

ANALISA PERFORMANSI SISTEM KENDALI FREKUENSI TENAGA LISTRIK MULTIMESIN DENGAN METODA *LINEAR QUADRATIC REGULATOR* (LQR)

Heru Dibyo Laksono* dan M. Reza Permana**

*Staff Pengajar Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas

**Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Andalas

Abstrak—Jurnal ini membahas tentang analisa performansi sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin dengan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR). Sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin ini merupakan subsistem tenaga listrik yang terdiri dari dua atau lebih generator yang saling terinterkoneksi dan merupakan subsistem yang paling berpengaruh terhadap performansi sistem tenaga listrik terutama performansi terhadap tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik. Performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik ini merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam operasi sistem tenaga listrik dan merupakan salah satu indikator yang menunjukkan performansi sistem tenaga listrik saat terjadi gangguan. Gangguan – gangguan ini menyebabkan perubahan nilai parameter yang mengakibatkan sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin akan terganggu dan berakibat sistem tidak mampu lagi bekerja secara normal setelah mengalami gangguan. Dengan menggunakan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) dilakukan analisa performansi tanggapan deviasi frekuensi dari sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin. Analisa performansi yang dilakukan meliputi analisa performansi dalam domain waktu dan domain frekuensi. Hasil analisa menunjukkan bahwa performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin dengan metoda metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) mempunyai performansi yang lebih baik.

Kata kunci : sistem kendali frekuensi, multimesin, Linear Quadratic Regulator (LQR)

Abstract—This journal discusses about the performance analysis of frequency control power system in multi machine with Linear Quadratic Regulator method (LQR). The frequency control power system in multi machine is power subsystem consists of two or more generators are interconnected each other and the most influential subsystem on the performance of power system primarily to the performance toward frequency deviation responses of the power system. The Performance of frequency deviation response power system is one of the important factors that must be considered in the operation of electric power system and the indicator show the performance of the power system during disturbance. Disturbances causes changes in parameter values which lead to frequency control power system in multi machine will be disrupted so it result system no longer able to work normally after disturbance. By using the method of Linear Quadratic Regulator (LQR) is conducted performance analysis of frequency control power system in multi machine. The Performance analysis was conducted on the performance analysis in the time and frequency domain. The result of analysis shows that the performance of frequency deviation response in of multi machine frequency control power system with Linear Quadratic Regulaetor method has better performance.

Keywords: Frequency control system, Multi Machine , Linear Quadratic Regulator (LQR)

1. PENDAHULUAN

Performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik merupakan salah satu indikator performansi sistem tenaga listrik saat terjadi gangguan. Usaha untuk memperbaiki tanggapan deviasi frekuensi pada sistem tenaga listrik multimesin akibat perubahan beban

sudah dilakukan dengan berbagai metoda diantaranya metoda logika fuzzy dan kendali konvensional dengan pengendali Integral [1]. Penelitian ini membahas tentang analisa performansi sistem kendali frekuensi tenaga listrik multi mesin dalam domain waktu tetapi analisa performansi dalam domain frekuensi

tidak dilakukan. Metoda Linear Quadratic pembahasan pada analisa performansi sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin dalam domain waktu. Dengan pengendali Proporsional Integral Diferensial (PID) Optimal [3]. Adapun pembahasan dalam jurnal ini ditekankan pada analisa performansi sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin dalam domain waktu. Dengan pengendali Integral (I), pengendali Proporsional Integral (PI) dan pengendali Proporsional Integral Diferensial (PID) [4]. Pembahasan pada jurnal ini juga ditekankan pada analisa performansi sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin dalam domain waktu. Berdasarkan kajian tersebut maka dilakukan analisa performansi sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin dalam domain waktu dan domain frekuensi dengan menggunakan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR). Adapun alasan digunakan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) ini dikarenakan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) ini menjamin sistem bersifat stabil.

