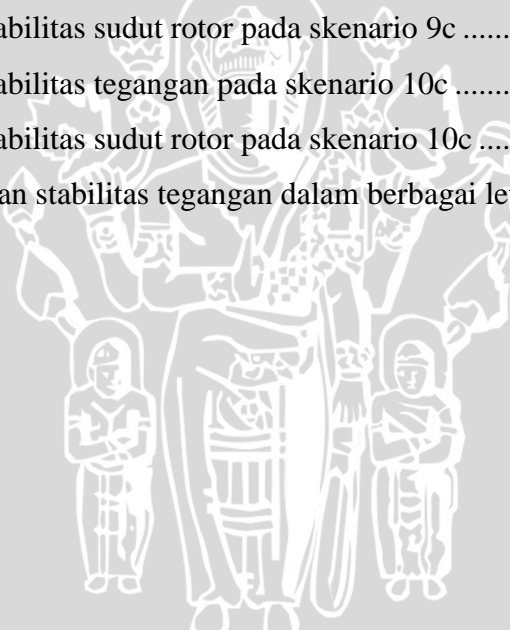
4.6.1 Perbandingan Stabilitas Sistem Sebelum dan Setelah Interkoneksi.....	85
4.7 Simulasi Pengaruh <i>TG</i> dan <i>AVR</i> terhadap Stabilitas Sistem Interkoneksi	86
4.8 Waktu Pemutus Kritis.....	87
BAB V PENUTUP	91
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN.....	93



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1	Data parameter dinamik generator 36
Tabel 4.2	Data saluran..... 37
Tabel 4.3	Data pembebanan 2 perusahaan 38
Tabel 4.4	Data aliran daya PT.Ajinomoto Indonesia <i>Mojokerto Factory</i> 39
Tabel 4.5	Data aliran daya PT.Ajinex Internasional <i>Mojokerto Factory</i> 40
Tabel 4.6	Data aliran daya pada sistem interkoneksi 42
Tabel 4.7	Aliran daya pada saluran interkoneksi 44
Tabel 4.8	Impedansi rangkaian ekivalen PT.Ajinomoto Indonesia 46
Tabel 4.9	Skenario gangguan pada PT.Ajinomoto Indonesia..... 47
Tabel 4.10	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 1a 48
Tabel 4.11	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 1a 49
Tabel 4.12	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 2a 50
Tabel 4.13	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 2a 51
Tabel 4.14	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 3a 52
Tabel 4.15	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 3a 53
Tabel 4.16	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 4a 54
Tabel 4.17	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 4a 55
Tabel 4.18	Skenario gangguan pada PT.Ajinex Internasional 56
Tabel 4.19	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 1b 56
Tabel 4.20	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 1b 57
Tabel 4.21	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 2b 58
Tabel 4.22	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 2b 59
Tabel 4.23	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 3b 60
Tabel 4.24	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 3b 61
Tabel 4.25	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 4b 62
Tabel 4.26	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 4b 63
Tabel 4.27	Skenario gangguan sistem daya setelah interkoneksi 64
Tabel 4.28	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 1c 65
Tabel 4.29	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 1c 66
Tabel 4.30	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 2c 67
Tabel 4.31	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 2c 68

Tabel 4.32	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 3c	69
Tabel 4.33	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 3c	70
Tabel 4.34	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 4c	71
Tabel 4.35	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 4c	72
Tabel 4.36	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 5c	73
Tabel 4.37	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 5c	74
Tabel 4.38	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 6c	75
Tabel 4.39	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 6c	76
Tabel 4.40	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 7c	77
Tabel 4.41	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 7c	78
Tabel 4.42	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 8c	79
Tabel 4.43	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 8c	80
Tabel 4.44	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 9c	81
Tabel 4.45	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 9c	82
Tabel 4.46	Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 10c	83
Tabel 4.47	Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 10c	84
Tabel 4.48	Perbandingan stabilitas tegangan dalam berbagai letak gangguan	85



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Tipikal bus dari sistem tenaga..... 6
Gambar 2.2	Model saluran transmisi untuk perhitungan aliran daya dan rugi saluran 7
Gambar 2.3	Respon sudut rotor pada saat terjadi gangguan..... 13
Gambar 2.4	Model sistem sederhana (a) diagram segaris sistem (b) rangkaian ekivalen sistem..... 16
Gambar 2.5	Hubungan sudut daya antara dua mesin..... 17
Gambar 2.6	Jenis-jenis gangguan hubung singkat..... 18
Gambar 2.7	Diagram fasor mesin sinkron rotor silindris pada keadaan mantab 20
Gambar 2.8	Diagaram fasor mesin sinkron pada keadaan peralihan 21
Gambar 2.9	Diagram fasor mesin sinkron pada keadaan sub-peralihan 22
Gambar 2.10	Diagram fasor generator yangterlalu diperkuat (<i>overexcited</i>) 23
Gambar 2.11	Diagram blok sistem dan AVR 24
Gambar 2.12	Siklus regeneratif terbuka pada turbin gas..... 24
Gambar 2.13	Estimasi waktu gangguan pada analisis stabilitas..... 25
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian..... 26
Gambar 3.2	Diagram alir simulasi sebelum interkoneksi 28
Gambar 3.3	Diagram alir simulasi setelah interkoneksi 29
Gambar 4.1	Diagram segaris sistem daya PT.Ajinomoto Indonesia 33
Gambar 4.2	Diagram segaris sistem daya PT.Ajinex Internasional 34
Gambar 4.3	Diagram segaris interkoneksi sistem daya dua perusahaan 35
Gambar 4.4	Diagram aliran daya pada saluran interkoneksi 44
Gambar 4.5	Rangkaian ekivalen sistem daya PT.Ajinomoto Indonesia..... 45
Gambar 4.6	Grafik tegangan= $f(t)$ pada bus PLN NE dan bus Gen NE saat gangguan skenario 1a 48
Gambar 4.7	Grafik sudut rotor= $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE saat gangguan skenario 1a 49
Gambar 4.8	Grafik tegangan= $f(t)$ pada bus PLN NE dan bus Gen NE saat gangguan skenario 2a 50
Gambar 4.9	Grafik sudut rotor= $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE saat gangguan skenario 2a 51



Gambar 4.10	Grafik tegangan= $f(t)$ pada bus PLN NE dan bus Gen NE saat gangguan skenario 3a	52
Gambar 4.11	Grafik sudut rotor= $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE saat gangguan skenario 3a	53
Gambar 4.12	Grafik tegangan= $f(t)$ pada bus PLN NE dan bus Gen NE saat gangguan skenario 4a	54
Gambar 4.13	Grafik sudut rotor= $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE saat gangguan skenario 4a	55
Gambar 4.14	Grafik tegangan = $f(t)$ pada bus PLN NEX dan bus Gen NEX saat gangguan skenario 1b.....	56
Gambar 4.15	Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NEX dan Gen NEX saat gangguan skenario 1b.....	57
Gambar 4.16	Grafik tegangan= $f(t)$ pada bus PLN NEX dan bus Gen NEX saat gangguan skenario 2b.....	58
Gambar 4.17	Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NEX dan Gen NEX saat gangguan skenario 2b.....	59
Gambar 4.18	Grafik tegangan= $f(t)$ pada bus PLN NEX dan bus Gen NEX saat gangguan skenario 3b.....	60
Gambar 4.19	Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NEX dan Gen NEX saat gangguan skenario 3b.....	61
Gambar 4.20	Grafik tegangan= $f(t)$ pada bus PLN NEX dan bus Gen NEX saat gangguan skenario 4b.....	62
Gambar 4.21	Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NEX dan Gen NEX saat gangguan skenario 4b.....	63
Gambar 4.22	Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 1c ..	65
Gambar 4.23	Grafik sudut rotor= $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 1c .	66
Gambar 4.24	Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 2c ..	67
Gambar 4.25	Grafik sudut rotor= $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 2c .	68
Gambar 4.26	Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 3c ..	69
Gambar 4.27	Grafik sudut rotor= $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 3c .	70
Gambar 4.28	Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 4c ..	71
Gambar 4.29	Grafik sudut rotor= $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 4c .	72
Gambar 4.30	Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 5c ..	73
Gambar 4.31	Grafik sudut rotor= $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 5c .	74



Gambar 4.32	Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 6c ..	75
Gambar 4.33	Grafik sudut rotor= $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 6c .	76
Gambar 4.34	Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 7c ..	77
Gambar 4.35	Grafik sudut rotor= $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 7c .	78
Gambar 4.36	Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 8c ..	79
Gambar 4.37	Grafik sudut rotor= $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 8c .	80
Gambar 4.38	Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 9c ..	81
Gambar 4.39	Grafik sudut rotor= $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 9c .	82
Gambar 4.40	Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 10c	83
Gambar 4.41	Grafik sudut rotor= $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 10c	84
Gambar 4.42	Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada Gen NE.....	86
Gambar 4.43	Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada Gen NEX.....	87
Gambar 4.44	Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE sebelum interkoneksi	88
Gambar 4.45	Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NEX dan Gen NEX sebelum interkoneksi	88
Gambar 4.46	Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE setelah interkoneksi	89
Gambar 4.47	Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NEX dan Gen NEX setelah interkoneksi	89



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	1. Data generator PT.Ajinomoto Indonesia <i>Mojokerto Factory</i> 93
	2. Data transformator PT.Ajinomoto Indonesia <i>Mojokerto Factory</i> 93
Lampiran 2	1. Data generator PT.Ajinex Internasional..... 94
	2. Data transformator PT.Ajinex Internasional 94
Lampiran 3	Data panjang saluran PT.Ajinomoto dan PT.Ajinex..... 95
Lampiran 4	Karakteristik kabel 96
Lampiran 5	Data dinamik generator 97
Lampiran 6	Diagram segaris PT.Ajinomoto Indonesia 98
Lampiran 7	Diagram segaris PT.Ajinex Internasional 99
Lampiran 8	Perhitungan impedansi saluran PT.Ajinomoto Indonesia 100
Lampiran 9	Perhitungan impedansi saluran PT.Ajinex Internasional 101
Lampiran 10	1. <i>Listing program</i> untuk impedansi rel dalam perhitungan gangguan 102
	2. Hasil perhitungan impedansi rel dalam perhitungan gangguan 104



ABSTRAK

Triyudha Yusticea Sulaksono, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2013, *Analisis Kestabilan Sistem Daya pada Interkoneksi PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional Mojokerto Factory*, Dosen Pembimbing : Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. dan Hery Purnomo, Ir., MT.

PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* merupakan perusahaan penghasil produk utama yaitu *monosodium glutamate* atau yang sering dikenal dengan *MSG* dan berlokasi di desa Jetis kabupaten Mojokerto. Dalam melakukan kegiatan operasional, kebutuhan energi listrik setiap perusahaan dipenuhi oleh sistem daya yang tidak diinterkoneksi. Berdasarkan kondisi tersebut, maka perlu adanya suatu sistem yang dapat menyalurkan energi listrik yang kontinuitasnya lebih terjamin, yaitu dengan melakukan interkoneksi terhadap sumber daya kedua perusahaan. Suatu gangguan dalam sistem tenaga listrik dapat memicu ketidakstabilan sistem sehingga perlu dilakukan analisis terhadap kestabilan pada sistem daya.

Penelitian akan menganalisis stabilitas sistem daya pada saat kondisi awal sistem, yaitu ketika sistem daya kedua perusahaan belum diinterkoneksi dan kondisi ketika sistem daya kedua perusahaan telah diinterkoneksi. Hasil analisis akan menunjukkan kondisi tegangan dan sudut rotor sistem sebelum, selama dan setelah gangguan terjadi. Selain itu dilakukan juga analisis mengenai pengaruh penggunaan *turbine governor* dan *automatic voltage regulator* terhadap stabilitas sistem daya dan penentuan waktu pemutus kritis.

Hasil analisis kestabilan pada sistem menunjukkan jika tegangan dan sudut rotor dapat kembali ke kondisi normal setelah sistem mengalami gangguan. *Drop* tegangan pada saat interkoneksi lebih kecil daripada sebelum interkoneksi. *Turbine governor* memiliki pengaruh terhadap waktu pemulihan yang lebih cepat setelah gangguan terjadi.

Kata kunci : interkoneksi, kestabilan, sudut rotor, tegangan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini energi listrik memegang peranan penting dalam kehidupan manusia. Daya listrik sangat penting dalam pengembangan berbagai sektor, salah satunya adalah sektor industri, karena dalam kenyataan sektor industri modern sangat bergantung pada listrik sebagai input dasar. Pemanfaatan daya listrik yang ada pada saat ini disediakan oleh PT.PLN (Persero). Namun, tidak semua sumber daya pada suatu industri bersumber pada daya dari PLN. Sumber listrik tersebut dapat dihasilkan oleh pembangkit mandiri milik industri tersebut guna menyuplai aliran daya ke beban-beban untuk melakukan proses produksi. Salah satu perusahaan yang menggunakan sumber mandiri adalah PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory*. PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* tidak hanya memanfaatkan sumber daya PLN saja, namun sumber daya PLN tersebut diinterkoneksi dengan sumber daya mandiri (generator).

PT.Ajinomoto Indonesia merupakan salah satu industri berskala besar yang ada di Indonesia. Perusahaan ini menghasilkan produk utama yaitu *monosodium glutamate* atau *sodium glutamat* yang sering dikenal dengan *MSG*. Dalam pembuatan *MSG* ini melewati beberapa proses dari tetes gula hingga menjadi *MSG*. Proses ini membutuhkan motor listrik yang banyak mulai dari proses pembuatan sampai pengiriman. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem kelistrikan yang handal untuk mencatu motor – motor listrik tersebut agar dapat beroperasi selama 24 jam.

PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional berada dalam satu kawasan industri. PT.Ajinomoto Indonesia bertugas untuk menyuplai dan memenuhi permintaan dalam negeri sedangkan PT.Ajinex Internasional bertugas untuk menyuplai hasil produksi ke luar negeri. Dalam kenyataannya, PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional memiliki sumber daya yang tidak saling terhubung. Sehingga aliran daya setiap perusahaan tidak akan mempengaruhi kestabilan sistem tenaga perusahaan yang lain. PT.Ajinomoto Indonesia memiliki 1 pembangkit mandiri (generator) yang diinterkoneksi dengan sumber daya dari PLN. Begitu pula dengan PT.Ajinex Internasional, dimana perusahaan tersebut juga memiliki 1 pembangkit mandiri (generator) yang diinterkoneksi dengan sumber daya dari PLN. Sumber daya tersebut

akan menyuplai beban-beban yang berfungsi untuk menunjang hasil produksi. Sebagian besar proses produksi dikerjakan oleh mesin-mesin yang membutuhkan input daya listrik yang cukup besar. Oleh karena itu dibutuhkan kestabilan daya listrik agar proses produksi dapat berjalan dengan baik. Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat memicu ketidakstabilan sistem dan dapat menyebabkan runtuh tegangan yang kemudian berakhir dengan *blackout* sebagian ataupun *blackout* seluruh sistem. Sehingga akan berakibat matinya sebagian maupun semua mesin produksi karena tidak adanya pasokan energi listrik. Hal ini merupakan kerugian bagi perusahaan dan harus diantisipasi agar proses produksi dapat terus berjalan. Berdasarkan dari pemikiran tersebut, maka pada penelitian ini akan menganalisis kestabilan sistem tenaga listrik di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory*, yaitu ketika kondisi sebelum dan setelah interkoneksi dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana stabilitas tegangan dan sudut rotor pada sistem daya di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* pada saat terjadi gangguan sebelum interkoneksi.
2. Bagaimana stabilitas tegangan dan sudut rotor pada sistem daya di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* pada saat terjadi gangguan setelah interkoneksi.
3. Bagaimana pengaruh penggunaan *Turbine Governor* dan *Automatic Voltage Regulator* terhadap stabilitas sistem daya di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional.
4. Bagaimana waktu pemutus kritis pada generator di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan pada penelitian ini lebih terfokus pada permasalahan intinya, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Tidak dibahas masalah sistem proteksi.
2. Sistem kelistrikan yang dianalisis adalah sistem kelistrikan di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory*.

3. Sumber daya yang diinterkoneksi adalah sumber daya dari generator (generator PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory*) dengan sumber daya dari PLN.
4. Dalam analisis dan simulasi hanya melakukan gangguan pada salah satu bus.
5. Parameter yang dianalisis adalah sudut rotor dan tegangan pada bus.
6. Stabilitas yang dibahas adalah stabilitas sistem daya terhadap gangguan hubung singkat tiga fasa.
7. Desain dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *PSSE (Power System Simulator for Engineering)*.
8. Pembahasan tidak meliputi perancangan interkoneksi secara terperinci.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dalam skripsi ini adalah untuk menganalisis stabilitas sistem daya di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* pada saat sebelum dan setelah interkoneksi dilakukan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai bahan kajian kepada PT.Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory* mengenai stabilitas sistem daya di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* pada saat sebelum interkoneksi dan setelah interkoneksi dilakukan yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I : Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II : Berisi tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan yang mencakup teori stabilitas pada sistem daya.

BAB III : Memberikan penjelasan tentang metodologi penelitian yang akan dilakukan, meliputi metode yang digunakan, objek penelitian dan data yang diperlukan, serta langkah penelitian.

BAB IV : Melakukan perhitungan dan analisa terhadap masalah yang diajukan dalam penelitian dengan memperhatikan data hasil analisis yang diperoleh.

BAB V : Berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil analisis.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan hal penting dalam desain dan perencanaan pengembangan sistem daya guna menentukan operasi terbaik pada sistem. Keterangan utama yang diperoleh dari sebuah studi aliran daya adalah besar dan sudut fasa tegangan, daya reaktif, daya aktif yang dibangkitkan generator dan daya aktif dan reaktif yang mengalir pada setiap saluran/cabang. Studi ini juga digunakan untuk mengevaluasi sistem tenaga listrik terhadap pengaruh kondisi pembebanan yang berbeda. Studi-studi seperti hubung singkat, stabilitas, pembebanan ekonomis juga memerlukan studi aliran daya terlebih dahulu.

Setiap titik/bus pada suatu sistem tenaga listrik terdapat daya aktif P , daya reaktif Q , tegangan E , dan sudut fasa tegangan δ . Jadi pada setiap bus terdapat empat besaran yaitu P , Q , E dan δ . Di dalam studi aliran daya, dua dari keempat besaran itu diketahui, dan dua yang lain perlu dicari. Berdasarkan hal tersebut di atas, bus-bus dibedakan menjadi tiga jenis yaitu bus beban, bus generator, dan bus berayun (*slack bus*). (Grainger dan Stevenson, 1994 : 332)

- Bus beban (*P-Q bus*)
Pada bus ini, selisih daya antara daya yang dibangkitkan oleh generator dan daya yang diserap oleh beban diketahui nilainya.
- Bus generator (*P-V bus*)
Komponen yang diketahui dalam bus ini adalah besar tegangan dan daya aktif P , sedangkan yang tidak diketahui adalah sudut fasa tegangan dan daya reaktif Q .
- Bus berayun (*Slack bus*)
Komponen yang diketahui dalam bus ini adalah besar tegangan dan sudut fasa, sedangkan yang tidak diketahui adalah daya aktif P dan daya reaktif Q . Umumnya dalam studi aliran daya hanya terdapat satu bus berayun.

2.2 Persamaan Aliran Daya

Jaringan sistem tenaga seperti pada gambar 2.1, salurannya dapat digambarkan dengan model- π yang mana impedansi-impedansinya telah diubah mejadi admintansi-admintansi per-unit pada *base*/dasar MVA.

Aplikasi hukum arus kirchoff pada bus ini diberikan dalam (Cekmas Cekdin,2007:4) :

$$\begin{aligned} I_i &= y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \end{aligned} \quad (2-1)$$

Atau,

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=0}^n y_{ij} V_j \quad , \text{ dimana } j \neq i \quad (2-2)$$

Daya reaktif dan aktif pada bus i adalah:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2-3)$$

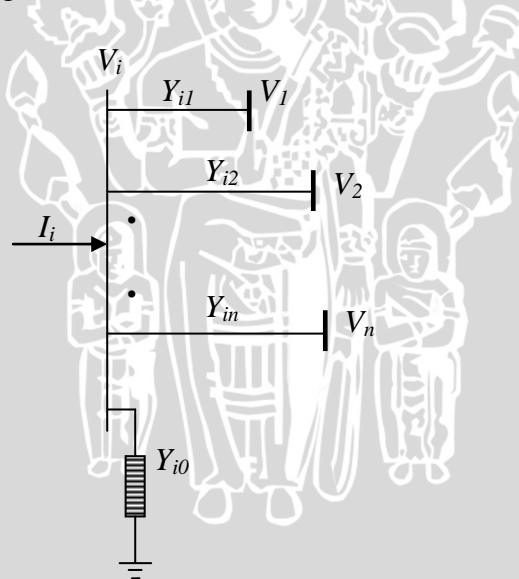
Atau,

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2-4)$$

Substitusi untuk I_i pada persamaan 2-2 maka:

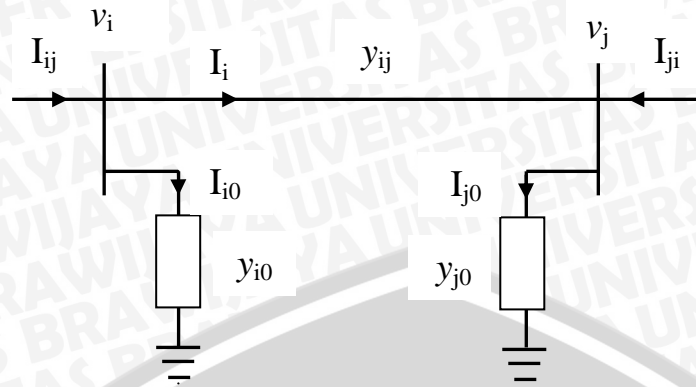
$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=0}^n y_{ij} V_j \quad , \text{ dimana } j \neq i \quad (2-5)$$

Dari hubungan diatas formulasi perhitungan dari aliran daya dalam sistem tenaga harus diselesaikan dengan menggunakan teknik iterasi.



Gambar 2.1 Tipikal bus dari sistem tenaga
Sumber: Cekmas Cekdin ,2007: 5

Dalam perhitungan aliran daya selain menentukan besaran daya pada tiap bus, analisis aliran daya juga digunakan untuk menentukan besar kerugian daya yang hilang pada saluran transmisi selama proses penyaluran daya dari pembangkit ke pusat beban. Misalkan saluran dihubungkan dengan dua bus, yaitu bus i dan bus j seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Model saluran transmisi untuk perhitungan aliran daya dan rugi saluran
 Sumber: Cekmas Cekdin ,2007 : 7

Perhatikan saluran yang terhubung antara bus i dan j pada gambar 2.2. Arus saluran I_{ij} diukur pada bus i dan dianggap positif untuk arah i ke j , sehingga dapat ditulis pada persamaan (2-6) (Cekmas Cekdin,2007:7).

$$I_{ij} = I_i + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \quad (2-6)$$

dimana, I_{pq} : Arus pada bus p

I_i : Arus pada saluran antara bus i dan bus j

I_{i0} : Arus pada saluran *half line charging*

y_{ij} : Admitansi saluran antara bus i dan bus j

y_{i0} : *Half line charging*

V_i : Tegangan bus i

V_j : Tegangan bus j

Demikian juga arus saluran I_{ji} diukur pada bus j dan dianggap positif untuk arah j ke i , dapat ditulis pada persamaan (2-7).

$$I_{ji} = -I_i + I_{j0} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{j0}V_j \quad (2-7)$$

Daya kompleks S_{ij} dari bus i ke j dan S_{ji} dari bus j ke i dinyatakan pada Persamaan (2-8) dan (2-9).

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (2-8)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (2-9)$$

Rugi daya dalam saluran i - j adalah penjumlahan aljabar dari daya yang ditentukan dari persamaan (2-8) dan (2-9), sehingga dapat dinyatakan pada persamaan (2-10).



$$S_{L ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2-10)$$

Sehingga persamaan untuk mendapatkan total rugi saluran untuk sistem dengan jumlah n bus adalah pada Persamaan (2-11) (Cekmas Cekdin, 2007:8).

$$S_{LT} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{L ij} \quad (2-11)$$

Dimana,

$S_{L ij}$: Rugi daya pada saluran antara bus i dan j

S_{LT} : Total rugi daya

2.3 Metode Aliran Daya

Dalam menganalisa sistem jaringan yang memiliki lebih dari satu sumber listrik ataupun pada sistem jaringan kompleks maka diperlukan suatu metode analisa daya yang sesuai untuk memudahkan perhitungan. Oleh karena itu, untuk mempermudah perhitungan akan digunakan metode *Newton-Raphson* (Hadi Saadat, 1999: 232).

Dalam metode ini persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar. Dari gambar 2.1, arus yang memasuki bus i dapat dicari dengan menggunakan persamaan (Hadi Saadat, 1999: 232):

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2-12)$$

Persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk polar yaitu:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2-13)$$

Dimana :

θ_{ij} = sudut pada admitansi Y_{ij}

δ_j = sudut pada tegangan V_j

Daya kompleks pada bus- i yaitu:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2-14)$$

Persamaan (2.13) dapat disubstitusikan kedalam persamaan (2-14) sehingga menghasilkan:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle \delta_i - \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2-15)$$

Setelah itu, pisahkan bagian real dan imajiner persamaan diatas sehingga 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) akan membentuk persamaan non linier. Besar setiap variable dinyatakan dalam *p.u.* (per-unit) sedangkan sudut fasa dinyatakan dalam radian.

Persamaan (2-16) dan (2-17) dikembangkan dalam deret Taylor seperti pada persamaan dibawah ini : (Hadi Saadat, 1999: 233)

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (2-18)$$

Disini diasumsikan bahwa bus 1 adalah *slack bus*. Matriks Jacobian memberikan perbandingan linier antara perubahan pada sudut tegangan $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan besar tegangan $\Delta |V_i^{(k)}|$ dengan sedikit perubahan pada daya aktif ($\Delta P_i^{(k)}$) dan daya reaktif ($\Delta Q_i^{(k)}$). Sehingga dalam bentuk singkat dapat ditulis seperti pada persamaan dibawah ini: (Hadi Saadat, 1999: 233)

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2-19)$$

Elemen untuk J_1 yaitu:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2-20)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad , j \neq i \quad (2-21)$$

Elemen untuk J_2 yaitu:

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos(\theta_{ii}) + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2-22)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad , j \neq i \quad (2-23)$$

Elemen untuk J_3 yaitu:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2-24)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2-25)$$

Elemen untuk J_4 yaitu:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin(\theta_{ii}) + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2-26)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2-27)$$

Pada penjelasan diatas diketahui bahwa nilai harga $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ berbeda antara yang terjadwal dengan nilai perhitungan, maka ini disebut dengan sisa daya (*power residuals*) yang diberikan dengan:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (2-28)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (2-29)$$

Perhitungan baru untuk sudut fasa dan tegangan bus adalah:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2-30)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2-31)$$

Proses iterasi akan selesai setelah

$$\begin{aligned} |\Delta P_i^{(k)}| &\leq \epsilon \\ |\Delta Q_i^{(k)}| &\leq \epsilon \end{aligned} \quad (2-32)$$

2.4 Sistem Per Unit

Saluran transmisi tenaga dioperasikan pada tingkat tegangan dimana kilovolt merupakan unit yang sangat memudahkan untuk menyatakan tegangan. Karena besarnya daya yang harus disalurkan dengan satuan kilowatt atau megawatt dan kilovolt-ampere atau megavolt-ampere adalah istilah-istilah yang sudah biasa dipakai. Misalnya, jika sebagai tegangan dasar dipilih 120 kV, maka tegangan-tegangan sebesar 108, 120 dan 126 kV berturut-turut menjadi 0,90, 1,00 dan 1,05. Definisi nilai per unit untuk suatu kuantitas ialah perbandingan kuantitas tersebut terhadap nilai dasarnya yang dinyatakan dalam desimal (Stevenson, 1996: 31).

Apabila pada tegangan dan daya yang digunakan adalah tegangan dan daya 3 fasa, maka perhitungan nilai dasar menggunakan rumus-rumus berikut (Stevenson, 1996: 31):

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, kV}_{LL}/\sqrt{3})^2 \times 1000}{\text{kVA}_{3\phi}/3 \text{ dasar}} \quad (2-33)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, kV}_{LL})^2 \times 1000}{\text{kVA}_{3\phi} \text{ dasar}} \quad (2-34)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, kV}_{LL})^2}{\text{MVA}_{3\phi} \text{ dasar}} \quad (2-35)$$

2.5 Stabilitas Sistem Daya

Stabilitas sistem daya didefinisikan sebagai sifat sistem yang memungkinkan generator bergerak sinkron dalam sistem dan bereaksi terhadap gangguan dalam keadaan kerja normal serta kembali ke kondisi kerja semula (keseimbangan) bila keadaan menjadi normal kembali (Prabha Kundur, 1994 : 17).

Kestabilan pada sistem tenaga listrik merupakan masalah yang sangat penting dalam penyediaan daya kepada konsumen. Biasanya masalah kestabilan yang sering terjadi adalah masalah beban lebih, berkurangnya pasokan daya reaktif sehingga akan mengakibatkan sistem berada pada kondisi *voltage collapse* dan akan terjadi kemungkinan terburuk yaitu terjadi *blackouts*.

Masalah kestabilan biasanya diklasifikasikan menjadi tiga tipe bergantung pada sifat dan besar gangguan, yaitu (Robert H.Miller & James H.Malinowski, 1994:213) :

1. Stabilitas *steady state*
2. Stabilitas *transient*
3. Stabilitas dinamis

2.5.1 Stabilitas *Steady State*

Kestabilan *Steady-State* merupakan keadaan dimana sistem tenaga mencapai kondisi stabil pada kondisi operasi baru yang sama atau identik dengan kondisi sebelum terjadi gangguan setelah sistem mengalami gangguan kecil. Analisis kestabilan *steady-state* menggunakan pendekatan model linier. Kestabilan *steady state* pada sistem tenaga dapat disebut kestabilan sinyal kecil (*small signal stability*). Stabilitas *steady-state* bergantung kepada kapasitas pembangkitan dan efektifitas perangkat kontrol otomatis, terutama untuk regulasi tegangan otomatis (AVR) pada generator (Robert H.Miller & James H.Malinowski, 1994:214).

2.5.2 Stabilitas *Transient*

Situasi yang lebih hebat akan terjadi bila pembangkitan atau beban besar hilang dari sistem atau terjadi gangguan pada saluran transmisi. Pada kasus semacam itu stabilitas *transient* harus cukup kuat untuk mempertahankan diri terhadap kejutan (*shock*) atau perubahan beban yang relatif besar yang terjadi. Stabilitas transien adalah kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron (sebelum terjadi aksi dari kontrol

governor) yang mengikuti gangguan pada sistem (Robert H. Miller & James H. Malinowski, 1994:215).

Sebagaimana pada stabilitas *steady-state*, kecepatan respon pada sistem eksitasi generator merupakan faktor yang penting dalam mempertahankan stabilitas *transient*. Gangguan pada sistem biasanya diikuti oleh perubahan tegangan yang cepat pada sistem, dan pemulihan kembali tegangan dengan cepat menuju ke kondisi normal merupakan hal yang penting dalam mempertahankan kestabilan.

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

2.5.3 Stabilitas Dinamis

Beberapa waktu setelah gangguan, governor pada prime mover akan bereaksi untuk menaikkan atau menurunkan energi input, sesuai kondisi yang terjadi, untuk mengembalikan keseimbangan antara energi input dan beban listrik yang ada. Hal ini biasanya terjadi sekitar satu hingga satu setengah detik setelah terjadi gangguan. Periode ketika governor mulai bereaksi dan waktu ketika kestabilan mencapai kondisi *steady-state* adalah periode ketika karakteristik kestabilan dinamik mulai efektif. Stabilitas dinamis adalah kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron setelah ayunan pertama (periode stabilitas *transient*) hingga sistem mencapai kondisi *steady-state* yang baru (Robert H. Miller & James H. Malinowski, 1994:216).

Selama periode ini, governor akan membuka atau menutup katup sesuai dengan yang diperlukan untuk meningkatkan atau menurunkan energi input pada prime mover dan operasi kontroler saluran untuk mengembalikan aliran daya pada saluran ke kondisi normal. Biasanya bila generator peka terhadap *drop* kecepatan, generator akan bereaksi untuk membuka katup dan memberikan uap lebih pada turbin uap atau air pada turbin air serta memberikan cukup energi untuk menahan penurunan kecepatan (frekuensi) dan mempercepat sistem hingga kembali ke keadaan normal.

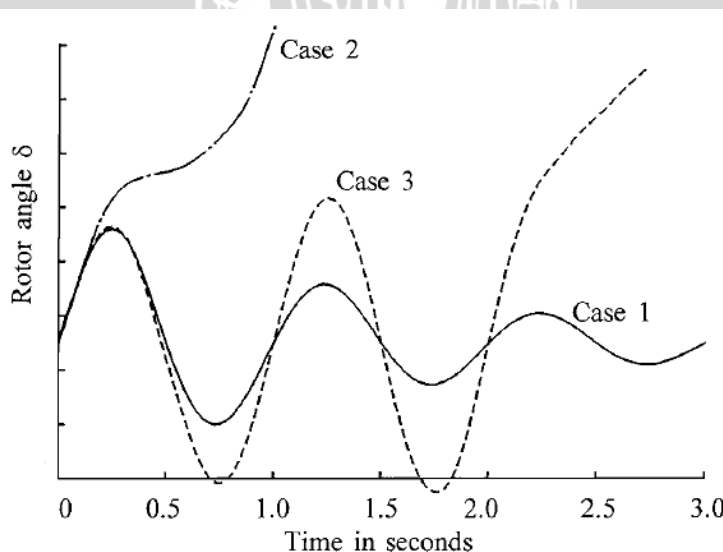
2.6 Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan

2.6.1 Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor merupakan kemampuan mesin sinkron yang saling terinterkoneksi pada sistem untuk tetap sinkron pada operasi normal dan setelah mengalami gangguan (Grigsby,2007). Mekanisme mesin sinkron yang saling terinterkoneksi antara satu mesin dengan mesin yang lain adalah melalui kekuatan memulihkan torsi yang bertindak setiap kali ada torsi yang cenderung mempercepat atau mengurangi kecepatan. Ketika dalam kondisi mantab, ada keseimbangan antara torsi input mekanis dan torsi keluaran listrik dari setiap mesin dan kecepatan konstan. Jika sistem ini terganggu, maka keseimbanganpun juga akan terganggu. Ketika mesin sinkron kehilangan sinkronisme dengan seluruh sistem, rotor akan berjalan pada kecepatan yang lebih tinggi atau lebih rendah dari yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan pada frekuensi sistem sehingga sistem proteksi akan mengisolasi mesin dari sistem.

Untuk kemudahan dalam analisis dan untuk mendapatkan manfaat tentang sifat masalah stabilitas, biasanya fenomena stabilitas sudut rotor dikarakteristikkan menjadi dua kategori berikut :(Prabha Kundur, 1994: 23)

- a. Stabilitas sinyal kecil (atau gangguan kecil) adalah kemampuan dari sistem daya untuk menjaga sinkronisasi dalam gangguan kecil. Gangguan tersebut terjadi terus menerus pada sistem karena variasi kecil dalam beban.
- b. Stabilitas peralihan merupakan kemampuan dari sistem daya untuk menjaga sinkronisasi ketika terjadi gangguan peralihan. Stabilitas tergantung pada keadaan operasi awal dari sistem dan tingkat gangguan. Gambar 2.3 memperlihatkan perilaku mesin sinkron dalam keadaan stabil dan tidak stabil.



