ANALISA KESTABILAN PERALIHAN SISTEM TENAGA LISTRIK MULTIMESIN DENGAN METODE RUNGE-KUTTA ORDE 5

SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

AHMAD KHAIRUL RIZAL

(03041281520087)

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2019

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KESTABILAN PERALIHAN SISTEM TENAGA LISTRIK MULTIMESIN DENGAN METODE RUNGE-KUTTA ORDE 5

SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh :
Ahmad Khairul Rizal
(03041281520087)

Palembang, Juli 2019

Mengetahui,	**Menyetujui,**
Ketua Jurusan Teknik Elektro	**Pembimbing Utama**
Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.	**Dr. Herlina, S.T., M.T.**
NIP.197108141999031005	**NIP.198007072006042004**

Saya sebagai Pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan : _____

Pembimbing Utama : Dr. Herlina, S.T., M.T.

Tanggal : 24 / 07 / 2019

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Khairul Rizal
NIM : 03041281520087
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

ANALISA KESTABILAN PERALIHAN SISTEM TENAGA LISTRIK MULTIMESIN DENGAN METODE RUNGE-KUTTA ORDE 5

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Indralaya
Pada tanggal: 24 Juli 2019

Ahmad Khairul Rizal

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Ahmad Khairul Rizal
NIM	: 03041281520087
Fakultas	: Teknik
Jurusan/Prodi	: Teknik Elektro
Universitas	: Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin*: 14%

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul "**Analisa Kestabilan Peralihan Sistem Tenaga Listrik Multimesin Dengan Metode Runge-Kutta Orde 5**" merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

METERAI TEMPEL
TGL 20
33F3EAFF885841117
6000
ENAM RIBU RUPIAH

ıdralaya, 24 Juli 2019

Ahmad Khairul Rizal
NIM. 03041281520087

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT serta salam dan shalawat agar tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga dan para sahabat. Berkat rahmat dan ridho Allah SWT, penulis dapat membuat usulan proposal skripsi ini yang berjudul "**Analisa Kestabilan Peralihan Sistem Tenaga Listrik Multimesin Dengan Metode Runge-Kutta Orde 5**".

Pembuatan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua (Bapak Suparno dan Ibu Suatiami), saudara (Adik Rahman dan Mbak Riska), serta segenap keluarga yang telah memberikan dukungan sepenuhnya selama pembuatan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE selaku Rektor Universitas Sriwijaya beserta staff.
3. Bapak Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S, Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya beserta staff.
4. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
5. Ibu Dr. Herlina, S.T., M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir sekaligus selaku Sekretaris Ketua Jurusan Teknik Elektro yang selalu memberikan arahan, bimbingan, dan bantuan dalam pembuatan tugas akhir ini.
6. Ibu Caroline, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik
7. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
8. Rekan-rekan seperjuangan serta sahabat penulis Alfi, Arif, Balqis, Nopek, Shihin, Agrian, Ridho Murisama, Rizki Dinanda, Yogik, Kak Maha, Kak Ghina dan lain-lain yang terus menemani, mewarnai dan men-*support* penulis selama ini.

9. Team bimbingan tugas akhir, Ruly Chandra dan Tengku Khairunnisa.
10. Teman-teman angkatan 2015 yang tidak dapat dituliskan satu persatu yang turut selalu memberikan dukungan dan melukiskan cerita indah masa perkuliahan.
11. Dan pihak-pihak lain yang sangat membantu dalam penulisan skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat untuk kita semua.

Palembang, Juli 2019

Penulis

ABSTRAK

ANALISA KESTABILAN PERALIHAN SISTEM TENAGA LISTRIK MULTIMESIN DENGAN METODE RUNGE-KUTTA ORDE 5

(Ahmad Khairul Rizal 03041281520087. 2019)

