

EVALUASI KESTABILAN DAN KEKOKOCHAN *SINGLE MACHINE INFINITE BUS* (SMIB) DENGAN METODA LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR) (STUDI KASUS : PLTA SINGKARAK)

Heru Dibyo Laksono^{*}, Ichsan Ridho Putra

Laboratorium Kontrol Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas

Kampus Limau Manis Padang Sumatera Barat

*Email : heru_dl@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Kestabilan dan kekokohan merupakan hal yang penting dalam operasi sistem tenaga listrik. Ada 2 jenis gangguan yang sering terjadi dalam operasi sistem tenaga listrik diantaranya gangguan peralihan dan gangguan kecil. Perubahan beban merupakan salah jenis gangguan yang masuk dalam kategori gangguan kecil. Jika perubahan beban ini terus terjadi secara terus menerus setiap waktu akan berakibat terjadinya perubahan parameter – parameter pada sistem tenaga listrik terutama tegangan dan frekuensi dari sistem tenaga listrik tersebut. Perubahan parameter – parameter ini bisa mengakibatkan kestabilan sistem tenaga listrik akan terganggu dan berakibat sistem tidak mampu lagi bekerja secara normal setelah mengalami gangguan. Selain kestabilan, kemampuan sistem tenaga listrik untuk meredam gangguan yang terjadi baik dari dalam maupun dari luar sistem tenaga listrik perlu diperhatikan dan kemampuan ini dikenal dengan kekokohan. Sistem single machine infinite bus (SMIB) merupakan subsistem tenaga listrik yang terdiri dari satu atau lebih generator yang terhubung ke bus yang tak terhingga. Sistem single machine infinite bus (SMIB) ini merupakan subsistem yang paling berpengaruh terhadap kestabilan dan kekokohan sistem tenaga listrik. Dengan menggunakan metoda linear quadratic regulator (LQR) dan data – data sistem single machine infinite bus (SMIB) PLTA Singkarak akan dilakukan evaluasi kestabilan dan kekokohan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem single machine infinite bus (SMIB) dengan menggunakan metoda linear quadratic regulator (LQR) lebih bersifat stabil dan kokoh terhadap gangguan.

Kata kunci : *single machine infinite bus (SMIB), linear quadratic regulator (LQR), kestabilan, kekokohan , PLTA Singkarak.*

1. PENDAHULUAN

Pada operasi sistem tenaga listrik, kestabilan dan kekokohan merupakan hal yang penting dan merupakan ukuran dari kualitas sistem tenaga listrik. Dengan adanya perubahan beban setiap waktu akan berakibat terjadinya perubahan terutama pada tegangan dan frekuensi sehingga kestabilan sistem tenaga listrik akan terganggu dan berakibat sistem tidak mampu lagi bekerja secara normal setelah mengalami gangguan. Selain kestabilan, kekokohan sistem tenaga listrik terhadap gangguan juga perlu diperhatikan karena sistem tenaga listrik yang tidak bersifat kokoh maka akan menyebabkan operasi sistem tenaga listrik menjadi terganggu. Untuk menjaga agar sistem tenaga listrik berjalan titik operasinya, maka perlu dilakukan evaluasi operasi sistem tenaga listrik terutama kestabilan dan kekokohnya terhadap gangguan. Dalam sistem tenaga listrik, gangguan ada yang bersifat peralihan dan ada gangguan yang bersifat kecil.

Pada penelitian ini dilakukan evaluasi kestabilan dan kekokohan dari sistem *single machine infinite bus* (SMIB) dengan metoda linear quadratic regulator (LQR). Sistem *single machine infinite bus* (SMIB) ini merupakan suatu subsistem tenaga listrik yang terdiri dari satu atau lebih generator

yang terhubung ke bus yang tak terhingga. Sistem *single machine infinite bus* (SMIB) ini merupakan subsistem yang paling berpengaruh terhadap kestabilan dan kekokohan sistem tenaga listrik. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan diantaranya (Jalili, 2003) meneliti tentang analisa kestabilan peralihan pada *single machine infinite bus* (SMIB) dengan metoda Neuro Fuzzy, (Robandi, 2007) meneliti tentang penalaan parameter *single machine infinite bus* (SMIB) menggunakan metoda algoritma genetika, (Panda, 2007) meneliti tentang pemodelan Matlab – Simulink *single machine infinite bus* (SMIB) untuk studi kestabilan dengan metoda algoritma genetika, (Zamani, 2009) meneliti tentang *power system stabilizer* (PSS) untuk *single machine infinite bus* (SMIB) dengan *particle swarm*, (Muawia, 2010) meneliti tentang *power system stabilizer* (PSS) untuk *single machine infinite bus* (SMIB) dengan menggunakan teknik kendali optimal.