Gambar 2.3 Respon sudut rotor pada saat terjadi gangguan
Sumber: Prabha Kundur, 1994: 26

Gambar tersebut menunjukkan respon dari sudut rotor yang stabil dan untuk dua kasus tidak stabil. Dalam kasus yang stabil (*case 1*), sudut rotor meningkat hingga mencapai maksimum kemudian menurun dan berosilasi hingga mencapai kondisi mantab kembali. Dalam kasus 2 (*case 2*), sudut rotor terus meningkat hingga kehilangan sinkronisasi. Bentuk ketidakstabilan ini disebut sebagai ketidakstabilan ayunan pertama. Dalam kasus 3 (*case 3*), sistem stabil dalam ayunan pertama, tetapi menjadi tidak stabil akibat osilasi yang terus berkembang sehingga menyebabkan mesin kehilangan sinkronisasi. Bentuk ketidakstabilan ini biasanya adalah ketidakstabilan sinyal kecil dan tidak harus sebagai akibat dari gangguan peralihan.

2.6.2 Persamaan Ayunan

Dalam sebuah mesin sinkron, penggerak utama memberikan sebuah torsi mekanis T_m pada poros mesin dan mesin menghasilkan suatu torsi elektromagnetik T_e . Jika, sebagai akibat dari gangguan, torsi mekanis lebih besar daripada torsi elektromagnetik, sebuah torsi percepatan T_a adalah (Grigsby, 2007 : 8.2):

$$T_a = T_m - T_e \quad (2-36)$$

dimana:

T_a : torsi percepatan

T_m : torsi mekanis

T_e : torsi elektromagnetik

Dalam hal ini torsi lain yang disebabkan oleh gesekan, rugi-rugi inti, dan angin dalam mesin diabaikan. T_a memiliki efek mempercepat mesin, dengan inersia J ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$) yang terdiri dari inersia dari generator dan penggerak utama dan oleh karena itu Persamaan (2-36) dinyatakan sebagai : (Grigsby, 2007 : 8.2)

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_a = T_m - T_e \quad (2-37)$$

dimana

J : inersia mesin ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

t : waktu dalam detik dan

ω_m : kecepatan sudut mekanik rotor mesin dalam rad/ s.

Hal ini secara umum dapat menunjukkan persamaan inersia mesin yang konstan. Jika ω_{0m} adalah rentang kecepatan sudut mekanik dalam rad/s, J dapat ditulis sebagai berikut : (Grigsby, 2007:8.2)

$$J = \frac{2H}{\omega_{0m}^2} VA_{dasar} \quad (2-38)$$

dimana

H : konstanta inersia mesin (MJ/MVA)

VA_{dasar} : daya dasar (MVA)

Sehingga,

$$\frac{2H}{\omega_{0m}^2} VA_{dasar} \frac{d\omega_m}{dt} = T_m - T_e \quad (2-39)$$

Dan sekarang, jika ω_r menunjukkan kecepatan sudut rotor (rad/s) dan nilai ω_0 pada rentangnya, persamaan dapat ditulis sebagai : (Grigsby, 2007 : 8.2)

$$2H \frac{d\omega_r}{dt} = T_m - T_e \quad (2-40)$$

Akhirnya dapat ditunjukkan bahwa:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{d^2\delta}{\omega_0 dt^2} \quad (2-41)$$

di mana δ adalah posisi sudut dari rotor sehubungan dengan suatu putaran sinkron terhadap acuan.

Berdasarkan Persamaan (2-40) dan (2-41) akan diperoleh:

$$\frac{2H}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = T_m - T_e \quad (2-42)$$

Dengan mengingat bahwa daya adalah hasil kali momen putar dengan kecepatan sudutnya, sehingga diperoleh:

$$\frac{2H}{\omega_0} \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e \quad (2-43)$$

dan dapat diperoleh pula suatu persamaan dengan pertimbangan kecepatan sinkron ω_s :

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{d\theta}{dt} - \omega_s \quad (2-44)$$

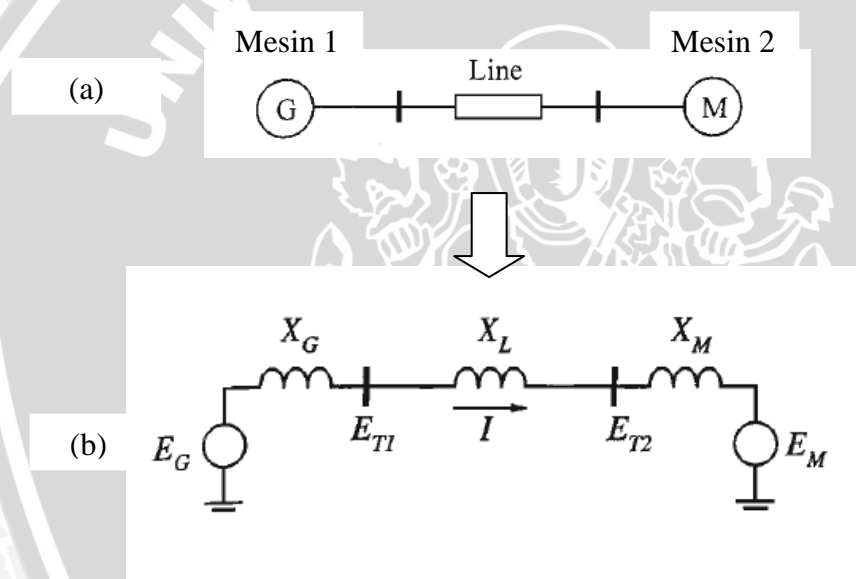
$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_s \quad (2-45)$$

Pada sistem yang stabil selama gangguan, sudut rotor (dijelaskan oleh persamaan ayunan) akan berosilasi di sekitar titik kesetimbangan. Ketika terjadi gangguan atau penambahan beban secara tiba-tiba dalam jumlah besar, maka daya keluar elektrik generator akan jauh melampaui daya masuk mekanis. Kekurangan ini akan disuplai dengan berkurangnya energi kinetis generator. Jadi generator akan berputar lebih lambat sehingga sudut daya generator bertambah besar dan daya masuk generator juga bertambah. Jika sudut rotor meningkat tanpa batas, mesin dikatakan tidak stabil selama

mesin terus mempercepat dan tidak mencapai keadaan keseimbangan baru. Dalam sistem multimesin, mesin akan melepas sinkronisasi dengan mesin lainnya.

2.6.3 Hubungan Sudut Daya

Karakteristik penting yang memiliki pengaruh pada stabilitas sistem daya adalah hubungan antara perubahan daya dan posisi sudut dari rotor mesin sinkron. Hubungan ini merupakan hubungan nonlinier. Gambar 2.4(a) menunjukkan sebuah sistem sederhana, dimana dalam sistem ini terdapat 2 mesin sinkron yang terhubung melalui saluran transmisi. Diasumsikan jika mesin 1 direpresentasikan sebagai generator yang menyuplai daya ke sebuah motor yang direpresentasikan sebagai mesin 2. (Prabha Kundur, 1994: 20).



Gambar 2.4 Model sistem sederhana (a) diagram segaris sistem, dan (b) rangkaian ekivalen sistem
Sumber: Prabha Kundur, 1994: 21

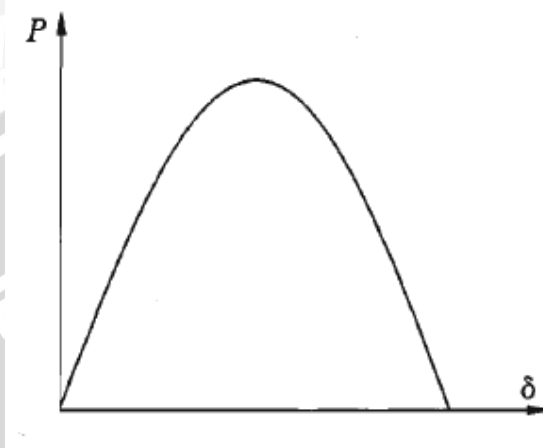
Gambar 2.4(b) menunjukkan rangkaian ekivalen sistem yang dapat digunakan dalam studi hubungan sudut daya. Besar daya yang disalurkan dari generator sesuai dengan persamaan (2-46).

$$P_e = \frac{E_G E_M}{X_T} \sin \delta \quad (2-46)$$

dimana

$$X_T = X_G + X_L + X_M \quad (2-47)$$

Gambar 2.5 menunjukkan hubungan sudut daya. Dalam kurva tersebut terlihat jika peningkatan daya pada nilai awal δ meningkat hingga mencapai 90° ketika P_e mencapai maksimum. Di atas $\delta = 90^\circ$, daya menurun sampai pada $\delta = 180^\circ$, $P_e = 0$. Ini adalah hubungan daya-sudut yang disebutkan di atas dan menggambarkan energi listrik ditransmisikan sebagai fungsi dari sudut rotor.



Gambar 2.5 Hubungan sudut daya antara dua mesin sistem
Sumber: Prabha Kundur, 1994: 26

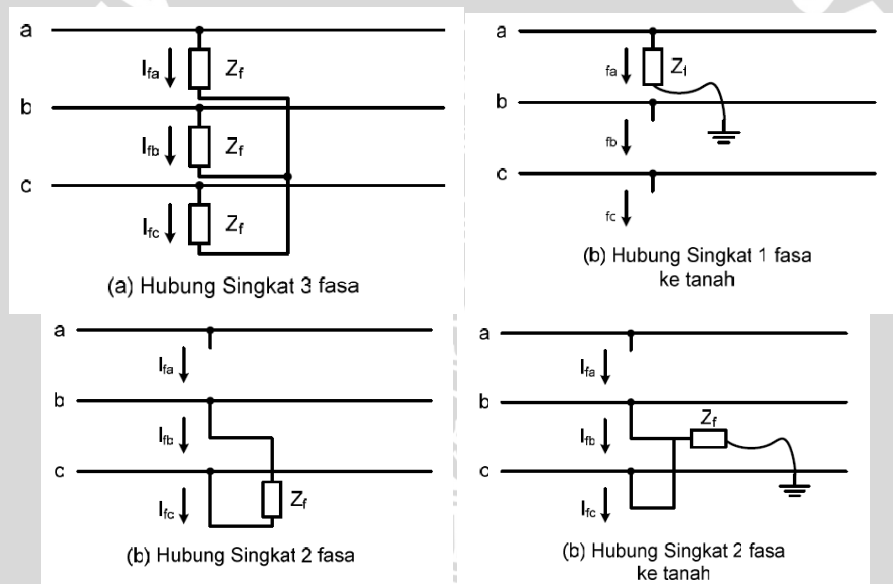
2.7 Stabilitas Tegangan

Stabilitas tegangan merupakan kemampuan suatu sistem tenaga untuk menjaga tegangan tetap stabil di semua bus dalam suatu sistem pada saat kondisi operasi normal dan setelah terjadi suatu gangguan (Prabha Kundur, 1994: 27). Suatu sistem memasuki daerah ketidakstabilan tegangan ketika suatu gangguan menyebabkan kondisi sistem tersebut mengalami *drop* tegangan yang tidak dapat dikendalikan. Faktor utama yang menjadi penyebab ketidakstabilan ialah ketidakmampuan sistem tenaga dalam menyediakan daya reaktif. Sebuah kriteria untuk stabilitas tegangan adalah bahwa pada kondisi operasi yang diberikan untuk setiap bus dalam sistem dimana tegangan bus akan meningkat sesuai dengan injeksi daya reaktif pada bus yang sama juga meningkat. Fenomena ketidakstabilan tegangan dapat berlangsung cepat (jangka pendek) atau lambat (jangka panjang) (IEEE-CIGRE, 2004). Tegangan dalam sistem dikatakan stabil apabila *drop* tegangan yang terjadi dalam sistem tidak melebihi dari 500 milidetik dan tegangan sistem kembali ke keadaan *steady state* (IEEE-Std, 1995). Masalah stabilitas tegangan jangka pendek biasanya terkait dengan kecepatan tanggapan dari pengatur tegangan (misalnya, AVR) dan konverter daya elektronik. Dalam kasus pengatur tegangan, ketidakstabilan tegangan biasanya terkait dengan ketidaksesuaian teraan pada

sistem pengaturan. Masalah - masalah stabilitas tegangan yang berlangsung cepat telah dipelajari dengan menggunakan berbagai analisis teknik dan peralatan yang sesuai dengan model dan mensimulasikan tanggapan dinamik dari pengontrol tegangan dan konverter yang diteliti, seperti program stabilitas.

Untuk tujuan analisis, klasifikasi gangguan dalam studi stabilitas tegangan terdapat dua jenis gangguan, yaitu : (Prabha Kundur, 1994:32)

- a. Gangguan besar pada stabilitas tegangan berkaitan dengan kemampuan sistem untuk mengontrol tegangan saat terjadi gangguan, misalnya saat terjadi gangguan sistem, hilangnya pembangkit atau sirkuit. Kemampuan ini ditentukan oleh karakteristik beban dan sistem serta interaksi antara sistem proteksi dan kontrol. Adapun gangguan-gangguan hubung singkat pada sistem tiga fasa dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6 :



Gambar 2.6 Jenis-jenis gangguan hubung singkat
Sumber : Grainger & Stevenson, 1994 : 478

Gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetris). Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Periode studi mungkin membutuhkan waktu dari beberapa detik sampai beberapa menit. Oleh sebab itu simulasi dinamis jangka panjang diperlukan dalam proses analisis ini. Sebuah kriteria untuk stabilitas tegangan gangguan besar adalah dengan memberikan gangguan dan mengikuti aksi dari

sistem kontrol sehingga tegangan pada semua bus dalam sistem dapat mencapai tingkat *steady state* yang dapat diterima.

- b. Gangguan kecil pada stabilitas tegangan berkaitan dengan kemampuan sistem dalam mengendalikan besar tegangan mengikuti perubahan gangguan kecil misalnya perubahan pada sistem beban. Ketidakstabilan tegangan gangguan kecil pada dasarnya alami terjadi pada keadaan *steady state*. Oleh karena itu, analisis statis dapat secara efektif digunakan untuk menentukan margin stabilitas, mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas dan memeriksa berbagai kondisi sistem.

2.8 Persamaan Dalam Studi Stabilitas

2.8.1 Persamaan Keadaan Mantab (*Steady State*)

Gambar 2.7 menunjukkan diagram fasor fluksi dan tegangan untuk mesin sinkron rotor silindris dimana efek kejenuhan diabaikan. Fluksi F_f sebanding dengan arus medan I_f dan ditunjukkan pada sumbu *direct* pada mesin. Tegangan terminal stator untuk rangkaian hubung-buka E_i sebanding dengan F_f yang berada pada sumbu *quadrature*. Tegangan E_i juga sebanding dengan tegangan medan E_f .

Ketika mesin sinkron dibebani, fluksi F sebanding dan sefasa dengan arus stator yang dihasilkan yang mana penjumlahan secara vektor fluksi F_f memberikan sebuah nilai fluksi efektif F_e . Tegangan efektif stator E_l memiliki hubungan dengan F_e dan tertinggal sebesar 90° . Tegangan terminal V diperoleh dari tegangan E_l melalui pertimbangan jatuh tegangan karena adanya reaktansi X_l dan resistansi jangkar R_a . Perbedaan antara E_f dan E_l adalah pada fasa dengan jatuh tegangan pada $|X|$ dan sebanding dengan I . oleh karena itu, perbedaan tegangan dapat dikatakan sebagai jatuh tegangan pada reaktansi jangkar X_a . Jumlah antara X_l dan X_a disebut reaktansi sinkron (Arrilaga, 1990 : 159-160):

$$X_d = X_l + X_{ad} \quad (2-48)$$

$$X_q = X_l + X_{aq} \quad (2-49)$$

$$E_i - V_q = R_a I_q - X_d I_d \quad (2-50)$$

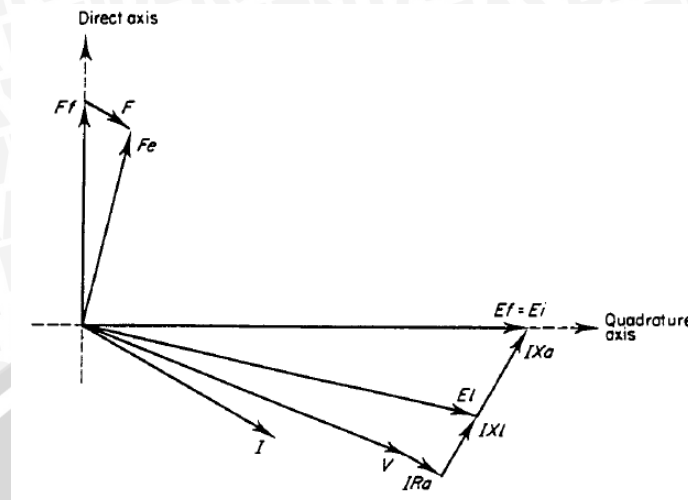
$$-V_d = R_a I_d + X_d I_d \quad (2-51)$$

dimana : X_d : reaktansi sumbu *direct*

X_q : reaktansi sumbu *quadrature*

I_d : arus jangkar sumbu *direct*

I_q : arus jangkar sumbu *quadrature*



Gambar 2.7 Diagram fasor mesin sinkron rotor silindris pada keadaan mantap

Sumber: Arrillaga, 1990 : 159

2.8.2 Persamaan Peralihan (*Transient*)

Untuk perubahan yang lebih cepat pada kondisi eksternal mesin sinkron, model di atas tidak lagi sesuai. Karena perubahan inersia gandingan fluks tidak tercermin di dalam model tersebut. Oleh karena itu, diperlukan suatu tegangan peralihan yang baru yaitu E'_d dan E'_q yang mewakili gandingan fluks pada kumparan rotor. Tegangan peralihan ini dapat ditunjukkan melalui adanya reaktansi peralihan generator sinkron yaitu X'_d dan X'_q (Arrilaga, 1990 : 160):

$$E'_q - V_q = R_a I_q - X'_d I_d \quad (2-52)$$

$$E'_d - V_d = R_a I_d + X'_q I_q \quad (2-53)$$

dimana : E'_d : tegangan peralihan sumbu *direct*

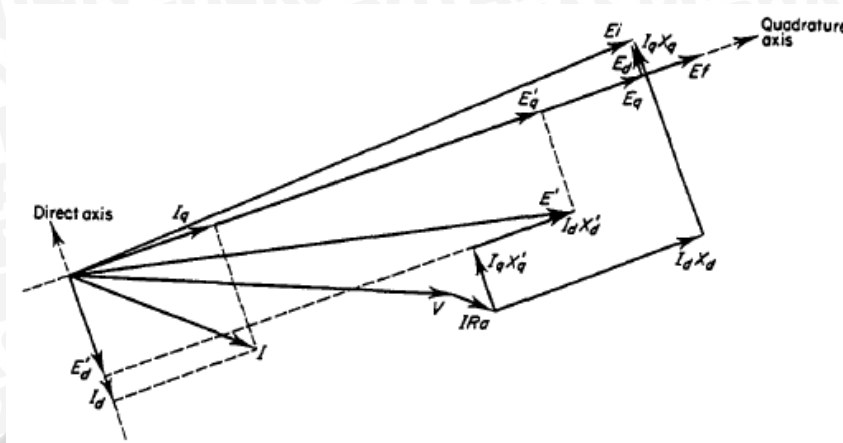
E'_q : tegangan peralihan sumbu *quadrature*

X'_d : reaktansi peralihan sumbu *direct*

X'_q : reaktansi peralihan sumbu *quadrature*

Sekarang tegangan E_i harus dianggap sebagai jumlah dari dua tegangan E_d dan E_q dan merupakan tegangan di belakang reaktansi sinkron. Pada bagian sebelumnya, dimana untuk keadaan mantap, arus mengalir hanya dalam kumparan medan sehingga dalam kasus tersebut $E_d = 0$ dan $E_q = E_i$

Diagram fasor untuk operasi mesin pada kondisi peralihan ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.8 Diagram fasor mesin sinkron pada keadaan peralihan

Sumber: Arrillaga, 1990 : 161

2.8.3 Persamaan Sub-peralihan (*Subtransient*)

Dalam kondisi sub-peralihan generator, kasus kumparan peredam (*dampers windings*) ataupun rangkaian lain yang terdapat dalam rotor, diperlukan jika pemodelan yang lebih tepat diperlukan. Reaktansi dan konstanta waktu yang dilibatkan kecil dan sering kali diabaikan. Dalam hal ini, diperlukan suatu tegangan sub-peralihan yang baru yaitu E''_d dan E''_q . Tegangan peralihan ini dapat ditunjukkan melalui adanya reaktansi sub-peralihan generator sinkron yaitu X''_d dan X''_q . Jika diperlukan, pengembangan dari persamaan ini identik dengan suatu kondisi sub-peralihan generator sinkron dan menghasilkan (Arrilaga, 1990 : 161):

$$E''_q - V_q = R_a I_q - X''_d I_d \quad (2-54)$$

$$E''_d - V_d = R_a I_d + X''_q I_q \quad (2-55)$$

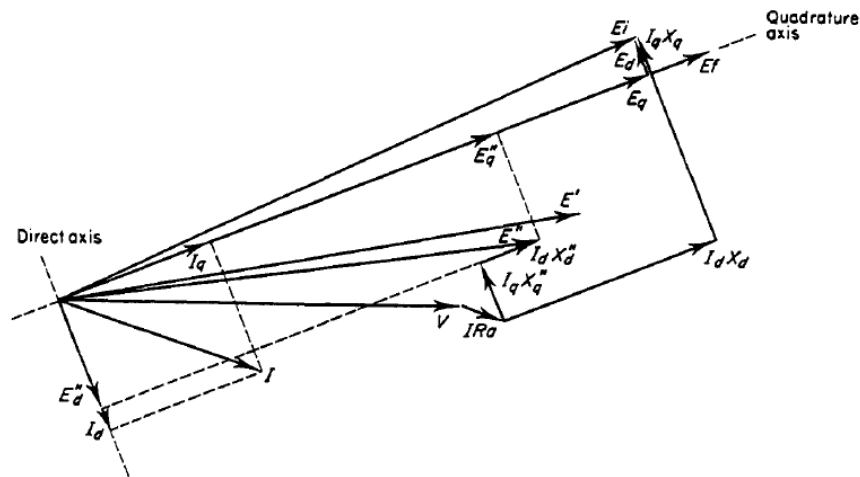
dimana : E''_d : tegangan sub-peralihan sumbu *direct*

E''_q : tegangan sub-peralihan sumbu *quadrature*

X''_d : reaktansi sub-peralihan sumbu *direct*

X''_q : reaktansi sub-peralihan sumbu *quadrature*

Persamaan tersebut dikembangkan dengan sebuah asumsi bahwa konstanta waktu peralihan lebih besar jika dibandingkan dengan konstanta waktu sub-peralihan. Diagram fasor dari mesin sinkron pada kondisi sub-peralihan ditunjukkan pada Gambar 2.8. Perlu dicatat bahwa Persamaan (2-54) dan (2-55) benar hanya pada kondisi operasi keadaan mantap.



Gambar 2.9 Diagram fasor mesin sinkron pada keadaan sub-peralihan
Sumber: Arrillaga, 1990 : 162

2.9 Unit Pembangkit

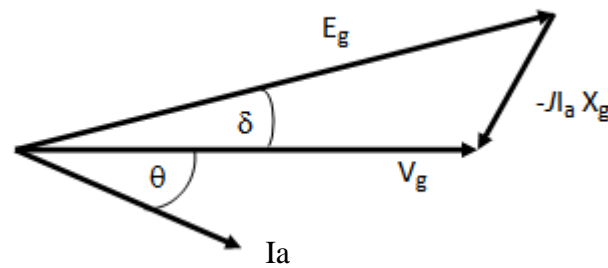
2.9.1 Generator Sinkron

Generator sinkron diklasifikasikan sebagai generator berkecepatan tinggi dan digerakkan oleh uap atau turbin gas, atau generator berkecepatan rendah yang digerakkan oleh turbin air. Biasanya generator berkecepatan tinggi terdiri dari dua atau empat kutub sehingga di sistem 50 Hz generator akan digerakkan pada kecepatan 3000 atau 1500 rpm. Sebaliknya, generator kecepatan rendah biasanya beroperasi pada 500 rpm dan di bawahnya, memiliki jumlah kutub yang cukup besar (Jan Machowski, 2008 : 10).

Kedua bagian utama sebuah mesin serempak adalah susunan ferromagnetik. bagian yang diam, yang pada dasarnya adalah sebuah silinder kosong dinamakan stator atau jangkar (*armature*) dan mempunyai parit-parit (*slots*) yang didalamnya terdapat lilitan kumparan stator. Lilitan ini membawa arus yang diberikan pada suatu beban listrik atau sistem oleh sebuah generator. Rotor adalah bagian yang dari mesin yang dipasang poros dan berputar di dalam stator yang kosong. Lilitan pada rotor dinamakan lilitan medan (*field winding*) dan dicatu dengan arus DC (Stevenson, 1996 : 122).

Belitan eksitasi diberikan arus DC untuk menghasilkan fluks magnetik dengan daya yang sebanding dengan arus eksitasi. Fluks magnet berputar kemudian menginduksi pada setiap kumparan fasa stator yang menghasilkan gaya gerak listrik (ggl) pada kumparan tiga fasa yang mengakibatkan arus AC mengalir menuju ke sistem daya yang dalam keadaan berbeban. (Jan Machowski, 2008 : 10).

Pengubahan penguatan atau eksitasi mesin serempak adalah faktor yang penting dalam pengaturan aliran daya. Apabila sebuah generator yang terminalnya dihubungkan ke suatu sistem daya yang besar sehingga tegangan V_g pada terminal generator tersebut tidak akan berubah karena adanya perubahan eksitasi generator. Apabila masukan daya generator dipertahankan, maka suatu nilai E_g (ggl) generator dapat diubah-ubah dengan merubah besar eksitasi medan DC. Maka untuk suatu nilai E_g , diagram fasor generator diperlihatkan oleh gambar 2.10.

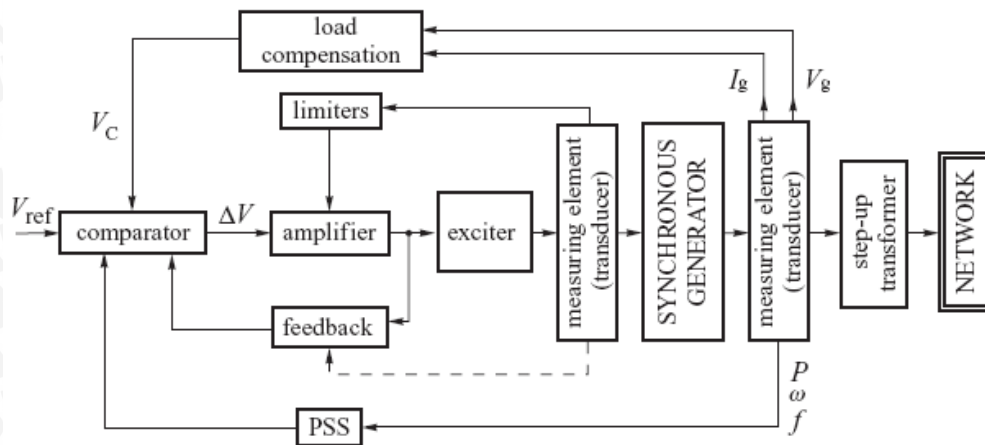


Gambar 2.10 Diagram fasor generator yang terlalu diperkuat (*overexcited*)
Sumber: Stevenson, 1996 : 130

Sudut δ dinamakan dengan sudut sudut momen (*torque angle*) atau sudut daya (*power angle*) dari mesin itu. Generator yang terlalu diperkuat (*overexcited*) mencatu arus tertinggal ke sistem.

2.9.2 Exciters dan Automatic Voltage Regulators

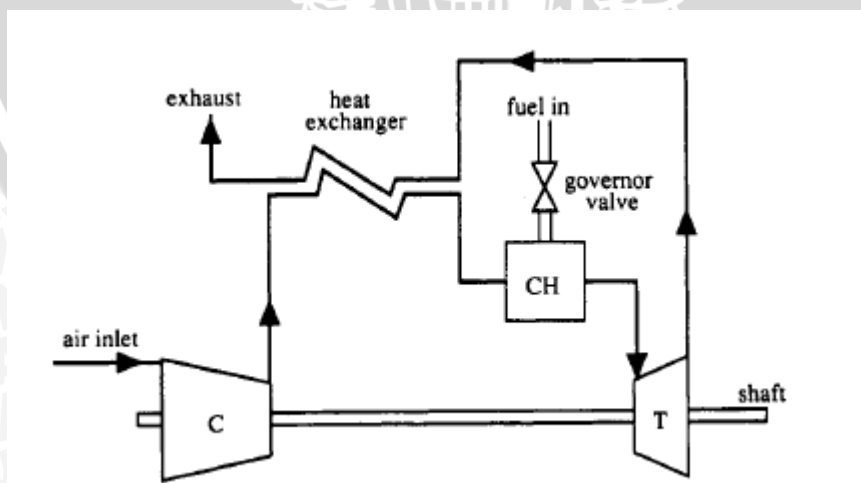
Sistem eksitasi generator terdiri dari sebuah *exciter* dan sebuah *automatic voltage regulator* (AVR) dan mensuplai generator dengan arus DC. Rating daya dari sebuah *exciter* biasanya 0,2-0,8% dari rating daya (MW) generator. AVR berfungsi untuk mengatur tegangan terminal generator melalui arus yang disalurkan menuju kumparan medan generator oleh *exciter*. Blok diagram secara umum dari subsistem AVR dtunjukkan dalam Gambar 2.11. Elemen pengukuran mengindra arus, daya, tegangan terminal dan frekuensi generator. Tegangan terminal generator V_g yang diukur dikompensasikan dengan arus beban dan dibandingkan dengan tegangan referensi V_{ref} untuk mendapatkan *error* tegangan ΔV . *Error* ini selanjutnya akan digunakan untuk mengubah keluaran *exciter* dan mempengaruhi arus medan generator sehingga *error* tegangan dapat dieliminasi. Proses regulasi menggunakan umpan balik negatif yang diambil secara langsung melalui *exciter* (Jan Machowski, 2008 : 11).



Gambar 2.11 Diagram blok sistem eksitasi dan AVR
 Sumber : Jan Machowski, 2008 : 13

2.9.3 Turbin Gas

Pada turbin gas, energi panas bahan bakar diubah menjadi energi mekanik menggunakan panas gas buang pada turbin. Udara biasanya digunakan sebagai fluida dengan bahan bakar menjadi gas. Sistem yang paling populer untuk turbin gas adalah siklus regeneratif terbuka yang ditunjukkan pada gambar 2.12. Siklus ini terdiri dari kompresor (C), ruang pembakaran (CH), dan turbin (T). Bahan bakar yang dipasok melalui katub (*valve*) *governor* digunakan untuk pembakaran pada ruang pembakaran (CH) dengan udara yang dipasok oleh kompresor (C). Udara panas yang bertekanan kemudian diarahkan ke turbin (T) dan digunakan untuk menggerakkan turbin. Sisa gas kemudian digunakan untuk memanaskan udara yang dikirim oleh kompresor.



Gambar 2.12 Siklus regeneratif terbuka pada turbin gas.
 Sumber : Jan Machowski, 2008 : 16

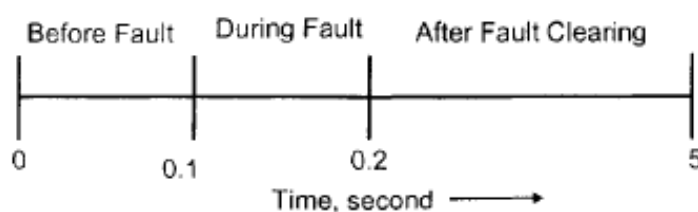


2.10 Komputer Digital untuk Analisis Sistem Daya

Program komputer saat ini dikembangkan untuk membantu manusia dalam mensimulasikan berbagai hal, misalnya adalah simulasi aliran beban dan studi stabilitas pada sistem daya. Hal ini akan memudahkan manusia dalam mengembangkan atau merencanakan suatu sistem daya di masa akan datang. Sebelum komputer digital besar dikembangkan, studi aliran beban dilakukan pada papan hitung a.c yang memberikan model berfasa tunggal dalam skala kecil dari sistem yang sebenarnya, yaitu dengan saling menghubungkan beberapa elemen rangkaian dan sumber tegangan. Pekerjaan melaksanakan hubungan, pengaturannya serta pembacaan data-data yang didapat sangat melelahkan dan memerlukan banyak waktu. Pada masa kini komputer digital dapat dengan cepat memberikan jawaban atas studi aliran beban untuk sistem yang kompleks sekalipun. Misalnya, suatu program komputer dapat dengan mudah menangani lebih dari 1500 buah rel, 2500 saluran transmisi dan 500 buah transformator. Hasil-hasil yang lengkap dicetak dengan cepat dan ekonomis (Stevenson, 1996 :6).

Begitu pula dengan program komputer digital untuk studi stabilitas. Program komputer tersebut telah berkembang dari dua kebutuhan dasar, yaitu keperluan untuk mempelajari sistem yang sangat besar yang saling berhubungan dengan jumlah mesin yang sangat banyak dan kebutuhan untuk melukiskan mesin dan sistem pengaturannya berkaitan dengan model yang lebih terperinci. Representasi mesin secara klasik memang sesuai untuk banyak studi. Tetapi, model yang lebih lengkap dan terperinci mungkin diperlukan untuk mewakili alternator turbo modern dengan karakteristik dinamis yang ditentukan oleh berbagai kemajuan teknologi dalam rancangan mesin dan sistem pengaturannya. Dalam studi sistem yang besar, banyak generator yang saling dihubungkan dengan pusat beban yang tersebar luas oleh sistem transmisi yang luas pula, yang perilakunya juga harus dinyatakan oleh sejumlah besar persamaan aljabar.