Sistem tenaga listrik yang umumnya multimesin harus mampu mempertahankan kondisi optimalnya termasuk ketika kondisi terjadi gangguan sehingga dapat mempertahankan stabilitas kerjanya. Sebagai langkah protektif dipasanglah perangkat berupa *circuit breaker* dan peralatan lain. Namun tanpa analisa yang tepat pemasangan perangkat pengaman tersebut belum dapat menjamin kestabilan sistem khususnya kondisi gangguan transien atau peralihan. Circuit breaker tersebut harus diputuskan pada waktu sepersekian detik tidak boleh melebihi dari waktu pemutusan kritis yang diijinkan agar dapat mempertahankan stabilitas dari sistem. Runge Kutta Orde 5 dipilih sebagai metode untuk menyelesaikan permasalahan tersebut yang mana model matematikanya merupakan persamaan non-linear. Dari simulasi yang telah dilakukan didapatkan bahwa pada kondisi pertama sistem harus diputuskan dari gangguan tidak lebih daripada detik ke 0.20, dan pada kondisi kedua sistem harus diputuskan dari gangguan tidak lebih daripada detik ke 0.38 yang keduanya merupakan waktu pemutusan kritis sistem. Perbedaan waktu pemutusan tersebut disebabkan karena lokasi titik gangguan dan besar momen inersia tiap mesin generator. Hasil grafik kurva yang ditampilkan juga menunjukkan bahwa sistem masih stabil ketika grafik masih berayun atau tidak terjadi *loss of steps*.

Kata Kunci: Multimesin, Kestabilan Transien, Runge Kutta Orde 5, Waktu Pemutusan Kritis,

Palembang, Juli 2019

Mengetahui,	**Menyetujui,**
Ketua Jurusan Teknik Elektro	**Pembimbing Utama**
Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.	**Dr. Herlina, S.T., M.T.**
NIP.197108141999031005	**NIP.198007072006042004**

ABSTRACT

ANALISA KESTABILAN PERALIHAN SISTEM TENAGA LISTRIK MULTIMESIN DENGAN METODE RUNGE-KUTTA ORDE 5

(Ahmad Khairul Rizal 03041281520087. 2019)

Electrical power system mostly come on a multi machine system have to maintain its optimum condition even when a fault occurred, so that the system could hold its operating stability. To prevent the system failure, we could protect the system by installing some protection devices including circuit breaker. But without any good analytical calculation the installation of those equipment will be useless in order to maintain the transient stability. Circuit breaker should be opened in a millisecond not more than system's critical clearing time. Runge-Kutta 5th Order is chosen as a method to solve this problem in which its mathematical model come in a non-linear equation. From the simulation we got that on the first condition the fault must be cleared from the system not longer than 0.20 seconds and on the second condition the fault must be cleared from the system not longer than 0.38 seconds which both clearing time are the critical clearing time of the system based on the fault. The differences of those clearing time is mainly because of the location of the fault to the generators and the inertia constant of each generator. The graphic of the curve showed that the swinging curves indicates the stability of the system especially transient stability.

Keywords *: Multi machine, Transient Stability, Runge Kutta 5th Order , Critical Clearing Time.*

Palembang, Juli 2019

Mengetahui,	**Menyetujui,**
Ketua Jurusan Teknik Elektro	**Pembimbing Utama**
Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.	**Dr. Herlina, S.T., M.T.**
NIP.197108141999031005	**NIP.198007072006042004**

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN ii
LEMBAR PERSETUJUAN iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI iv
LEMBAR PERNYATAAN INTEGRITAS v
KATA PENGANTAR vi
ABSTRAK viii
ABSTRACT ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR RUMUS xvi

BAB I
PENDAHULUAN
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 3
1.3. Tujuan Penelitian 3
1.4. Manfaat Penulisan 3
1.5. Batasan Masalah 3
1.6. Metode Penelitian 4
1.7. Sistematika Penulisan 5

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA
2.1. Sistem Tenaga Listrik 6
2.2. Representasi Sistem Tenaga Listrik 6

2.2.1. Diagram Satu Kawat (*Singe Line Diagram*) 7
2.2.2. Diagram Impedansi atau Diagram Reaktansi 7
2.3. Stabilitas Transien 9
2.4. Persamaan Ayunan 10
2.5. Pemodelan Mesin Serempak Studi Kestabilan 14
2.6. Reduksi Matriks Jaringan 17
2.7. Metode Runge-Kutta Orde 5 18
2.8. Waktu Pemutusan Kritis (*Critical Clearing Time*) 19
2.9. Faktor-Faktor Stabilitas Transien 20
2.10. Penyelesaian Gangguan Pada Sistem 21
2.11. Efek Pada Komponen Sistem Terdampak 22

