

OPTIMASI SISTEM PENGENDALIAN FREKUENSI DENGAN METODE KONTROL OPTIMAL *LINIER QUADRATIC* *REGULATOR* PADA PLTU

Muhammad Riski Hanifa¹⁾, Iswadi Hasyim Rosma²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, ²⁾Dosen Teknik Elektro
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru 28293
Email: mrhteur@gmail.com

ABSTRACT

A good and efficient generating system is essential to meet the growing demand of electricity. Stability is required in the generation process to operate optimally. One of important stability parameters is frequency stability. This stability can be achieved by controlling the frequency of power plant (i.e. steam power plant). Turbine-generator is one of the important parts in generating system where it converts mechanical energy into electrical energy. On a turbine-generator, frequency becomes the main reference parameter that identifies the normal or abnormal condition of power plant. The main problem in the power plant is sudden load changes that result in abnormal system frequency (to drop or to rise). This abnormal frequency may cause damage on part of power plant, therefore it is necessary to adjust the flow rate of steam into the turbine to obtain the nominal speed of turbine by putting a proper gain controller. The gain was estimated by using LQR method. It has been found from the results that power plant with proper gain controller is better to bring the frequency back to normal compare to without controller.

Keywords : Frequency, steam power plant, Optimal Control, Matlab/Simulink, LQR.

1. PENDAHULUAN

Frekuensi merupakan indikator utama kualitas sebuah sistem pembangkit yang baik. Frekuensi dari turbin uap harus dijaga kestabilannya agar keluaran daya listrik digenerator optimal. Persoalan frekuensi menjadi lebih penting lagi terutama untuk sistem yang didominasi oleh pembangkit terbarukan (renewable energy) yang biasa disebut dengan non synchronous generation (Iswadi, Best and Morrow, 2015). Melalui pengaturan laju aliran uap sebagai masukan (*input*) sehingga akan terlihat perubahan nilai frekuensi yang dihasilkan turbin-

generator. Pada skripsi ini akan dilakukan sebuah penelitian tentang bagaimana penggunaan kontrol optimal *linier quadratic regulator* (LQR) mampu menjaga perubahan frekuensi tetap pada batasan. Sehingga proses pembangkitan dapat dioptimalkan dengan baik.

Beranjak dari hal tersebut maka pada skripsi ini dilakukan kajian optimasi sistem pengendalian frekuensi pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dengan menggunakan metode *linier quadratic regulator* (LQR). Simulasi dilakukan dengan membandingkan respon *plant* pada

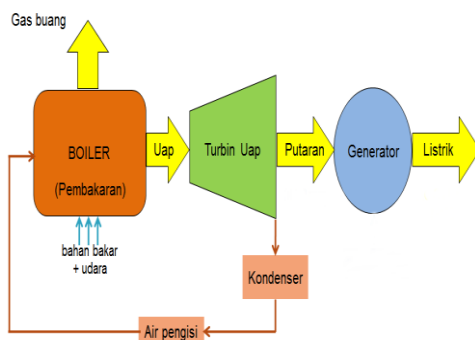
saat sebelum dipasang regulator dan sesudah dipasang regulator. Hasil dari simulasi diketahui saat *plant* diberi beban maka respon akan turun. Dengan turunnya respon maka regulator akan bekerja mengembalikan frekuensi kondisi stabil.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pada Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah Generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. Pembangkit listrik tenaga uap ini menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu bara dan bahan bakar cair untuk *start up* awal. Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui tiga tahapan, yaitu :

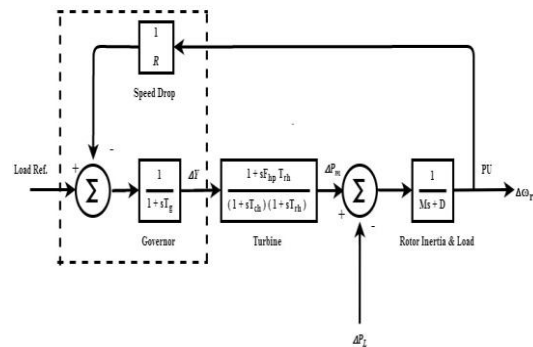
1. Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
2. Kedua, energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran yang digunakan untuk menggerakkan turbin.
3. Ketiga, energi mekanik untuk menggerakkan turbin diubah menjadi energi listrik.