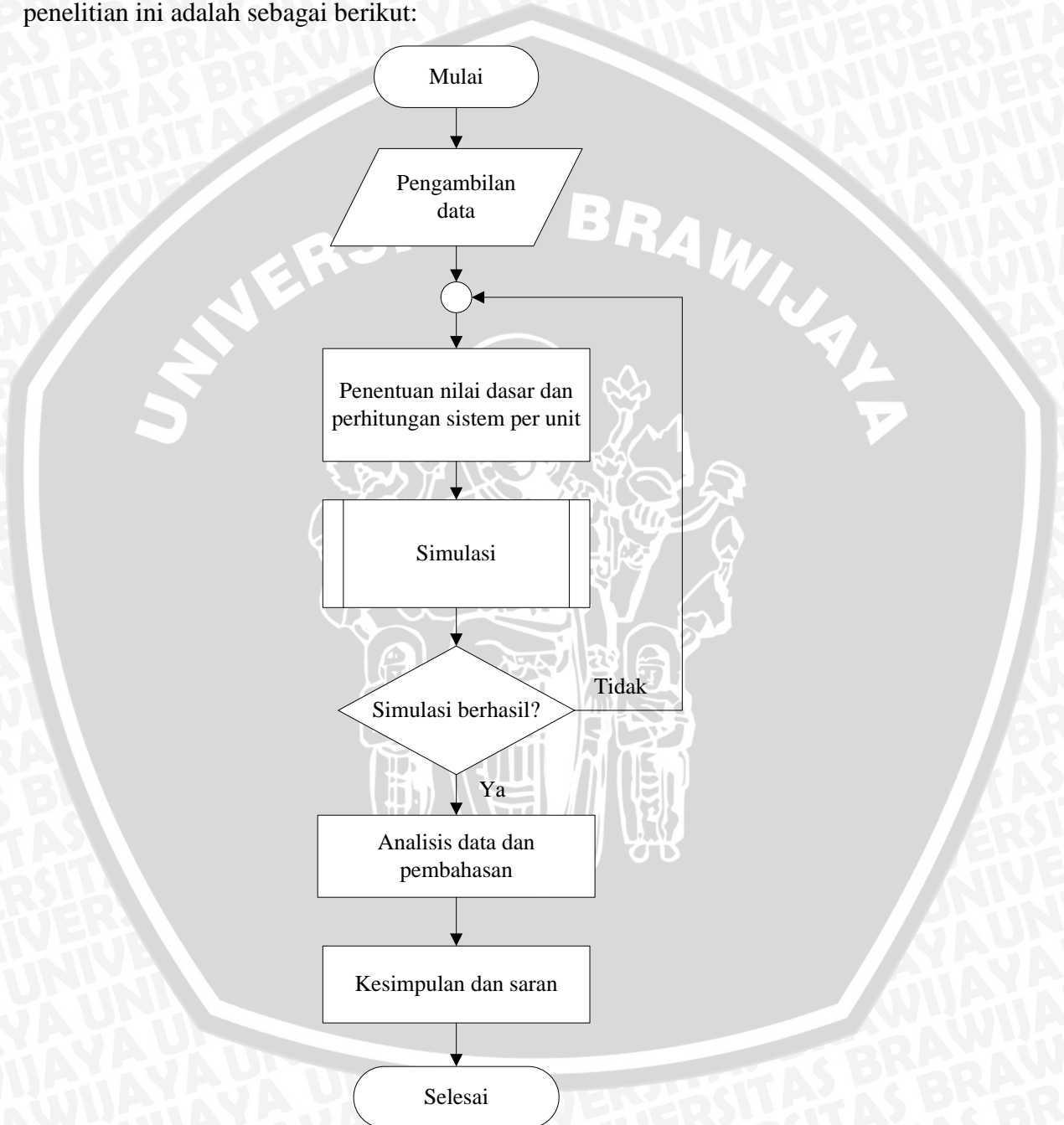
Dalam melakukan analisis terhadap stabilitas terdapat suatu tipe waktu simulasi yang dapat ditunjukkan pada gambar 2.13 berikut :



Gambar 2.13 Estimasi waktu gangguan pada analisis stabilitas
Sumber : Ramasamy Natarajan , 2002

BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian memberikan gambaran urutan langkah-langkah yang dilaksanakan untuk mencapai tujuan penelitian. Adapun urutan langkah-langkah penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



3.1 Studi literatur

Studi literatur dilakukan guna mengetahui dasar teori yang digunakan untuk menganalisis kestabilan sistem daya pada PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* pada saat sebelum maupun sesudah interkoneksi. Studi ini berupa kajian tentang analisis aliran daya, analisis stabilitas sistem daya serta studi perangkat lunak *PSSE*.

3.2 Pengambilan Data

Data-data yang digunakan dalam kajian ini terdiri dari data primer dan data data sekunder.

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang didapat dari hasil pengamatan dan survei lapangan. Data primer yang diperoleh meliputi data parameter – parameter sistem daya meliputi diagram segaris sistem (generator, tranformator, saluran dan beban).

2. Data Sekunder

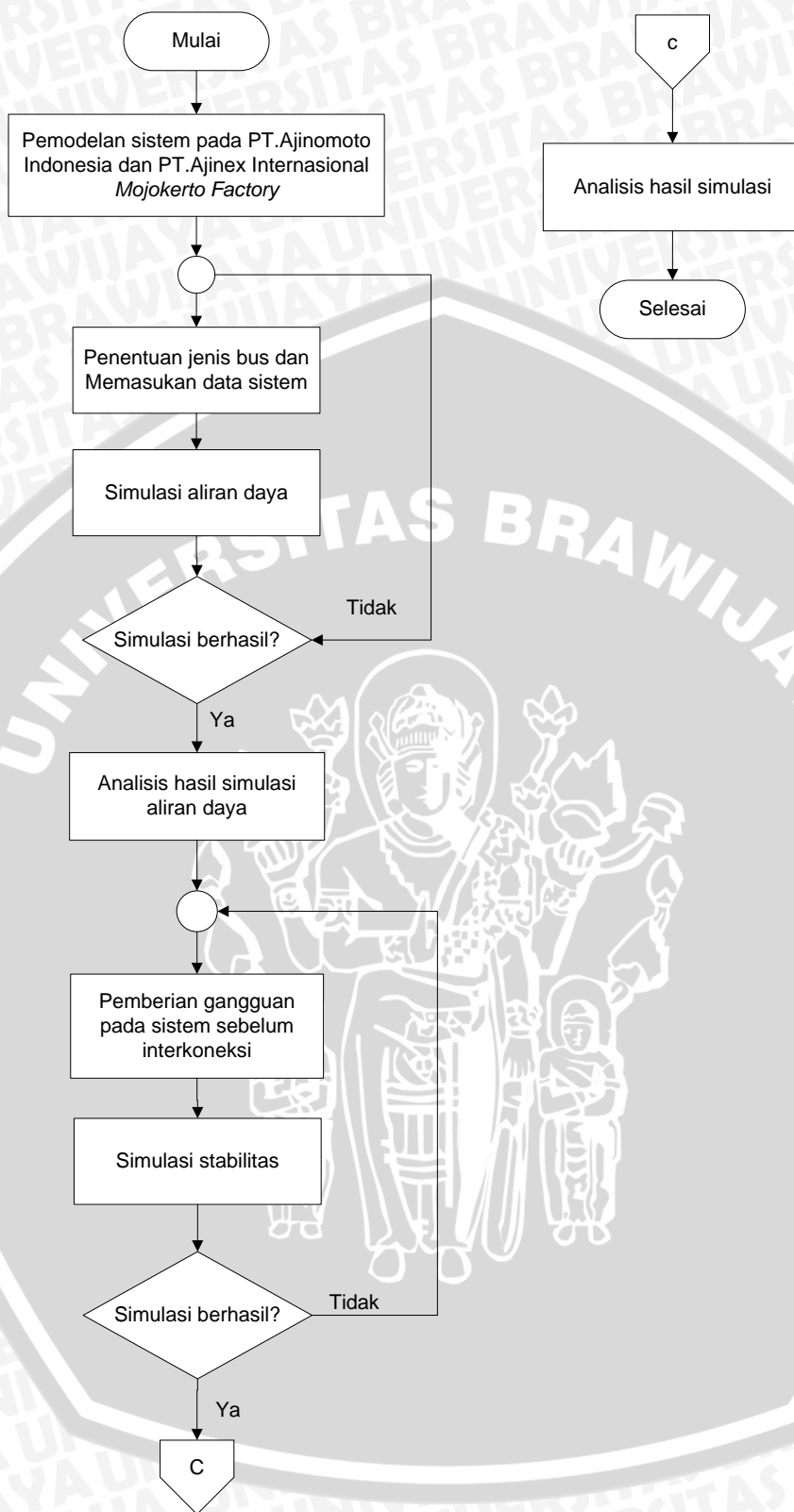
Data-data yang diperlukan dalam kajian ini terdiri dari data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, dan internet.

3.3 Pemodelan

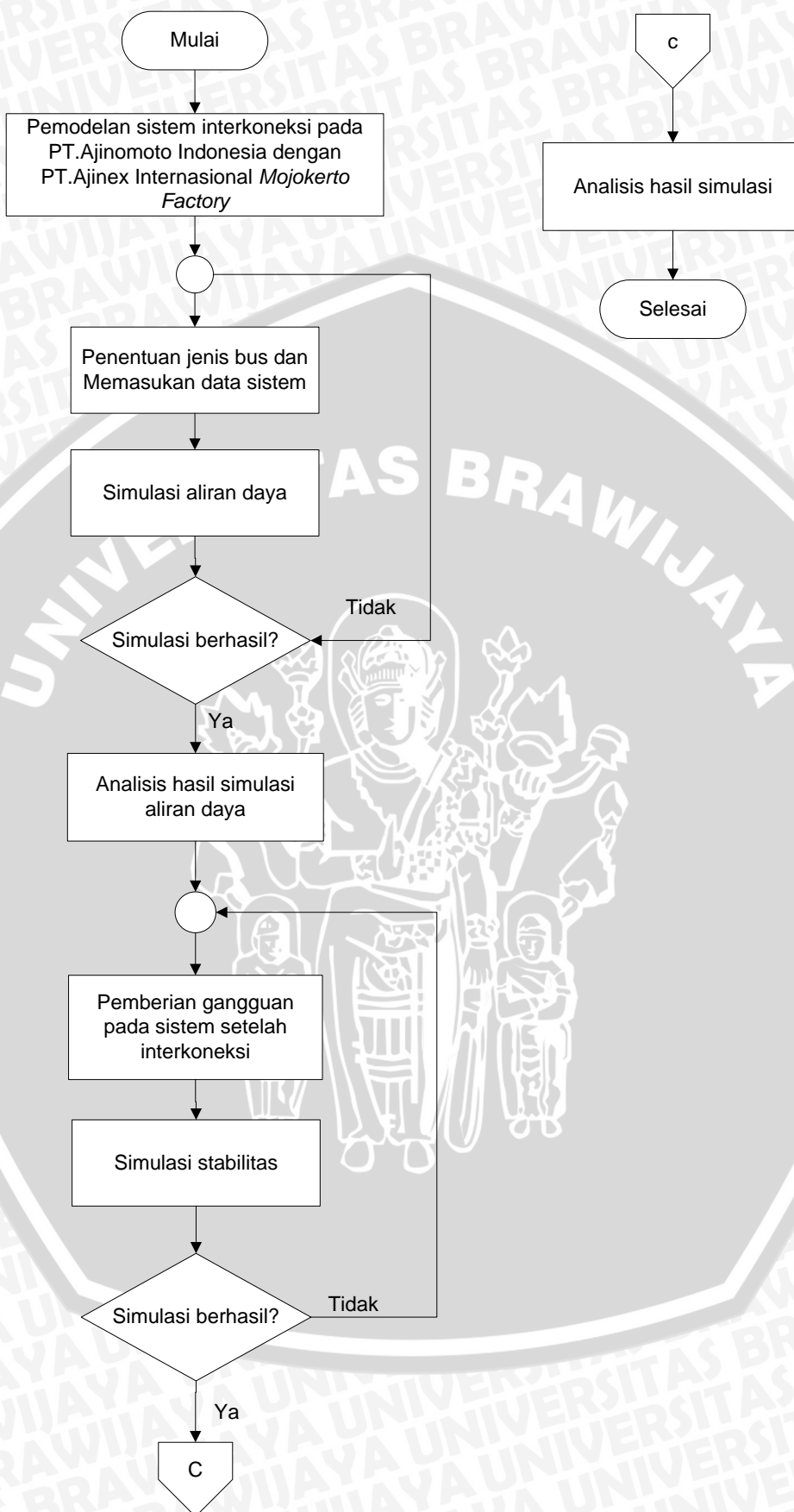
Pemodelan pada sistem tenaga di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* dilakukan menggunakan perangkat lunak *PSSE* (*Power System Simulator for Engineering*) yang berfungsi untuk memodelkan kondisi sistem daya dan mensimulasikan. Pemodelan dimulai ketika sumber daya PT.Ajinomoto Indonesia dan sumber daya PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* tidak diinterkoneksi. Kemudian sistem dimodelkan saat kedua sumber daya tersebut diinterkoneksi.

3.4 Simulasi

Langkah simulasi dan pengerjakan analisis kestabilan sistem daya digambarkan sesuai dengan diagram alir berikut:



Gambar 3.2 Diagram alir simulasi sebelum interkoneksi



Gambar 3.3 Diagram alir simulasi setelah interkoneksi



Perangkat lunak yang digunakan adalah *PSSE (Power Sistem Simulator for Engineering)*, langkah-langkah pembuatannya adalah sebagai berikut:

1. Membuat *file* baru pada perangkat lunak dan menentukan besar nilai dasar yang digunakan.
2. Menggambar dan memodelkan desain awal sistem daya.
3. Memberikan nilai tiap komponen sesuai data.
4. Melakukan simulasi aliran daya pada model awal sistem.
5. Mencatat data aliran daya sebagai bahan evaluasi studi stabilitas.
6. Memberikan gangguan pada salah satu bus.
7. Melakukan simulasi stabilitas.
8. Melakukan analisis terhadap hasil simulasi.
9. Melakukan interkoneksi pada sistem daya di PT. Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory*.
10. Melakukan langkah 4 sampai 8 pada kondisi interkoneksi.

3.5 Hasil Simulasi dan Analisis

Data-data yang telah terkumpul selanjutnya diolah melalui perhitungan, simulasi komputer digital dan analisis sehingga diperoleh data stabilitas sistem tenaga listrik di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* sesuai dengan rumusan masalah yang meliputi analisis stabilitas sistem daya pada PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* ketika terjadi gangguan sebelum interkoneksi dan sesudah interkoneksi. Perhitungan, simulasi dan analisis data dimulai pada saat kondisi sebelum interkoneksi. Analisis tersebut akan terfokus pada kestabilan tegangan dan sudut rotor pada sistem saat salah satu bus diberi gangguan. Gangguan akan diberikan pada salah satu bus sistem, kemudian akan dianalisis dampak gangguan terhadap stabilitas sistem daya di PT. Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory*.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan teori, hasil perhitungan serta analisis. Selain kesimpulan, akan dicantumkan saran-saran kepada pembaca yang akan melakukan studi terkait dengan skripsi ini. Meliputi hal-hal yang

menjadi kendala dalam penelitian ataupun hal-hal yang masih memerlukan kajian lebih dalam lagi.



BAB IV

SIMULASI DAN PEMBAHASAN HASIL

Pada bab ini akan dibahas mengenai stabilitas sistem daya di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory*. Permasalahan stabilitas sistem daya yang akan dibahas adalah stabilitas sistem daya pada kondisi awal dan pada saat interkoneksi dua sumber daya dilakukan. Dalam analisisnya akan disajikan grafik tegangan dan sudut rotor sebagai fungsi waktu.

4.1 Kondisi Kelistrikan di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory*

4.1.1 Sistem Pembangkitan

Sistem pembangkitan energi listrik di PT.Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory* menggunakan 1 buah generator dengan daya yang dibangkitkan sebesar 8,5 MVA yang diinterkoneksi dengan 1 buah transformator dengan rating daya sebesar 18 MVA. Transformator tersebut tersambung dengan saluran PLN 72 kV yang kemudian diturunkan menjadi 3,45 kV sesuai dengan kebutuhan industri. Data generator dan data transformator dapat dilihat pada lampiran 1.

Sistem pembangkitan pada PT.Ajinex Internasional tidak jauh berbeda dengan sistem pembangkitan pada PT.Ajinomoto. Pembangkit energi listrik di PT.Ajinex Internasional juga menggunakan 1 buah generator dan 1 buah transformator yang diinterkoneksi. Perbedaan tersebut terletak pada kapasitas pembangkitan. Generator pada PT.Ajinex Internasional membangkitkan daya sebesar 7,5 MVA dan rating transformator sebesar 12 MVA. Data generator dan data transformator dapat dilihat pada lampiran 2.

4.1.2 Sistem Distribusi Daya

Sesuai dengan pembahasan sebelumnya jika PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional memiliki 1 buah generator dan 1 buah transformator yang diinterkoneksi untuk menyuplai sejumlah beban industri. Generator PT.Ajinomoto Indonesia menyuplai beban pada *feeder 4F*, *feeder 7F* dan *feeder 8F* sedangkan sumber pembangkit dari PLN menyuplai beban pada *feeder 1F*, *feeder 2F*, *feeder 3F* dan *feeder 5F* berupa sejumlah motor listrik, transformator dan peralatan industry lainnya.

Distribusi aliran daya pada PT.Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory dapat dilihat pada lampiran.

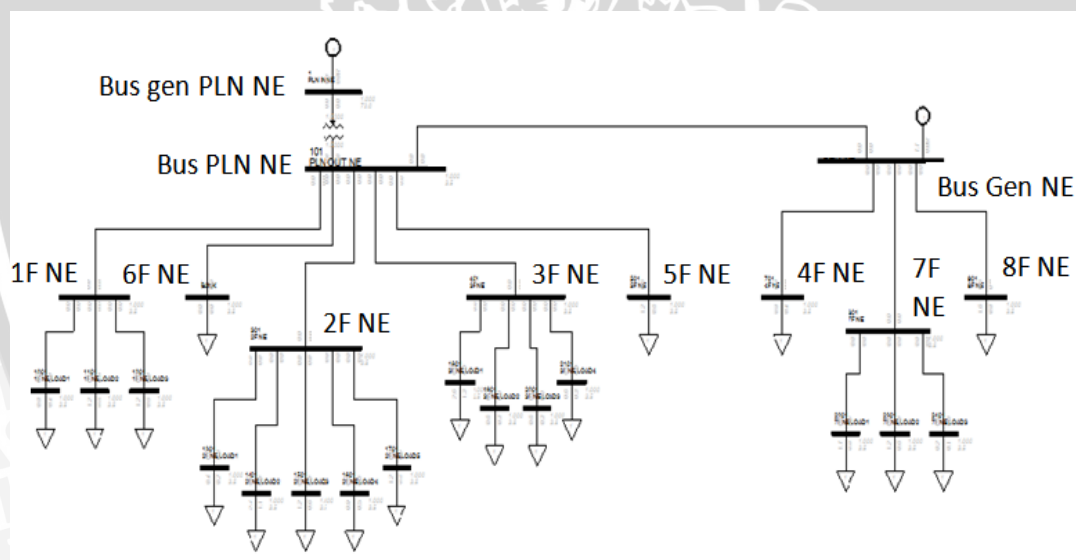
Pada PT.Ajinex Internasional, generator menyuplai sejumlah beban industri pada *feeder 2F*, *feeder 4F* dan *feeder 6F*. Sedangkan sumber dari PLN menyuplai beban pada *feeder 1F*, *feeder 3F* dan *feeder 5F*. Setiap *feeder* memiliki konsumsi daya yang berbeda-beda. Distribusi aliran daya pada PT.Ajinex Internasional dapat dilihat pada lampiran.

4.2 Pemodelan Sistem dan Pengolahan Data

4.2.1 Pemodelan Sistem

1. Sistem daya PT.Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory

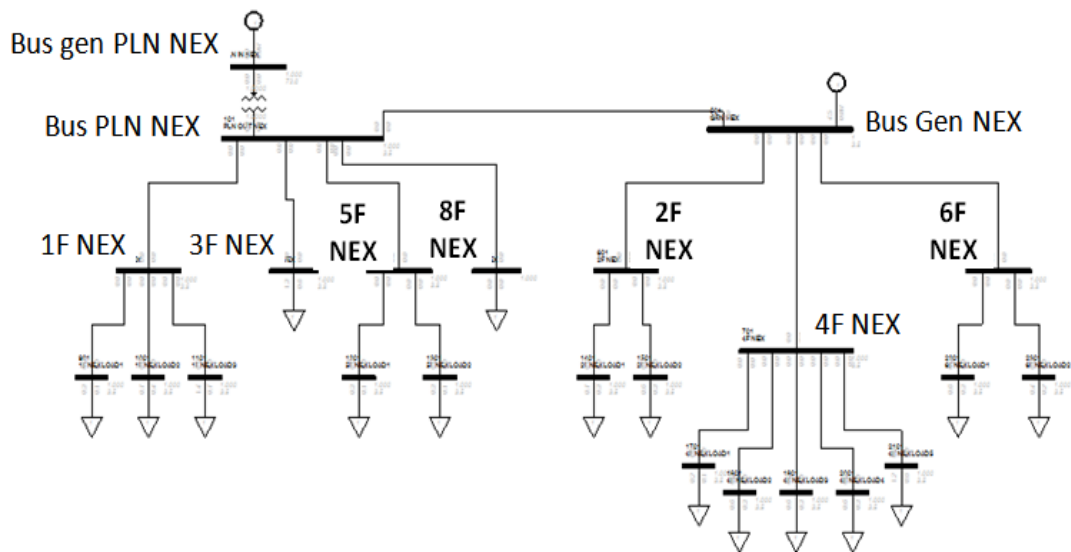
Berdasarkan data pada lampiran, diagram segaris sistem daya akan dimodelkan secara sederhana dan disesuaikan dengan keperluan analisis dan simulasi stabilitas sistem daya pada PT.Ajinomoto Indonesia. Diagram segaris sistem daya ditunjukkan pada Gambar 4.1:



Gambar 4.1 Diagram segaris sistem daya PT.Ajinomoto Indonesia
Sumber : PT.Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory

2. Sistem daya PT.Ajinex Internasional

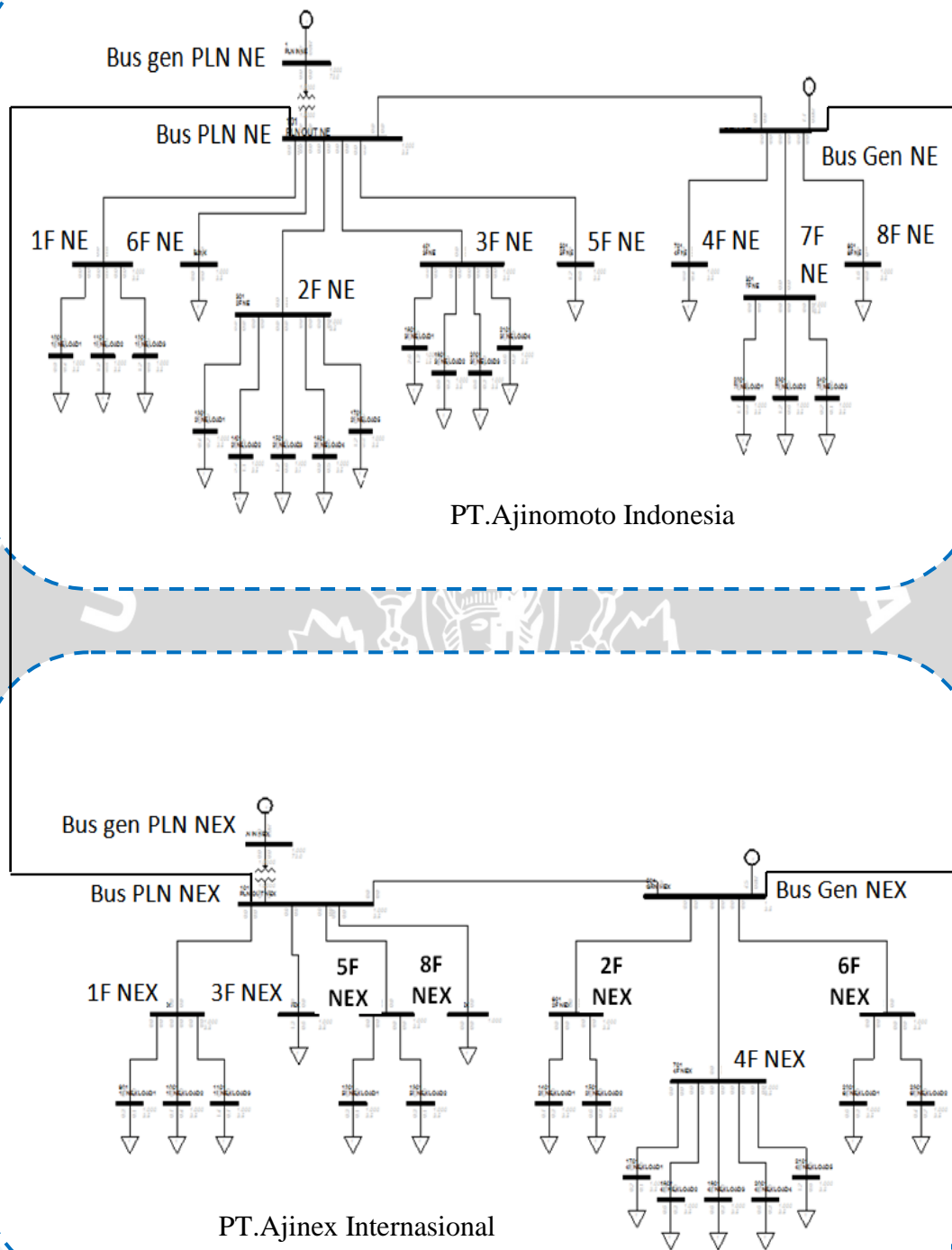
Pemodelan sistem daya pada PT.Ajinex Internasional berdasarkan data pada lampiran akan dimodelkan secara sederhana sesuai dengan kebutuhan simulasi dan analisis kestabilan sistem daya. Diagram segaris sistem daya pada PT.Ajinex Internasional ditunjukkan pada Gambar 4.2:



Gambar 4.2 Diagram segaris sistem daya PT. Ajinex Internasional
Sumber : PT. Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory

3. Interkoneksi sistem daya PT. Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory dengan PT. Ajinex Internasional.

Proses interkoneksi akan dilakukan dengan melibatkan dua sumber daya pada dua perusahaan. Dari dua sistem daya tersebut, proses interkoneksi dilakukan, yaitu dengan menghubungkan bus PLN NE (sumber daya PLN PT. Ajinomoto Indonesia) dengan bus PLN NEX (sumber daya PLN PT. Ajinex Internasional) dan bus Gen NE (sumber daya generator PT. Ajinomoto Indonesia) dengan bus Gen NEX (sumber daya generator PT. Ajinex Internasional) dengan menggunakan tipe konduktor N2XSJY 6 kV / 12 kV sesuai dengan standar konduktor yang digunakan oleh kedua perusahaan tersebut. Diagram segaris interkoneksi dapat dilihat pada Gambar 4.3. Dalam pemodelan interkoneksi dua perusahaan, terdapat 4 sumber daya energi listrik meliputi dua generator dan dua sumber daya dari PLN, dua transformator penurun tegangan dan 46 bus beban. Dari keempat bus generator, ditentukan bus Gen PLN NE sebagai *slack bus* sedangkan bus Gen NE, bus Gen NEX dan bus Gen PLN NEX sebagai *PV bus*. Sehingga bus yang lain selanjutnya disebut dengan *PQ bus*.



Gambar 4.3 Diagram segaris interkoneksi sistem daya dua perusahaan
 Sumber : Hasil pemodelan

4.2.2 Data Generator

Dalam melakukan perhitungan mengenai parameter-parameter sistem daya dalam satuan p.u, maka dalam perhitungan akan digunakan teraan nilai dasar 18 MVA sebagai daya dasar dan tegangan 3,45 kV sebagai tegangan dasar. Data-data yang diperlukan dalam melakukan analisis stabilitas meliputi daya, tegangan dan data dinamik generator seperti yang terdapat dalam lampiran. Nilai reaktansi generator dalam satuan p.u dapat diperoleh dengan mengkonversi satuan menggunakan persamaan 4-1.

$$X_{p.u} (baru) = X_{p.u} (lama) \left[\frac{KV_{lama} dasar}{KV_{baru} dasar} \right]^2 \cdot \left[\frac{MVA_{baru} dasar}{MVA_{lama} dasar} \right] \quad (4-1)$$

Dengan menggunakan persamaan 4-1 maka nilai reaktansi dari generator dapat diketahui. Data generator setelah proses konversi ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Data parameter dinamik generator

No	Parameter	Generator PT. Ajinomoto	Generator PT. Ajinex	Satuan
1	S	8,5000	7,50000	p.u.
2	R	0,0010	0,00100	p.u.
3	Xd	1,9000	1,6765	p.u.
4	X'd	0,2800	0,2471	p.u.
5	X''d	0,1150	0,1015	p.u.
6	Xq	1,8000	1,5882	p.u.
7	X'q	0,4100	0,3618	p.u.
8	X''q	0,1150	0,1015	p.u.
9	Xl	0,0950	0,0838	p.u.
10	Td'o	4,8000	4,8000	S
11	Td''o	0,0350	0,0350	S
12	Tq'o	0,4500	0,4500	S
13	Tq''o	0,0600	0,0600	S
14	H	6,0000	6,0000	kJ/kVA
15	D	0,0000	0,0000	-
16	V	3,4500	3,4500	kV

Sumber : Hasil perhitungan

4.2.3 Data saluran

Saluran sistem daya PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional memiliki data-data dalam lampiran yang ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Data saluran

No	PT. Ajinomoto			PT. Ajinex		
	Saluran	R (p.u.)	X (p.u.)	Saluran	R (p.u.)	X (p.u.)
1.	PLN – GEN	0.0429	0.1030	PLN – GEN	0.0423	0.1017
2.	PLN - 1F NE	0.0213	0.0353	PLN - 1F NEX	0.0428	0.0463
3.	1F NE- Load 1	0.0114	0.0123	1F NEX- Load 1	0.0798	0.0864
4.	1F NE- Load 2	0.0200	0.0216	1F NEX- Load 2	0.0570	0.0617
5.	1F NE- Load 3	0.0143	0.0154	1F NEX- Load 3	0.0627	0.0679
6.	PLN - 2F NE	0.0213	0.0353	PLN - 3F NEX	0.0399	0.0432
7.	2F NE- Load 1	0.0228	0.0247	PLN - 5F NEX	0.0599	0.0648
8.	2F NE- Load 2	0.0191	0.0207	5F NEX- Load 1	0.1049	0.1136
9.	2F NE- Load 3	0.0160	0.0173	5F NEX- Load 2	0.0798	0.0864
10.	2F NE- Load 4	0.0143	0.0154	PLN - 8F NEX	0.0011	0.0012
11.	2F NE- Load 5	0.0160	0.0173	GEN - 2F NEX	0.0029	0.0031
12.	PLN - 3F NE	0.0213	0.0353	2F NEX- Load 1	0.0114	0.0123
13.	3F NE- Load 1	0.0257	0.0278	2F NEX- Load 2	0.0057	0.0062
14.	3F NE- Load 2	0.0171	0.0185	GEN - 4F NEX	0.0399	0.0432
15.	3F NE- Load 3	0.0248	0.0269	4F NEX- Load 1	0.0684	0.0741
16.	3F NE- Load 4	0.0120	0.0130	4F NEX- Load 2	0.0627	0.0679
17.	PLN - 5F NE	0.0071	0.0118	4F NEX- Load 3	0.0513	0.0556
18.	PLN - 6F NE	0.0011	0.0012	4F NEX- Load 4	0.0718	0.0778
19.	GEN - 4F NE	0.0370	0.0741	4F NEX- Load 5	0.0570	0.0617
20.	GEN - 7F NE	0.0127	0.0253	GEN - 6F NEX	0.0057	0.0062
21.	7F NE- Load 1	0.0114	0.0123	6F NEX- Load 1	0.0103	0.0111
22.	7F NE- Load 2	0.0108	0.0117	6F NEX- Load 2	0.0137	0.0148
23.	7F NE- Load 3	0.0114	0.0123	-	-	-
24.	GEN - 8F NE	0.0123	0.0247	-	-	-

Sumber : Hasil perhitungan

4.2.4 Data beban

Nilai pembebanan pada PT.Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory* dan PT.Ajinex Internasional sesuai dengan pemodelan sistem daya pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Data pembebanan 2 perusahaan

PT. Ajinomoto			PT. Ajinex		
Pembebanan	P (MW)	Q (Mvar)	Pembebanan	P (MW)	Q (Mvar)
Bus 1F NE	3,2768	1,5870	Bus 1F NEX	2,42535	1,17465
1F NE – Load 1	0,7928	0,3840	1F NEX– Load 1	0,74520	0,36092
1F NE– Load 2	1,2420	0,6015	1F NEX– Load 2	1,39725	0,67672
1F NE– Load 3	1,2420	0,6015	1F NEX– Load 3	0,28290	0,13701
Bus 2F NE	6,2031	3,0043	Bus 2F NEX	1,26477	0,61256
2F NE– Load 1	0,4140	0,2005	2F NEX– Load 1	0,65067	0,31513
2F NE– Load 2	2,3736	1,1496	2F NEX– Load 2	0,61410	0,29742
2F NE– Load 3	1,2420	0,6015	Bus 3F NEX	1,32480	0,64163
2F NE– Load 4	0,9315	0,4511	Bus 4F NEX	3,29130	1,59405
2F NE– Load 5	1,2420	0,6015	4F NEX– Load 1	0,18630	0,09023
Bus 3F NE	4,4874	2,1734	4F NEX– Load 2	0,62100	0,30076
3F NE– Load 1	2,6244	1,2711	4F NEX– Load 3	0,62100	0,30076
3F NE– Load 2	0,6210	0,3008	4F NEX– Load 4	0,62100	0,30076
3F NE– Load 3	0,6210	0,3008	4F NEX– Load 5	1,24200	0,60153
3F NE– Load 4	0,6210	0,3008	Bus 5F NEX	0,55614	0,26935
Bus 4F NE	0,7763	0,3760	5F NEX– Load 1	0,27324	0,13234
Bus 5F NE	1,2420	0,6015	5F NEX– Load 2	0,28290	0,13701
Bus 6F NE	0,00000	0,00000	Bus 6F NEX	1,02534	0,49659
Bus 7F NE	3,0406	1,4726	6F NEX– Load 1	0,62100	0,30076
7F NE– Load 1	1,7078	0,8271	6F NEX– Load 2	0,40434	0,19583
7F NE– Load 2	1,1507	0,5573	Bus 8F NEX	0,00000	0,00000
7F NE– Load 3	0,1822	0,0882	-	-	-
Bus 8F NE	1,5842	0,7673	-	-	-

Sumber : PT.Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory*

4.3 Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya dilakukan untuk mengetahui kondisi awal sistem sebelum dilakukan analisis stabilitas sistem daya. Proses simulasi aliran daya ini berdasarkan atas diagram segaris sistem dan data-data yang telah dibahas sebelumnya meliputi data pembangkit, saluran dan beban. Simulasi akan terbagi menjadi dua keadaan, yaitu keadaan saat sebelum dan setelah interkoneksi dua perusahaan dilakukan.