Dengan penelitian ini diharapkan nantinya diperoleh informasi performansi dalam domain waktu dan domain frekuensi dari sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin. Agar tercapai hasil penelitian yang efektif dan efisien maka penelitian ini dibatasi sebagai berikut

1. Model sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin bersifat linier, tak berubah terhadap waktu dan kontinu
2. Sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin bersifat banyak masukan dan banyak keluaran
3. Analisa dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Matlab.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini membahas tentang pemodelan matematis sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin dan metoda Linier Quadratic Regulator (LQR)

Menurut [5], Pengendalian daya aktif pada generator berkaitan dengan pengaturan frekuensi. Frekuensi itu sendiri diatur oleh putaran rotor generator yang terkopel dengan pengerak mula (*prime mover*). Pengendalian daya aktif ini dilakukan oleh sistem kendali

Regulator (LQR) [2], dengan frekuensi dengan diagram blok pada Gambar 1. Adapun tujuan dasar dari pengaturan frekuensi adalah memberikan keseimbangan daya aktif antara sistem pembangkit dan beban, memperkecil penyimpangan frekuensi akibat perubahan beban secara tiba-tiba agar perubahan frekuensi tersebut mendekati nol dan menjaga aliran daya pada tiap pembangkit yang saling terinterkoneksi agar berada pada kemampuan kapasitas masing - masing generator. Selain itu berdasarkan diagram sistem kendali frekuensi pada Gambar 1. dibentuk diagram blok dari sistem kendali frekuensi multimesin yang diperlihatkan pada Gambar 2.

Perilaku dinamis sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin [6] ini dinyatakan dalam bentuk persamaan keadaan (1) dan (2) berikut

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

$$y(t) = Cx(t) \quad (2)$$

dimana

A	:	matrik keadaan
B	:	matrik masukan
C	:	matrik keluaran
L	:	Matrik gangguan

Untuk matrik A pada persamaan (1) disusun atas submatrik yang dinyatakan dalam bentuk persamaan (3) berikut

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

dimana

$$A_{11} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_{p1}} & \frac{K_{p1}}{T_{p1}} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_{t1}} & \frac{1}{T_{t1}} \\ -\frac{1}{R_1 T_{g1}} & 0 & -\frac{1}{T_{g1}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$A_{12} = \begin{bmatrix} \frac{K_{p1}}{T_{p1}} & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

$$A_{13} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$A_{21} = [T_{12} \quad 0 \quad 0] \quad (7)$$

$$A_{22} = 0 \quad (8)$$

$$A_{23} = [-T_{12} \quad 0 \quad 0] \quad (9)$$

$$A_{31} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$A_{32} = \begin{bmatrix} -\frac{K_{p2}}{T_{p2}} & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (11)$$

$$A_{33} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_{p2}} & \frac{K_{p2}}{T_{p2}} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_{12}} & \frac{1}{T_{12}} \\ -\frac{1}{R_2 T_{g2}} & 0 & -\frac{1}{T_{g2}} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Untuk matrik B pada persamaan (1) disusun atas submatrik yang dinyatakan dalam bentuk persamaan (13) berikut

$$B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} \quad (13)$$

dimana

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{T_{g1}} & 0 \end{bmatrix} \quad B_2 = [0 \quad 0] \quad B_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{T_{g2}} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Untuk matrik L pada persamaan (1) disusun atas submatrik yang dinyatakan dalam bentuk persamaan (15) berikut.

$$L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix} \quad (15)$$

dimana

$$L_1 = \begin{bmatrix} -\frac{K_{p1}}{T_{p1}} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad L_2 = [0 \quad 0] \quad L_3 = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{K_{p2}}{T_{p2}} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Untuk matrik C pada persamaan (1) disusun atas submatrik yang dinyatakan dalam bentuk persamaan (16) berikut.

$$C = [C_1 \quad C_2 \quad C_3] \quad (16)$$

dimana

$$C_1 = \begin{bmatrix} b_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad C_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \quad C_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ b_2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Vektor $x(t)$ dinyatakan dalam bentuk persamaan (18) berikut

$$x(t) = [f_1 \quad P_{t1} \quad P_{v1} \quad P_{ie} \quad f_2 \quad P_{t2} \quad P_{v2}]^T \quad (18)$$