Pada beberapa penelitian yang sudah dilakukan tersebut, diperoleh informasi bahwa bahwa performansi kestabilan dan kekokohan *single machine infinite bus* (SMIB) kurang begitu memuaskan. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya maka dilakukan analisa kestabilan dan kekokohan sistem *single machine infinite bus* (SMIB) pada

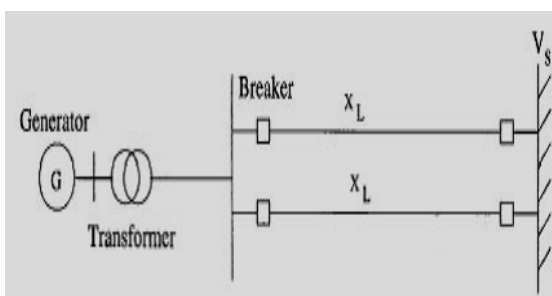
titik operasinya dengan menggunakan metoda linear quadratic regulator (LQR). Adapun alasan menggunakan metoda linear quadratic regulator (LQR) ini, sistem *single machine infinite bus* (SMIB) dengan menggunakan metoda ini dijamin akan bersifat stabil dan kokoh pada titik operasinya. Dengan demikian nantinya akan diperoleh informasi kestabilan dan kekokohan *single machine infinite bus* (SMIB) pada titik operasinya. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Model sistem *single machine infinite bus* (SMIB) bersifat linier, tak berubah terhadap waktu dan kontinu. Adapun data – data yang digunakan untuk *single machine infinite bus* (SMIB) adalah data pembangkit listrik tenaga air (PLTA) Singkarak.
2. Sistem *single machine infinite bus* (SMIB) bersifat satu masukan dan satu keluaran.
3. Metoda yang digunakan adalah metoda linear quadratic regulator (LQR)
4. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat Matlab 7.1

2. METODOLOGI

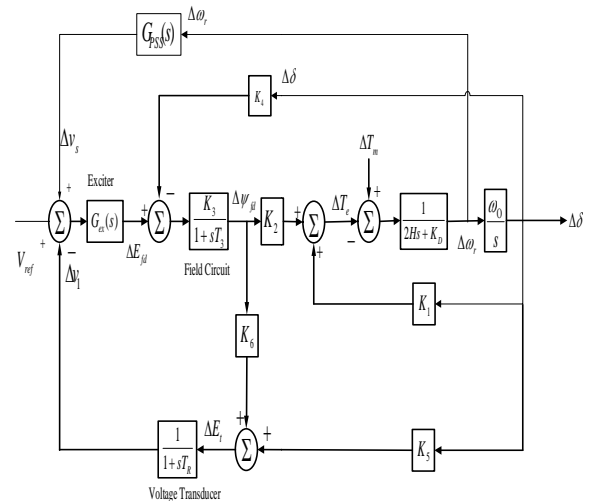
Pada bagian ini menjelaskan konfigurasi *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak, diagram blok *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak, persamaan keadaan dari *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak, metoda metoda linear quadratic regulator (LQR), matrik bobot Q, matrik bobot R, langkah – langkah dalam penelitian dan kriteria perancangan.

Untuk konfigurasi *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak diperlihatkan pada Gambar 1. Berikut



Gambar 1. Konfigurasi *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) PLTA Singkarak

Untuk diagram blok *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak diperlihatkan pada Gambar 2. berikut



Gambar 2. Diagram Blok *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) PLTA Singkarak [Kundur, 1993]

Adapun persamaan keadaan *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak dinyatakan dalam bentuk persamaan (1) dan (2) berikut

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \tag{1}$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \tag{2}$$

dimana

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -0.1714 & -0.1007 & 0 \\ 314.1593 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.1274 & -0.4545 & -27.2293 \\ 0 & 2.3439 & 17.5333 & 50 \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$B = [0.0999 \quad 0.0000 \quad 0.0000 \quad 0.0000] \tag{4}$$

$$C = [0.0000 \quad 0.0000 \quad 1.000 \quad 0.0000] \tag{5}$$

$$D = 0.0000 \tag{6}$$

Metoda linier quadratic regulator (LQR) adalah sebuah teknik kendali modern yang menggunakan pendekatan persamaan keadaan [Franklin, 1986]. Sistem *single machine infinite bus* (SMIB) yang akan ditinjau dinyatakan dengan persamaan (7) berikut