4.3.1 Simulasi Aliran Daya PT.Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory

Dalam melakukan simulasi aliran daya pada PT.Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory*, akan ditetapkan bus Gen PLN NE sebagai *slack bus* dan bus Gen NE sebagai *PV bus*. Sedangkan bus yang lain ditentukan sebagai *PQ bus*. Data pembangkit, saluran dan pembebanan sesuai dengan pembahasan sebelumnya. Dari hasil simulasi aliran daya di PT.Ajinomoto Indonesia diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Data aliran daya PT.Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory*

No	Nama Bus	Voltage (pu)	Sudut (°)	Pgen (MW)	Qgen (Mvar)	Pbeban (MW)	Qbeban (Mvar)
1.	GEN PLN NE	1,0000	0,00	13,1960	7,73965	0,0000	0,0000
2.	PLN NE	0,9593	-3,88	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000
3.	GEN NE	0,9653	-3,57	7,65000	3,70506	0,0000	0,0000
4.	1F NE	0,9519	-4,17	0,00000	0,00000	3,2768	1,5870
5.	1F NE LOAD 1	0,9511	-4,19	0,00000	0,00000	0,7928	0,3840
6.	1F NE LOAD 2	0,9497	-4,22	0,00000	0,00000	1,2420	0,6015
7.	1F NE LOAD 3	0,9503	-4,20	0,00000	0,00000	1,2420	0,6015
8.	2F NE	0,9452	-4,43	0,00000	0,00000	6,2031	3,0043
9.	2F NE LOAD 1	0,9443	-4,45	0,00000	0,00000	0,4140	0,2005
10.	2F NE LOAD 2	0,9411	-4,52	0,00000	0,00000	2,3736	1,1496
11.	2F NE LOAD 3	0,9434	-4,47	0,00000	0,00000	1,2420	0,6015
12.	2F NE LOAD 4	0,9440	-4,46	0,00000	0,00000	0,9315	0,4511
13.	2F NE LOAD 5	0,9434	-4,47	0,00000	0,00000	1,2420	0,6015
14.	3F NE	0,9491	-4,27	0,00000	0,00000	4,4874	2,1734
15.	3F NE LOAD 1	0,9430	-4,42	0,00000	0,00000	2,6244	1,2711
16.	3F NE LOAD 2	0,9481	-4,30	0,00000	0,00000	0,6210	0,3008
17.	3F NE LOAD 3	0,9477	-4,31	0,00000	0,00000	0,6210	0,3008
18.	3F NE LOAD 4	0,9484	-4,29	0,00000	0,00000	0,6210	0,3008
19.	4F NE	0,9619	-3,71	0,00000	0,00000	0,7763	0,3760

20.	5F NE	0,9583	-3,92	0,00000	0,00000	1,2420	0,6015
21.	6F NE	0,9593	-3,88	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000
22.	7F NE	0,9608	-3,76	0,00000	0,00000	3,0406	1,4726
23.	7F NE LOAD 1	0,9590	-3,81	0,00000	0,00000	1,7078	0,8271
24.	7F NE LOAD 2	0,9597	-3,79	0,00000	0,00000	1,1507	0,5573
25.	7F NE LOAD 3	0,9606	-3,77	0,00000	0,00000	0,1822	0,0882
26.	8F NE	0,9629	-3,67	0,00000	0,00000	1,5842	0,7673

Sumber : Hasil simulasi

Berdasarkan data hasil simulasi aliran daya tersebut diperoleh data sebagai berikut:

Total pembangkitan	P : 20,846 MW
	Q : 11,445 MVar
Total beban	P : 20,6105 MW
	Q : 9,9821 MVar
Total rugi daya	P : 0,2355 MW
	Q : 1,4629 MVar

4.3.2 Simulasi Aliran Daya PT.Ajinex Internasional Mojokerto Factory

Simulasi aliran daya di PT.Ajinex Internasional dilakukan dengan menetapkan bus Gen PLN NEX sebagai *slack bus*, bus Gen NEX sebagai *PV bus*, sedangkan bus yang lain akan ditetapkan sebagai bus beban dengan konsumsi daya sesuai dengan data pada tabel 4.3 dan data saluran sesuai dengan tabel 4.2. Data hasil simulasi aliran daya pada PT.Ajinex Internasional ditunjukkan pada tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Data aliran daya PT.Ajinex Internasional Mojokerto Factory

No.	Nama Bus	Voltage (pu)	Sudut (°)	Pgen (MW)	Qgen (Mvar)	Pbeban (MW)	Qbeban (Mvar)
1.	GEN PLN NEX	1,0000	0,00	5,4806	1,7708	0,00000	0,00000
2.	PLN NEX	0,9905	-1,49	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
3.	GEN NEX	0,9906	-1,71	4,50000	3,2692	0,00000	0,00000
4.	1F NEX	0,9815	-1,69	0,00000	0,00000	2,42535	1,17465
5.	1F NEX LOAD 1	0,9795	-1,73	0,00000	0,00000	0,74520	0,36092
6.	1F NEX LOAD 2	0,9778	-1,77	0,00000	0,00000	1,39725	0,67672
7.	1F NEX LOAD 3	0,9738	-1,86	0,00000	0,00000	0,28290	0,13701

8.	2F NEX	0,9903	-1,71	0,00000	0,00000	1,26477	0,61256
9.	2F NEX LOAD 1	0,9897	-1,73	0,00000	0,00000	0,65067	0,31513
10.	2F NEX LOAD 2	0,9900	-1,72	0,00000	0,00000	0,61410	0,29742
11.	3F NEX	0,9859	-1,59	0,00000	0,00000	1,32480	0,64163
12.	4F NEX	0,9792	-1,97	0,00000	0,00000	3,29130	1,59405
13.	4F NEX LOAD 1	0,9781	-1,99	0,00000	0,00000	0,18630	0,09023
14.	4F NEX LOAD 2	0,9758	-2,04	0,00000	0,00000	0,62100	0,30076
15.	4F NEX LOAD 3	0,9764	-2,03	0,00000	0,00000	0,62100	0,30076
16.	4F NEX LOAD 4	0,9753	-2,05	0,00000	0,00000	0,62100	0,30076
17.	4F NEX LOAD 5	0,9730	-2,11	0,00000	0,00000	1,24200	0,60153
18.	5F NEX	0,9876	-1,55	0,00000	0,00000	0,55614	0,26935
19.	5F NEX LOAD 1	0,9852	-1,61	0,00000	0,00000	0,27324	0,13234
20.	5F NEX LOAD 2	0,9857	-1,60	0,00000	0,00000	0,28290	0,13701
21.	6F NEX	0,9901	-1,72	0,00000	0,00000	1,02534	0,49659
22.	6F NEX LOAD 1	0,9896	-1,73	0,00000	0,00000	0,62100	0,30076
23.	6F NEX LOAD 2	0,9896	-1,73	0,00000	0,00000	0,40434	0,19583
24.	8F NEX	0,9905	-1,49	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Sumber : Hasil simulasi

Berdasarkan data hasil simulasi aliran daya tersebut diperoleh data sebagai berikut:

Total pembangkitan	P : 9,9806 MW Q : 5,0400 MVar
Total beban	P : 9,8877 MW Q : 4,7888 MVar
Total rugi daya	P : 0,0929 MW Q : 0,2512 MVar

4.3.3 Simulasi Aliran Daya pada Sistem Interkoneksi

Simulasi aliran daya pada sistem interkoneksi dilakukan dengan menghubungkan bus Gen PLN NE dengan bus Gen PLN NEX dan bus Gen NE dengan bus Gen NEX sesuai dengan gambar 4.3. Penetapan jenis bus, yaitu *slack bus*, *PV bus* dan *PQ bus* pada sistem daya interkoneksi telah dibahas pada pembahasan sebelumnya. Hasil simulasi aliran daya pada sistem interkoneksi ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Data aliran daya pada sistem interkoneksi

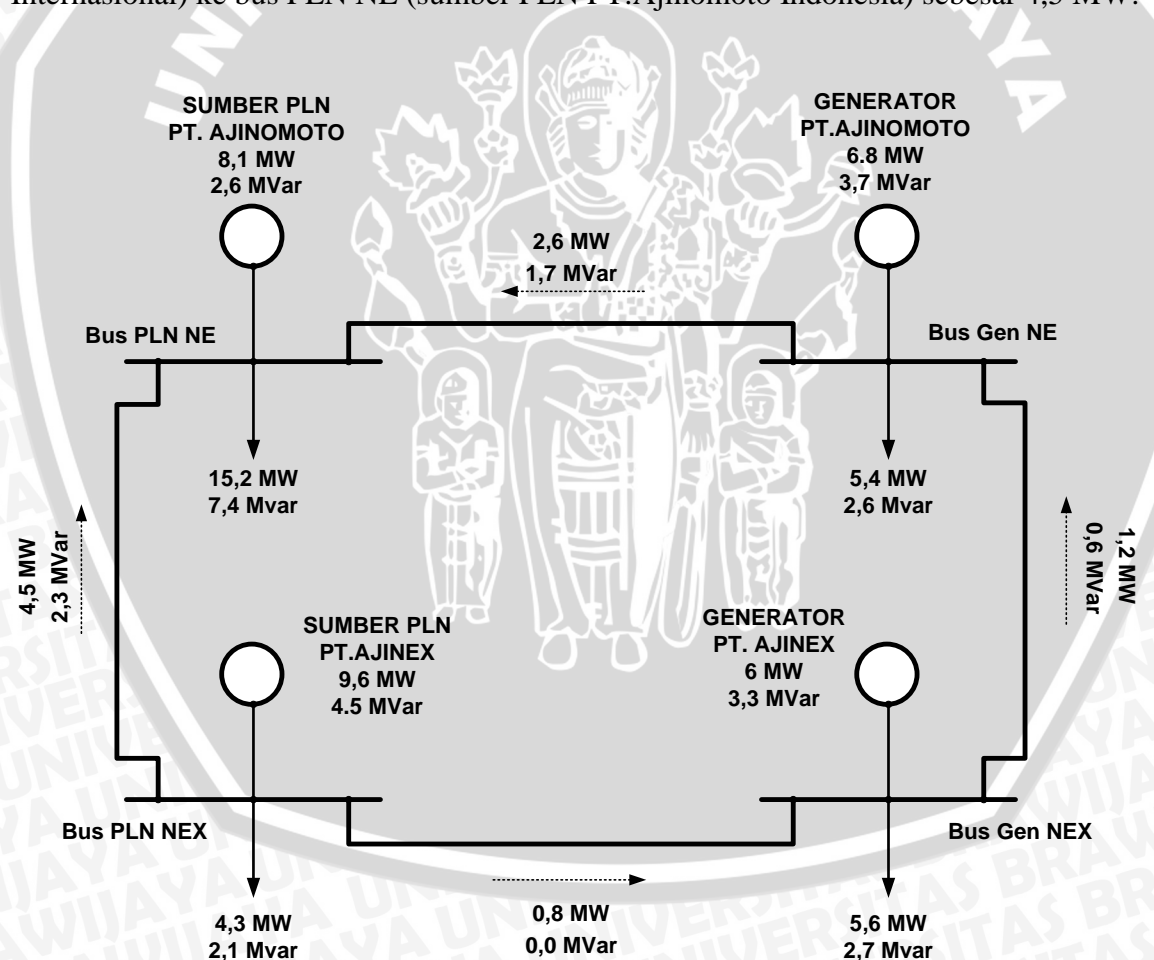
No.	Nama Bus	Voltage (pu)	Sudut (°)	Pgen (MW)	Qgen (Mvar)	Pbeban (MW)	Qbeban (Mvar)
1.	GEN PLN NE	1,0000	0,00	8,3814	4,5573	0,0000	0,0000
2.	PLN NE	0,9754	-2,37	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3.	GEN NE	0,9801	-2,20	6,8000	3,7050	0,0000	0,0000
4.	GEN PLN NEX	1,0000	-0,33	9,6000	4,4592	0,0000	0,0000
5.	PLN NEX	0,9773	-2,27	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6.	GEN NEX	0,9800	-2,21	6,0000	3,2692	0,0000	0,0000
7.	1F NE	0,9682	-2,65	0,0000	0,0000	3,2768	1,5870
8.	1F NE LOAD 1	0,9674	-2,66	0,0000	0,0000	0,7928	0,3840
9.	1F NE LOAD 2	0,9660	-2,70	0,0000	0,0000	1,2420	0,6015
10.	1F NE LOAD 3	0,9666	-2,68	0,0000	0,0000	1,2420	0,6015
11.	2F NE	0,9616	-2,90	0,0000	0,0000	6,2031	3,0043
12.	2F NE LOAD 1	0,9608	-2,92	0,0000	0,0000	0,4140	0,2005
13.	2F NE LOAD 2	0,9576	-2,99	0,0000	0,0000	2,3736	1,1496
14.	2F NE LOAD 3	0,9598	-2,94	0,0000	0,0000	1,2420	0,6015
15.	2F NE LOAD 4	0,9604	-2,92	0,0000	0,0000	0,9315	0,4511
16.	2F NE LOAD 5	0,9598	-2,94	0,0000	0,0000	1,2420	0,6015
17.	3F NE	0,9654	-2,75	0,0000	0,0000	4,4874	2,1734
18.	3F NE LOAD 1	0,9595	-2,89	0,0000	0,0000	2,6244	1,2711
19.	3F NE LOAD 2	0,9645	-2,77	0,0000	0,0000	0,6210	0,3008
20.	3F NE LOAD 3	0,9641	-2,78	0,0000	0,0000	0,6210	0,3008
21.	3F NE LOAD 4	0,9648	-2,77	0,0000	0,0000	0,6210	0,3008
22.	4F NE	0,9778	-2,26	0,0000	0,0000	0,7763	0,3760
23.	5F NE	0,9745	-2,41	0,0000	0,0000	1,2420	0,6015
24.	6F NE	0,9754	-2,37	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
25.	7F NE	0,9770	-2,27	0,0000	0,0000	3,0406	1,4726
26.	7F NE LOAD 1	0,9753	-2,31	0,0000	0,0000	1,7078	0,8271
27.	7F NE LOAD 2	0,9759	-2,30	0,0000	0,0000	1,1507	0,5573
28.	7F NE LOAD 3	0,9768	-2,28	0,0000	0,0000	0,1822	0,0882
29.	8F NE	0,9785	-2,07	0,0000	0,0000	1,5842	0,7673
30.	1F NEX	0,9681	-2,47	0,0000	0,0000	2,4254	1,1747
31.	1F NEX LOAD 1	0,9662	-2,52	0,0000	0,0000	0,7452	0,3609
32.	1F NEX LOAD 2	0,9644	-2,56	0,0000	0,0000	1,3973	0,6767
33.	1F NEX LOAD 3	0,9604	-2,65	0,0000	0,0000	0,2829	0,1370

Tabel 4.7 Aliran daya pada saluran interkoneksi

Dari	Ke	P (MW)	Q (MVar)
Bus PLN NE	Bus Gen NE	-2,6	-1,7
Bus PLN NE	Bus PLN NEX	-4,5	-2,3
Bus PLN NEX	Bus Gen NEX	0,8	0,0
Bus Gen NEX	Bus Gen NE	1,2	0,6

Sumber : Hasil simulasi

Dengan mengubah diagram segaris sistem daya saat interkoneksi pada gambar 4.3 menjadi bentuk yang lebih sederhana seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4, maka dapat diamati aliran daya pada saluran interkoneksi. Dalam gambar tersebut terlihat jika aliran daya terbesar ialah aliran daya dari bus PLN NEX (sumber PLN PT.Ajinex Internasional) ke bus PLN NE (sumber PLN PT.Ajinomoto Indonesia) sebesar 4,5 MW.



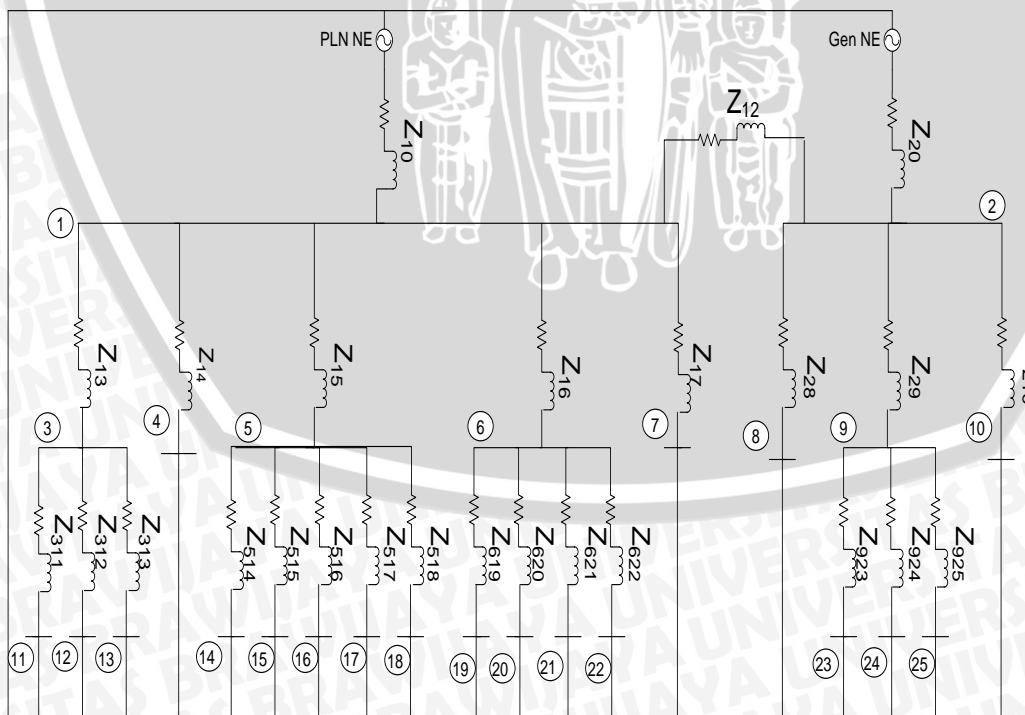
Gambar 4.4 Diagram aliran daya pada saluran interkoneksi
Sumber : Hasil pemodelan

4.3.4 Pemilihan Konduktor Interkoneksi

Pemilihan tipe kabel pada saluran interkoneksi didasarkan atas standart konduktor saluran interkoneksi antara sumber PLN dengan sumber generator dari kedua perusahaan tersebut yaitu kabel dengan tipe N2XS_Y. Terlihat pada hasil simulasi jika aliran daya terbesar yang disalurkan pada saluran interkoneksi ialah sebesar 4.5 MW. Daya ini mengalir dari bus PLN NEX ke bus PLN NE dengan besar arus yang mengalir sebesar 853 A. Sehingga luas penampang konduktor pada saluran interkoneksi dari bus PLN NEX ke bus PLN NE adalah sebesar 400mm^2 dengan besar arus yang dapat di saluran adalah sebesar 901 A. Sedangkan besar arus yang mengalir dari bus Gen NEX ke bus Gen NE ialah sebesar 222 A, sehingga luas penampang konduktor yang digunakan ialah 70mm^2 dengan rating arus kabel sebesar 345 A.

4.4 Rangkaian Ekivalen Sistem

Rangkaian ekivalen sistem daya pada PT.Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory* berdasarkan gambar 4.1 ditunjukkan pada gambar 4.5. Dalam gambar tersebut nilai impedansinya merupakan impedansi dalam satuan per unit. Gambar rangkaian ekivalen sistem daya digunakan untuk perhitungan matriks impedansi rel dalam perhitungan gangguan.



Gambar 4.5 Rangkaian ekivalen sistem daya PT.Ajinomoto Indonesia
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.8 Impedansi rangkaian ekivalen PT.Ajinomoto Indonesia

Impedansi	Nilai	Impedansi	Nilai
Z_{10}	$0,001490 + j0,100670$	Z_{313}	$0,014253 + j0,015433$
Z_{12}	$0,042896 + j0,103044$	Z_{514}	$0,022805 + j0,024693$
Z_{13}	$0,021323 + j0,035329$	Z_{515}	$0,019099 + j0,020680$
Z_{14}	$0,001140 + j0,001235$	Z_{516}	$0,015964 + j0,017285$
Z_{15}	$0,021323 + j0,035329$	Z_{517}	$0,014253 + j0,015433$
Z_{16}	$0,021323 + j0,035329$	Z_{518}	$0,015964 + j0,017285$
Z_{17}	$0,007108 + j0,001177$	Z_{619}	$0,025656 + j0,027779$
Z_{20}	$0,001000 + j0,190000$	Z_{620}	$0,017104 + j0,018519$
Z_{28}	$0,034208 + j0,037039$	Z_{621}	$0,024801 + j0,026853$
Z_{29}	$0,011688 + j0,012655$	Z_{622}	$0,011973 + j0,012964$
Z_{210}	$0,011403 + j0,012346$	Z_{923}	$0,011403 + j0,012346$
Z_{311}	$0,011403 + j0,012346$	Z_{924}	$0,010833 + j0,011729$
Z_{312}	$0,019955 + j0,021606$	Z_{925}	$0,011403 + j0,012346$

Berdasarkan gambar rangkaian ekivalen sistem, kemudian impedansi dirubah menjadi admitansi. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan matriks admitansi sistem. Matriks impedansi selama gangguan dapat diperoleh dengan menginvers matriks admitansi sistem. Untuk memudahkan dalam perhitungan, akan digunakan perangkat lunak *MATLAB*. *Listing program* untuk impedansi rel dalam perhitungan gangguan dan hasil perhitungan sesuai dengan penjelasan dalam lampiran.

Berdasarkan hasil perhitungan, maka dapat dianalisis besar tegangan saat terjadi gangguan 3 fasa pada sistem. Gangguan akan diberikan pada bus beban 2F NE (bus 5). Sehingga besar arus gangguan dalam gangguan 3 fasa pada bus 2F NE yaitu :

$$I_f = \frac{V_f}{Z_{55}}$$

dimana besar nilai V_f diasumsikan 1,0 p.u. sehingga besar arus gangguan ialah

$$\begin{aligned} I_f &= \frac{1.0}{0.02811 + j0.10071} \\ &= 2.5712 - j9.2118 \text{ p.u.} \end{aligned}$$

Pada bus 1 tegangannya adalah

$$\begin{aligned} V_1 &= V_f - I_f \cdot Z_{51} \\ &= 1,0 - (2.5712 - j9.2118) \cdot (0.0067866 + 0.065381i) \end{aligned}$$

$$= 0,38027 - j0,10559 \text{ p.u.}$$

Apabila gangguan terjadi pada bus 7F NE (bus 9) maka besarnya arus gangguan adalah:

$$I_f = \frac{V_f}{Z_{99}}$$

$$I_f = \frac{1.0}{0.018611 + j0.086071}$$

$$= 2,4 - j11099 \text{ p. u.}$$

Maka tegangan pada bus 2 adalah

$$V_2 = V_f - I_f \cdot Z_{92}$$

$$= 1,0 - (2,4 - j11099) \cdot (0.0069228 + j0.073416)$$

$$= 0,16851 - j0,09936 \text{ p.u.}$$

4.5 Simulasi Stabilitas Tegangan dan Sudut Rotor Sebelum Interkoneksi

Simulasi stabilitas ini dilakukan pada saat sumber daya dua perusahaan belum diinterkoneksi. Dimana setiap perusahaan yaitu PT.Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory* dan PT.Ajinex Internasional memiliki dua sumber energi listrik meliputi sumber energi listrik dari generator dan PLN sesuai dengan pembahasan sebelumnya. Dalam analisis stabilitas ini akan ditentukan daya dasar sebesar 18 MVA dan 3,45 kV sebagai tegangan dasar, waktu gangguan pada detik ke-1 dan waktu gangguan selama 0,15 detik. Gangguan yang digunakan pada simulasi ini adalah gangguan 3 fasa.

4.5.1 Simulasi Stabilitas Tegangan dan Sudut Rotor pada Sistem Daya PT.Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory*

Dalam melakukan simulasi stabilitas tegangan dan sudut rotor ini, akan dilakukan beberapa skenario gangguan pada sistem daya sesuai dengan tabel 4.9 berikut:

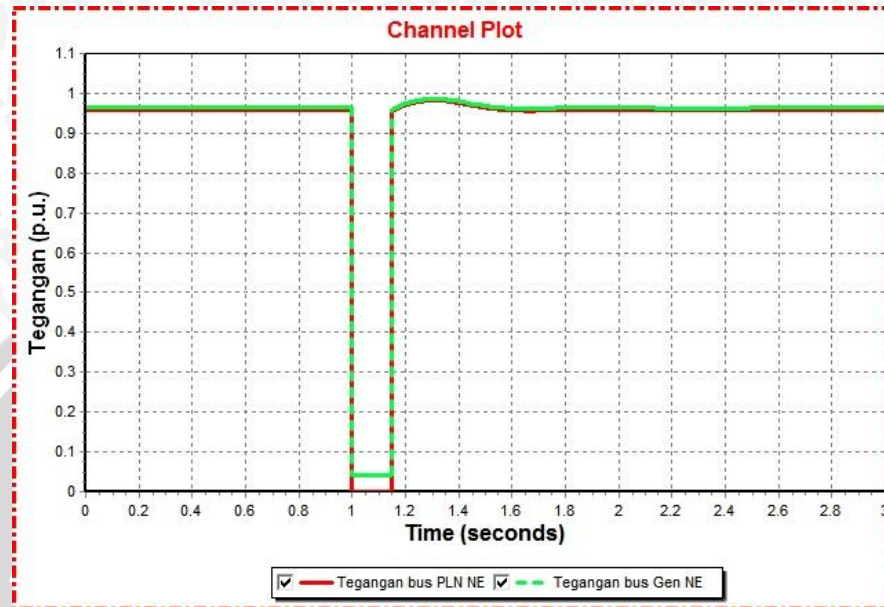
Tabel 4.9 Skenario gangguan pada PT.Ajinomoto Indonesia

Skenario ke	Letak gangguan
1a	Bus PLN NE
2a	Bus Gen NE
3a	Bus 2F NE
4a	Bus 7F NE

Data yang ditampilkan berupa data grafik ketika sebelum, saat dan setelah gangguan terjadi sesuai dengan skenario gangguan pada tabel 4.9. Hasil simulasi pada sistem daya di PT.Ajinomoto Indonesia sesuai dengan pembahasan berikut:

- Skenario 1a

Hasil simulasi stabilitas tegangan skenario gangguan 1a ditunjukkan pada gambar 4.6 dan tabel 4.10.



Gambar 4.6 Grafik tegangan = $f(t)$ pada bus PLN NE dan bus Gen NE saat gangguan skenario 1a
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.10 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 1a

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9593	$9,61 \times 10^{-8}$	150
Gen NE	0,9652	0,0403	150

Sumber : Hasil simulasi

Pada data tersebut terlihat bahwa penurunan tegangan pada bus PLN NE jauh lebih besar dibandingkan dengan penurunan tegangan pada bus Gen NE. Hal ini terjadi karena gangguan berada tepat di bus PLN NE. Tabel 4.10 menunjukkan jika grafik tegangan kedua bus tersebut mengalami penurunan selama 150 milidetik dan dapat kembali ke operasi normal setelah mengalami osilasi, sehingga tegangan sistem masih dalam kondisi stabil.



Gambar 4.7 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE saat gangguan skenario 1a
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.11 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 1a

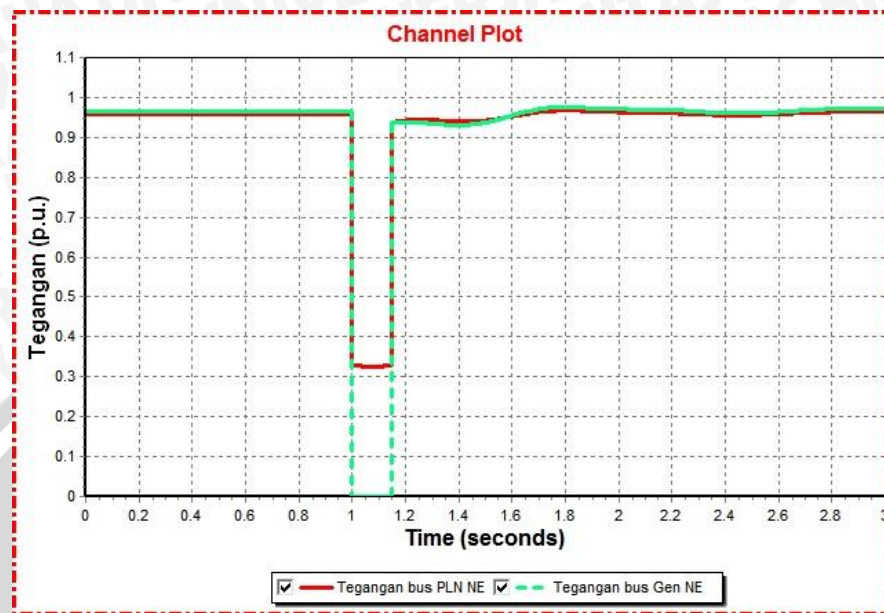
Generator		$\delta_{\text{awal}} (^{\circ})$	$\delta_{\text{selama gangguan}} (^{\circ})$	$t_{\text{pemulihan}}$ (detik)
PLN NE	Maks	-17,5871	-15,1609	7,4801
	Min		-22,0169	
Gen NE	Maks	17,5871	22,0169	7,4801
	Min		15,1609	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi untuk sudut rotor pada gambar 4.7 dan data pada tabel 4.11, terlihat jika terjadi perubahan sudut rotor ketika gangguan terjadi dan setelah gangguan terjadi sebelum mencapai *steady state* kembali. Tabel 4.11 memperlihatkan kondisi sudut rotor sebelum gangguan terjadi adalah -17,5871 pada gen PLN NE dan 17,5871 pada bus Gen NE. Kenaikan maksimum sudut rotor pada gen PLN NE ialah sebesar -15,1609⁰ dan penurunan sudut sebesar -22,0169⁰. Sehingga diperoleh selisih kenaikan sudut sebesar 2,4262 dan penurunan sudut sebesar 4,4298. Sedangkan kenaikan maksimum sudut rotor pada Gen NE ialah sebesar 22,0169⁰ dan penurunan sebesar 15,1609⁰. Namun kedua mesin membutuhkan waktu yang sama untuk mencapai keadaan *steady state* kembali, yaitu 7,4801 detik setelah gangguan terjadi.

- Skenario 2a

Hasil simulasi gangguan pada skenario 2a ditunjukkan pada gambar 4.8 dan tabel 4.12, dimana pada skenario ini gangguan terletak pada bus Gen NE.



Gambar 4.8 Grafik tegangan = $f(t)$ pada bus PLN NE dan bus Gen NE saat gangguan skenario 2a
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.12 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 2a

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9593	0,3266	150
Gen NE	0,9652	$5,83 \times 10^{-8}$	150

Sumber : Hasil simulasi

Pada hasil simulasi tersebut menunjukkan tegangan pada bus PLN NE sebelum terjadi gangguan adalah sebesar 0,9593 p.u, kemudian tegangan menurun hingga mencapai 0,3266 p.u. saat terjadi gangguan pada detik ke-1. Tegangan kembali mencapai operasi normal setelah mengalami osilasi. Penurunan tegangan yang lebih besar terjadi pada bus Gen NE. Dimana tegangan pada saat operasi awal sebesar 0,9652 p.u. Ketika gangguan terjadi pada detik ke-1, tegangan pada bus Gen NE mengalami penurunan hingga mencapai $5,83 \times 10^{-8}$ p.u. Setelah gangguan hilang dari sistem, tegangan mulai kembali ke operasi normal dengan sebelumnya mengalami osilasi. Kedua grafik tegangan mengalami penurunan selama 150 milidetik sehingga tegangan sistem masih dalam kondisi stabil.



Gambar 4.9 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE saat gangguan skenario 2a
 Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.13 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 2a

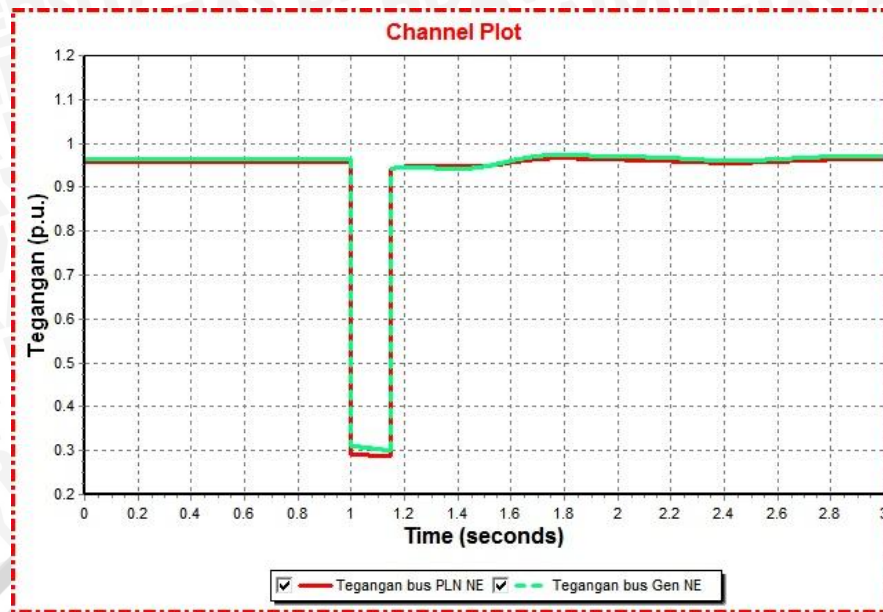
Generator		$\delta_{awal} (^{\circ})$	$\delta_{selama\ gangguan} (^{\circ})$	$t_{pemulihan}$ (detik)
PLN NE	Maks	-17,5871	-5,9913	11,5802
	Min		-39,5393	
Gen NE	Maks	17,5812	39,5393	11,5802
	Min		5,9913	

Sumber : Hasil simulasi

Hasil simulasi stabilitas sudut rotor menunjukkan jika terjadi perubahan sudut saat terjadi gangguan hingga gangguan hilang dari sistem. Waktu yang dibutuhkan kedua mesin untuk mencapai kondisi *steady state* kembali adalah 11,5802 detik setelah gangguan terjadi. Pada gen PLN, selisih kenaikan sudut sebesar $11,9820^{\circ}$ dan penurunan sudut sebesar $21,9522^{\circ}$. Sebaliknya, pada Gen NE terjadi kenaikan sudut sebesar $21,9522^{\circ}$ dan penurunan sudut sebesar $11,9820^{\circ}$.

- Skenario 3a

Gangguan pada skenario ini terjadi di bus beban, yaitu bus 2F NE dengan konsumsi daya sebesar 6,2031 MW dan terhubung pada bus PLN NE. Gambar hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 4.10 dan tabel 4.14.



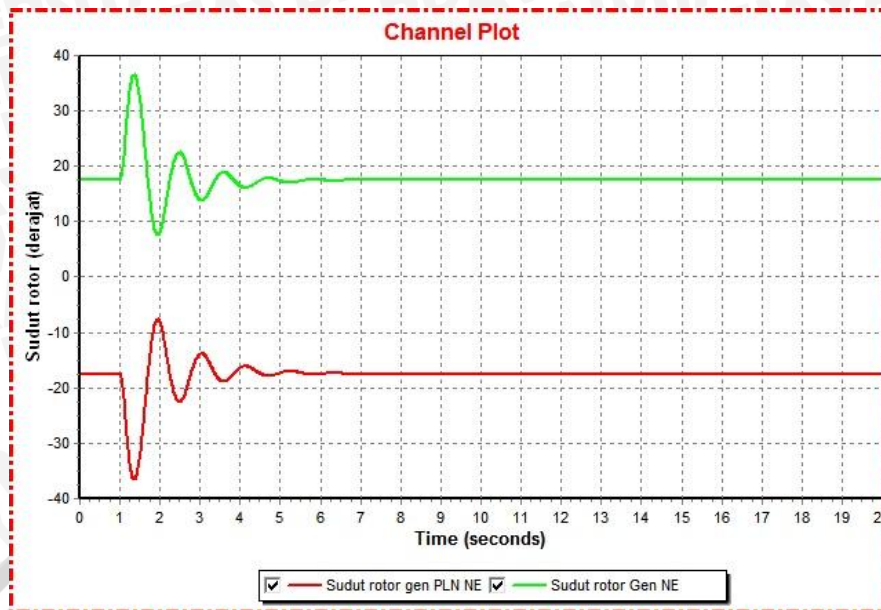
Gambar 4.10 Grafik tegangan = $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE saat gangguan skenario 3a
 Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.14 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 3a

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9593	0,2883	150
Gen NE	0,9652	0,2991	150

Sumber : Hasil simulasi

Dalam hasil tersebut nampak jika tegangan bus PLN NE sebelum gangguan ialah 0,9593 p.u dan bus Gen NE sebesar 0,9652 p.u. Pada saat terjadi gangguan pada detik ke-1, tegangan bus PLN NE menurun hingga mencapai 0,2883 p.u sedangkan tegangan bus Gen NE menurun hingga 0,2991 p.u. Setelah gangguan dihilangkan dari sistem, tegangan mulai kembali ke operasi normal setelah sebelumnya mengalami osilasi. Dalam tabel 4.14 menunjukkan jika tegangan mengalami penurunan selama 150 milidetik dan tegangan dapat kembali ke operasi normal sehingga sistem masih dalam kondisi stabil.