Vektor $u(t)$ dinyatakan dalam bentuk persamaan (19) berikut.

$$u(t) = [P_{c1}(t) \quad P_{c2}(t)]^T \quad (19)$$

Vektor $w(t)$ dinyatakan dalam bentuk persamaan (20) berikut.

$$w(t) = [P_{d1}(t) \quad P_{d2}(t)]^T \quad (20)$$

Vektor $y(t)$ dinyatakan dalam bentuk persamaan (21) berikut.

$$y(t) = [y_1(t) \quad y_2(t)]^T \quad (21)$$

Menurut [7], Metoda Linier Quadratic Regulator (LQR) adalah sebuah teknik kendali modern yang menggunakan pendekatan persamaan keadaan Sistem kendali yang akan ditinjau dinyatakan dengan persamaan (22) berikut

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (22)$$

dimana akan ditentukan matrik K dari vektor kendali dalam bentuk persamaan (23) berikut

$$u(t) = -Kx(t) \quad (23)$$

dengan meminimumkan indeks performansi yang dinyatakan dalam bentuk persamaan (24) untuk metoda Linier Quadratic Regulator (LQR) berikut

$$J = \int_0^\infty (x'(t)Qx(t) + u'(t)Ru(t)) dt \quad (24)$$

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. Selain itu dianggap bahwa vektor kendali $u(t)$ tanpa kendala. Dengan mensubstitusikan persamaan (23) ke persamaan (22) diperoleh persamaan (25) berikut

$$\dot{x}(t) - BKx(t) = (A - BK)x(t) \quad (25)$$

Pada penurunan persamaan berikut, dianggap matrik $(A - BK)$ adalah stabil. Dengan mensubstitusikan persamaan (23) ke persamaan (24) diperoleh persamaan (26) s/d (28) berikut

$$J = \int_0^{\infty} \left(x'(t)Qx(t) + (Kx(t))'RKx(t) \right) dt \quad (26)$$

$$J = \int_0^{\infty} \left(x'(t)Qx(t) + x'(t)K'RKx(t) \right) dt \quad (27)$$

$$J = \int_0^{\infty} x'(t)(Q + K'RK)x(t) dt \quad (28)$$

Berdasarkan penyelesaian persoalan optimasi parameter diperoleh persamaan (29) berikut

$$x'(t)(Q + K'RK)x(t) = -\frac{d}{dt}(x'(t)Px(t)) \quad (29)$$

Berdasarkan persamaan (29) diperoleh persamaan (30) dan (31) berikut

$$x'(t)(Q + K'RK)x(t) = -\frac{d}{dt}(x'(t)Px(t)) \quad (30)$$

$$x'(t)(Q + K'RK)x(t) = -\frac{d}{dt}(x'(t)Px(t)) \quad (31)$$

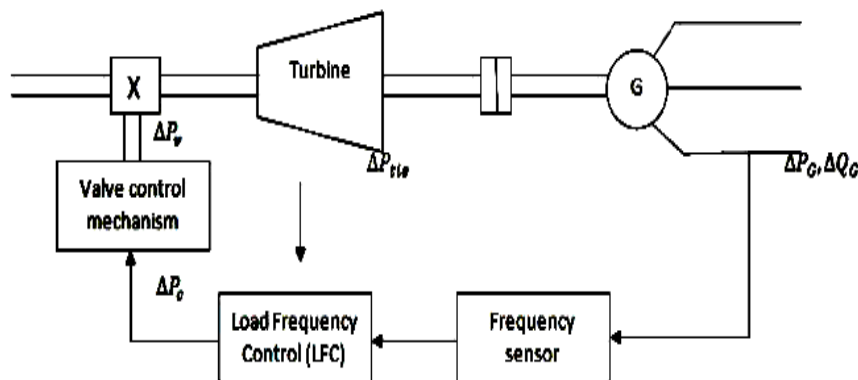
$$= x'(t)[(A - BK)'P + P(A - BK)]x(t)$$

Dengan membandingkan kedua ruas persamaan (31) dan mengingat bahwa persamaan ini harus berlaku untuk setiap x , maka diperoleh persamaan (32) berikut