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \tag{7}$$

Berdasarkan persamaan (7) akan ditentukan matrik K dari vektor kendali optimal pada persamaan (8) berikut

$$u(t) = -Kx(t) \quad (8)$$

dengan meminimumkan indeks performansi pada persamaan (9) untuk metoda linear quadratic regulator (LQR) berikut

$$J = \int_0^{\infty} (x'(t)Qx(t) + u'(t)Ru(t)) dt \quad (9)$$

dimana Q adalah matrik simetrik nyata definite positif (atau semidefinite positif) dan R adalah matrik simetrik nyata definite positif. Matrik Q dan matrik R menentukan kepentingan relatif dari kesalahan dan kebutuhan energi. Dengan mensubstitusikan persamaan (8) ke dalam persamaan (7) diperoleh persamaan (10) berikut

$$\dot{x}(t) = Ax(t) - BKx(t) = (A - BK)x(t) \quad (10)$$

Untuk matrik bobot Q dan bobot R dinyatakan dengan persamaan (11) dan (12) berikut :

$$Q = \begin{bmatrix} 0.1000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.0000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20.0000 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$R = 0.0200 \quad (12)$$

Untuk langkah – langkah dalam penelitian ini adalah

- o Penelitian ini dimulai dengan pemodelan matematis *single machine infinite bus* (SMIB) dengan menggunakan persamaan linear diferensial dan transformasi Laplace.
- o Hasil dari pemodelan ini diperolehnya persamaan keadaan dari *single machine infinite bus* (SMIB). Pembentukan persamaan keadaan dari *single machine infinite bus* (SMIB) dapat dilihat pada [Khundur,1993]
- o Adapun parameter – parameter yang diperlukan untuk membentuk persamaan keadaan *single machine infinite bus* (SMIB) adalah parameter keadaan operasi sistem tenaga listrik, parameter jaringan dan parameter *Automatic Voltage Regulator* (AVR)
- o Mensubstitusi parameter–parameter tersebut agar diperoleh persamaan keadaan *single machine infinite bus* (SMIB)
- o Setelah dilakukan pemodelan matematis sistem *single machine infinite bus* (SMIB) maka dilakukan analisa kestabilan dan kekokohan sistem *single machine infinite bus* (SMIB).
- o Analisa kestabilan *single machine infinite bus* (SMIB) dilakukan dengan metoda Lyapunov pertama [Kundur, 1993].
- o Dalam domain frekuensi, analisa kestabilan *single machine infinite bus* (SMIB) dilakukan dengan kriteria Nyquist dan kriteria Bode.

Untuk kriteria kestabilan Nyquist [Kuo, 1983] dan kriteria bode [nise, 2004].

- o Untuk analisa kekokohan *single machine infinite bus* (SMIB) dilakukan dengan menggunakan nilai puncak maksimum. Kriteria nilai puncak maksimum dijelaskan pada [Sigurd, 1996].
- o Setelah dilakukan analisa kestabilan dan kekokohan *single machine infinite bus* (SMIB) maka dilakukan analisa kestabilan dan kekokohan *single machine infinite bus* (SMIB) dengan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) dengan terlebih dahulu menentukan kriteria perancangan diinginkan
- o Setelah kriteria perancangan ditentukan, maka dilakukan penentuan matrik bobot Q dan matrik bobot R. Matrik bobot Q dan matrik bobot R ini ditentukan secara coba – coba. Kedua matrik bobot ini digunakan untuk menentukan konstanta penguatan.
- o Setelah itu ditentukan konstanta penguatan dengan menggunakan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR). Setelah konstanta penguatan diperoleh, kemudian disubstitusikan ke persamaan *single machine infinite bus* (SMIB) sehingga terbentuk persamaan keadaan untuk sistem *single machine infinite bus* (SMIB) yang baru.
- o Dengan menggunakan persamaan keadaan *single machine infinite bus* (SMIB) yang telah disubstitusi konstanta penguatan maka dilakukan analisa kestabilan dan kekokohan *single machine infinite bus* (SMIB) dengan metoda linear quadratic regulator (LQR). Langkah – langkah yang dilakukan dalam analisa kestabilan dan kekokohan *single machine infinite bus* (SMIB) dengan metoda linear quadratic regulator (LQR) sama dengan analisa kestabilan dan kekokohan tanpa metoda linear quadratic regulator (LQR).