BAB III
METODELOGI PENELITIAN
3.1. Umum 23
3.2. Lokasi Pelaksanaan Penelitian 23
3.3. Metode Penelitian 23
3.3.1. Pengumpulan Data 24
3.3.2. Pengolahan Data 24
3.3.3. Analisa Data 24
3.3.4. Kesimpulan Dan Saran 24
3.4. Diagram Alur Penelitian 25

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN
4.1. Umum 27
4.2. Menentukan Kondisi Awal Sistem 29
4.2.1. Menentukan Matriks Admitansi Sebelum Gangguan 30
4.3. Simulasi Gangguan 31
4.3.1. Gangguan Pada Bus 4-5 Dekat Bus 4 32
4.3.2. Gangguan Pada Bus 3-4 Dekat Bus 3 40

BAB V
PENUTUP
5.1. Kesimpulan 48
5.2. Saran 48

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sebuah Generator Dihubungkan Dengan Infinite Bus 14
Gambar 2.2. Rangkaian Ekivalen Satu Mesin Terhubung Ke Infinite Bus 15
Gambar 2.3. Kurva Sudut Daya 16
Gambar 2.4. Grafik Daya Terhadap Sudut Daya 19
Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian 26
Gambar 4.1. Diagram Satu Garis Sistem Multimesin 27
Gambar 4.2. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 1 Dengan Waktu Pemutusan 0.15 Detik 35
Gambar 4.3. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 1 Dengan Waktu Pemutusan 0,20 Detik 36
Gambar 4.4. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 1 Dengan Waktu Pemutusan 0,21 Detik 37
Gambar 4.5. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 1 Dengan Waktu Pemutusan 0,30 Detik 37
Gambar 4.6. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 1 Dengan Waktu Pemutusan 0,38 Detik 37
Gambar 4.7. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 1 Dengan Waktu Pemutusan 0,39 Detik 38
Gambar 4.8. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 1 Dengan Waktu Pemutusan 0,40 Detik 38
Gambar 4.9. Grafik Simulasi Waktu Pemutusan 0,20 detik Dengan Metode RK4 40
Gambar 4.10. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 2 Dengan Waktu Pemutusan 0,15 Detik 43
Gambar 4.11. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 2 Dengan Waktu Pemutusan 0,20 Detik 44

Gambar 4.12. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 2 Dengan Waktu Pemutusan 0,21 Detik 44
Gambar 4.13. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 2 Dengan Waktu Pemutusan 0,30 Detik 44
Gambar 4.14. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 2 Dengan Waktu Pemutusan 0,38 Detik 45
Gambar 4.15. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 2 Dengan Waktu Pemutusan 0,39 Detik 46
Gambar 4.16. Grafik Hasil Simulasi Kondisi 2 Dengan Waktu Pemutusan 0,40 Detik 46

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data Saluran Dan Transformator (dalam pu) 28
Tabel 4.2. Data Saluran Bus Dan Harga-Harga Aliran Daya Sebelum Gangguan . 28
Tabel 4.3. Perbandingan δ Dan ω Pada Perbedaan Waktu Pemutusan Kondisi 1...36
Tabel 4.4. Perbandingan δ Dan ω Pada Perbedaan Waktu Pemutusan Kondisi 1...39
Tabel 4.5. Perbandingan Hasil Simulasi Metode RK4 Dan RK5 39
Tabel 4.6. Perbandingan δ Dan ω Pada Perbedaan Waktu Pemutusan Kondisi 2...45
Tabel 4.7. Perbandingan δ Dan ω Pada Perbedaan Waktu Pemutusan Kondisi 2...46

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik terus menguatkan posisinya sebagai bentuk energi yang dapat dimanfaatkan manusia untuk dapat dikonversikan menjadi energi lain. Posisinya belum dapat tergantikan dengan bentuk energi lain menimbang dari kemudahan dan kemampuannya yang universal untuk dikonversi menjadi energi lain sesuai kebutuhan manusia.

Energi listrik yang kita gunakan dan manfaatkan ini berasal dari pusat-pusat pembangkit seperti PLTA, PLTB, PLTG/U, PLTS, dll. Mayoritas dari pusat pembangkitan tersebut (kecuali PLTS) memanfaatkan mesin yakni generator untuk menghasilkan perpotongan fluksi untuk menciptakan energi listrik. Penggunaan generator sebagai suatu komponen dinamis pada sistem kelistrikan tidak luput dari suatu masalah atau gangguan. Gangguan yang terjadi dapat berupa dalam kondisi sub-transient, transient, maupun *steady state*, yang mana gangguan tersebut dapat menimbulkan kerusakan pada sistem kelistrikan.