$$(A - BK)'P + P(A - BK) = -(Q + K'RK) \quad (32)$$

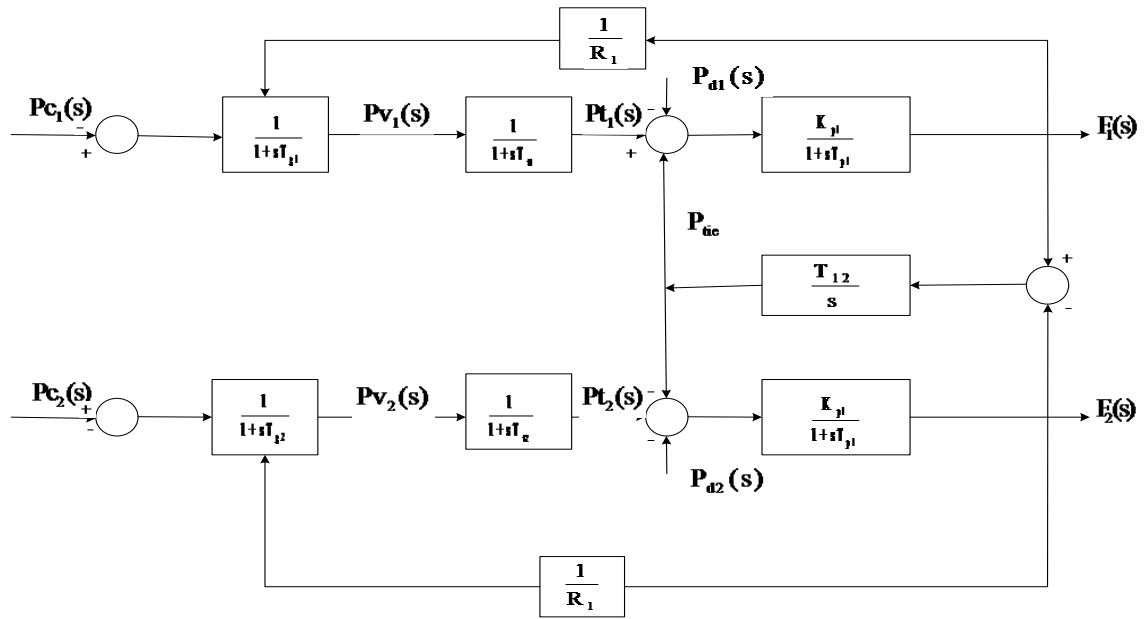
Berdasarkan metoda kedua Lyapunov jika $(A - BK)$ merupakan matrik stabil, maka ada matrik definite positif P yang memenuhi persamaan (22). Selanjutnya dengan mengingat bahwa $x(\infty) = 0$ maka indeks performansi dinyatakan pada persamaan (33) berikut

$$J = x'(0)Px(0) \quad (33)$$



Gambar 1. Diagram Sistem Kendali Frekuensi Pada Generator [5]

$$A = \begin{bmatrix} -3.5997 & 5.9996 & 0 & -5.9996 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -100 & 0 & -5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7.50236 & -6.7521 & 7.5023 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.6667 & 1.6667 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -53.3333 & 0 & -3.3333 \end{bmatrix} \quad (34)$$



Gambar 2. Diagram Sistem Kendali Frekuensi Multimesin [6]