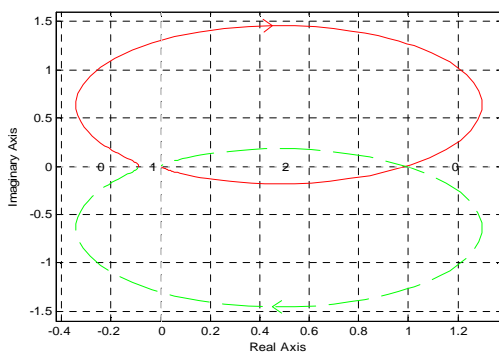
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dilakukan analisa kestabilan dan kekokohan *single machine infinite bus* (SMIB) tanpa metoda linear quadratic regulator (LQR). Untuk analisa kestabilan dilakukan dengan metoda Lyapunov pertama, kriteria kestabilan Nyquist dan kriteria kestabilan Bode. Untuk analisa kekokohan dilakukan dengan kriteria nilai puncak maksimum. Dengan metoda Lyapunov pertama, sistem akan bersifat stabil jika nilai eigen dari persamaan keadaan sistem tersebut mempunyai bagian nyata yang bernilai negatif. Untuk *single machine infinite bus* (SMIB) (PLTA) Singkarak diperoleh hasil yang diperlihatkan pada Tabel 1. berikut

Tabel 1. Nilai Eigen *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) PLTA Singkarak

Nilai Eigen	Redaman	Frekuensi (rad/detik)
-0.17000 + j7.1300	0.0239	7.1300
-0.17000 - j7.1300	0.0239	7.1300
-13.2000	1.0000	13.2000
-37.0000	1.0000	37.0000

Pada Tabel 1. Terlihat bahwa nilai eigen dari *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak mempunyai bagian nyata yang bernilai negatif. Dengan demikian menurut metoda Lyapunov pertama, sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak bersifat stabil. Dengan kriteria kestabilan Bode, sistem akan bersifat stabil jika dan hanya jika magnitude dari sistem lingkaran terbuka bernilai kurang dari 1 pada frekuensi di mana sudut fasa 180°. Untuk *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak diperoleh nilai magnitude dari sistem lingkaran terbuka sebesar 0.0892. Jadi dengan kriteria kestabilan Bode, sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak bersifat stabil. Dengan kriteria kestabilan Nyquist, sistem akan bersifat stabil jika diagram Nyquist tidak melingkupi titik (-1,0) dan begitu pula sebaliknya. Untuk *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak diperlihatkan diagram Nyquist pada Gambar 3. berikut

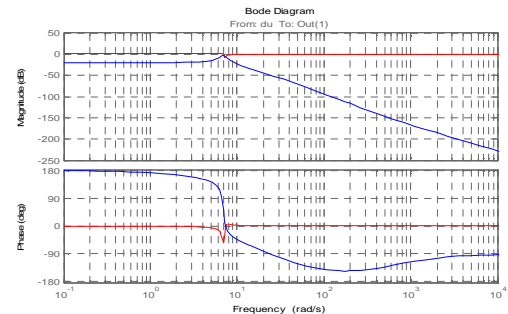


Gambar 3. Diagram Nyquist *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) PLTA Singkarak

Pada Gambar 3. terlihat bahwa sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak bersifat stabil dengan batas penguatan minimum sebesar -1.0073 dan batas penguatan maksimum sebesar 11.2091.

Untuk analisa kekokohan sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak ditunjukkan dengan nilai puncak maksimum fungsi sensitivitas dan nilai puncak maksimum fungsi sensitivitas komplementer. Sistem kendali akan bersifat kokoh jika nilai puncak maksimum sensitivitas kurang dari 2 (6 dB) dan nilai puncak maksimum sensitivitas komplementer kurang dari 1.25 (2 dB) [Sigurd, 1996]. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai puncak maksimum fungsi sensitivitas sebesar 1.6428 dan nilai puncak maksimum fungsi

sensitivitas komplementer sebesar 1.6153. Adapun tanggapan fungsi sensitivitas dan fungsi sensitivitas komplementer sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak diperlihatkan pada Gambar 4. berikut



Gambar 4. Grafik Fungsi Sensitivitas dan Fungsi Sensitivitas Komplementer *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) PLTA Singkarak

Berdasarkan Gambar 4. dan hasil perhitungan terlihat bahwa sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak tidak bersifat kokoh di titik operasinya karena nilai puncak maksimum fungsi sensitivitas komplementer tidak memenuhi kriteria nilai yang ditentukan.