Gambar 4.11 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE saat gangguan skenario 3a
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.15 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 3a

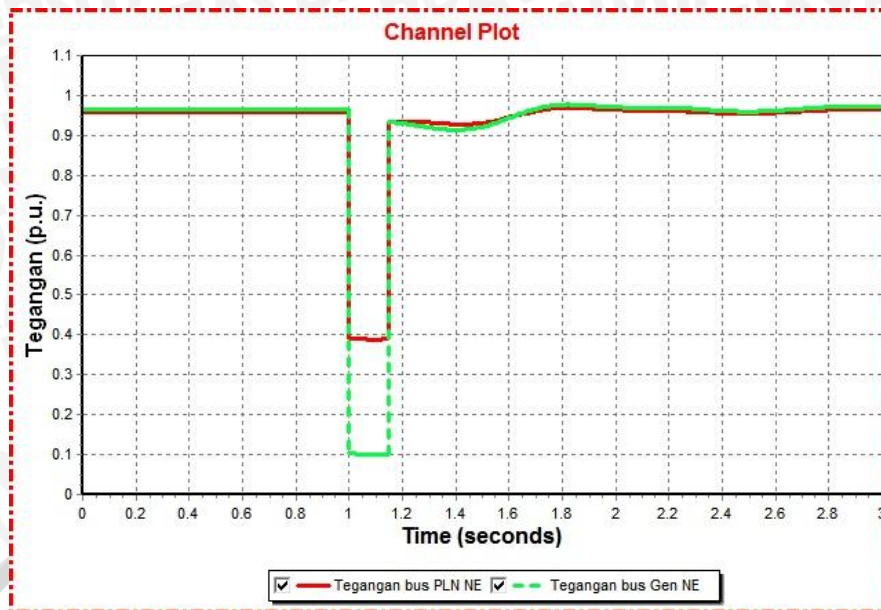
Generator		$\delta_{\text{awal}} (^{\circ})$	$\delta_{\text{selama gangguan}} (^{\circ})$	$t_{\text{pemulihan}}$ (detik)
PLN NE	Maks	-17,5871	-7,5901	10,6501
	Min		-36,6062	
Gen NE	Maks	17,5812	36,6062	10,6501
	Min		7,5901	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi untuk sudut rotor pada gambar 4.11 dan data pada tabel 4.15, terlihat jika terjadi perubahan sudut ketika dan setelah terjadi gangguan pada sistem. Selisih kenaikan sudut rotor pada gen PLN NE ialah sebesar $9,997^{\circ}$ dan penurunan sudut sebesar $19,0191^{\circ}$. Sedangkan selisih kenaikan sudut rotor pada Gen NE ialah sebesar $19,0191^{\circ}$ dan penurunan sebesar $9,997^{\circ}$. Namun kedua mesin membutuhkan waktu yang sama untuk mencapai keadaan *steady state* kembali, yaitu 10,6501 detik setelah gangguan terjadi.

- Skenario 4a

Gangguan pada skenario 4a terjadi pada bus beban 7F NE dengan konsumsi daya sebesar 3,04 MW dan terhubung pada bus Gen NE. Hasil simulasi pada skenario 4a ditunjukkan pada gambar 4.12 dan tabel 4.16.



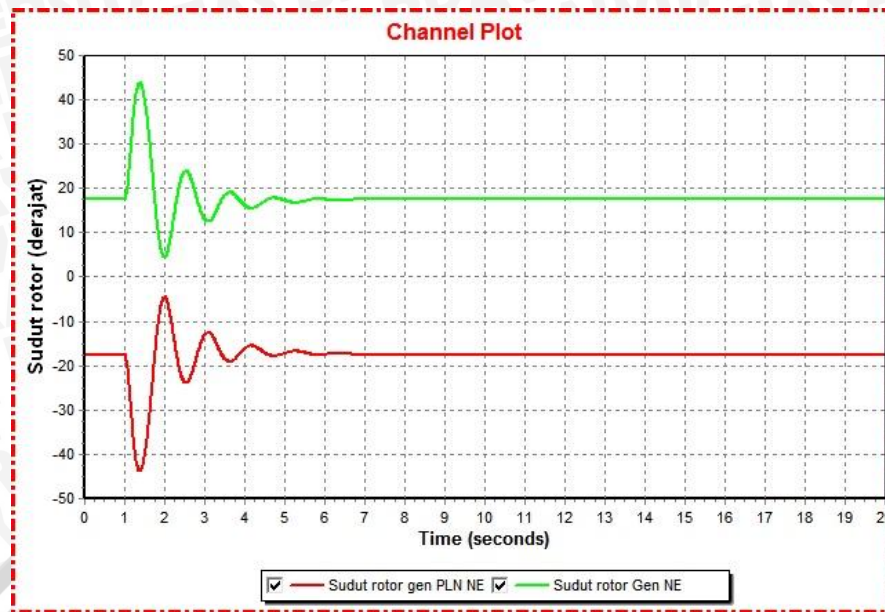
Gambar 4.12 Grafik tegangan = $f(t)$ pada bus PLN NE dan bus Gen NE saat gangguan skenario 4a
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.16 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 4a

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9593	0,3889	150
Gen NE	0,9652	0,0997	150

Sumber : Hasil simulasi

Dalam simulasi tersebut terlihat jika penurunan tegangan pada bus Gen NE lebih besar daripada penurunan tegangan pada bus PLN NE. Penurunan tegangan pada bus PLN NE hingga mencapai 0,3889 p.u namun penurunan tegangan pada bus Gen NEX jauh lebih besar lagi, yaitu 0,0997 p.u. Selisih penurun tegangan kedua bus cukup besar yaitu 0,2892 p.u. Dalam hasil simulasi tersebut terlihat jika kedua grafik tegangan menurun selama 150 milidetik dan tegangan dapat kembali ke operasi normal sehingga sistem masih dalam kondisi stabil.



Gambar 4.13 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE saat gangguan skenario 4a
 Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.17 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 4a

Generator		$\delta_{awal} (^{\circ})$	$\delta_{selama\ gangguan} (^{\circ})$	$t_{pemulihan}$ (detik)
PLN NE	Maks	-17,5871	-4,4526	11,7602
	Min		-43,7862	
Gen NE	Maks	17,5812	43,7862	11,7602
	Min		4,4526	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi untuk sudut rotor pada gambar 4.13 dan data pada tabel 4.17, terlihat jika terjadi perubahan sudut ketika dan setelah terjadi gangguan pada sistem. Pada skenario ini, selisih kenaikan sudut rotor pada gen PLN NE ialah sebesar $13,1345^{\circ}$ dan penurunan sudut sebesar $26,1991^{\circ}$. Sedangkan selisih kenaikan sudut rotor pada Gen NE ialah sebesar $26,1991^{\circ}$ dan penurunan sebesar $13,1345^{\circ}$. Namun kedua mesin membutuhkan waktu yang sama untuk mencapai keadaan *steady state* kembali, yaitu 11,7602 detik setelah gangguan terjadi.

4.5.2 Simulasi Stabilitas Tegangan dan Sudut Rotor pada Sistem Daya PT.AjineX Internasional

Dalam melakukan simulasi stabilitas tegangan dan sudut rotor ini, akan dilakukan beberapa skenario gangguan pada sistem daya sesuai dengan tabel 4.18 berikut:



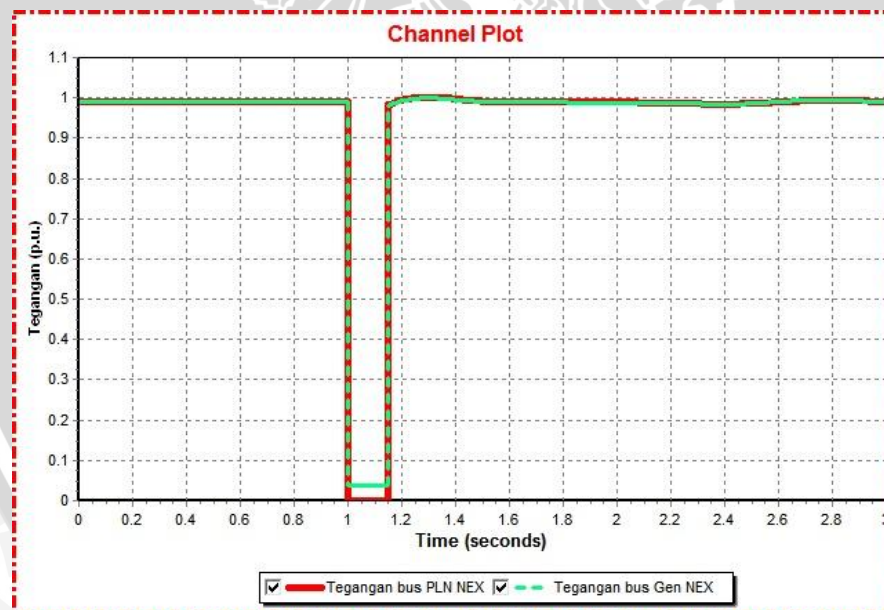
Tabel 4.18 Skenario gangguan pada PT.Ajinex Internasional

Skenario ke	Letak gangguan
1b	Bus PLN NEX
2b	Bus Gen NEX
3b	Bus 1F NEX
4b	Bus 4F NEX

Dalam simulasi ini akan ditampilkan grafik tegangan dan sudut rotor terhadap fungsi waktu sesuai dengan skenario gangguan pada tabel 4.18. Kemudian akan dianalisis dampak gangguan terhadap stabilitas tegangan dan sudut rotor pada sistem daya di PT.Ajinex Internasional. Hasil simulasi dalam berbagai skenario gangguan sesuai dengan pembahasan berikut:

- Skenario 1b

Pada skenario ini gangguan terletak pada bus PLN NEX. Hasil simulasi tegangan skenario gangguan 1b ditunjukkan pada gambar 4.14 dan tabel 4.19.



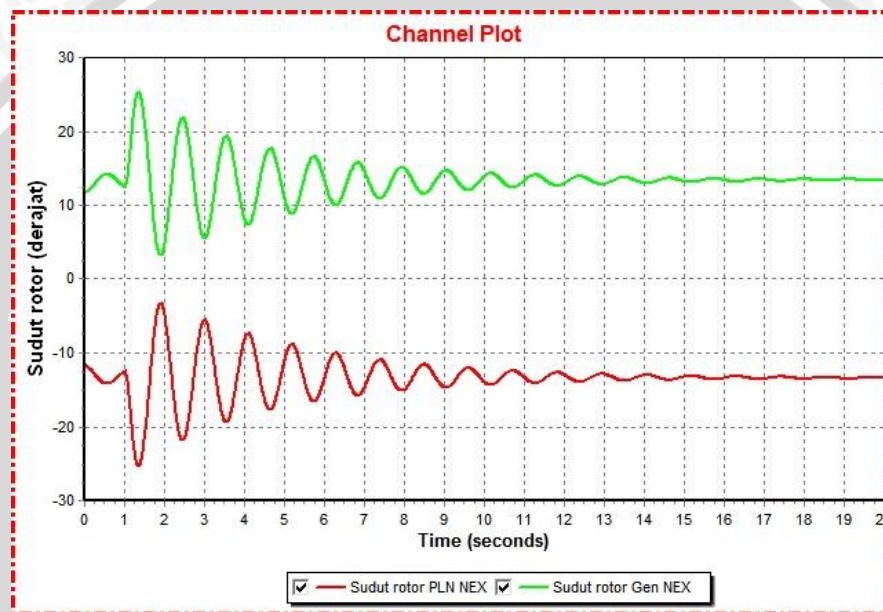
Gambar 4.14 Grafik tegangan = $f(t)$ pada bus PLN NEX dan bus Gen NEX saat gangguan skenario 1b
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.19 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 1b

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NEX	0,9904	$1,03 \times 10^{-7}$	150
Gen NEX	0,9906	0,0363	150

Sumber : Hasil simulasi

Dalam hasil simulasi tersebut terlihat jika kedua grafik tegangan, yaitu tegangan pada bus PLN NEX dan tegangan pada bus Gen NEX dapat kembali ke operasi normal setelah terjadi gangguan. Durasi penurunan tegangan ketika terjadi gangguan ialah 150 milidetik, sehingga sistem masih dalam kondisi stabil. Penurunan tegangan pada bus PLN NEX jauh lebih besar dibandingkan penurunan tegangan pada bus Gen NEX karena letak gangguan tepat berada di bus PLN NEX dan bus Gen NEX berada pada jarak beberapa meter dari bus PLN NEX.



Gambar 4.15 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NEX dan Gen NEX saat gangguan skenario 1b
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.20 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 1b

Generator		$\delta_{\text{awal}} (^{\circ})$	$\delta_{\text{selama gangguan}} (^{\circ})$	$t_{\text{pemulihan}}$ (detik)
PLN NEX	Maks	-11,7473	-3,2083	18,7604
	Min		-25,8449	
Gen NEX	Maks	11,7473	25,8449	18,7604
	Min		3,2083	

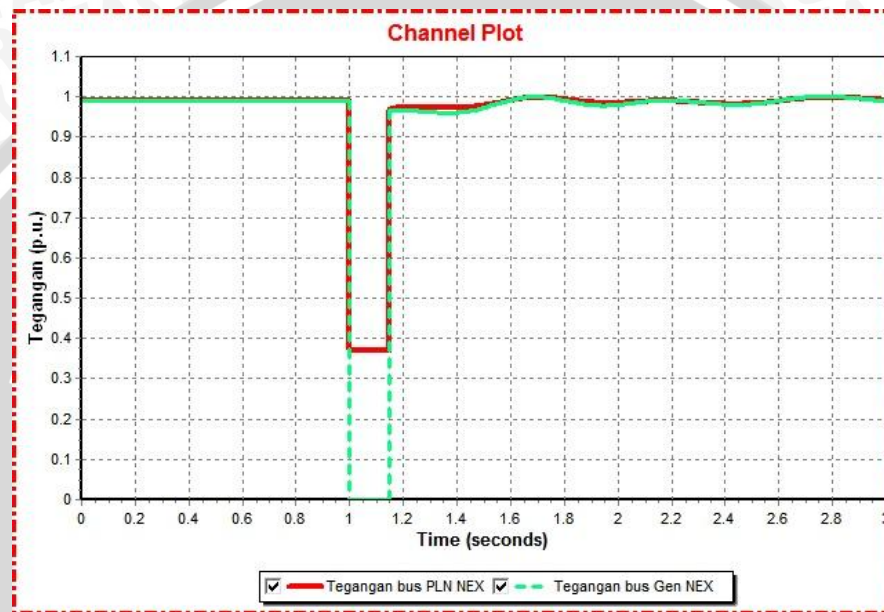
Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi stabilitas sudut rotor, terlihat jika terjadi osilasi selama hampir periode simulasi dilakukan. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *steady state* ialah 18,7604 detik setelah gangguan atau terjadi pada detik

ke 19,9106 dengan nilai sudut rotor baru sebesar $-13,4468^{\circ}$ pada gen PLN NEX dan $13,4468^{\circ}$ pada Gen NEX.

- Skenario 2b

Sama halnya dengan skenario 1b, pada skenario 2b ini akan dianalisis kestabilan tegangan sistem namun letak gangguan berada pada bus Gen NEX. Hasil simulasi stabilitas tegangan ditunjukkan pada gambar 4.16 dan tabel 4.21.



Gambar 4.16 Grafik tegangan = $f(t)$ pada bus PLN NEX dan bus Gen NEX saat gangguan skenario 2b
Sumber : Hasil simulasi

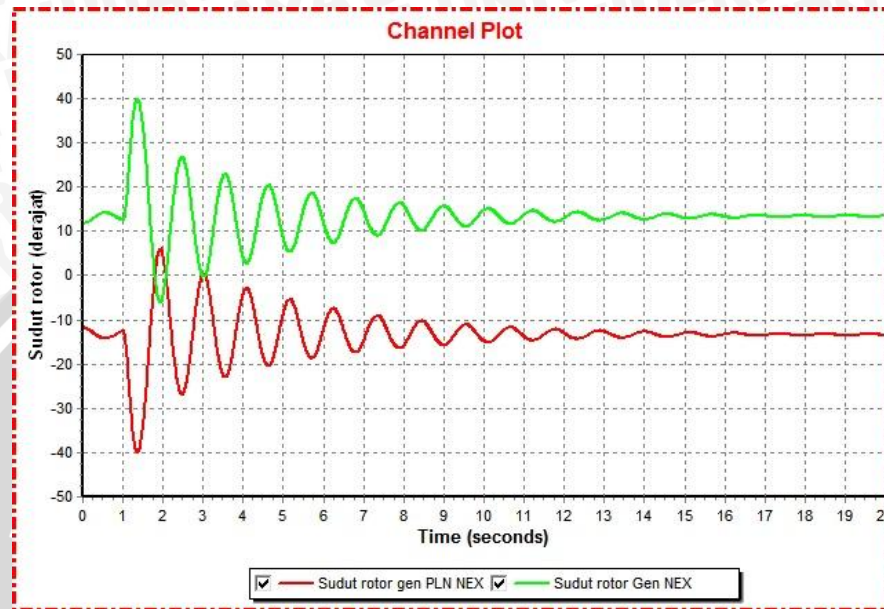
Tabel 4.21 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 2b

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NEX	0,9904	0,3696	150
Gen NEX	0,9906	$6,64 \times 10^{-8}$	150

Sumber : Hasil simulasi

Tegangan pada bus PLN NEX pada saat sebelum terjadi gangguan ialah 0,9904 p.u. Namun pada saat gangguan tegangan menurun hingga mencapai 0,3696 p.u. Setelah gangguan hilang dari sistem, tegangan mulai kembali ke operasi normal dengan mengalami sedikit osilasi di sekitar titik. Sedangkan pada bus Gen NEX, tegangan sebelum gangguan adalah sebesar 0,9906 p.u. kemudian menurun hingga mencapai $6,64 \times 10^{-8}$ p.u. Tegangan mulai kembali ke operasi norma setelah mengalami sedikit. Sehingga dapat disimpulkan jika penurunan

tegangan pada bus PLN NEX jauh lebih besar dibandingkan penurunan tegangan pada bus Gen NEX. Namun kedua grafik tegangan mengalami penurunan selama 150 milidetik dan dapat kembali ke operasi normal sehingga sistem masih dalam kondisi stabil.



Gambar 4.17 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NEX dan Gen NEX saat gangguan skenario 2b
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.22 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 2b

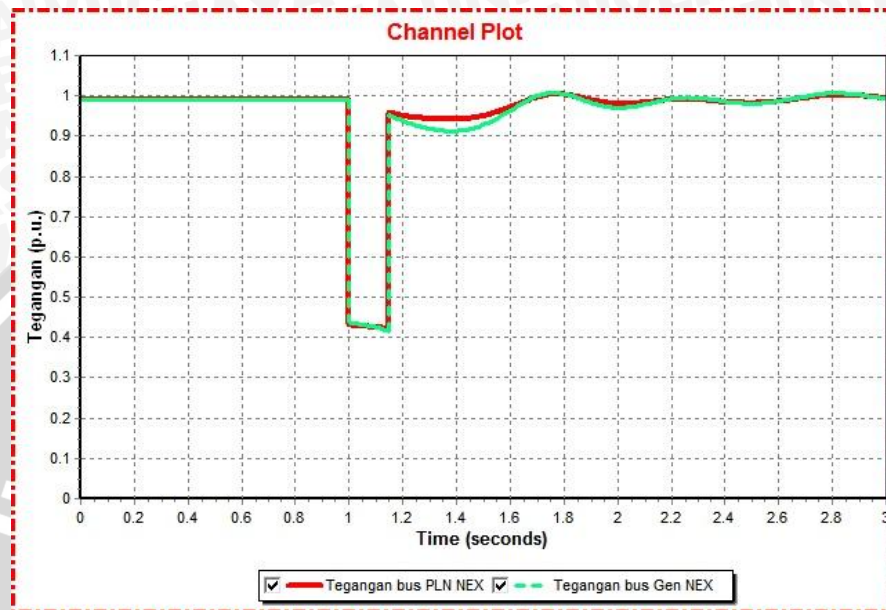
Generator		δ_{awal} ($^{\circ}$)	$\delta_{selama\ gangguan}$ ($^{\circ}$)	$t_{pemulihan}$ (detik)
PLN NEX	Maks	-11,7473	5,9834	18,8303
	Min		-39,8832	
Gen NEX	Maks	11,7473	39,8832	18,8303
	Min		-5,9834	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika pada saat dan setelah gangguan, terjadi osilasi selama hampir periode simulasi dilakukan. Kedua mesin dapat mencapai kondisi *steady state* kembali setelah 18,8303 detik setelah gangguan terjadi dengan nilai sudut rotor baru yaitu $-13,48^{\circ}$ pada gen PLN NEX dan $13,48^{\circ}$ pada Gen NEX.

- Skenario 3b

Gangguan pada skenario ini terjadi di bus beban, yaitu bus 1F NEX dengan konsumsi daya sebesar 2,4254 MW dan terhubung pada bus PLN NEX. Gambar hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 4.18 dan tabel 4.23.



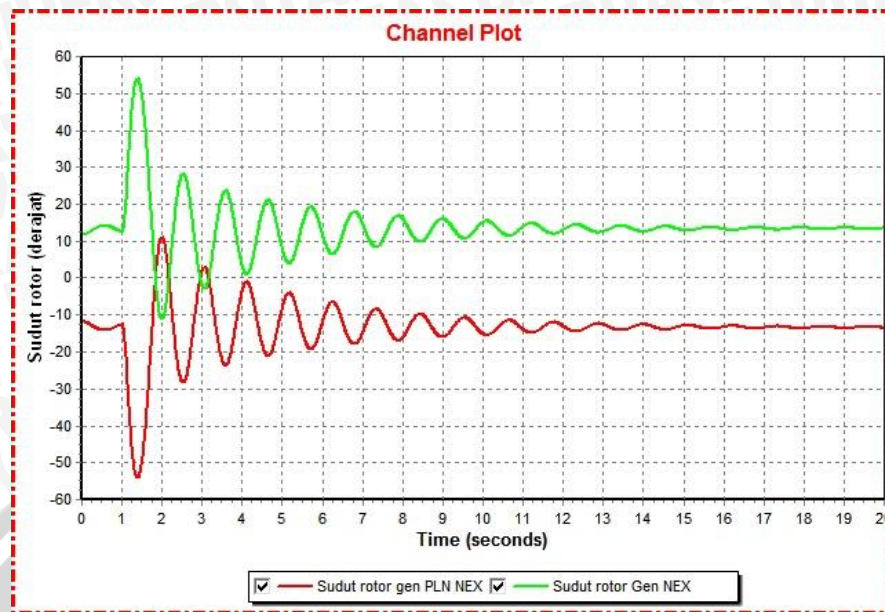
Gambar 4.18 Grafik tegangan = $f(t)$ pada bus PLN NEX dan bus Gen NEX saat gangguan skenario 3b
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.23 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 3b

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NEX	0,9904	0,4202	150
Gen NEX	0,9906	0,4217	150

Sumber : Hasil simulasi

Dalam hasil simulasi tersebut terlihat jika kedua grafik tegangan, yaitu tegangan pada bus PLN NEX dan tegangan pada bus Gen NEX dapat kembali ke operasi normal setelah terjadi gangguan. Durasi penurunan tegangan ketika terjadi gangguan ialah 150 milidetik, sehingga sistem masih dalam kondisi stabil. Hasil simulasi menunjukkan jika penurunan tegangan pada kedua bus relatif sama, yaitu 0,42 p.u. Selisih penurunan tegangan pada bus PLN NEX dengan penurunan tegangan pada bus Gen NEX saat gangguan skenario 3b ini sangat kecil yaitu 0,0015 p.u.



Gambar 4.19 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NEX dan Gen NEX saat gangguan skenario 3b
 Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.24 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 3b

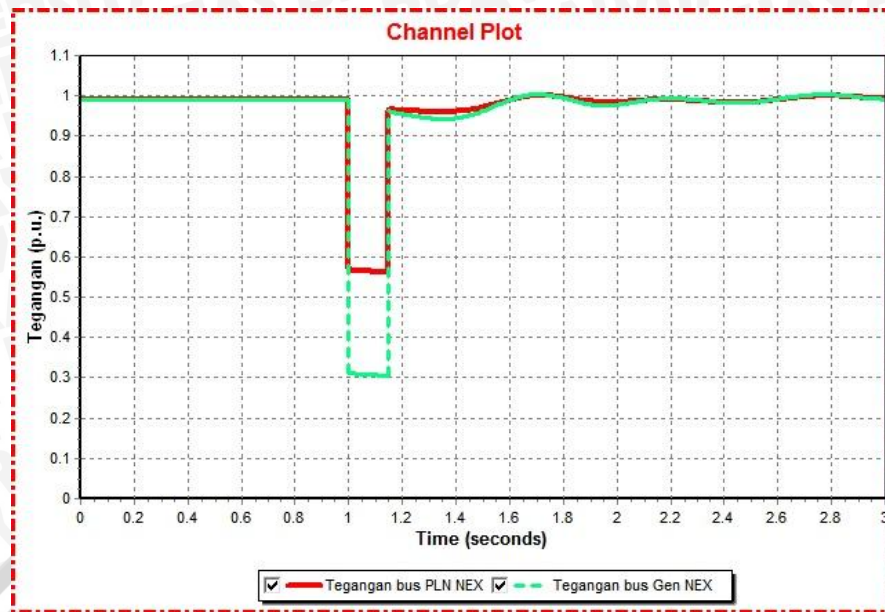
Generator		$\delta_{awal} (^{\circ})$	$\delta_{selama\ gangguan} (^{\circ})$	$t_{pemulihan}$ (detik)
PLN NEX	Maks	-11,7473	11,1717	18,8403
	Min		-54,0773	
Gen NEX	Maks	11,7473	54,0773	18,8403
	Min		-11,1717	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika pada saat dan setelah gangguan, terjadi osilasi selama hampir periode simulasi dilakukan. Kedua mesin dapat mencapai kondisi *steady state* kembali setelah 18,8403 detik setelah gangguan terjadi dengan nilai sudut rotor baru yaitu $-13,50^{\circ}$ pada gen PLN NEX dan $13,50^{\circ}$ pada Gen NEX.

- Skenario 4b

Gangguan pada skenario ini terjadi di bus beban, yaitu bus 4F NEX dengan konsumsi daya sebesar 3,2913 MW dan terhubung pada bus Gen NEX. Gambar hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 4.20 dan tabel 4.25



Gambar 4.20 Grafik tegangan = $f(t)$ pada bus PLN NEX dan bus Gen NEX saat gangguan skenario 4b
 Sumber : Hasil simulasi

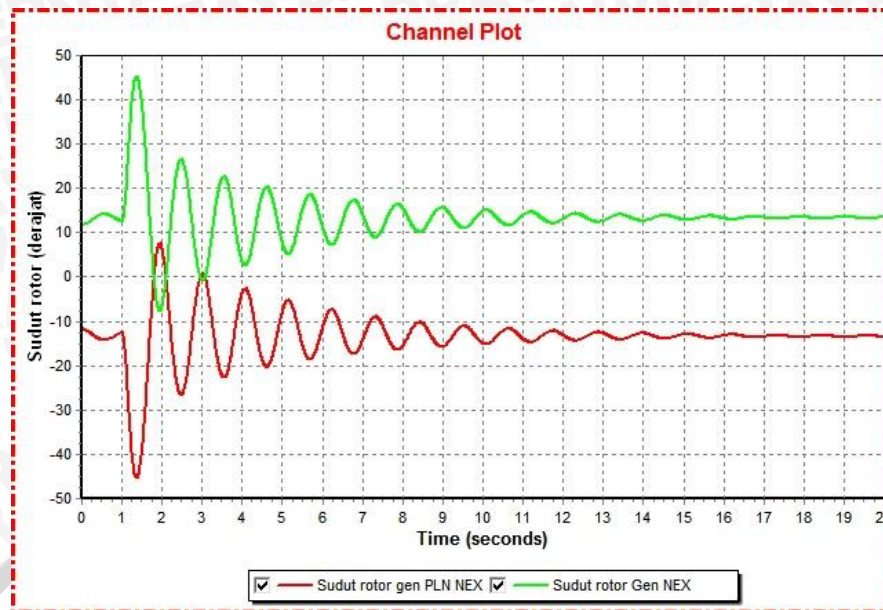
Tabel 4.25 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 4b

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NEX	0,9904	0,5615	150
Gen NEX	0,9906	0,3040	150

Sumber : Hasil simulasi

Dalam hasil simulasi tersebut terlihat jika kedua grafik tegangan, yaitu tegangan pada bus PLN NEX dan tegangan pada bus Gen NEX dapat kembali ke operasi normal setelah terjadi gangguan. Durasi penurunan tegangan ketika terjadi gangguan ialah 150 milidetik, sehingga sistem masih dalam kondisi stabil. Selisih penurunan tegangan pada bus Gen NEX dengan penurunan tegangan pada bus PLN NEX saat gangguan skenario 4b ini cukup besar yaitu 0,2575 p.u.

Sedangkan hasil simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario ini ditunjukkan pada gambar 4.21 dan tabel 4.26.



Gambar 4.21 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NEX dan Gen NEX saat gangguan skenario 4b
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.26 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 4b

Generator		$\delta_{\text{awal}} (^{\circ})$	$\delta_{\text{selama gangguan}} (^{\circ})$	$t_{\text{pemulihan}} (\text{detik})$
PLN NEX	Maks	-11,7473	7,6655	18,8504
	Min		-45,3365	
Gen NEX	Maks	11,7473	45,3365	18,8504
	Min		-7,6655	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika pada saat dan setelah gangguan, terjadi osilasi selama hampir periode simulasi dilakukan. Kedua mesin dapat mencapai kondisi *steady state* kembali setelah 18,8504 detik setelah gangguan terjadi dengan nilai sudut rotor baru yaitu $-13,50^{\circ}$ pada gen PLN NEX dan $13,50^{\circ}$ pada Gen NEX.