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 5 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 3.333 \end{bmatrix} \quad (35)$$

$$C = \begin{bmatrix} 20.6 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 16.9 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$Q = \begin{bmatrix} 1000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1500.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 800.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 132.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.1323 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 971.0000 \end{bmatrix} \quad (37)$$

$$R = \begin{bmatrix} 5.67000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 4.1957 \end{bmatrix} \quad (38)$$

$$K = \begin{bmatrix} -14.0634 & 9.0627 & 15.5166 & -7.5330 & 1.6267 & 1.9217 & 0.0574 \\ -0.4463 & 2.0239 & 0.0517 & -1.2657 & -11.3392 & 6.1805 & 14.4468 \end{bmatrix} \quad (39)$$

3. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini terdiri dari metodologi penelitian, data - data parameter sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin, Persamaan keadaan dan kriteria perancangan.

a. Metodologi Penelitian

Penelitian ini diselesaikan dengan langkah – langkah berikut

- Penelitian ini dimulai dengan pemodelan matematis sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin. Pemodelan matematis untuk sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin ini terdiri dari beberapa komponen diantaranya pemodelan generator, pemodelan beban, pemodelan penggerak mula, pemodelan governor. Pemodelan matematis sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin ini menggunakan persamaan linear diferensial dan transformasi Laplace.
- Model sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin yang digunakan adalah model sistem yang terdiri dari 2 pembangkit yang saling terinterkoneksi.
- Hasil pemodelan masing – masing komponen ini berupa fungsi alih orde satu. Fungsi alih dari masing-masing komponen ini kemudian digabungkan dan diperoleh persamaan keadaan dari sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin. Adapun keluaran yang diamati adalah tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik dari masing – masing pembangkit.
- Setelah diperoleh persamaan keadaan dari sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin kemudian dilakukan substitusi nilai parameter – parameter setiap komponen sehingga diperoleh persamaan keadaan yang lengkap. Untuk persamaan keadaan dari sistem kendali frekuensi sistem tenaga listrik multimesin diperlihatkan pada persamaan (34) s/d (36).
- Setelah diperolehnya persamaan keadaan secara lengkap dari sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin kemudian dilanjutkan dengan analisa performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin tanpa metoda Linear Quadratic Regulator (LQR). Analisa performansi tanggapan deviasi

frekuensi sistem tenaga listrik dilakukan dalam domain waktu dan domain frekuensi.

- Dalam domain waktu, analisa performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin yang dilakukan adalah analisa performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik lingkaran tertutup. Adapun performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik lingkaran tertutup ini ditunjukkan oleh waktu naik, waktu keadaan mantap danlewatan maksimum yang diperoleh dari tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik dalam keadaan peralihan.
- Dalam domain frekuensi, analisa performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin ditunjukkan dengan margin penguatan dan frekuensi margin penguatan.
- Setelah dilakukan analisa performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin tanpa metoda metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) maka dilakukan analisa performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin dengan metoda metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) dengan terlebih dahulu menentukan kriteria tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin yang diinginkan.
- Setelah kriteria perancangan ditentukan, maka dilakukan penentuan matrik bobot Q dan matrik bobot R agar memenuhi kriteria perancangan yang telah diinginkan. Penentuan matrik bobot Q dan matrik bobot R dilakukan secara coba – coba. Adapun matrik bobot Q dan matrik bobot R yang digunakan dalam simulasi diperlihatkan pada persamaan (37) dan (38).
- Dengan menggunakan matrik bobot Q dan matrik bobot R kemudian ditentukan konstanta penguatan dengan menggunakan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR). Adapun konstanta penguatan yang diperoleh diperlihatkan pada persamaan (39).
- Setelah konstanta penguatan diperoleh, kemudian disubstitusikan ke persamaan keadaan sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin sehingga terbentuk

persamaan keadaan untuk sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin yang baru.

