

**SIMULASI REDAMAN OSILASI GENERATOR TUNGGAL  
SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN METODE  
*LINIER QUADRATIC REGULATION (LQR)***

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana*

Oleh :

**MARTUA SIMARMATA  
NPM. 10.812. 0022**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2013**

**SIMULASI REDAMAN OSILASI GENERATOR TUNGGAL  
SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN METODE  
LINIER QUADRATIC REGULATION (LQR)**

**TUGAS AKHIR**

**OLEH :**

**MARTUA SIMARMATA**  
NPM. 10.812.0022

**Disetujui Pembimbing**

**Pembimbing I**



**(Ir. HERMANSYAH ALAM, MT)**

**Pembimbing II**



**(Ir. HUSMAN HARAHAP, MT)**

**Mengetahui**



**Dekan Fakultas Teknik**

  
**(Ir. H2 HANIZA, MT)**

**Ka. Program Studi**

  
**(Ir. HUSMAN HARAHAP, MT)**

**SIMULASI REDAMAN OSILASI GENERATOR TUNGGAL  
SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN METODE LINIER  
QUADRATIC REGULATION (LQR)**

Oleh:

**MARTUA SIMARMATA**  
NPM. 10.812.0022

Disetujui Oleh

**Pembimbing I**



(Ir. HERMANSYAH ALAM, MT)

**Pembimbing II**



(Ir. H. USMAN HARAHAP, MT)

**Diketahui Oleh**

**Ka. Program Studi**



(Ir. H. USMAN HARAHAP, MT)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2013**

## **ABSTRAK**

Pada sistem tenaga listrik selalu dimungkinkan terjadi gangguan yang bersifat transient maupun bersifat dinamik. Gangguan dinamik ini disebabkan oleh adanya perubahan beban yang kecil yang menyebabkan terjadi ayunan (swing) sebelum sistem tersebut kembali mencapai keadaan yang stabil. Perbaikan kinerja dinamik sistem yang meliputi frekuensi dan tegangan dapat dilakukan dengan cara menambahkan peralatan umpan balik optimal pada sistem asli. Konsep yang dipakai adalah kriteria indeks kinerja varian minimal LQR (Linear Quadratic Regulation), yaitu dengan mencari penguatan umpan balik LQR yang meliputi harga penguatan umpan balik kontroler ( $K$ ) dan penguatan estimator optimal ( $K_f$ ) yang diumpangkan melalui sisi turbin dan eksitasi. Dari simulasi terlihat bahwa pemberian umpan balik optimal LQR pada sisi turbin dan sisi eksitasi secara bersama-sama menghasilkan perbaikan kinerja dinamik sistem yang lebih baik dibandingkan dengan hanya memberikan umpan balik optimal LQR ke sisi eksitasi saja. Namun keduanya telah terbukti dapat menghasilkan perbaikan kinerja dinamik sistem pembangkit tenaga listrik tersebut.

**Key Word.** Kontrol Optimal, Linear Quadratic Regulation, Single Machine

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat dan kasih-Nyalah, maka tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Tugas akhir yang berjudul **“SIMULASI REDAMAN OSILASI GENERATOR TUNGGAL SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN METODE LINIER QUADRATIC REGULATION (LQR)”** ini disusun untuk memenuhi persyaratan kurikulum Sarjana Strata-1 (S-1) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area

Atas semua bantuan yang telah diberikan, baik secara langsung maupun tidak langsung selama penyusunan tugas akhir ini hingga selesai, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