Untuk analisa kestabilan dan kekokohan sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak dengan metoda linear quadratic regulator (LQR). Sebelum analisa dilakukan, terlebih dahulu ditentukan matrik bobot Q dan nilai bobot R yang diinginkan agar memenuhi kriteria kestabilan dan kekokohan yang diinginkan. Penentuan matrik bobot Q dan matrik bobot R ini dilakukan secara coba – coba dan dengan menggunakan matrik Q pada persamaan (11) berikut.

$$Q = \begin{bmatrix} 0.1000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0100 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 20.0000 \end{bmatrix} \tag{11}$$

dan nilai R = 0.0200. Dengan menggunakan Matrik Bobot Q dan nilai bobot R diperoleh matrik penguatan umpan balik dari metoda linear quadratic regulator (LQR) yang dinyatakan oleh persamaan (12) berikut

$$K = [188.2412 \quad 5.6371 \quad -0.2511 \quad 0.2153] \tag{12}$$

Matrik penguatan umpan balik ini kemudian disubstitusikan ke persamaan keadaan (1) dan (2) dan diperoleh persamaan keadaan *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak yang baru. Dengan menggunakan persamaan keadaan yang baru analisa kestabilan dan analisa kekokohan

dilakukan. Untuk analisa kestabilan juga dilakukan dengan metoda Lyapunov pertama, kriteria kestabilan Nyquist dan kriteria kestabilan Bode. Untuk analisa kekokohan juga dilakukan dengan kriteria nilai puncak maksimum.

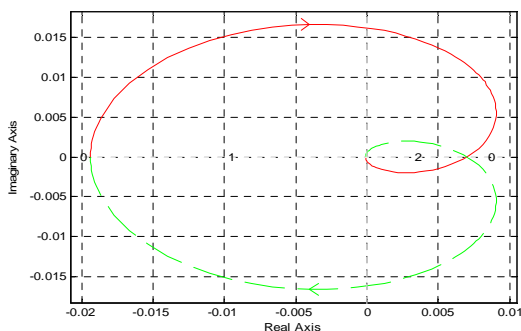
Untuk metoda Lyapunov pertama, diperoleh nilai eigen dari *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak diperoleh hasil yang diperlihatkan pada Tabel 2. berikut

Tabel 2. Nilai Eigen *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) PLTA Singkarak Dengan Metoda Linear Quadratic Regulator (LQR)

Nilai Eigen	Redaman	Frekuensi (rad/detik)
$-9.61000 + j12.0000$	0.6260	15.3000
$-9.61000 - j12.0000$	0.6260	15.3000
-13.1000	1.0000	13.1000
-37.0000	1.0000	37.0000

Jika dibandingkan nilai eigen pada Tabel 1. dan nilai eigen pada Tabel 2. terlihat bahwa dengan menggunakan metoda linear quadratic regulator (LQR) sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak bersifat stabil dan terjadi pergeseran nilai eigen menjauhi sumbu khayal terutama untuk nilai eigen yang bernilai kompleks sedangkan nilai eigen yang bernilai real tidak terjadi pergeseran sama sekali atau hanya sedikit. Pergeseran ini mengakibatkan tanggapan sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak untuk mencapai keadaan mantap lebih cepat. Dengan kriteria kestabilan Bode, nilai magintude dari sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak diperoleh sebesar 0.0194. Jadi dengan kriteria kestabilan Bode ini, sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak dengan metoda linear quadratic regulator (LQR) bersifat stabil dengan nilai magintude yang lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai magintude tanpa metoda linear quadratic regulator (LQR).