- Dengan menggunakan persamaan keadaan yang telah disubstitusi konstanta penguatan maka dilakukan analisa performansi dalam domain waktu dan frekuensi. Tahap – tahap yang dilakukan dalam analisa performansi tanggapan deviasi sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin dengan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) sama dengan tahap – tahap yang dilakukan dalam analisa performansi tanggapan deviasi sistem kendali frekuensi tenaga listrik multimesin tanpa metoda Linear Quadratic Regulator (LQR).

b. Data – Data Parameter Sistem Kendali Frekuensi Tenaga Listrik Multimesin

Adapun parameter-parameter sistem kendali frekuensi tenaga listrik yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 1. berikut (Saadat, 1999)

Tabel 1. Nilai Parameter Sistem Kendali Frekuensi Tenaga Listrik Multimesin

Parameter	Nilai
T_{p1}	0.2778 detik
T_{p2}	0.1481 detik
K_{p1}	1.6667 Hz/pu (MW)
K_{p2}	1.1111 Hz/pu (MW)
T_{t1}	0.5000 detik
T_{t2}	0.6000 detik
T_{g1}	0.2000 detik
T_{g2}	0.3000 detik
R_1	0.0500Hz/pu (MW)
R_2	0.0625 Hz/pu (MW)
D_1	0.6000pu MW/Hz
D_2	0.9000pu MW/Hz
T_{l2}	2.0 (MW)

c. Kriteria Perancangan

Agar performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin dengan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) menghasilkan performansi yang baik perlu ditentukan kriteria tanggapan

deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin. Kriteria ditentukan dalam domain waktu dan domain frekuensi. Untuk domain waktu, tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin yang diinginkan adalah lewatan maksimum kurang dari 20.0000 %, waktu keadaan mantap kurang dari 2.5000 detik dan waktu naik kurang dari 1 detik. Untuk domain frekuensi, tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin yang diinginkan adalah margin penguatan besar dari 6 dB.

4. HASIL PEMBAHASAN

Pada bagian ini dilakukan analisa performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin tanpa dan dengan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR). Analisa dilakukan dalam domain waktu dan domain frekuensi. Untuk performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin tanpa metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) dalam domain waktu ditunjukkan dengan besarnya lewatan maksimum, waktu keadaan mantap dan waktu naik. Untuk domain frekuensi, performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin tanpa metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) ditunjukkan dengan nilai margin penguatan dan frekuensi margin penguatan.

Untuk performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin tanpa metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) dalam domain waktu diperlihatkan pada Tabel 2. s/d Tabel 5. Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 1 terhadap masukan 1 diperlihatkan pada Tabel 2. berikut

Tabel 2. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Kriteria	Nilai
Lewatan Maksimum	NaN
Waktu Keadaan Mantap	NaN
Waktu Naik	NaN

Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 1 terhadap masukan 2 diperlihatkan pada Tabel 3. berikut

Tabel 3. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Kriteria	Nilai
Lewatan Maksimum	NaN
Waktu Keadaan Mantap	NaN

Waktu Naik	NaN
------------	-----

Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 2 terhadap masukan 1 diperlihatkan pada Tabel 4.berikut

Tabel 4. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

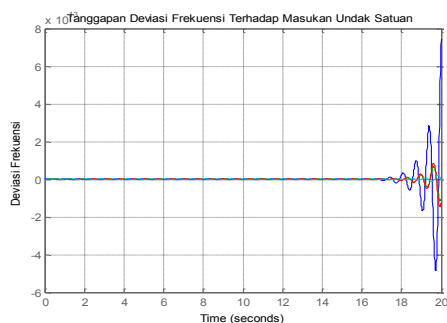
Kriteria	Nilai
Lewatan Maksimum	NaN
Waktu Keadaan Mantap	NaN
Waktu Naik	NaN

performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 2 terhadap masukan 2 diperlihatkan pada Tabel 5.berikut

Tabel 5. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Kriteria	Nilai
Lewatan Maksimum	NaN
Waktu Keadaan Mantap	NaN
Waktu Naik	NaN

Untuk tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin tanpa metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) terhadap masukan undak satuan diperlihatkan pada Gambar 3. berikut



Gambar 3. Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperlihatkan pada Tabel 2. s/d Tabel 5. dan Gambar 3. terlihat bahwa performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin dalam domain waktu belum memenuhi kriteria ditetapkan.