4.6 Simulasi Stabilitas Tegangan dan Sudut Rotor Setelah Interkoneksi

Simulasi stabilitas tegangan dan sudut rotor sistem daya pada kondisi setelah interkoneksi ini akan menampilkan stabilitas tegangan dan sudut rotor sistem daya pada saat dua sumber daya, yaitu sumber daya dari PT.Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory* dan PT.Ajinex Internasional telah terhubung melalui saluran interkoneksi dari bus PLN NE ke bus PLN NEX dan dari bus Gen NE ke bus Gen NEX sesuai dengan gambar 4.3. Sebelum melakukan simulasi pada

sistem setelah interkoneksi, perlu adanya pengaturan nilai dasar pada perangkat lunak yang digunakan meliputi daya dasar 18 MVA, tegangan dasar 3,45 kV, waktu gangguan dimulai pada detik ke-1 dan waktu gangguan 0,15 detik. Skenario letak gangguan pada sistem daya setelah interkoneksi sesuai dengan tabel 4.27 berikut:

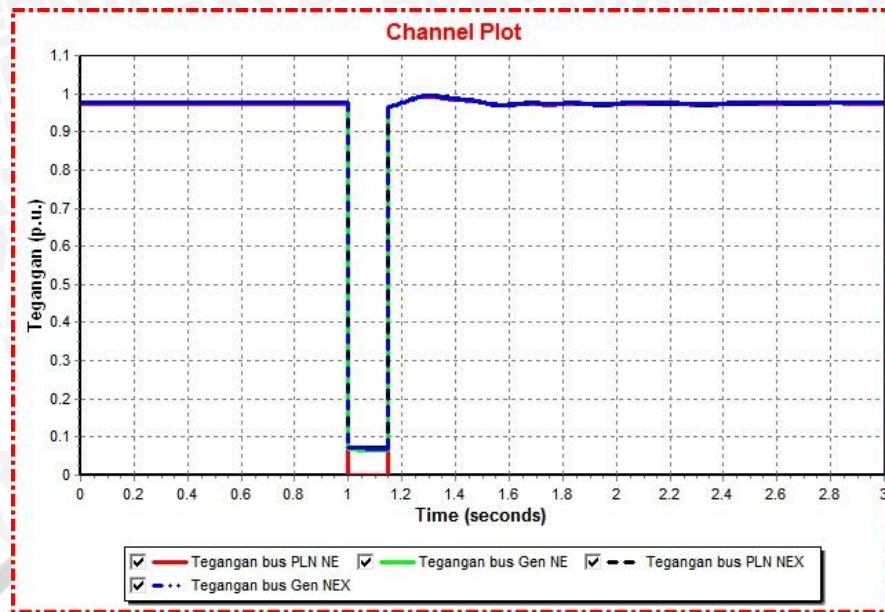
Tabel 4.27 Skenario gangguan sistem daya setelah interkoneksi

Skenario ke	Letak gangguan
1c	Bus PLN NE
2c	Bus Gen NE
3c	Bus PLN NEX
4c	Bus Gen NEX
5c	Bus 2F NE
6c	Bus 7F NE
7c	Bus 1F NEX
8c	Bus 4F NEX
9c	Saluran interkoneksi bus PLN NE ke bus PLN NEX
10c	Saluran interkoneksi bus Gen NE ke bus Gen NEX

Dalam simulasi ini akan ditampilkan grafik tegangan terhadap fungsi waktu sesuai dengan skenario gangguan sesuai dengan tabel 4.27. Kemudian akan dianalisis dampak gangguan terhadap stabilitas tegangan dan sudut rotor pada sistem daya setelah interkoneksi. Hasil simulasi stabilitas dalam berbagai skenario gangguan sesuai dengan pembahasan berikut:

- Skenario 1c

Hasil simulasi stabilitas tegangan pada skenario ini ditunjukkan pada gambar 4.22 dan tabel 4.28 berikut:



Gambar 4.22 Grafik tegangan = f(t) setelah interkoneksi saat gangguan skenario 1c
 Sumber : Hasil simulasi

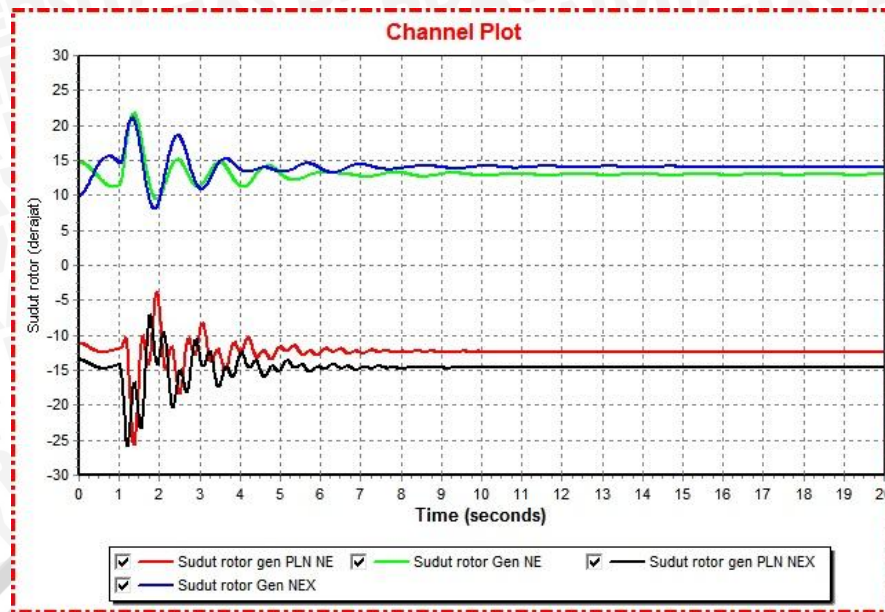
Tabel 4.28 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 1c

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9744	$1,89 \times 10^{-7}$	150
Gen NE	0,9769	0,0648	150
PLN NEX	0,9759	0,0717	150
Gen NEX	0,9768	0,0634	150

Sumber : Hasil simulasi

Dalam skenario ini, gangguan diberikan di bus PLN NE dan kemudian dianalisis dampak gangguan terhadap sistem setelah interkoneksi. Dari hasil simulasi pada sistem interkoneksi saat skenario 1c, terlihat jika penurunan tegangan terbesar berada di bus PLN NE dimana gangguan berada. Sedangkan penurunan tegangan pada bus PLN NEX, bus Gen NE dan bus Gen NEX relatif sama. Keempat grafik tegangan dapat kembali ke operasi normal setelah terjadi gangguan. Durasi penurunan tegangan ketika terjadi gangguan ialah 150 milidetik, sehingga sistem masih dalam kondisi stabil. Sedangkan hasil simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario gangguan ini ditunjukkan pada gambar 4.23 dan tabel 4.29 berikut:





Gambar 4.23 Grafik sudut rotor = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 1c
 Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.29 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 1c

Generator		$\delta_{awal} (^{\circ})$	$\delta_{selama\ gangguan} (^{\circ})$	$t_{pemulihan}$ (detik)
PLN NE	Maks	-11,9132	-3,7857	11,8702
	Min		-25,7241	
Gen NE	Maks	11,5265	21,6762	18,1402
	Min		9,4169	
PLN NEX	Maks	-14,2140	-7,0899	11,2801
	Min		-25,8198	
Gen NEX	Maks	14,6006	21,0575	18,0103
	Min		8,0749	

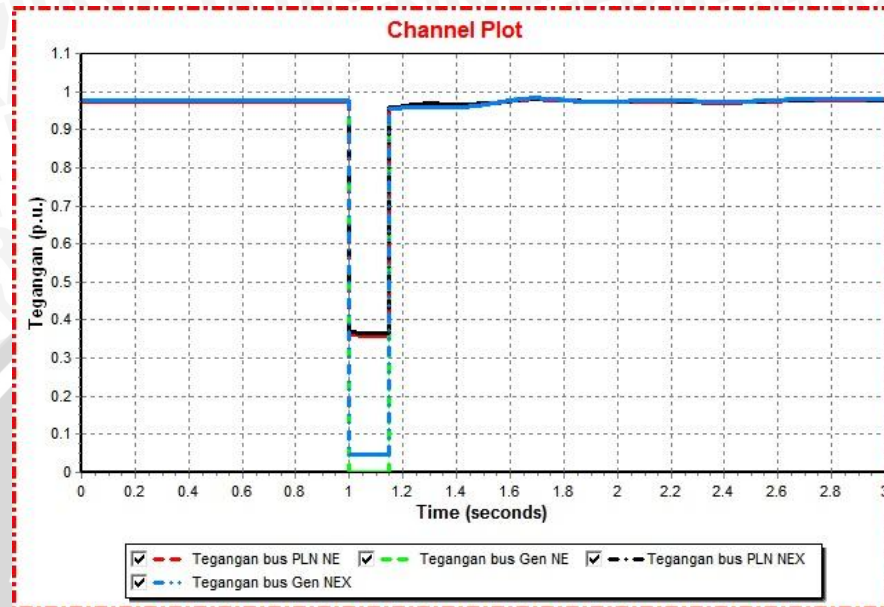
Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika gangguan menyebabkan terjadinya osilasi. Stelah gangguan terjadi, sudut rotor pada gen PLN mengalami peningkatan menjadi $-12,36^{\circ}$ setelah mencapai kondisi *steady state* kembali. Begitu pula dengan ketiga lainnya, dimana sudut rotor Gen NE naik menjadi $12,91^{\circ}$, sudut rotor PLN NEX menjadi $14,66^{\circ}$ dan sudut rotor Gen NEX menjadi $14,10^{\circ}$.

- Skenario 2c

Hasil simulasi stabilitas tegangan pada skenario ini ditunjukkan pada gambar 4.24 serta tabel 4.30. Dalam skenario ini gangguan diberikan pada bus

Gen NE yaitu bus yang ada dalam kawasan PT.Ajinomoto Indonesia sesuai gambar 4.3 kemudian dianalisis dampak gangguan terhadap sistem setelah interkoneksi. Gambar 4.24 menunjukkan kondisi tegangan di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional saat skenario ini dilakukan.



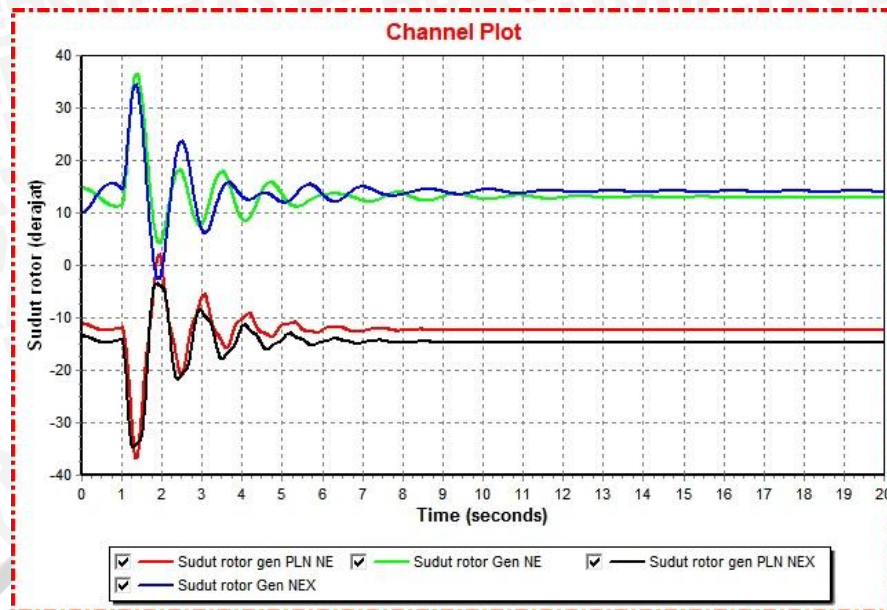
Gambar 4.24 Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 2c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.30 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 2c

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9744	0,3595	150
Gen NE	0,9769	$1,22 \times 10^{-7}$	150
PLN NEX	0,9759	0,3662	150
Gen NEX	0,9768	0,0458	150

Sumber : Hasil simulasi

Pada gambar 4.24 dan tabel 4.30 terlihat jika terjadi penurunan tegangan yang sangat besar terjadi pada bus Gen NE dan bus Gen NEX jika dibandingkan dengan penurunan tegangan pada bus PLN NE dan bus PLN NEX. Tetapi penurunan tegangan terbesar diantara keempat bus tersebut adalah penurunan tegangan pada bus Gen NE dimana gangguan terjadi. Durasi penurunan tegangan keempat bus ketika terjadi gangguan ialah 150 milidetik, sehingga sistem masih dalam kondisi stabil. Sedangkan hasil simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario gangguan ini ditunjukkan pada gambar 4.25 dan tabel 4.31 berikut:



Gambar 4.25 Grafik sudut rotor = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 2c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.31 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 2c

Generator		$\delta_{\text{awal}} (^{\circ})$	$\delta_{\text{selama gangguan}} (^{\circ})$	$t_{\text{pemulihan}} (\text{detik})$
PLN NE	Maks	-11,9132	2,2319	10,9002
	Min		-36,9686	
Gen NE	Maks	11,5265	36,5501	18,1103
	Min		4,1739	
PLN NEX	Maks	-14,2140	-34,6618	10,9902
	Min		-3,4407	
Gen NEX	Maks	14,6006	34,5582	18,7104
	Min		-2,6465	

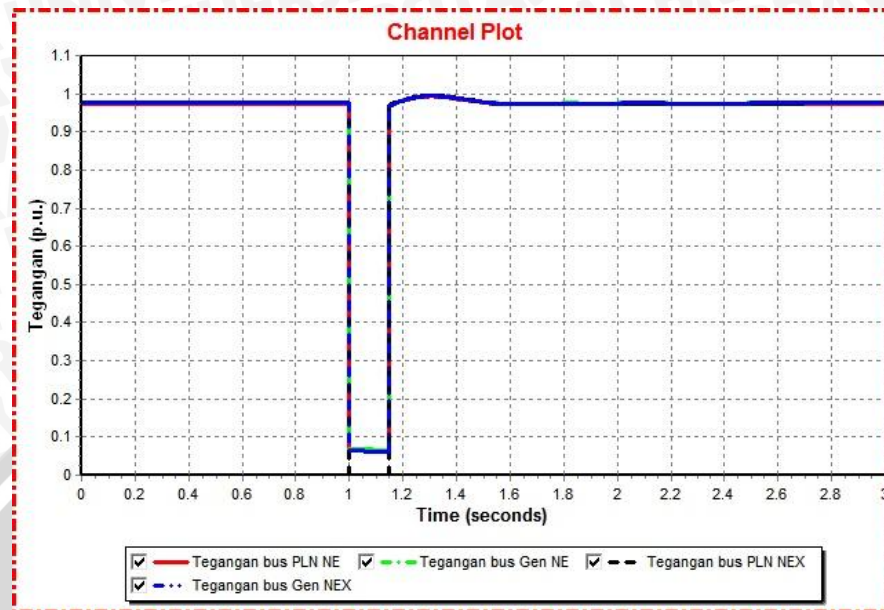
Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika gangguan menyebabkan terjadinya osilasi. Setelah gangguan terjadi, sudut rotor pada gen PLN mengalami peningkatan menjadi $-12,36^{\circ}$ setelah mencapai kondisi *steady state* kembali. Begitu pula dengan ketiga lainnya, dimana sudut rotor Gen NE naik menjadi $12,90^{\circ}$, sudut rotor PLN NEX menjadi $14,67^{\circ}$ dan sudut rotor Gen NEX menjadi $14,06^{\circ}$.

- Skenario 3c

Hasil simulasi stabilitas tegangan pada skenario ini ditunjukkan pada gambar 4.26. Dalam skenario ini, gangguan diberikan di bus PLN NEX dan kemudian dianalisis dampak gangguan terhadap sistem setelah interkoneksi.

Gambar 4.26 menunjukkan kondisi tegangan di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional saat skenario 3c.



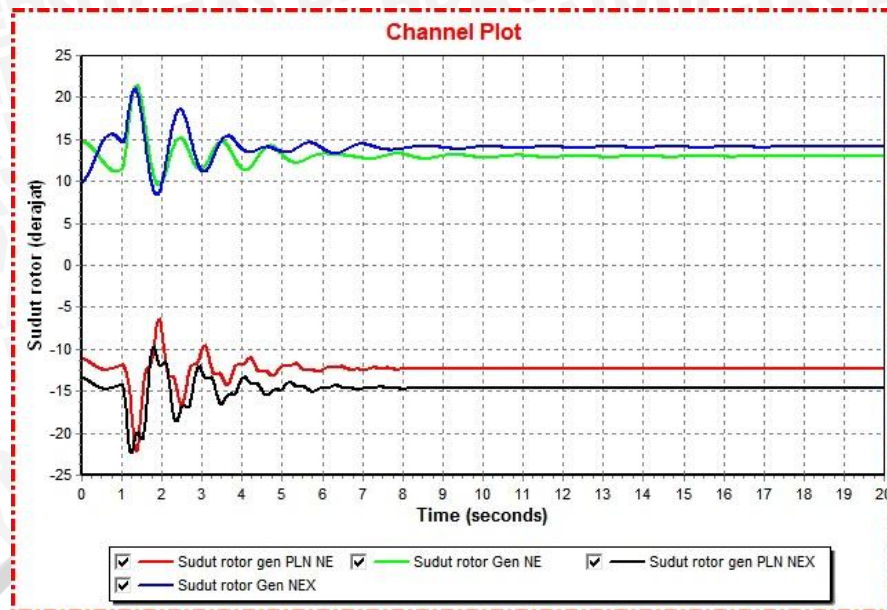
Gambar 4.26 Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 3c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.32 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 3c

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9744	0,0645	150
Gen NE	0,9769	0,0664	150
PLN NEX	0,9759	$1,89 \times 10^{-7}$	150
Gen NEX	0,9768	0,0629	150

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi dapat diketahui jika penurunan tegangan terbesar berada pada bus PLN NEX. Dimana tegangan turun hingga mencapai $1,89 \times 10^{-7}$ p.u. Ketiga grafik tegangan yang lain menurun hingga kurang dari 1 p.u. Namun penurunan tegangan keempat bus terjadi selama 150 milidetik dan dapat kembali ke operasi normalnya setelah gangguan dihilangkan dari sistem sehingga tegangan sistem masih dalam kondisi stabil. Sedangkan hasil simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario gangguan ini ditunjukkan pada gambar 4.27 dan tabel 4.33 berikut:



Gambar 4.27 Grafik sudut rotor = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 3c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.33 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 3c

Generator		$\delta_{\text{awal}} (^{\circ})$	$\delta_{\text{selama gangguan}} (^{\circ})$	$t_{\text{pemulihan}} (\text{detik})$
PLN NE	Maks	-11,9132	-6,3825	11,8402
	Min		-22,2372	
Gen NE	Maks	11,5265	21,4213	18,4504
	Min		9,5271	
PLN NEX	Maks	-14,2140	-9,6761	10,9702
	Min		-22,4463	
Gen NEX	Maks	14,6006	21,0108	18,0103
	Min		8,3574	

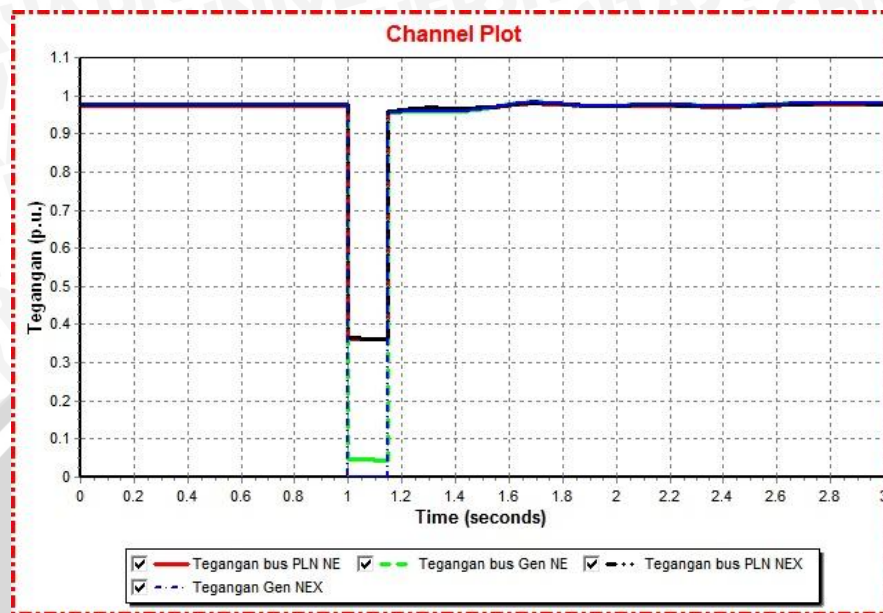
Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika gangguan menyebabkan terjadinya osilasi. Setelah gangguan terjadi, sudut rotor pada gen PLN mengalami peningkatan menjadi $-12,36^{\circ}$ setelah mencapai kondisi *steady state* kembali. Begitu pula dengan ketiga lainnya, dimana sudut rotor Gen NE naik menjadi $12,93^{\circ}$, sudut rotor PLN NEX menjadi $14,66^{\circ}$ dan sudut rotor Gen NEX menjadi $14,10^{\circ}$.

- Skenario 4c

Hasil simulasi stabilitas tegangan pada skenario ini ditunjukkan pada gambar 4.28 dan tabel 4.34. Dalam skenario ini, gangguan diberikan di bus Gen

NEX dan kemudian dianalisis dampak gangguan terhadap sistem setelah interkoneksi.



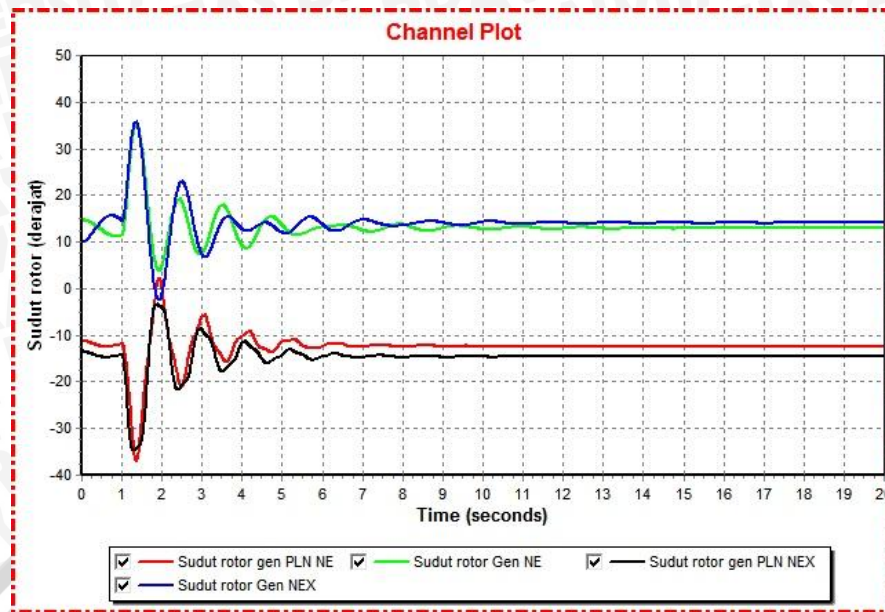
Gambar 4.28 Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 4c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.34 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 4c

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9744	0,3616	150
Gen NE	0,9769	0,0451	150
PLN NEX	0,9759	0,3631	150
Gen NEX	0,9768	$1,21 \times 10^{-7}$	150

Sumber : Hasil simulasi

Dari data hasil analisis menunjukkan jika tegangan dimana letak gangguan terjadi mengalami penurunan tegangan yang sangat besar, yaitu tegangan pada bus Gen NEX. Gangguan ini menyebabkan penurunan tegangan pada ketiga bus yang lain. Namun penurunan tegangan keempat bus terjadi selama 150 milidetik sehingga sistem masih dalam kondisi stabil. Sedangkan hasil simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario ini ditunjukkan pada gambar 4.29 dan tabel 4.35 berikut:



Gambar 4.29 Grafik sudut rotor = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 4c
 Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.35 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 4c

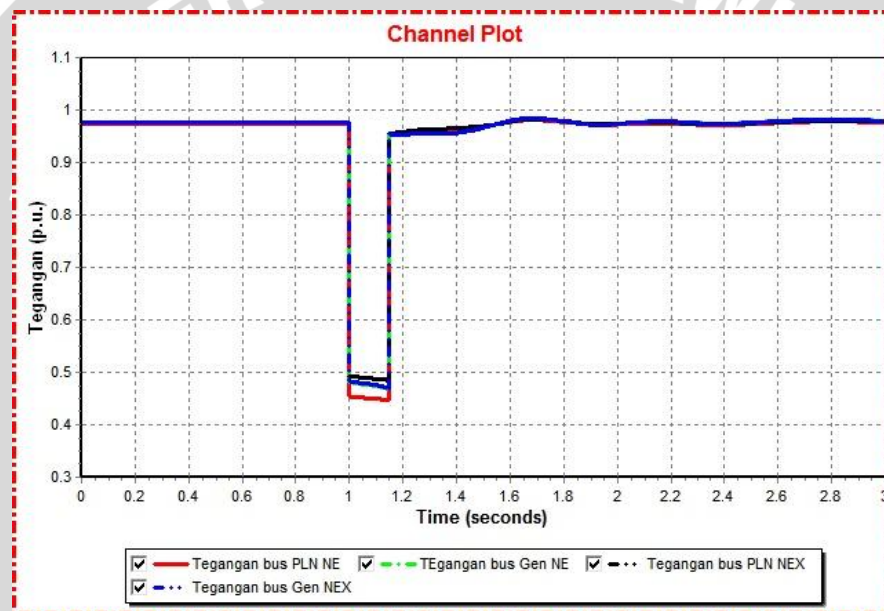
Generator		$\delta_{awal} (^{\circ})$	$\delta_{selama\ gangguan} (^{\circ})$	$t_{pemulihan}$ (detik)
PLN NE	Maks	-11,9132	2,2252	11,8502
	Min		-36,9272	
Gen NE	Maks	11,5265	35,3103	17,3203
	Min		3,9083	
PLN NEX	Maks	-14,2140	-3,3689	11,5802
	Min		-34,7344	
Gen NEX	Maks	14,6006	35,7945	17,8103
	Min		-2,4115	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika gangguan menyebabkan terjadinya osilasi. Setelah gangguan terjadi, sudut rotor pada gen PLN mengalami peningkatan menjadi $-12,36^{\circ}$ setelah mencapai kondisi *steady state* kembali. Begitu pula dengan ketiga lainnya, dimana sudut rotor Gen NE naik menjadi $12,98^{\circ}$, sudut rotor PLN NEX menjadi $-14,65^{\circ}$ dan sudut rotor Gen NEX menjadi $14,08^{\circ}$.

- Skenario 5c

Hasil simulasi stabilitas tegangan sistem pada skenario gangguan 5c sesuai dengan gambar 4.30. Gangguan pada skenario ini terjadi di bus beban, yaitu bus 2F NE dengan konsumsi daya sebesar 6,2031 MW dan terhubung pada bus PLN NE. Dari data hasil simulasi menunjukkan bahwa penurunan tegangan pada keempat bus relatif sama yaitu tegangan saat terjadi gangguan ialah sekitar 0,4 p.u. Namun penurunan tegangan terbesar berada pada bus PLN NE dimana bus tersebut terhubung langsung dengan bus yang terganggu. Namun keempat tegangan mengalami penurunan tegangan selama 150 milidetik, sehingga sistem masih dalam kondisi stabil.



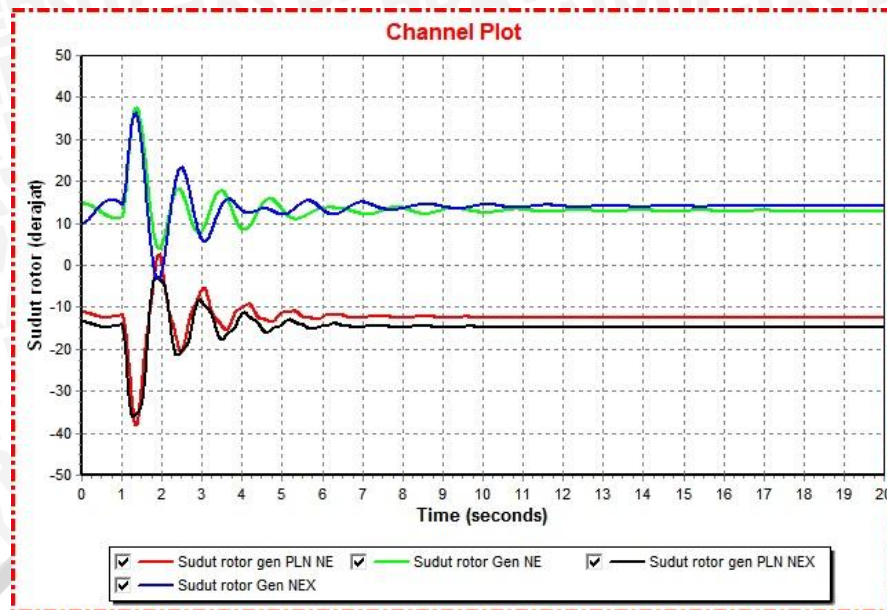
Gambar 4.30 Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 5c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.36 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 5c

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9744	0,4471	150
Gen NE	0,9769	0,4676	150
PLN NEX	0,9759	0,4848	150
Gen NEX	0,9768	0,4695	150

Sumber : Hasil simulasi

Sedangkan hasil simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario ini ditunjukkan pada gambar 4.31 dan tabel 4.37 berikut:



Gambar 4.31 Grafik sudut rotor = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 5c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.37 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 5c

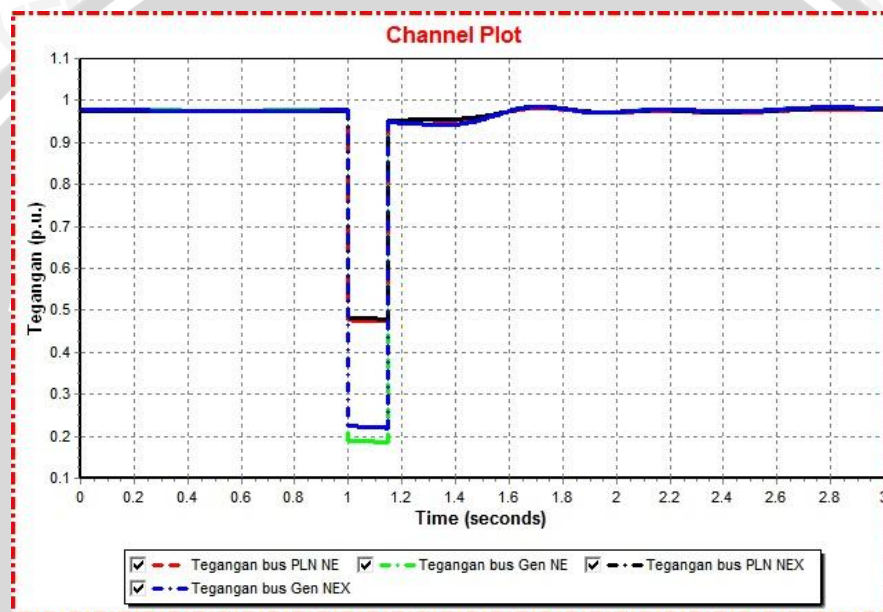
Generator		δ_{awal} ($^{\circ}$)	$\delta_{selama\ gangguan}$ ($^{\circ}$)	$t_{pemulihan}$ (detik)
PLN NE	Maks	-11,9132	2,7357	11,4702
	Min		-38,1758	
Gen NE	Maks	11,5265	37,5590	17,3903
	Min		3,9221	
PLN NEX	Maks	-14,2140	-2,8572	11,8302
	Min		-36,1458	
Gen NEX	Maks	14,6006	36,3001	17,8902
	Min		-3,4389	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika gangguan menyebabkan terjadinya osilasi pada sudut rotor. Setelah gangguan terjadi, sudut rotor pada gen PLN mengalami peningkatan menjadi $-12,36^{\circ}$ setelah mencapai kondisi *steady state* kembali. Begitu pula dengan ketiga lainnya, dimana sudut rotor Gen NE naik menjadi $12,98^{\circ}$, sudut rotor PLN NEX menjadi $14,65^{\circ}$ dan sudut rotor Gen NEX menjadi $14,11^{\circ}$.

- Skenario 6c

Hasil simulasi stabilitas tegangan sistem pada skenario gangguan 6c sesuai dengan gambar 4.32. Gangguan pada skenario ini terjadi pada bus 7F NE yang terhubung langsung ke bus Gen NE dengan konsumsi daya sebesar 3,04 MW. Tabel 4.38 menjelaskan grafik tegangan pada gambar 4.32 dimana *drop* tegangan terjadi pada keempat tegangan saat terjadi gangguan. Pada data hasil simulasi terlihat jika penurunan tegangan terbesar terjadi pada bus Gen NE yang terhubung langsung ke bus 7F NE. Penurunan tegangan pada keempat bus terjadi dalam durasi 150 milidetik sehingga tegangan sistem masih dalam kondisi stabil.



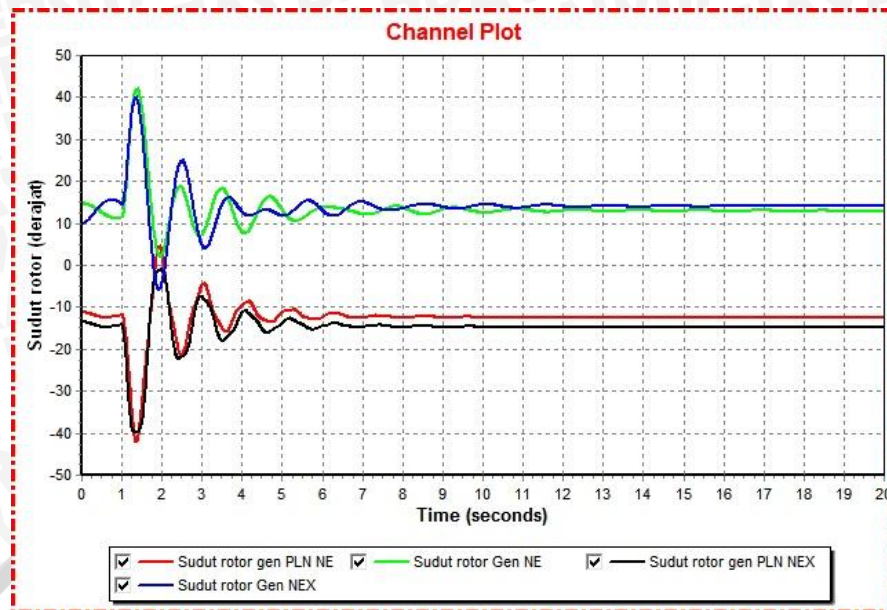
Gambar 4.32 Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 6c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.38 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 6c

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9744	0,4733	150
Gen NE	0,9769	0,1853	150
PLN NEX	0,9759	0,4794	150
Gen NEX	0,9768	0,2193	150

Sumber : Hasil simulasi

Sedangkan hasil simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario ini ditunjukkan pada gambar 4.33 dan tabel 4.39 berikut:



Gambar 4.33 Grafik sudut rotor = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 6c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.39 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 6c

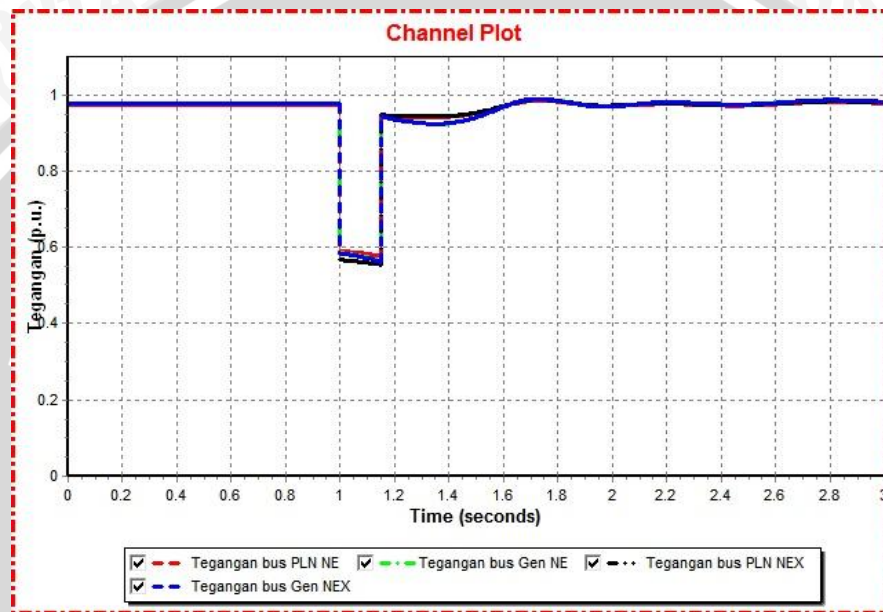
Generator		δ_{awal} ($^{\circ}$)	$\delta_{selama\ gangguan}$ ($^{\circ}$)	$t_{pemulihan}$ (detik)
PLN NE	Maks	-11,9132	4,6440	12,5202
	Min		-41,9181	
Gen NE	Maks	11,5265	42,0861	18,6603
	Min		2,0861	
PLN NEX	Maks	-14,2140	-1,0573	12,8702
	Min		-39,8865	
Gen NEX	Maks	14,6006	40,0284	18,2803
	Min		-5,7569	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika gangguan menyebabkan terjadinya osilasi pada sudut rotor. Setelah gangguan terjadi, sudut rotor pada gen PLN mengalami peningkatan menjadi $-12,36^{\circ}$ setelah mencapai kondisi *steady state* kembali. Begitu pula dengan ketiga lainnya, dimana sudut rotor Gen NE naik menjadi $12,97^{\circ}$, sudut rotor PLN NEX menjadi $14,66^{\circ}$ dan sudut rotor Gen NEX menjadi $14,10^{\circ}$.

- Skenario 7c

Hasil simulasi stabilitas tegangan sistem pada skenario gangguan 7c sesuai dengan gambar 4.34. Gangguan pada skenario ini terjadi di bus beban, yaitu bus 1F NEX dengan konsumsi daya sebesar 2,4254 MW dan terhubung pada bus PLN NEX. Pada saat terjadi gangguan pada sistem, tegangan pada keempat bus turun hingga mencapai sekitar 0,5 p.u. sesuai dengan penjelasan pada tabel 4.40. Penurunan tegangan ini terjadi selama durasi 150 milidetik sehingga tegangan sistem masih dalam kondisi stabil.