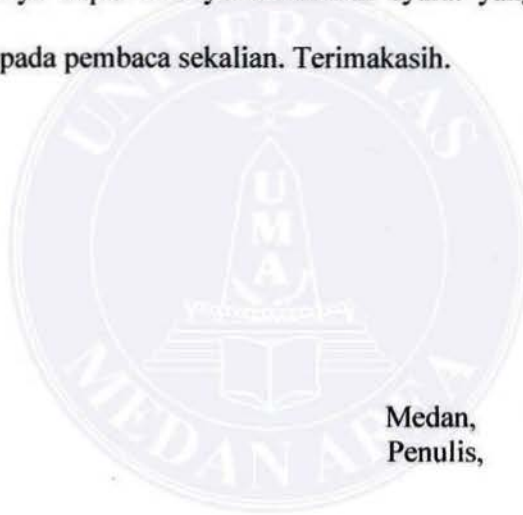
1. Bapak Ir, Hermansyah Alam, MT selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan dorongan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir, H. Usman Harahap, MT selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan dorongan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. H. Usman Harahap, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area.
4. Seluruh Dosen Pengajar dan Civitas di Universitas Medan Area yang telah banyak membantu penulis semasa perkuliahan.
5. Seluruh Keluarga Tercinta yang selalu setia memberikan Dukungan Moril, khususnya istriku tercinta ( Mastiur Sihombing, SKM) dan anakku tersayang ( Marcel Oktovius Ferdinand Simarmata), yang selalu member

motivasi dan mendoakan penulis selama mengikuti kuliah di Universitas Medan Area di Medan.

6. Seluruh rekan – rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Medan Area yang saya banggakan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini belum sempurna, baik dari segi materi maupun penyajiannya. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini,. Agar dimasa yang akan datang dapat lebih bermamfaat terutama bagi penulis dan pembaca lainnya.

Demikian Tugas akhir ini penulis susun, semoga apa yang telah dituangkan didalamnya dapat kiranya memenuhi syarat yang telah ditentukan serta bermamfaat kepada pembaca sekalian. Terimakasih.



Medan, Nopember 2013  
Penulis,

**(MARTUA SIMARMATA)**

**BAB III METODE KONTROL LINIER QUADRATIK REGULALATION (LQR) PADA SINGLE MACHINE**

III.1	Pemodelan Sistem <i>Single Machhine Infinite bus</i> ( SMIB ).....	22
III.2	Reaksi Jangkar.....	27
III.3	Pengaruh Pengaturan Tegangan .....	27
III.4	Perubahan Tegangan Terminal.....	28
III.5	Kontrol Optimal .....	30
III.6	Perhitungan Parameter Mesin.....	32
III.7	Proses Optimasi Umpan Balik LQR 9 linier Quadratic Regulation)....	32
III.8	Penguatan Umpan Balik Optimal Linier Quadratik Regulation.....	33

**BAB IV SIMULASI KESTABILAN MENGGUNAKAN KENDALI OPTIMAL**

IV.1	Persamaan <i>Ruang-keadaan</i> (state space) .....	38
IV.2	Parameter mesin serempak.....	41
IV. 2.1	Parameter K3 dan k4.....	41
IV. 2.2	Parameter K1 dan k2.....	41
IV. 2.3	Parameter k5 dan k6.....	41
IV.3	Desain Kontroller dan Simulasi .....	42
IV.4	Hasil Simulasi Tanpa Kontrol Optimal .....	47
IV.5	Hasil Simulasi Menggunakan Kontrol Optimal.....	48

**BAB V PENUTUP**

V. 1.	Kesimpulan.....	49
V. 2.	Saran .....	50

DAFTAR PUSTAKA .....	51
DAFTAR LAMPIRAN.....	52

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
I.1. Latar Belakang .....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan Penelitian.....	2
I.4. Batasan Masalah.....	2
I.5. Metode Penelitian.....	2
I.6. Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II. GEJALA OSILASI ( KESTABILAN) SISTEM TENAGA LISTRIK</b>	
II.1. Sistem Tenaga Listrik.....	4
II.2. Pembangkit listrik dan Penggerak Mula.....	6
II.2.1 Pembangkit Listrik .....	6
II.2.2 Penggerak Mula .....	6
II.2.3 Frekuensi Pembangkit Listrik.....	7
II.3 Generator Sinkron .....	8
II.4 Konstruksi Mesin Sinkron.....	9
II.4.1 Bentuk Penguatan .....	10
II.4.2 Bentuk Rotor.....	11
II.4.3 Bentuk Stator.....	12
II.5 Kestabilan Pada Sistem Tenaga Listrik.....	12
II.6 Gejala Osilasi .....	19



## DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1 Tabel 4.1. Parameter – parameter Mesin .....	39



## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Gambar 2.1. Elemen-elemen Sistem Tenaga Listrik .....	5
2. Gambar 2.2. Generator Sinkron 3 Phasa dengan penguatan Generator DC Pilot Exciter.....	10
3. Gambar 2.3. Generator Sinkron 3 Phasa dengan system Penguatan brushless exciter system.....	10
4. Gambar 2.4. Bentuk Rotor .....	11
5. Gambar 2.5. Inti Stator dan Alur pada Stator.....	11
6. Gambar 2.6. One Line Diagram Sistem Tenaga Listrik.....	14
7. Gambar 2.7. Sistem Pembangkit Tenaga Listrik .....	15
8. Gambar 3.1. Blok Diagram Sistem SMIB .....	23
9. Gambar 3.2. Model Dasar Generator .....	23
10. Gambar 3.3. Model Gerak Mekanik .....	24
11. Gambar 3.4. Blok Diagram dengan Pengaruh Ts dan D.....	24
12. Gambar 3.5.a Blok dengan Simulink .....	25
13. Gambar 3.5.b. Simulasi Jika Nilai Ts dan D Positif .....	25
14. Gambar 3.5 c. Simulasi Jika Nilai D Negatif.....	26
15. Gambar 3.5.d. Simulasi Jika D sangat Kecil.....	26
16. Gambar 3.5 e. Simulasi Jika Nilai Ts adalah Negatif .....	26
17. Gambar 3.6 . Pengaruh Parameter $K_4$ terhadap Kenaikan Sudut Rotor .....	27
18. Gambar 3.7. Blok Diagram Pengaruh Tegangan pada Torsi .....	28
19. Gambar 3.8. Blok Diagram Perubahan Beban .....	28
20. Gambar 3.9. Blok Diagram Dinamik Gerak System Tenaga Listrik .....	29
21. Gambar 3.10. Algoritma Penelitian .....	31
22. Gambar 3.11. Proses Perhitungan Parameter Single Mesin.....	32
23. Gambar 3.12. Kontrol Optimal .....	33
24. Gambar 3.13. Blok Diagram Sistem Kotrol Optimal.....	34
25. Gambar 4.1 Model System SIMB.....	38
26. Gambar 4.2. Rangkaian Simulasi SMIB tanpa Kontrol dan dengan Kontrol Optimal.....	46

27. Gambar 4.2.a. Kurva Kecepatan Rotor tanpa Kontrol Optimal .....	47
28. Gambar 4.2.b. Kurva Sudut Ayunan Rotor tanpa Kontrol Optimal.....	47
29. Gambar 4.2.c. Kurva Perubahan Tegangan Terminal tanpa Kontrol optimal ...	47
30. Gambar 4.2.d Kurva Hasil Simulasi Kecepatan Rotor dengan Kontrol optimal.....	47
31. Gambar 4.2.e Kurva Hasil simulasi sudut Ayunan Rotor dengan Kontrol Optimal.....	48
32. Gambar 4.2.f Kurva Perubahan Tegangan Terminal dengan control Optimal ..	48