Dalam kaitannya terhadap penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit menuju konsumen, terdapat setidaknya tiga parameter yang harus dimiliki suatu sistem tenaga listrik yang baik, yakni: keandalan, kualitas, dan stabilitas. Suatu sistem tenaga listrik harus mampu mempertahankan kondisi optimalnya dan bekerja dalam segala kondisi termasuk setelah terjadinya gangguan atau dengan kata lain sistem tersebut mampu mempertahankan stabilitas kerjanya.

Salah satu gangguan yang difokuskan pada penulisan tugas akhir ini adalah gangguan transient. Gangguan transient adalah suatu gangguan yang terjadi dalam periode yang singkat akibat fluktuasi pembebanan yang besar secara tiba-tiba, baik karena pelepasan atau penambahan beban besar atau karena gangguan hubung singkat. Oleh karenanya analisis kestabilan sistem tenaga listrik menjadi penting untuk menjaga keberlangsungan dan keandalan penyaluran energi listrik ke konsumen, terlebih untuk menciptakan penyaluran yang optimal yang umumnya suatu pembangkit listrik saling terinterkoneksi satu sama lain, sehingga jika terjadi gangguan banyak sistem akan terdampak dari gangguan tersebut terlepas dari besar-kecilnya dampak yang ditimbulkan pada pembangkit tersebut.

Sebagai langkah protektif, untuk mengamankan atau memproteksi gangguan tersebut maka dipasanglah perangkat berupa relay dan *circuit breaker*. Namun pemasangan perangkat tersebut belum menjamin bahwa sistem masih stabil ketika terjadi maupun setelah terjadi gangguan. Harus dilakukan analisa yang tepat sehingga didapatkan pengaturan perangkat yang terbaik agar alat tersebut mampu mempertahankan stabilitas sistem tenaga listrik khususnya stabilitas transient pada generator secara optimal.

Adapun referensi rujukan yang diambil dalam penulian tugas akhir ini antara lain, Analisis Gangguan 3 Fasa Pada Saluran Transmisi Terhadap *Transient Stability* Sistem Multimesin Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde 5, dari Fakultas Teknik, jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, Vina Aprilia, tahun 2016, dan Analisis Perubahan Reaktansi Saluran Terhadap *Transient Stability Of Multimachine* Dengan Metode Runge-Kutta Fehlberg, dari Fakultas Teknik, jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, Petrus Prasetyo, tahun 2016.

Oleh karena itulah penulis berkeinginan untuk mengambil judul pada tugas akhir ini yaitu,”**Analisa Kestabilan Peralihan Sistem Tenaga Listrik Multimesin Dengan Metode Runge-Kutta Orde 5**”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diambil pada penulisan tugas akhir ini adalah, bagaimana menganalisa kestabilan transien sistem kelistrikan menggunakan kurva ayunan sudut rotor terhadap waktu pemutusan yang dipilih. Kemudian berapa lama waktu pemutusan kritis (*Critical Clearing Time*) yang diizinkan untuk menentukan kestabilan sistem tenaga listrik pada pusat pembangkitan yang terganggu.

1.3 Tujuan Penulisan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisis kestabilan transient sistem kelistrikan dengan melihat grafik kurva ayunan sudut rotor yang dihasilkan.
2. Menentukan lamanya waktu pemutusan kritis pada sistem untuk mendapatkan kestabilan pada sistem kelistrikan.

1.4 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat yang diharapkan dari penulisan tugas akhir ini ialah mampu memberikan waktu pemutusan kritis yang diizinkan dari sistem yang terganggu untuk tetap dapat mempertahankan kestabilan sistem sehingga gangguan dapat diminimalisir.

1.5 Pembatasan Masalah

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini beberapa batasan perlu diberikan agar permasalahan yang dibahas menjadi terarah, batasan tersebut antara lain:

1. Gangguan yang terjadi merupakan gangguan listrik terbesar yakni gangguan simetris atau gangguan 3 phasa.
2. Pengaruh komponen *governor* dan AVR diabaikan.
3. Generator sinkron direpresentasikan sebagai suatu reaktansi transien terhubung seri dengan tegangan konstan dibelakang reaktansi transien.
4. Angular momentum konstan.