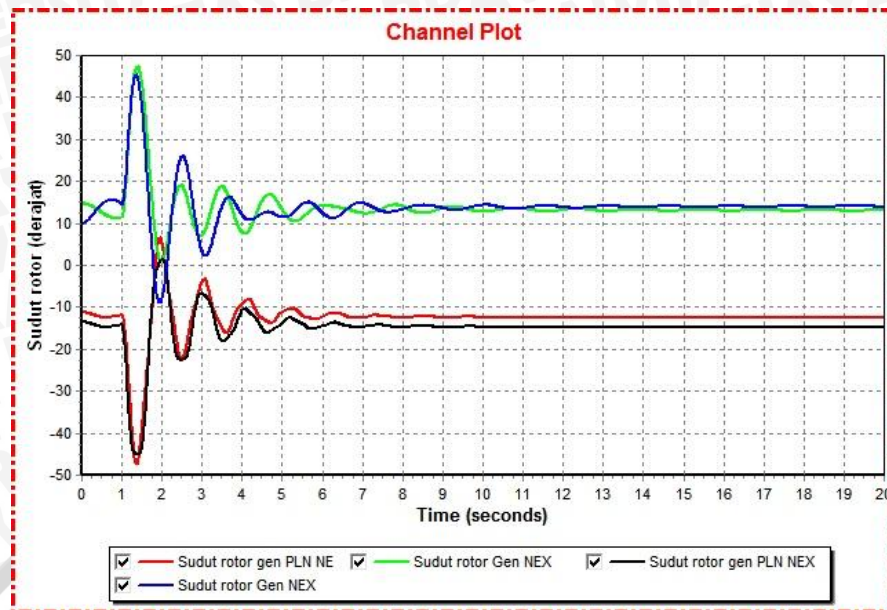
Gambar 4.34 Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 7c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.40 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 7c

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9744	0,5766	150
Gen NE	0,9769	0,5624	150
PLN NEX	0,9759	0,5541	150
Gen NEX	0,9768	0,5606	150

Sumber : Hasil simulasi

Sedangkan hasil simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario ini ditunjukkan pada gambar 4.35 dan tabel 4.41 berikut:



Gambar 4.35 Grafik sudut rotor = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 7c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.41 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 7c

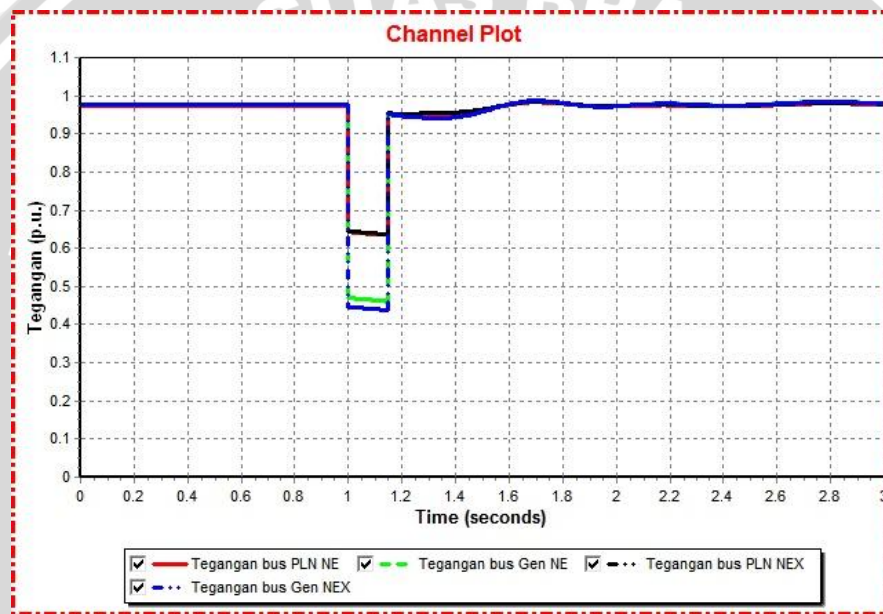
Generator		δ_{awal} ($^{\circ}$)	$\delta_{selama\ gangguan}$ ($^{\circ}$)	$t_{pemulihan}$ (detik)
PLN NE	Maks	-11,9132	6,6872	12,4802
	Min		-47,5315	
Gen NE	Maks	11,5265	47,4644	18,6303
	Min		0,8733	
PLN NEX	Maks	-14,2140	1,4684	12,7202
	Min		-45,1510	
Gen NEX	Maks	14,6006	45,3785	18,4103
	Min		-8,8942	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika gangguan menyebabkan terjadinya osilasi pada sudut rotor. Setelah gangguan terjadi, sudut rotor pada gen PLN mengalami peningkatan menjadi $-12,36^{\circ}$ setelah mencapai kondisi *steady state* kembali. Begitu pula dengan ketiga lainnya, dimana sudut rotor Gen NE naik menjadi $13,04^{\circ}$, sudut rotor PLN NEX menjadi $14,65^{\circ}$ dan sudut rotor Gen NEX menjadi $14,01^{\circ}$.

- Skenario 8c

Hasil simulasi stabilitas tegangan sistem pada skenario gangguan 8c sesuai dengan gambar 4.36 dan tabel 4.42. Gangguan pada skenario ini terjadi di bus beban, yaitu bus 4F NEX dengan konsumsi daya sebesar 3,2913 MW dan terhubung pada bus Gen NEX. Dari data hasil simulasi, terlihat jika penurunan tegangan pada kedua bus yaitu bus Gen NE dan bus Gen NEX lebih besar dibandingkan dengan penurunan tegangan pada kedua bus yang lain. Namun, penurunan tegangan terjadi selama 150 milidetik sehingga tegangan sistem masih stabil.



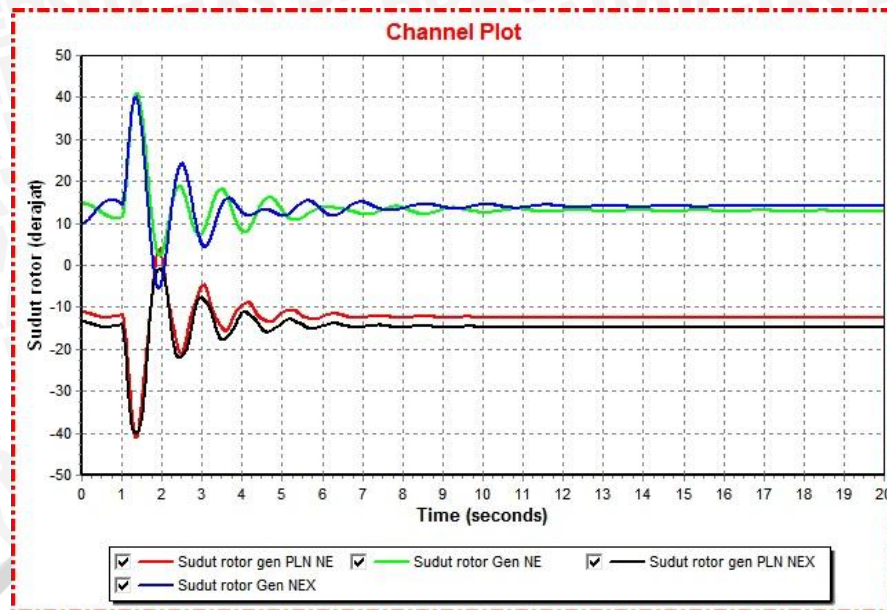
Gambar 4.36 Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 8c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.42 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 8c

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9744	0,6346	150
Gen NE	0,9769	0,4594	150
PLN NEX	0,9759	0,6366	150
Gen NEX	0,9768	0,4366	150

Sumber : Hasil simulasi

Sedangkan hasil simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario ini ditunjukkan pada gambar 4.37 dan tabel 4.43 berikut:



Gambar 4.37 Grafik sudut rotor = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 8c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.43 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 8c

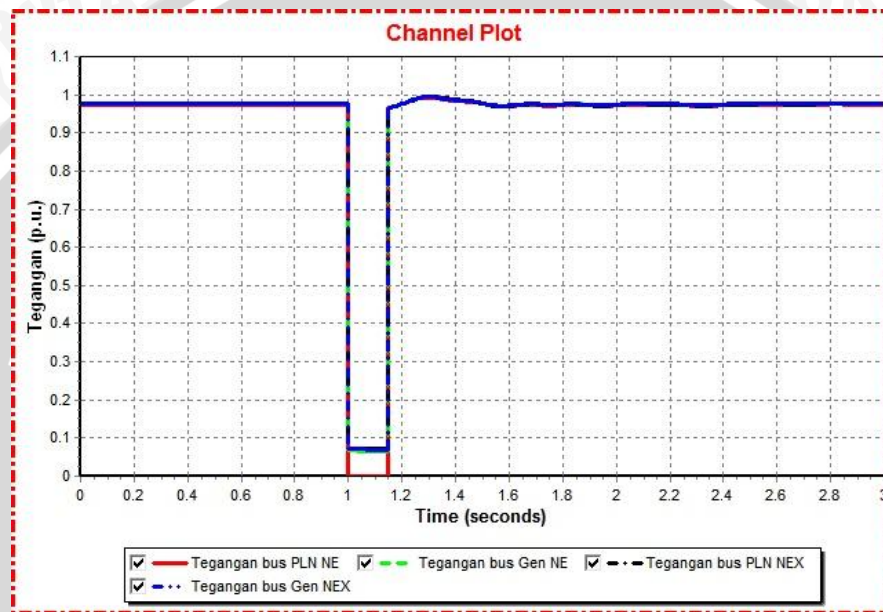
Generator		δ_{awal} ($^{\circ}$)	$\delta_{selama\ gangguan}$ ($^{\circ}$)	$t_{pemulihan}$ (detik)
PLN NE	Maks	-11,9132	3,9733	12,4902
	Min		-41,1210	
Gen NE	Maks	11,5265	41,0578	18,3303
	Min		2,3156	
PLN NEX	Maks	-14,2140	-0,9186	12,7902
	Min		-39,9736	
Gen NEX	Maks	14,6006	40,1208	18,2503
	Min		-5,4482	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika gangguan menyebabkan terjadinya osilasi pada sudut rotor. Setelah gangguan terjadi, sudut rotor pada gen PLN mengalami peningkatan menjadi $-12,36^{\circ}$ setelah mencapai kondisi *steady state* kembali. Begitu pula dengan ketiga lainnya, dimana sudut rotor Gen NE naik menjadi $12,92^{\circ}$, sudut rotor PLN NEX menjadi $14,65^{\circ}$ dan sudut rotor Gen NEX menjadi $14,01^{\circ}$.

- Skenario 9c

Simulasi ini akan menampilkan dampak gangguan pada saluran interkoneksi dari bus PLN NE ke bus PLN NEX terhadap stabilitas tegangan sistem setelah interkoneksi. Grafik stabilitas tegangan pada sistem saat skenario 9c ditunjukkan pada gambar 4.38 dan tabel 4.44. Dari data hasil simulasi terlihat jika penurunan tegangan pada keempat bus sangat besar bahkan tegangan pada bus PLN NE hampir mendekati 0 p.u karena letak gangguan yang berdekatan dengan bus PLN NE.



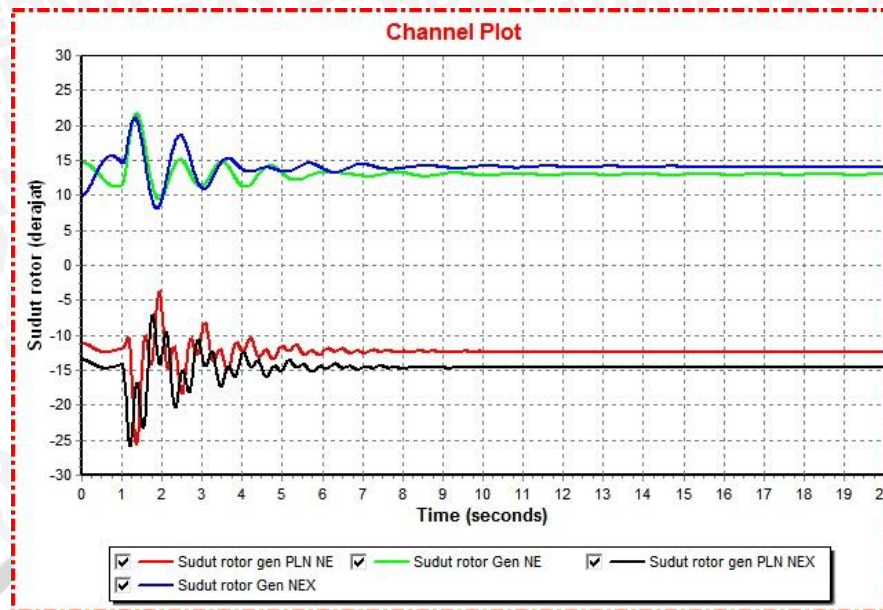
Gambar 4.38 Grafik tegangan = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 9c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.44 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 9c

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9744	$1,89 \times 10^{-7}$	150
Gen NE	0,9769	0,0648	150
PLN NEX	0,9759	0,0718	150
Gen NEX	0,9768	0,0689	150

Sumber : Hasil simulasi

Sedangkan hasil simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario ini ditunjukkan pada gambar 4.39 dan tabel 4.45 berikut:



Gambar 4.39 Grafik sudut rotor = $f(t)$ setelah interkoneksi saat gangguan skenario 9c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.45 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 9c

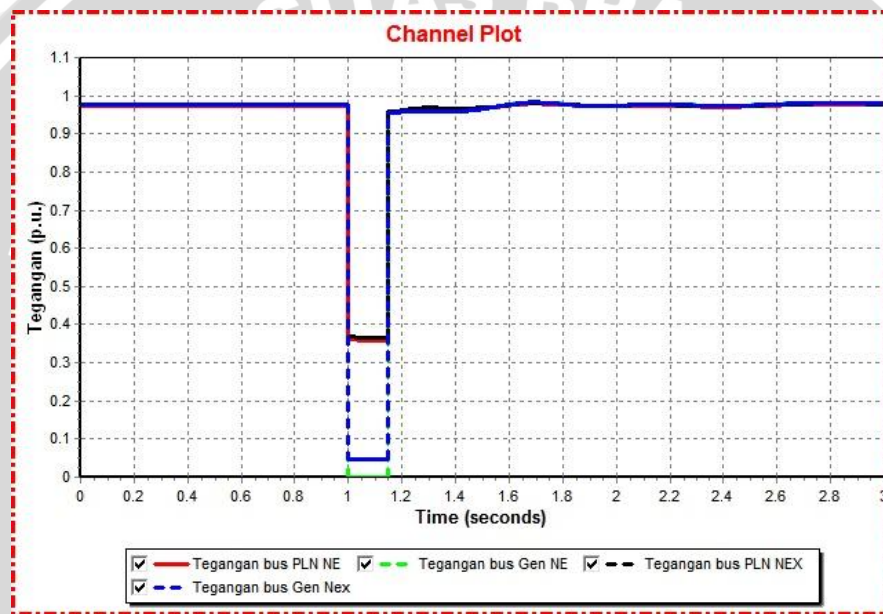
Generator		δ_{awal} ($^{\circ}$)	$\delta_{selama\ gangguan}$ ($^{\circ}$)	$t_{pemulihan}$ (detik)
PLN NE	Maks	-11,9132	-3,7856	11,8802
	Min		-25,7241	
Gen NE	Maks	11,5265	21,6761	18,2103
	Min		9,4313	
PLN NEX	Maks	-14,2140	-7,0768	12,6402
	Min		-25,8990	
Gen NEX	Maks	14,6006	21,0624	18,1003
	Min		8,0749	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika gangguan menyebabkan terjadinya osilasi pada sudut rotor. Setelah gangguan terjadi, sudut rotor pada gen PLN mengalami peningkatan menjadi $-12,36^{\circ}$ setelah mencapai kondisi *steady state* kembali. Begitu pula dengan ketiga lainnya, dimana sudut rotor Gen NE naik menjadi $12,92^{\circ}$, sudut rotor PLN NEX menjadi $14,65^{\circ}$ dan sudut rotor Gen NEX menjadi $14,01^{\circ}$.

- Skenario 10c

Sama halnya dengan gangguan pada skenario 9c, pada skenario ini gangguan juga terletak pada saluran interkoneksi namun saluran yang diberi gangguan adalah saluran interkoneksi dari bus Gen NE ke bus Gen NEX. Sehingga gangguan berada didekat bus Gen NE. Dampak gangguan pada skenario ini terlihat pada tabel 4.40 dan tabel 4.46. Dimana tegangan pada bus Gen NE mengalami penurunan yang sangat besar yaitu hampir mendekati 0 p.u. Namun penurunan tegangan pada keempat bus terjadi selama 150 milidetik sehingga tegangan sistem masih dalam kondisi stabil.



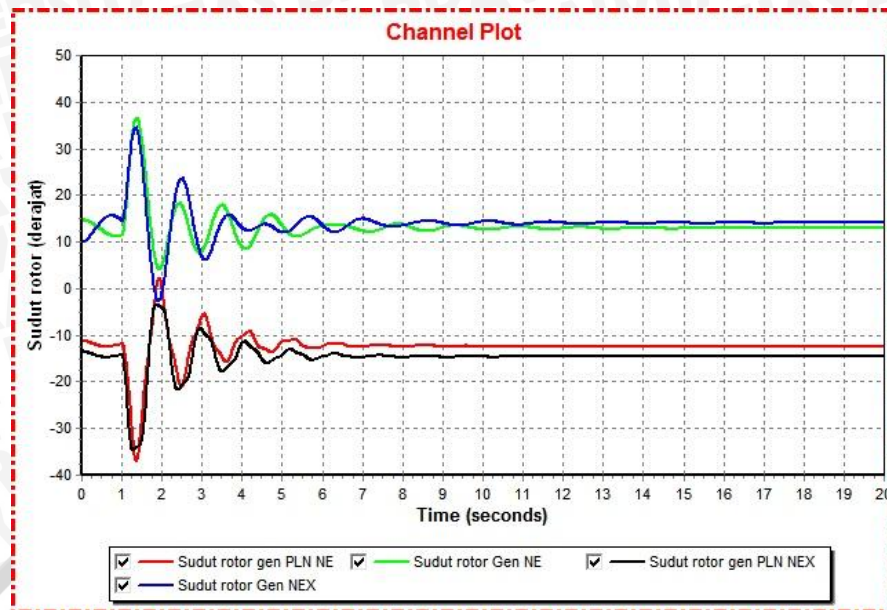
Gambar 4.40 Grafik tegangan = $f(t)$ pada setelah interkoneksi saat gangguan skenario 10c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.46 Simulasi stabilitas tegangan pada skenario 10c

Bus	V_{awal} (p.u.)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	0,9744	0,3601	150
Gen NE	0,9769	$1,21 \times 10^{-7}$	150
PLN NEX	0,9759	0,3665	150
Gen NEX	0,9768	0,0457	150

Sumber : Hasil simulasi

Sedangkan hasil simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario ini ditunjukkan pada gambar 4.41 dan tabel 4.47 berikut:



Gambar 4.41 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada setelah interkoneksi saat gangguan skenario 10c
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4.47 Simulasi stabilitas sudut rotor pada skenario 10c

Generator		δ_{awal} ($^{\circ}$)	$\delta_{selama\ gangguan}$ ($^{\circ}$)	$t_{pemulihan}$ (detik)
PLN NE	Maks	-11,9132	2,2319	12,4302
	Min		-36,9686	
Gen NE	Maks	11,5265	36,5509	18,4803
	Min		4,1739	
PLN NEX	Maks	-14,2140	-3,4230	12,7402
	Min		-34,6950	
Gen NEX	Maks	14,6006	34,5581	18,7303
	Min		-2,6465	

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi sudut rotor terlihat jika gangguan menyebabkan terjadinya osilasi pada sudut rotor. Setelah gangguan terjadi, sudut rotor pada gen PLN mengalami peningkatan menjadi $-12,36^{\circ}$ setelah mencapai kondisi *steady state* kembali. Begitu pula dengan ketiga lainnya, dimana sudut rotor Gen NE naik menjadi $12,92^{\circ}$, sudut rotor PLN NEX menjadi $14,65^{\circ}$ dan sudut rotor Gen NEX menjadi $14,05^{\circ}$.

4.6.1 Perbandingan Stabilitas sistem Sebelum dan Setelah Interkoneksi

Berdasarkan uraian mengenai stabilitas tegangan di PT.Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory dan PT.Ajinex Internasional pada kondisi sebelum dan setelah interkoneksi dapat diperoleh gambaran secara umum tentang stabilitas tegangan pada kedua perusahaan tersebut melalui tabel 4.48 berikut:

Tabel 4.48 Perbandingan stabilitas tegangan dalam berbagai letak gangguan

Letak gangguan (bus)	Bus	Sebelum interkoneksi		Setelah interkoneksi	
		V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
PLN NE	PLN NE	$9,61 \times 10^{-8}$	150	$1,89 \times 10^{-7}$	150
	Gen NE	0,0403	150	0,0648	150
Gen NE	PLN NE	0,3266	150	0,3595	150
	Gen NE	$5,83 \times 10^{-8}$	150	$1,22 \times 10^{-7}$	150
2F NE	PLN NE	0,2883	150	0,4471	150
	Gen NE	0,2991	150	0,4676	150
7F NE	PLN NE	0,3889	150	0,4733	150
	Gen NE	0,0997	150	0,1853	150
PLN NEX	PLN NEX	$1,03 \times 10^{-7}$	150	$1,89 \times 10^{-7}$	150
	Gen NEX	0,0363	150	0,0629	150
Gen NEX	PLN NEX	0,3696	150	0,3631	150
	Gen NEX	$6,64 \times 10^{-8}$	150	$1,21 \times 10^{-7}$	150
1F NEX	PLN NEX	0,4202	150	0,5541	150
	Gen NEX	0,4217	150	0,5606	150
4F NEX	PLN NEX	0,5615	150	0,6366	150
	Gen NEX	0,3040	150	0,4366	150

Sumber : Hasil simulasi

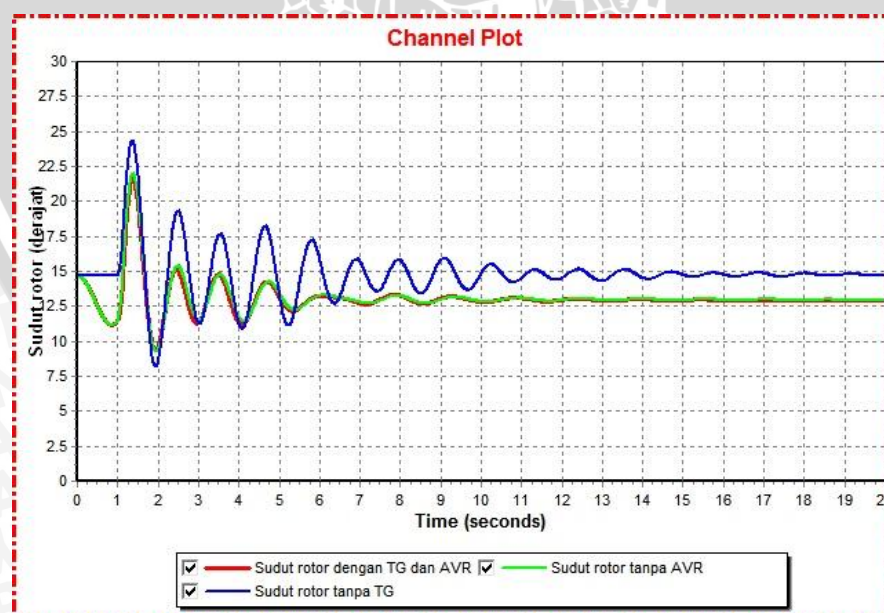
Dari data pada tabel 4.48 terlihat perbedaan antara penurunan tegangan ketika sistem diinterkoneksi dan sebelum diinterkoneksi pada saat terjadi gangguan. Penurunan tegangan pada saat sebelum diinterkoneksi lebih besar dibandingkan dengan penurunan tegangan pada saat sistem telah diinterkoneksi. Gangguan yang mengakibatkan penurunan tegangan terbesar ialah gangguan yang terjadi pada salah

satu bus yang bersumber dari PLN dimana sumber ini memiliki kapasitas pembangkit yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan kapasitas pembangkit dari generator. Gangguan yang terjadi pada salah satu bus tersebut, mengakibatkan tegangan bus menurun hingga mencapai kurang dari 0,1 p.u. selama gangguan terjadi.

Durasi gangguan baik pada saat sebelum dan setelah interkoneksi ialah selama 150 milidetik dan tegangan dapat kembali ke operasi normal setelah gangguan dihilangkan dari sistem. Sehingga tegangan sistem baik setelah dan sebelum interkoneksi dengan berbagai letak gangguan masih dalam kondisi yang stabil.

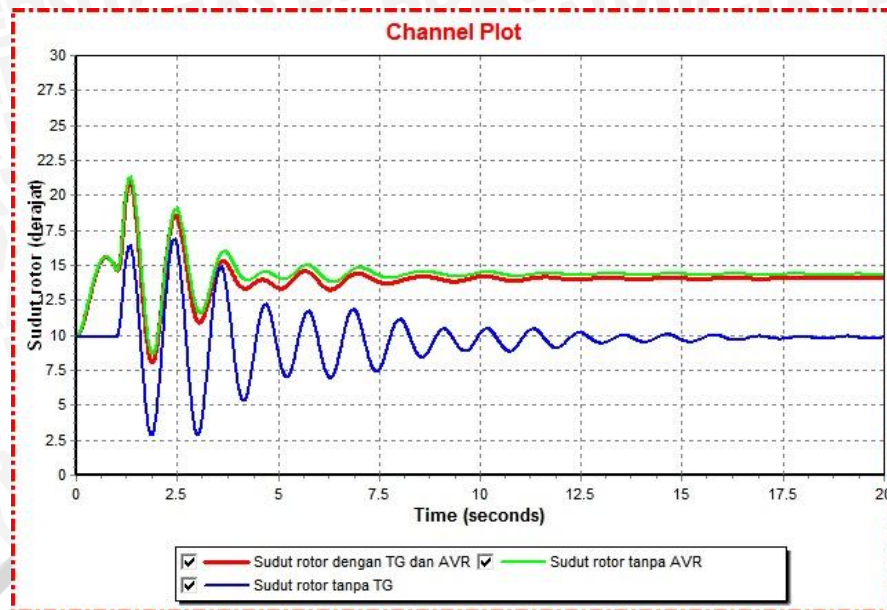
4.7 Simulasi Pengaruh *TG* dan *AVR* terhadap Stabilitas Sistem Daya Interkoneksi

Pada pembahasan ini akan dilakukan simulasi pengaruh penggunaan dari *TG* (*Turbine Governor*) dan *AVR* (*Automatic Voltage Regulator*) terhadap stabilitas sudut rotor pada sistem interkoneksi. Simulasi ini dilakukan dengan melepas *TG* dan atau *AVR* pada salah satu generator. Kemudian dianalisis pengaruh *TG* dan *AVR* pada sistem yang menggunakan *TG* dan atau *AVR* dengan sistem yang tidak menggunakannya. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui stabilitas sudut rotor apabila *TG* dan atau *AVR* tidak bekerja. Simulasi ini dilakukan dengan letak gangguan ada di bus PLN NE dengan objek pembahasan sudut rotor pada bus Gen NE dan bus Gen NEX



Gambar 4.42 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada Gen NE

Sumber : Hasil simulasi

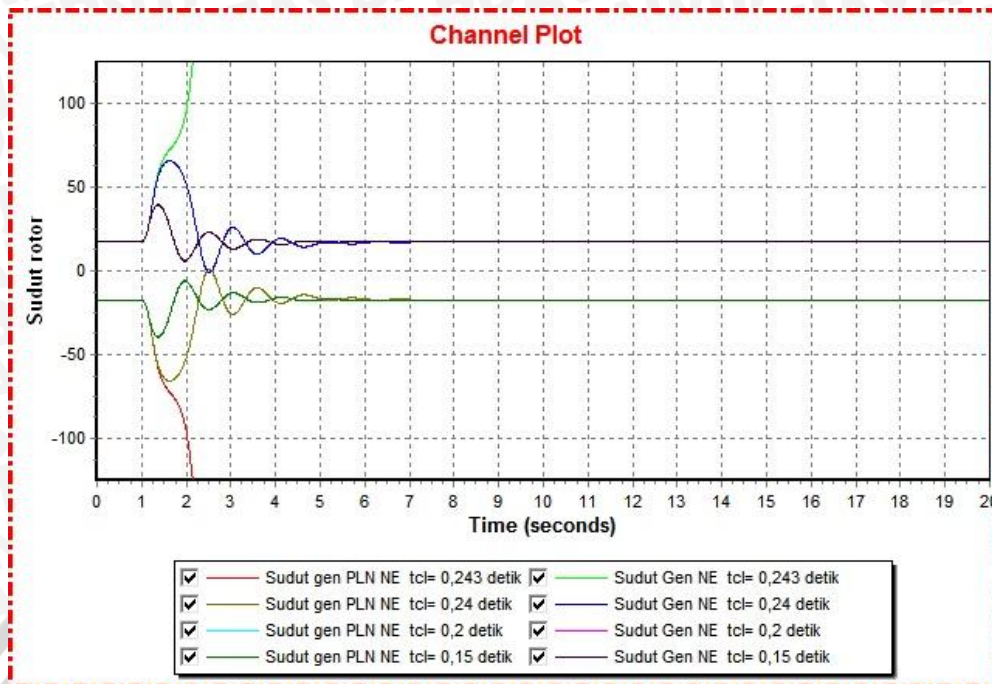


Gambar 4.43 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada Gen NEX
Sumber : Hasil simulasi

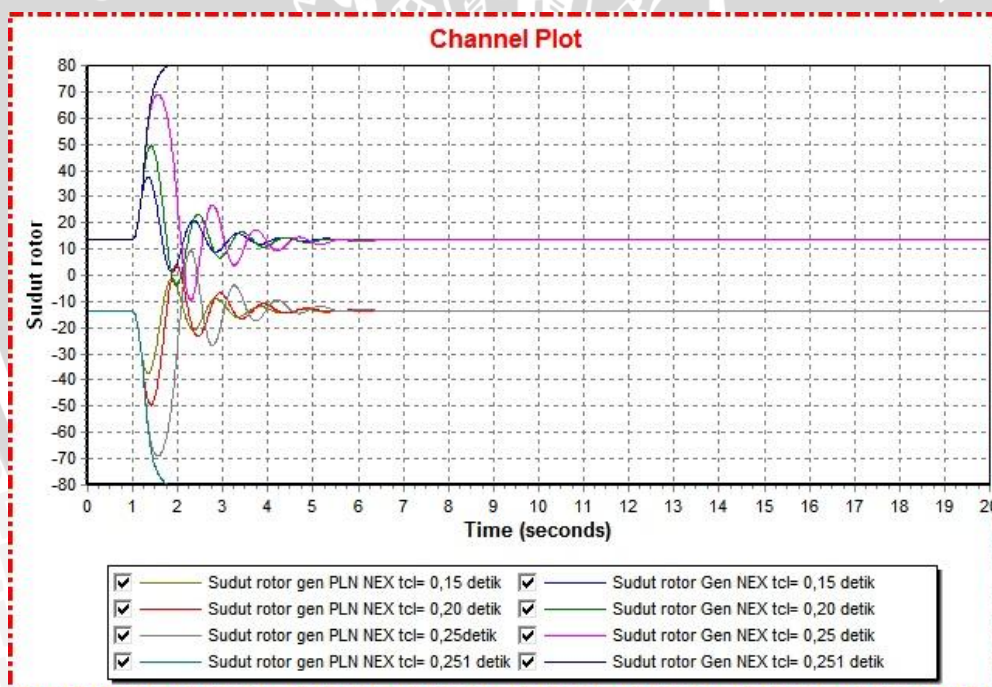
Gambar 4.42 menunjukkan grafik sudut rotor pada generator PT.Ajinomoto Indonesia. Sedangkan gambar 4.43 menunjukkan grafik sudut rotor pada generator PT.Ajinex Internasional. Terlihat pada kedua gambar jika generator yang dilengkapi dengan *TG* dan *AVR* maupun yang dilengkapi dengan *TG* saja membutuhkan waktu yang relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan generator yang tidak menggunakan *TG*. Berdasarkan uraian dari kedua gambar tersebut, dijelaskan bahwa *TG* sangat berpengaruh pada pengaturan generator setelah terjadi gangguan, sedangkan *AVR* tidak berpengaruh terhadap stabilitas sudut rotor generator.

4.8 Waktu Pemutus Kritis

Untuk mengetahui waktu pemutus kritis pada sistem daya di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* sebelum dan setelah interkoneksi, dapat dilakukan dengan cara *trial and error* dengan mengubah – ubah nilai waktu gangguan. Dalam hal ini akan dilakukan simulasi stabilitas dengan durasi 0,15 : 0,2 ; dan waktu gangguan ketika sudut rotor generator mengalami lepas sinkron.



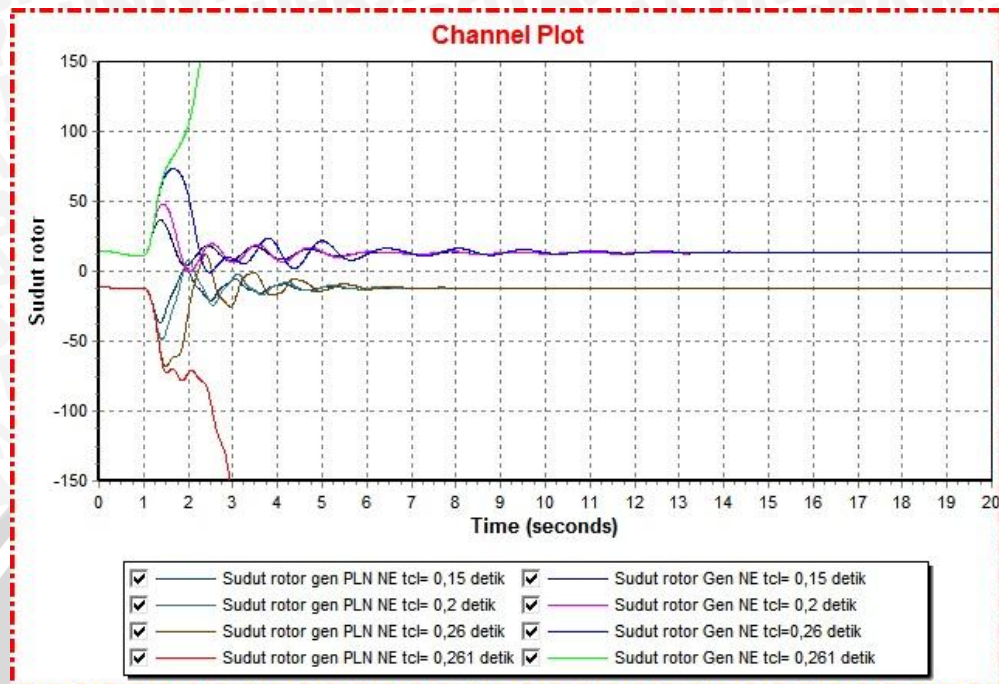
Gambar 4.44 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE sebelum interkoneksi
 Sumber : Hasil simulasi



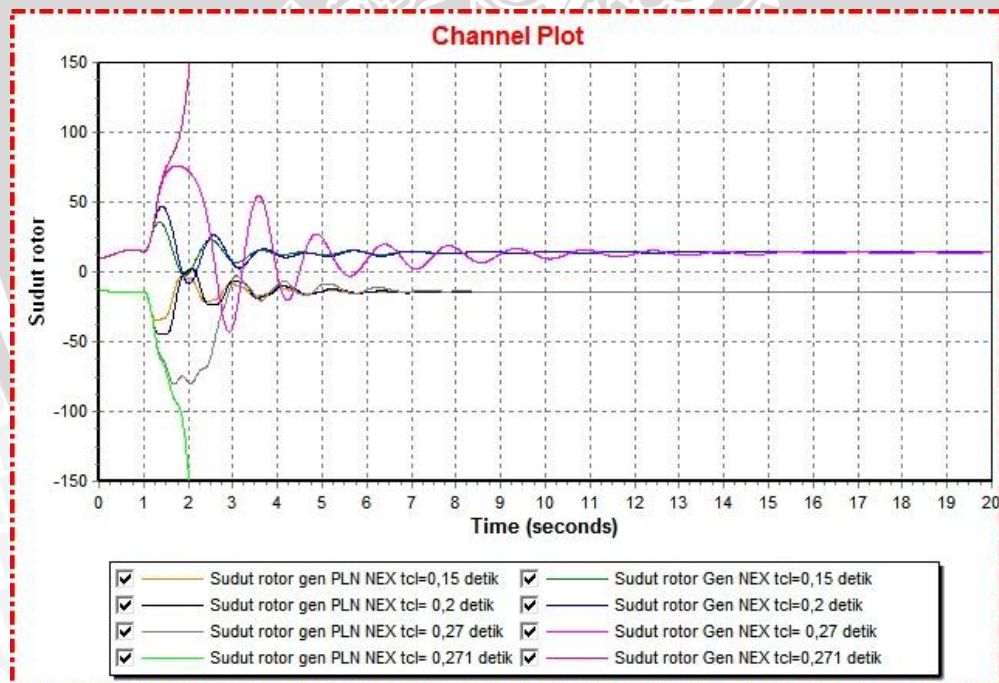
Gambar 4.45 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NEX dan Gen NEX sebelum interkoneksi
 Sumber : Hasil simulasi

Pada gambar 4.33 menunjukkan bahwa generator PT.Ajinomoto akan mengalami lepas sinkron pada gangguan yang berlangsung selama 0,243 detik. Sedangkan generator PT.Ajinex Internasional sesuai gambar 4.45 mengalami lepas sinkron pada gangguan yang berlangsung selama 0,251 detik sesuai dengan gambar 4.45.