Untuk performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin tanpa metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) dalam domain frekuensi diperlihatkan pada Tabel 6. s/d Tabel 9. Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 1 terhadap masukan 1 diperlihatkan pada Tabel 6.berikut

Tabel 6. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Kriteria	Nilai
----------	-------

Margin Penguatan	Tidak Terhingga
Frekuensi Penguatan	Margin NaN

Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 1 terhadap masukan 2 diperlihatkan pada Tabel 3.berikut

Tabel 7. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Kriteria	Nilai
Margin Penguatan	0.9944
Frekuensi Margin Penguatan	8.5821 rad/detik

Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 2 terhadap masukan 1 diperlihatkan pada Tabel 4.berikut

Tabel 8. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

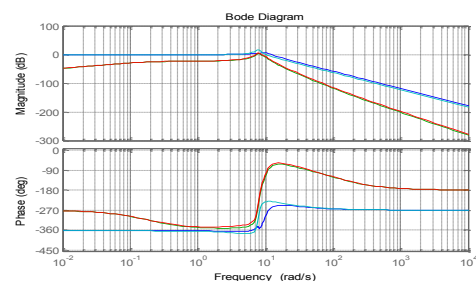
Kriteria	Nilai
Margin Penguatan	-2.2367
Frekuensi Margin Penguatan	8.4396 rad/s

performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 2 terhadap masukan 2 diperlihatkan pada Tabel 5.berikut

Tabel 9. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Kriteria	Nilai
Margin Penguatan	Tidak Terhingga
Frekuensi Margin Penguatan	Margin NaN

Untuk tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin tanpa metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) terhadap Masukan sinusoidal diperlihatkan pada Gambar 4. berikut



Gambar 4. Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Hasil analisa memperlihatkan bahwa tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin tanpa metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) memperlihatkan performansi yang tidak memuaskan baik dalam domain waktu maupun domain frekuensi.

Untuk performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin dengan metoda Linear Quadratic Regulator

(LQR) dalam domain waktu diperlihatkan pada Tabel 10. s/d Tabel 13. Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 1 terhadap masukan 1 diperlihatkan pada Tabel 10.berikut
Tabel 10. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Kriteria	Nilai
Lewatan Maksimum	12.3874 %
Waktu Keadaan Mantap	1.2079 detik
Waktu Naik	0.3245 detik

Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 1 terhadap masukan 2 diperlihatkan pada Tabel 11.berikut

Tabel 11. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Kriteria	Nilai
Lewatan Maksimum	0.0000 %
Waktu Keadaan Mantap	2.0962 detik
Waktu Naik	0.7579 detik

Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 2 terhadap masukan 1 diperlihatkan pada Tabel 12.berikut

Tabel 12. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

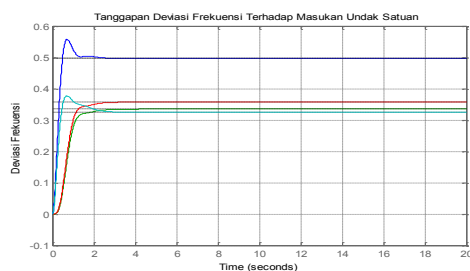
Kriteria	Nilai
Lewatan Maksimum	0.0000 %
Waktu Keadaan Mantap	2.0618 detik
Waktu Naik	0.7447 detik

Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 2 terhadap masukan 2 diperlihatkan pada Tabel 13.berikut

Tabel 13. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Kriteria	Nilai
Lewatan Maksimum	16.4402 %
Waktu Keadaan Mantap	2.2751 detik
Waktu Naik	0.2893 detik

Untuk tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin dengan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) terhadap masukan undak satuan diperlihatkan pada Gambar 5. berikut



Gambar 5. Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperlihatkan pada Tabel 10. s/d Tabel 13. dan Gambar 5. terlihat bahwa performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin dalam domain waktu sudah memenuhi kriteria ditetapkan.