1.6 Metodologi Penelitian

Pada penulisan tugas akhir ini digunakan beberapa metode penelitian, diantaranya:

1. Studi Literatur

   Mengumpulkan bahan-bahan literatur yang berkaitan dengan analisa stabilitas transien pada sistem *multi-machine* suatu pusat pembangkitan.
2. Metode Pengumpulan Data

   Metode ini bertujuan untuk mengumpulkan data yang konkrit dan valid sistem pembangkitan pada suatu pusat pembangkit.
3. Simulasi dan Pemodelan

   Melakukan studi transien pada sistem *multi-machine* suatu pusat pembangkit, dengan mengasumsikan gangguan yang terjadi adalah gangguan terbesar yaitu gangguan 3 phasa ke tanah. Kemudian dibuatlah permodelan sistemnya dan disimulasikan untuk mendapatkan nilai CCT (*Critical Clearing Time*) sistem tersebut.
4. Bimbingan atau konseling

   Konsultasi dan diskusi mengenai tugas akhir dengan dosen, sesama rekan mahasiswa dan pihak di Gardu Induk tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pemahaman terhadap tugas akhir ini, maka penulis menyusun sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi mengenai dasar teori yang nantinya akan menjadi landasan untuk perhitungan dan pembahasan masalah dalam tugas akhir ini.

BAB III METODELOGI PENELTIAN

Bab ini membahas mengenai cara atau metode yang dipakai untuk menganalisa stabilitas transien dan juga membahas lokasi pusat pembangkit yang dipilih.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil dari simulasi yang dilakukan dengan menggunakan program Matlab dan analisa yang dilakukan terhadap hasil simulasi tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

[1] Hamdadi, Antonius. 2005. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Diktat Kuliah Analisa Sistem Tenaga: Indralaya.

[2] Hafidz, Isa. 2014. *Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di Project Pakistan Deep Water Container Port*. Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.

[3] Cekdin, Cekmas. 2007. *Sistem Tenaga Listrik, Contoh Soal Dan Penyelesaiannya Menggunakan Matlab.* Penerbit Andi: Yogyakarta.

[4] Hakim, Muhammad Feisal. 2015. *Analisa Stabilitas Transien Menggunakan Metode Trajectory Kritis Pada Sistem Multi Mesin Dengan Mempertimbangkan AVR dan Governor*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya

[5] Mathews, John H, dan Kurtis D. Fink. 1999. *Numerical Methods Using Matlab*. Prentice Hall: New Jersey.

[6] Supriyanto. 2006. *Runge-Kutta Orde Empat*. Diktat Kuliah Lab. Komputer, Departemen Fisika Universitas Indonesia: Depok.

[7] Chapra, Steven C, dan Raymond P. Canale. 2015. *Numerical Methods for Engineers.* McGraw-Hill Education: New York.

[8] Aprilia, Vina. 2016. *Analisa Gangguan 3 Fasa Pada Saluran Transmisi Terhadap Transient stability sistem multimesin menggunakan metode Runge kutta Orde 5.* Universitas Lampung: Bandar Lampung.

[9] Rosalina. 2010. *Analisis Kestabilan Peralihan Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Lyapunov*. Pasca Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia: Depok.

[10] Suprijanto, Adi. 2018. *Analisa Kestabilan Multi Generator Dengan Konsep Mesin Tunggal*. Penerbit Deepublish: Yogyakarta.

[11] Stevenson, William D, Jr., 1990. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Penerbit Erlangga: Jakarta.

[12] Kundur, Prabha. 1994. *Power System Stability And Control*. McGraw-Hill, Inc.: New York.

[13] Kpal, Mrinal. 2007. *Power System Stability*. Edison: New Jersey.

[14] Anderson, P. M., A. A. Fouad. 2002. *Power System Control and Stability*. A John Wiley & Sons, Inc., Publication: New Jersey.

[15] Prasetyo, Petrus. 2016. *Analisis Pengaruh Perubahan Reaktansi Saluran Terhadap Transient Stability Of Multimachine Dengan Metode Runge-Kutta Fehlberg*. Universitas Lampung: Bandar Lampung.