Kemudian akan disimulasikan waktu pemutus kritis pada saat sistem telah diinterkoneksi. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 4.46 dan gambar 4.47.



Gambar 4.46 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NE dan Gen NE setelah interkoneksi
Sumber : Hasil simulasi



Gambar 4.47 Grafik sudut rotor = $f(t)$ pada gen PLN NEX dan Gen NEX setelah interkoneksi
Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi pemutus kritis pada PT.Ajinomoto Indonesia setelah interkoneksi sesuai dengan gambar 4.46, terlihat jika generator PT.Ajinomoto akan mengalami lepas sinkron pada gangguan selama 0,261 detik dan generator PT.Ajinex

Internasional mengalami lepas sinkron saat terjadi gangguan selama 0,271 detik sesuai dengan gambar 4.47.

Berdasarkan data grafik diatas, terlihat jika sudut pemutus kritis pada sistem yang telah diinterkoneksi memiliki waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan waktu pemutus kritis pada sistem yang belum diinterkoneksi.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan permasalahan yang dibahas serta mengacu pada hasil simulasi dan analisis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Pada saat kondisi sebelum interkoneksi, baik sistem daya di PT.Ajinomoto Indonesia maupun sistem daya di PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* menunjukkan sistem masih dalam kondisi stabil dengan berbagai skenario letak gangguan. Hal tersebut terlihat dari kondisi tegangan dan sudut rotor yang dapat kembali ke operasi normalnya setelah sistem mengalami gangguan.
2. Pada saat sistem dalam kondisi interkoneksi, *drop* tegangan pada saat terjadi gangguan lebih kecil jika dibandingkan dengan *drop* tegangan pada saat sistem masih dalam kondisi belum diinterkoneksi. Sistem setelah interkoneksi menunjukkan kondisi tegangan dan sudut rotor dapat kembali ke operasi normalnya setelah mengalami gangguan.
3. Generator yang dilengkapi dengan *turbine governor* dapat kembali ke kondisi sinkron lebih cepat jika dibandingkan dengan generator yang tidak dilengkapi dengan *turbine governor*.
4. Waktu pemutus kritis generator pada sistem yang telah diinterkoneksi lebih lama jika dibandingkan dengan waktu pemutus kritis pada sistem sebelum diinterkoneksi. Pada saat kondisi sebelum interkoneksi, generator pada PT.Ajinomoto Indonesia akan mengalami lepas sinkron pada gangguan yang terjadi selama 0,243 detik sedangkan generator PT.Ajinex Internasional mengalami lepas sinkron pada gangguan yang berlangsung selama 0,251 detik. Sedangkan pada kondisi interkoneksi, generator akan lepas sinkron pada gangguan selama 0,261 detik.

5.2 Saran

Dengan diketahuinya analisis stabilitas sistem daya di PT.Ajinomoto Indonesia dan PT.Ajinex Internasional *Mojokerto Factory* pada saat sebelum dan setelah interkoneksi, maka perlu dilakukan kajian lebih mendalam mengenai penerapan interkoneksi sistem daya oleh perusahaan. Perlu dilakukan kajian terhadap sistem proteksi apabila dilakukan interkoneksi pada sistem daya tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Arrillaga, J. & Arnold, C.P. 1990. *Computer Analysis of Power Systems*. Chichester : John Wiley & Sons Ltd.
- Cekdin, Cekmas. 2010. *Sistem Tenaga Listrik-Contoh Soal dan Penyelesaian Menggunakan Matlab*. Yogyakarta : Andi.
- Grainger, John J. & Stevenson, William D. 1994. *Power System Analysis*. Singapore : McGraw-Hill.
- Grigsby, Leonard L. 2007. *Power System Stability and Control*. New York : Taylor & Francis Group, LLC.
- IEEE-CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions (Kundur, P., Paserba, J., Ajarapu, V., Andersson, G., Bose, A., Canizares, C., Hatziargyriou, N., Hill, D., Stankovic, A., Taylor, C., Van Cutsem, T., and Vittal, V.). 2004. *Definition and Classification of Power System Stability*. IEEE Transactions on Power Systems.
- IEEE Std 446.1995. Nichols, Neil dkk. *IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications*. New York : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Kundur, P. 1994. *Power System Stability and Control*. New York : McGraw-Hill.
- Natarajan, Ramasamy. 2002. *Computer-Aided Power System Analysis*. New York : Marcel Dekker, Inc.
- Robert, H. Milner & James, H. Malinowski. 1994. *Power System Operation*. New York : McGraw-Hill.
- Rotbi, Risqi. 2011. *Analisis Stabilitas Interkoneksi Sistem Daya Terminal Santan Chevron Kalimantan Operation*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.
- Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. New York : McGraw-Hill.
- Sheldrake, Alan. L. 2003. *Handbook of Electrical Engineering (For Practitioners in the Oil, Gas, and Petrochemical Industry)*. Chichester : John Wiley & Sons Ltd.

LAMPIRAN

Lampiran 1

1. Data generator di PT. Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory*

<i>S</i>	8500	kVA
<i>V</i>	3450	V
<i>I</i>	1423	A
<i>n</i>	1500	Rpm
<i>F</i>	50	Hz
<i>p.f</i>	0,8	Lagging
<i>Phase</i>	3	
<i>Poles</i>	4	

Sumber : PT. Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory*

2. Data transformator di PT. Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory*

Ratings	Trafo PT. Ajinomoto Indonesia	
primary voltage	72	kV
secondary voltage	3,45	kV
Rated Freq.	50	Hz
Number of phase	3	
Capacity	18000	kVA
Standart	IEC – 76	
Impedance	9,16	%
Cooling method	ONAN ONAF in Future	
Connection	Primary winding – Delta Secondary winding - Wye with neutral	

Sumber : PT. Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory*

Lampiran 2

1. Data generator di PT. Ajinex Internasional

<i>S</i>	7500	kVA
<i>V</i>	3450	V
<i>I</i>	1256	A
<i>n</i>	1500	Rpm
<i>F</i>	50	Hz
<i>p.f</i>	0,8	Lagging
<i>Phase</i>	3	
<i>Poles</i>	4	

Sumber : PT. Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory*

2. Data transformator di PT. Ajinex Internasional

Ratings	Trafo PT. Ajinomoto Indonesia	
primary voltage	72	kV
secondary voltage	3,45	kV
Rated Freq.	50	Hz
Number of phase	3	
Capacity	12000	kVA
Standart	IEC – 76	
Impedance	8,6	%
Cooling method	ONAN ONAF in Future	
Connection	Primary winding – Delta Secondary winding - Wye with neutral	

Sumber : PT. Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory*

Lampiran 3 Data panjang saluran PT. Ajinomoto dan PT. Ajinex

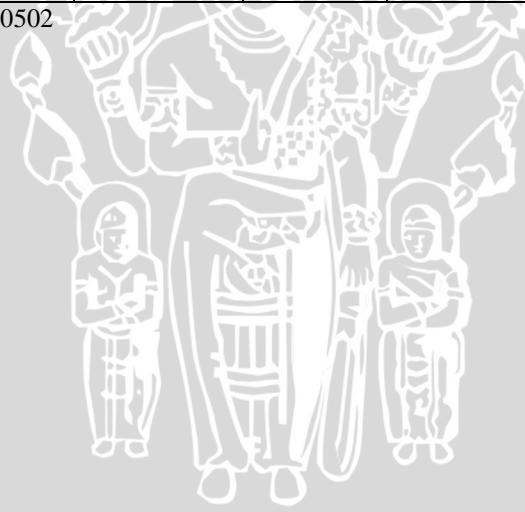
PT. Ajinomoto		PT. Ajinex	
BUS	Panjang (m)	BUS	Panjang (m)
PLN – Gen NE	775	PLN – Gen NEX	765
PLN – 1F NE	600	PLN – 1F NEX	750
1F NE– Load 1	200	1F NEX– Load 1	700
1F NE– Load 2	350	1F NEX– Load 2	500
1F NE– Load 3	250	1F NEX– Load 3	550
PLN – 2F NE	600	PLN – 3F NEX	700
2F NE– Load 1	400	PLN – 5F NEX	1050
2F NE– Load 2	335	5F NEX– Load 1	920
2F NE– Load 3	280	5F NEX– Load 2	700
2F NE– Load 4	250	Gen NEX – 2F NEX	50
2F NE– Load 5	280	2F NEX– Load 1	100
PLN – 3F NE	600	2F NEX– Load 2	50
3F NE– Load 1	450	Gen NEX – 4F NEX	700
3F NE– Load 2	300	4F NEX– Load 1	600
3F NE– Load 3	435	4F NEX– Load 2	550
3F NE– Load 4	210	4F NEX– Load 3	450
PLN – 5F NE	200	4F NEX– Load 4	630
Gen NE – 4F NE	600	4F NEX– Load 5	500
Gen NE – 6F NE	20	Gen NEX – 6F NEX	100
Gen NE – 7F NE	205	6F NEX– Load 1	90
7F NE– Load 1	200	6F NEX– Load 2	120
7F NE– Load 2	190	Gen NEX – 8F	20
7F NE– Load 3	200		
Gen NE – 8F NE	200		

Sumber : PT. Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory*

Lampiran 4 Karakteristik kabel

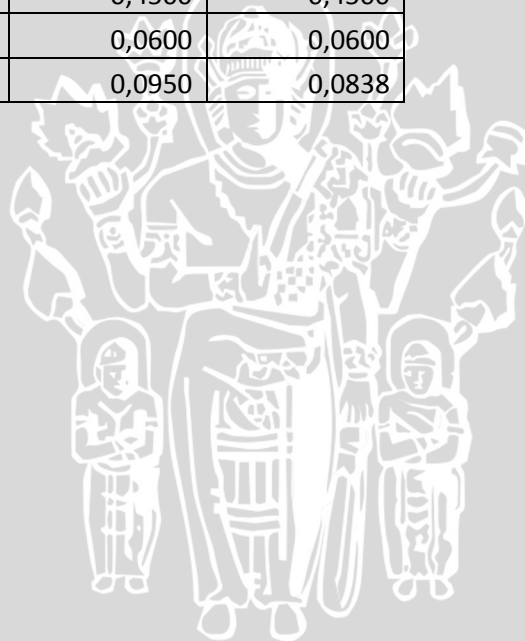
Luas Penampang (mm ²)		Resistansi Konduktor (ohm/km)		Induktansi (mH/km)		Arus Maksimum (A)	
Single core	Three core	Single core	Three core	Single core	Three core	Single core	Three core
25	25	0,727	0,727	0,43	0,346	191	135
35	35	0,524	0,524	0,408	0,331	231	175
50	50	0,268	0,387	0,39	0,319	277	208
70	70	0,193	0,268	0,367	0,303	345	259
95	95	0,153	0,193	0,349	0,291	418	316
120	120	0,193	0,153	0,337	0,283	481	363
150	150	0,124	0,124	0,331	0,277	537	414
185	185	0,0991	0,0991	0,318	0,269	612	474
240	240	0,0754	0,0754	0,306	0,26	716	558
300	300	0,0601	0,0601	0,296	0,254	811	634
400	400	0,047	0,047	0,288	0,248	901	766
500	-	0,0366	-	0,28	-	1006	-
630	-	0,0283	-	0,28	-	1088	-
800	-	0,0221	-	0,272	-	1210	-

Sumber : IEC 502-2 dan IEC 60502



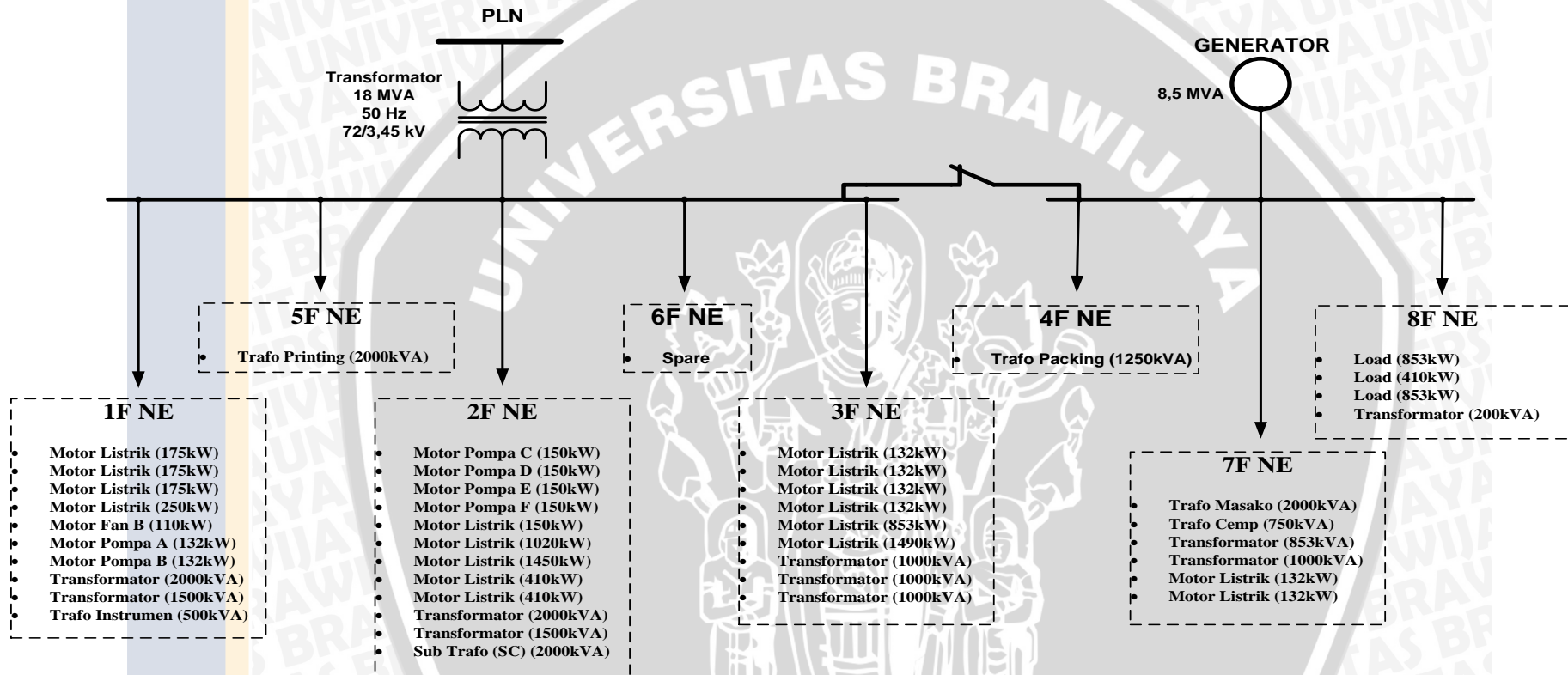
Lampiran 5. Data dinamik generator

TYPICAL	GEN NE	GEN NEX
MVA	8,5	7,5
KV	3,4500	3,45
H	6,0000	6,0000
D	0,0000	0,0000
Xd	1,9000	1,6765
Xq	1,8000	1,5882
Xd'	0,2800	0,2471
Xq'	0,4100	0,3618
Xd''	0,1150	0,1015
Xq''	0,1150	0,1015
Tdo'	4,8000	4,8000
Tdo''	0,0350	0,0350
Tqo'	0,4500	0,4500
Tqo''	0,0600	0,0600
Xl	0,0950	0,0838



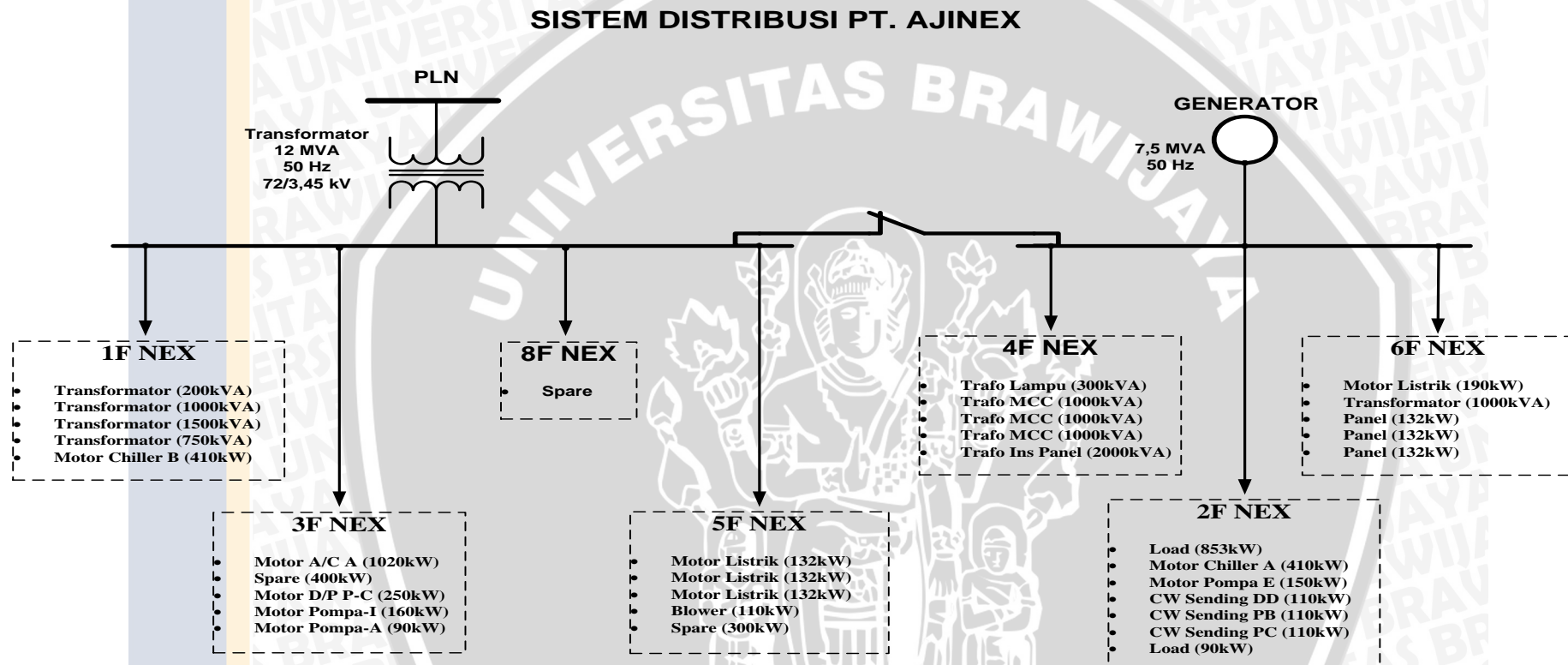
Lampiran 6 Diagram segaris PT Ajinomoto Indonesia

SISTEM DISTRIBUSI PT. AJINOMOTO



Sumber : PT. Ajinomoto Indonesia, Mojokerto Factory

Lampiran 7 Diagram segaris PT Ajinex Internasional



Sumber : PT. Ajinomoto Indonesia, Mojokerto Factory

Lampiran 8 Perhitungan impedansi saluran PT.Ajinomoto Indonesia *Mojokerto Factory*

Dari	Ke	Panjang (m)	A (mm ²)	R (ohm/Km)	L (mH/Km)	R (ohm)	L (mH)	XL (ohm)	R (pu)	X(pu)
PLN	PLTGU	775	500	0,0366	0,28	0,028365	0,217	0,068138	0,042896	0,103044
PLN	1F NE	600	400	0,047	0,248	0,0282	0,1488	0,0467232	0,021323	0,035329
PLN	2F NE	600	400	0,047	0,248	0,0282	0,1488	0,0467232	0,021323	0,035329
PLN	3F NE	600	400	0,047	0,248	0,0282	0,1488	0,0467232	0,021323	0,035329
PLN	5F NE	200	400	0,047	0,248	0,0094	0,0496	0,0155744	0,007108	0,011776
PLTGU	4F NE	600	240	0,0754	0,26	0,04524	0,156	0,048984	0,034208	0,037039
PLTGU	6F NE	20	240	0,0754	0,26	0,001508	0,0052	0,0016328	0,001140	0,001235
PLTGU	7F NE	205	240	0,0754	0,26	0,015457	0,0533	0,0167362	0,011688	0,012655
PLTGU	8F NE	200	240	0,0754	0,26	0,01508	0,052	0,016328	0,011403	0,012346
1F NE	Load 1	200	240	0,0754	0,26	0,01508	0,052	0,016328	0,011403	0,012346
	Load 2	350	240	0,0754	0,26	0,02639	0,091	0,028574	0,019955	0,021606
	Load 3	250	240	0,0754	0,26	0,01885	0,065	0,02041	0,014253	0,015433
2F NE	Load 1	400	240	0,0754	0,26	0,03016	0,104	0,032656	0,022805	0,024693
	Load 2	335	240	0,0754	0,26	0,025259	0,0871	0,0273494	0,019099	0,020680
	Load 3	280	240	0,0754	0,26	0,021112	0,0728	0,0228592	0,015964	0,017285
	Load 4	250	240	0,0754	0,26	0,01885	0,065	0,02041	0,014253	0,015433
	Load 5	280	240	0,0754	0,26	0,021112	0,0728	0,0228592	0,015964	0,017285
3F NE	Load 1	450	240	0,0754	0,26	0,03393	0,117	0,036738	0,025656	0,027779
	Load 2	300	240	0,0754	0,26	0,02262	0,078	0,024492	0,017104	0,018519
	Load 3	435	240	0,0754	0,26	0,032799	0,1131	0,0355134	0,024801	0,026853
	Load 4	210	240	0,0754	0,26	0,015834	0,0546	0,0171444	0,011973	0,012964
7F NE	Load 1	200	240	0,0754	0,26	0,01508	0,052	0,016328	0,011403	0,012346
	Load 2	190	240	0,0754	0,26	0,014326	0,0494	0,0155116	0,010833	0,011729
	Load 3	200	240	0,0754	0,26	0,01508	0,052	0,016328	0,011403	0,012346

Lampiran 9 Perhitungan impedansi saluran PT.Ajinex Internasional

Dari	Ke	Panjang (m)	A (mm ²)	R (ohm/Km)	L (mH/Km)	R (ohm)	L (mH)	XL (ohm)	R (pu)	X(pu)
PLN	PLTGU	765	500	0,0366	0,28	0,027999	0,2142	0,0672588	0,042343	0,101715
PLN	1F NEX	750	240	0,0754	0,26	0,05655	0,195	0,06123	0,042760	0,046299
PLN	3F NEX	700	240	0,0754	0,26	0,05278	0,182	0,057148	0,039909	0,043212
PLN	5F NEX	1050	240	0,0754	0,26	0,07917	0,273	0,085722	0,059864	0,064818
PLTGU	2F NEX	50	240	0,0754	0,26	0,00377	0,013	0,004082	0,002851	0,003087
PLTGU	4F NEX	700	240	0,0754	0,26	0,05278	0,182	0,057148	0,039909	0,043212
PLTGU	6F NEX	100	240	0,0754	0,26	0,00754	0,026	0,008164	0,005701	0,006173
PLTGU	8F NEX	20	240	0,0754	0,26	0,001508	0,0052	0,0016328	0,001140	0,001235
1F NEX	Load 1	700	240	0,0754	0,26	0,05278	0,182	0,057148	0,079819	0,086424
	Load 2	500	240	0,0754	0,26	0,0377	0,13	0,04082	0,057013	0,061732
	Load 3	550	240	0,0754	0,26	0,04147	0,143	0,044902	0,062715	0,067905
5F NEX	Load 1	920	240	0,0754	0,26	0,069368	0,2392	0,0751088	0,104904	0,113586
	Load 2	700	240	0,0754	0,26	0,05278	0,182	0,057148	0,079819	0,086424
2F NEX	Load 1	100	240	0,0754	0,26	0,00754	0,026	0,008164	0,011403	0,012346
	Load 2	50	240	0,0754	0,26	0,00377	0,013	0,004082	0,005701	0,006173
4F NEX	Load 1	600	240	0,0754	0,26	0,04524	0,156	0,048984	0,068416	0,074078
	Load 2	550	240	0,0754	0,26	0,04147	0,143	0,044902	0,062715	0,067905
	Load 3	450	240	0,0754	0,26	0,03393	0,117	0,036738	0,051312	0,055558
	Load 4	630	240	0,0754	0,26	0,047502	0,1638	0,0514332	0,071837	0,077782
	Load 5	500	240	0,0754	0,26	0,0377	0,13	0,04082	0,057013	0,061732
6F NEX	Load 1	90	240	0,0754	0,26	0,006786	0,0234	0,0073476	0,010262	0,011112
	Load 2	120	240	0,0754	0,26	0,009048	0,0312	0,0097968	0,013683	0,014816

Lampiran 10

1. Listing program untuk impedansi rel dalam perhitungan gangguan

```

disp('*****')
disp('          Matriks impedansi rel sistem          ')
disp('*****')
format short g
%Data impedansi
%Data pada bus pln
zg1=0.001+j*0.0014;
zt=0.004918+j*0.091468;
zg=zg1+zt;

%Data pada bus gen
zg2=0.001+j*0.115;

%Data impedansi saluran PLN-PLTGU
zs=0.042896+j*0.103044;

%Data pada bus 1F NE
z1=0.021323+j*0.035329;
z111=0.011403+j*0.012346;
z112=0.019955+j*0.021606;
z113=0.014253+j*0.015433;

%Data pada bus 2F NE
z2=0.021323+j*0.035329;
z211=0.022805+j*0.024693;
z212=0.019099+j*0.020680;
z213=0.015964+j*0.017285;
z214=0.014253+j*0.015433;
z215=0.015964+j*0.017285;

%Data pada bus 3F NE
z3=0.021323+j*0.035329;
z311=0.025656+j*0.027779;
z312=0.017104+j*0.018519;
z313=0.024801+j*0.026853;
z314=0.011973+j*0.012964;

%Data pada bus 5F NE
z5=0.007108+j*0.011776;

%Data pada bus 4F NE
z4=0.034208+j*0.037039;

%Data pada bus 6F NE
z6=0.001140+j*0.001235;

%Data pada bus 7F NE
z7=0.011688+j*0.012655;
z711=0.011403+j*0.012346;
z712=0.010833+j*0.011729;
z713=0.011403+j*0.012346;

%Data pada bus 8F NE
z8=0.011403+j*0.012346;

%Admitansi bersama =
y12=-1/zs;
y13=-1/z1;

```

$y_{14} = -1/z_6;$
 $y_{15} = -1/z_2;$
 $y_{16} = -1/z_3;$
 $y_{17} = -1/z_5;$
 $y_{21} = y_{12};$
 $y_{28} = -1/z_4;$
 $y_{29} = -1/z_7;$
 $y_{210} = -1/z_8;$
 $y_{31} = y_{13};$
 $y_{311} = -1/z_{111};$
 $y_{312} = -1/z_{112};$
 $y_{313} = -1/z_{113};$
 $y_{41} = y_{14};$
 $y_{51} = y_{15};$
 $y_{514} = -1/z_{211};$
 $y_{515} = -1/z_{212};$
 $y_{516} = -1/z_{213};$
 $y_{517} = -1/z_{214};$
 $y_{518} = -1/z_{215};$
 $y_{61} = y_{16};$
 $y_{619} = -1/z_{311};$
 $y_{620} = -1/z_{312};$
 $y_{621} = -1/z_{313};$
 $y_{622} = -1/z_{314};$
 $y_{71} = y_{17};$
 $y_{82} = y_{28};$
 $y_{92} = y_{29};$
 $y_{923} = -1/z_{711};$
 $y_{924} = -1/z_{712};$
 $y_{925} = -1/z_{713};$
 $y_{102} = y_{210};$
 $y_{113} = y_{311};$
 $y_{123} = y_{312};$
 $y_{133} = y_{313};$
 $y_{145} = y_{514};$
 $y_{155} = y_{515};$
 $y_{165} = y_{516};$
 $y_{175} = y_{517};$
 $y_{185} = y_{518};$
 $y_{196} = y_{619};$
 $y_{206} = y_{620};$
 $y_{216} = y_{621};$
 $y_{226} = y_{622};$
 $y_{239} = y_{923};$
 $y_{249} = y_{924};$
 $y_{259} = y_{925};$

%Admitansi sendiri

$y_{11} = 1/z_{g1} + 1/z_{s1} + 1/z_{11} + 1/z_{61} + 1/z_{21} + 1/z_{31} + 1/z_5;$
 $y_{22} = 1/z_{g2} + 1/z_{s1} + 1/z_{41} + 1/z_{71} + 1/z_8;$
 $y_{33} = 1/z_{11} + 1/z_{111} + 1/z_{112} + 1/z_{113};$
 $y_{44} = 1/z_6;$
 $y_{55} = 1/z_{21} + 1/z_{211} + 1/z_{212} + 1/z_{213} + 1/z_{214} + 1/z_{215};$
 $y_{66} = 1/z_{31} + 1/z_{311} + 1/z_{312} + 1/z_{313} + 1/z_{314};$
 $y_{77} = 1/z_5;$
 $y_{88} = 1/z_4;$
 $y_{99} = 1/z_{71} + 1/z_{711} + 1/z_{712} + 1/z_{713};$
 $y_{1010} = 1/z_8;$
 $y_{1111} = 1/z_{111};$
 $y_{1212} = 1/z_{112};$
 $y_{1313} = 1/z_{113};$




```
y1414=1/z211;
y1515=1/z212;
y1616=1/z213;
y1717=1/z214;
y1818=1/z215;
y1919=1/z311;
y2020=1/z312;
y2121=1/z313;
y2222=1/z314;
y2323=1/z711;
y2424=1/z712;
y2525=1/z713;
```

%Nilai admitansi yang tidak terdapat dalam perhitungan di atas menunjukkan jika nilai admitansi tersebut bernilai nol.

%Matriks admitansi bus (Ybus)

```
ybus=[y11 y12 y13 y14 y15 y16 y17 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
y21 y22 0 0 0 0 0 y28 y29 y210 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
y31 0 y33 0 0 0 0 0 0 y311 y312 y313 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
y41 0 0 y44 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
y51 0 0 0 y55 0 0 0 0 0 0 0 0 y514 y515 y516 y517 y518 0 0 0 0 0 0 0
y61 0 0 0 0 y66 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y619 y620 y621 y622 0 0 0
y71 0 0 0 0 0 y77 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 y82 0 0 0 0 0 y88 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 y92 0 0 0 0 0 0 y99 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y923 y924 y925
0 y102 0 0 0 0 0 0 0 y1010 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 y113 0 0 0 0 0 0 0 y1111 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 y123 0 0 0 0 0 0 0 0 y1212 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 y133 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y1313 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 y145 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y1414 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 y155 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y1515 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 y165 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y1616 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 y175 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y1717 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 y185 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y1818 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 y196 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y1919 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 y206 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y2020 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 y216 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y2121 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 y226 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y2222 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 y239 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y2323 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 y249 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y2424 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 y259 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 y2525];
```

```
zrel=ybus^-1
```

2. Hasil perhitungan impedansi rel dalam perhitungan gangguan

Matriks impedansi rel sistem

```
zrel =
```

Columns 1 through 3

```
0.0067866 + 0.065381i    -0.0029374 + 0.03386i    0.0067866 + 0.065381i
-0.0029374 + 0.03386i    0.0069228 + 0.073416i    -0.0029374 + 0.03386i
```



$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0069228 + 0.073416i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0069228 + 0.073416i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0069228 + 0.073416i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0069228 + 0.073416i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0069228 + 0.073416i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0069228 + 0.073416i$	$-0.0029374 + 0.03386i$

Columns 4 through 6

$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0079266 + 0.066616i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$



$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0069228 + 0.073416i$	$0.018611 + 0.086071i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0069228 + 0.073416i$	$0.018611 + 0.086071i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0069228 + 0.073416i$	$0.018611 + 0.086071i$

Columns 10 through 12

$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0069228 + 0.073416i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0069228 + 0.073416i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0069228 + 0.073416i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.018326 + 0.085762i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.039513 + 0.11306i$	$0.02811 + 0.10071i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.048065 + 0.12232i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0069228 + 0.073416i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0069228 + 0.073416i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0069228 + 0.073416i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$



Columns 13 through 15

$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.02811 + 0.10071i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.02811 + 0.10071i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.02811 + 0.10071i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.042363 + 0.11614i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.050915 + 0.1254i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.047209 + 0.12139i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$

Columns 16 through 18

$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$



$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$	$0.0067866 + 0.065381i$
$0.053766 + 0.12849i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.02811 + 0.10071i$	$0.045214 + 0.11923i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$
$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.052911 + 0.12756i$
$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$	$0.02811 + 0.10071i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$

Columns 22 through 24

$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0069228 + 0.073416i$	$0.0069228 + 0.073416i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.02811 + 0.10071i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0069228 + 0.073416i$	$0.0069228 + 0.073416i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.018611 + 0.086071i$	$0.018611 + 0.086071i$
$-0.0029374 + 0.03386i$	$0.0069228 + 0.073416i$	$0.0069228 + 0.073416i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.0067866 + 0.065381i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.02811 + 0.10071i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.02811 + 0.10071i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.02811 + 0.10071i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$
$0.040083 + 0.11367i$	$-0.0029374 + 0.03386i$	$-0.0029374 + 0.03386i$



-0.0029374 + 0.03386i 0.030014 + 0.098417i 0.018611 + 0.086071i
 -0.0029374 + 0.03386i 0.018611 + 0.086071i 0.029444 + 0.0978i
 -0.0029374 + 0.03386i 0.018611 + 0.086071i 0.018611 + 0.086071i

Column 25

-0.0029374 + 0.03386i
 0.0069228 + 0.073416i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 0.0069228 + 0.073416i
 0.018611 + 0.086071i
 0.0069228 + 0.073416i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 -0.0029374 + 0.03386i
 0.018611 + 0.086071i
 0.018611 + 0.086071i
 0.030014 + 0.098417