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Masalah

Sistem Tenaga Listrik secara umum terdiri dari beberapa unit pembangkit, Saluran Transmisi dan berbagai pusat beban. Dalam pengoperasiannya, Sistem Tenaga Listrik tidak lepas dari gangguan, baik itu gangguan yang sifatnya sementara atau gangguan tetap. Apabila salah satu generator atau pembangkit yang lain mengalami gangguan, misalnya disebabkan oleh perubahan beban atau terlepas pembangkit dapat menimbulkan perubahan pada variabel-variabel tertentu pada sistem, seperti tegangan, frekuensi, dan lain-lain. Adanya perubahan-perubahan tersebut akan mempengaruhi kestabilan Sistem Tenaga Listrik. *Stabilitas Sistem Tenaga Listrik didefinisikan* sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan dalam sistem akibat adanya gangguan. Studi stabilitas yang tepat dan kontinue sangat diperlukan untuk menganalisa sistem supaya dapat bekerja dengan efektif. Untuk mempelajari stabilitas dinamis digunakan pemodelan terhadap komponen-komponen seperti genarator, saluran transmisi dan beban. Pemodelan diturunkan dari persamaan matematis berupa persamaan differensial linier untuk mewakili perilaku dinamika sistem.

Penerapan persamaan matrik riccati untuk menentukan penguat (*gain*) optimal yang diumpankan ke sistem eksitasi merupakan metoda alternatif pada stabilitas sistem tenaga listrik. Masalah ini sangat menarik untuk di amati karena dengan adanya penerapan persamaan matrik riccati diharapkan dapat memberikan redaman osilasi sistem tenaga listrik yang baik.

## **I.2. Rumusan Masalah**

Pada penelitian ini membahas tentang bagaimana memperbaiki osilasi system tenaga listrik akibat gangguan menggunakan metode *LQR* dengan membuat simulasi menggunakan simulink matlab

## **I.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian Skripsi ini adalah dapat membuat simulasi kestabilan system tenaga listrik dan mengamati perbaikan osilasi menggunakan simulink matlab

## **I.4. Batasan Masalah**

Pembatasan masalah dilakukan untuk memfokuskan penelitian, antara lain:

1. Sistem yang digunakan hanya sebuah generator yang terhubung ke sebuah bus
2. Simulasi yang dijadikan untuk mengukur menggunakan simulink matlab

## **I.5. Metode Penelitian**

Metode dan Langkah-langkah yang ditempuh dalam penulisan Skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Riset Perpustakaan untuk mencari dan mengumpulkan artikel-artikel yang berkaitan dengan topik pembahasan dari berbagai sumber.
2. Identifikasi Masalah yaitu tahap penentuan hal-hal penting sebagai dasar dari permasalahan yang dianalisis. Tahap ini merupakan tahap untuk mengkaji dan membatasi masalah yang akan diimplementasikan dalam sistem.

## DAFTAR PUSTAKA

1. P.M. Anderson , A.A Fouad “ *Power System Kontrol and stability*” The Iowa State university Press, © 1977
2. J. Arrilaga, N.R Watson, “ *Computer Modeling Of Electrical powers Systems*” Second Edition, jhon Willey and Sons, Ltd. © 2001
3. Adi Soeprijanto, “ *Metode Sederhana Penalaan power Sytems Stabilizer*” Tesis Magister Teknik pengaturan ITB, 1994
4. Katsuhiko Ogata, *Designing Liniar Control Systems With matlab*” Prentice hall, ltd. © 1994
5. Katsuhiko Ogata, “ *State Space Analysis of Control systems*” Prentice hall, ltd. © 1967
6. Prabha Kundur, “ *power System Stability and Control*” Mv. Graw-hill © 1994
7. Hai-Feng wang, “ *A unified Model for Analysis of FACTS Devices in Damping power Systems Oscilations –part III: Unified Power Flow Controller*, IEEE Transactions power Delivery vol. 15 No. 3, pp. 978-983, July 2000
8. Djiteng Marsudi “*Pembangkit Energi Listrik*” Penerbit Erlangga , 2005
9. Stevenson, W.D., dan Idris,K.,1990, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, pp. 349-351, Erlangga, Jakarta.
10. Padiyar, K.R., 1996, *Power System Dynamis Stability and Control*, pp. 191 – 268, John Wiley & Sons , Singapore.
11. Moh. E El Hawary “*Electrical Power System*” IEEE Press. 1983