Untuk performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin dengan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) dalam domain frekuensi diperlihatkan pada Tabel 14. s/d Tabel 17. Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 1 terhadap masukan 1 diperlihatkan pada Tabel 14.berikut

Tabel 14. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Kriteria	Nilai
Margin Penguatan	38.0880
Frekuensi Margin Penguatan	23.6650 rad/detik

Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 1 terhadap masukan 2 diperlihatkan pada Tabel 15.berikut

Tabel 15. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Kriteria	Nilai
Margin Penguatan	6.3464
Frekuensi Margin Penguatan	4.6338 rad/detik

Performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 2 terhadap masukan 1 diperlihatkan pada Tabel 16.berikut

Tabel 16. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

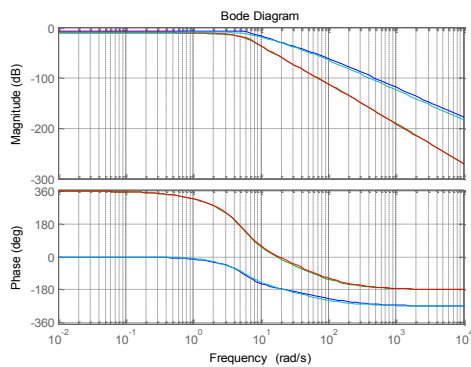
Kriteria	Nilai
Margin Penguatan	6.0120
Frekuensi Margin Penguatan	4.7027 rad/s

performansi tanggapan deviasi frekuensi untuk keluaran 2 terhadap masukan 2 diperlihatkan pada Tabel 17.berikut

Tabel 17. Performansi Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

Kriteria	Nilai
Margin Penguatan	38.54000
Frekuensi Margin Penguatan	21.9890

Untuk tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin tanpa metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) terhadap Masukan sinusoidal diperlihatkan pada Gambar 6. berikut



Gambar 6. Tanggapan Deviasi Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Multimesin

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin dengan metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) lebih baik dibandingkan dengan performansi tanggapan deviasi frekuensi sistem tenaga listrik multimesin tanpa metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) baik dalam domain waktu maupun domain frekuensi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Shah, N. N., Chafekar, A. D., Mehta, D. N. & Suthar, A. R., 2012. Automatic Load Frequency Control of Two Area Power System With Conventional dan Fuzzy Logic Control. *IJRET*, 1(3), pp. 343 - 347.
- [2]. Parmar, K. S., S. M. & D. K., 2012. Improvement of Dynamic Performance of LFC of The Two Area Power System : An Analysis Using Matlab. *International Journal of Computer Applications*, 40(10), pp. 28 - 32.
- [3]. Shanmugasundaram, V., A. R. & T. J., 2012. Load Frequency Control Using Optimal PID Controller For Non - Reheat Thermal Power System With Tcps Unit. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 1(5), pp. 414 - 417.
- [4]. Ikhe, A. & A. K., 2013. Load Frequency Control For Interconnecte Power System Using Different Controllers. 1(4), pp. 85 - 89.
- [5]. Saadat, H., 1999. *Power System Analysis*. Canada: McGraw Hill.

- [6]. D. Kothari & Mahalanabis, A., 1988. *Computer Aided Power System Analysis and Control*. New Delhi : Tata McGraw-Hill.
- [7]. Franklin, G. & Naeini, A. E., 1986. *Feedback*. New York : Addison - Wesley.

Biodata Penulis

Heru Dibyo Laksono ST, MT, Lahir di Sawah Lunto, 7 Januari 1977, Menamatkan S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas (Unand) Padang tahun 2000 bidang Teknik Tenaga Listrik. Pendidikan S2 bidang Kendali dan Sistem diselesaikan di Institute Teknologi Bandung (ITB) tahun 2004. Masuk sebagai dosen Teknik Elektro Universitas Andalas sejak tahun 2005.

Muhammad Reza Permana, Lahir di Padang pada tahun 1992. Menerima gelar sarjana dari Fakultas teknik Universitas Andalas pada tahun 2014. Bidang keahlian Sistem tenaga listrik.