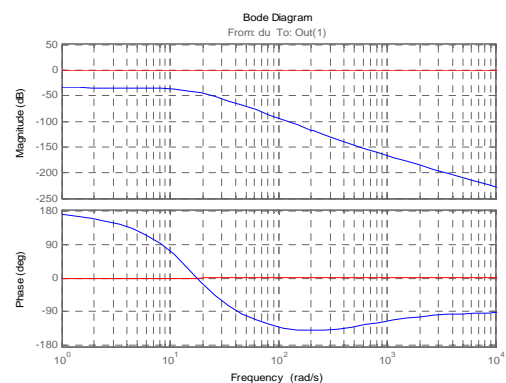
Dengan kriteria kestabilan Nyquist, sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak diperoleh diagram Nyquist pada Gambar 5. berikut



Gambar 5. Diagram Nyquist *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) PLTA Singkarak Dengan Metoda Linear Quadratic Regulator (LQR)

Pada Gambar 5. terlihat bahwa sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak dengan metoda linear quadratic regulator (LQR) bersifat stabil dengan batas penguatan minimum sebesar -142.2691 dan batas penguatan maksimum sebesar 51.6228. Jika dibandingkan dengan batas penguatan tanpa metoda linear quadratic regulator (LQR) sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak mempunyai batas kestabilan yang lebih lebar.

Untuk analisa kekokohan sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak dengan metoda linear quadratic regulator (LQR) diperoleh nilai puncak maksimum fungsi sensitivitas sebesar 1.0194 dan nilai puncak maksimum fungsi sensitivitas komplementer sebesar 0.0194. Adapun tanggapan fungsi sensitivitas dan fungsi sensitivitas komplementer sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak dengan metoda linear quadratic regulator (LQR) diperlihatkan pada Gambar 6. berikut.



Gambar 6. Grafik Fungsi Sensitivitas dan Fungsi Sensitivitas Komplementer *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) PLTA Singkarak Dengan Metoda Linear Quadratic Regulator (LQR)

Berdasarkan Gambar 6. dan hasil perhitungan terlihat bahwa sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak bersifat kokoh di titik operasinya karena nilai puncak maksimum sensitivitas dan nilai puncak maksimum sensitivitas komplementer telah memenuhi kriteria nilai yang ditentukan.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari pembahasan diatas adalah

1. Dengan menggunakan metoda linear quadratic regulator (LQR), *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak bersifat stabil dan kokoh dititik operasinya.

2. Evaluasi kestabilan sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak dilakukan dengan menggunakan metoda Lyapunov pertama, kriteria kestabilan Nyquist dan kriteria kestabilan Bode. Dengan metoda linear quadratic regulator (LQR), sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak mempunyai tingkat kestabilan yang lebih baik.
3. Evaluasi kekokohan sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak dilakukan dengan menggunakan kriteria nilai puncak maksimum yang terdiri dari nilai puncak maksimum sensitivitas dan nilai puncak maksimum sensitivitas komplementer. Dengan metoda linear quadratic regulator (LQR), sistem *single machine infinite bus* (SMIB) PLTA Singkarak mempunyai tingkat kekokohan yang lebih baik
8. Nise, Norman S., *Control System Engineering*, Canada : John Wiley & Sons, (2004)
9. Sidhartha Pand and Narayana Prasad Padhy, *Matlab/Simulink Based Model Of Single-Machine Infinite-Bus With TCSC For Stability Studies and Tuning Employing GA*. International Journal of Computer Science and Engineering Vol 1, (2007)
10. S. Skogestad and I. Postlethwaite, *Multivariable Feedback Control Analysis and Design*, Second Edition, New York : John Wiley & Sons, (1996).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Dekan Fakultas Teknik dan Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas yang telah mendanai penelitian sehingga dihasilkan makalah ini.

REFERENSI

1. Chalis Zamani, *Desain Optimal PI based Power System Stabilizer Menggunakan Particle Swarm Optimization*. Journal Electrical and Electronics Engineering, (2009)
2. Franklin, G. F, J. D. Powell and A. Emami-Naeini, *Feedback Control of Dynamic Systems*, New York : Addison – Wesley Publishing Company, (1986)
3. Imam Robandi dan Bedy Kharisma, *Setting Parameter Single Machine Infinite Bus Via Genetic Algorithm*, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2007 (SNATI 2007), Yogyakarta (2007).
4. Kundur, Prabha, *Power System Stability and Control*, New Jersey : Prentice Hall, (1993)
5. Kuo, B. C., *Automatic Control Systems*, India : Prentice Hall, (1983)
6. M.J. Yazdanpanah dan M. Jalili Kharaajoo, *Optimal NonLinear Transient Control with Neuro-AVR of Singl –Machine Infinite-Bus Power systems*, Proceeding of The 42nd IEEE Conference on Decision and Control, Hawai, USA, (2003).
7. Muawia Abdel Kafi Magzoub. 2010. *Power System Stabilizer (PSS) For Single Machine Connected To Infinite Bus (SMIB) Based On Optimal Control (OP) Techniques*, (2010).