Gambar 1. Siklus Sederhana PLTU

2.2 Turbin Uap Non Reheat

Turbin *non reheat* terdiri lebih dari satu silinder dan uap tidak mengalami proses pemanasan ulang pada boiler. Pada turbin *non reheat*, uap yang keluar dari turbin bertekanan tinggi (HP) tidak akan dialirkan kembali kedalam ketel. Uap sisa yang keluar dari turbin akan dibuang ke udara (Kundur, 2006) (Saadat, 1994).



Gambar 2. Blok Diagram Turbin Non Reheat

2.3 Pemodelan Sistem

Kesahihan analisa studi kestabilan dinamik jaring tenaga listrik yang meliputi respon dinamik sistem tergantung pada kesahihan pemodelan sistem. Pada turbin uap *non reheat*, terdapat beberapa komponen penyusun sistem yang akan dimodelkan guna untuk dilakukan pengontrolan agar frekuensi keluaran tetap stabil guna mengoptimalkan proses pembangkitan. Komponen penyusun sistem yaitu model generator, model beban, model penggerak utama, model governor, dan kontrol optimal LQR (Roni and Rameli, 2012).

3. METODELOGI PENELITIAN

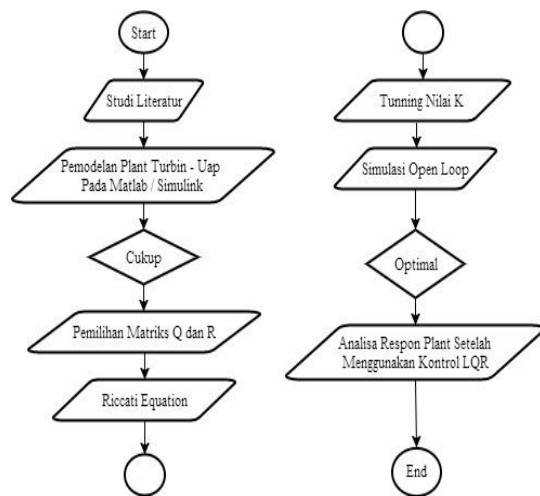
a) Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengumpulkan data dari peneliti dan karya ilmiah yang berkaitan dengan pembahasan dari tugas akhir untuk selanjutnya dilakukan analisis tentang sistem pengendalian frekuensi pada pembangkit listrik tenaga uap yang menjadi objek dari penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan menggunakan metode kontrol optimal

linier quadratic regulator agar sebuah proses pembangkitan daya listrik pada sebuah pembangkit dapat dioptimalkan dengan baik.

b) Langkah – Langkah Penelitian

Adapun langkah – langkah penelitian ini dapat dilihat pada *flow chart* yang akan ditampilkan dibawah ini sebagai berikut.



Gambar 3. Flow Chart Penelitian

c) Data

Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Turbin uap yang digunakan yaitu turbin uap *non reheat*
2. Nilai *setpoint* frekuensi yang ditetapkan yaitu 50 Hz
3. Diagram blok turbin uap *non reheat* dan nilai parameternya dapat dilihat pada lampiran

d) Alat Dan Bahan

Adapun sarana yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian ini ialah :

1. Laptop HP PAVILION G4
2. Software Matlab R2016a

e) Fungsi Alih Turbin Uap

Setelah mendapatkan bentuk model dari sistem turbin uap *non reheat*, maka kita dapat menentukan fungsi alih dari sistem

tersebut. Dimana fungsi alih dari sistem tersebut yaitu:

$$\frac{\Delta\Omega(s)}{-\Delta Pl} = \frac{(1+sTg)x(1+sTch)}{(D+sM)x(1+sTg)x(1+sTch) + \frac{1}{RG}}$$

f) Model Persamaan State Space

Pemodelan persamaan *state space* pada sistem tenaga listrik *modern* yang kompleks banyak digunakan untuk penyelesaian masalah kontrol. Cara dalam pembentukan *state space* dari *plant* turbin uap *non reheat* diatas dan karakteristik *state space* dapat kita selesaikan dengan menggunakan bantuan fungsi matlab. Dari fungsi alih sistem diatas kita ubah kedalam bentuk persamaan *state space*. Maka persamaan *state space* dari fungsi alih diatas kita gunakan fungsi matlab dengan *listing* program pada *command windows*.

```
>> Num = (1 + sTg) x (1 + sTch) ;
```

```
>> Den = (D + sM) x (1 + sTg) x (1 + sTch)
```

```
>> [A, B, C, D] = tf2ss(num,den) ;
```

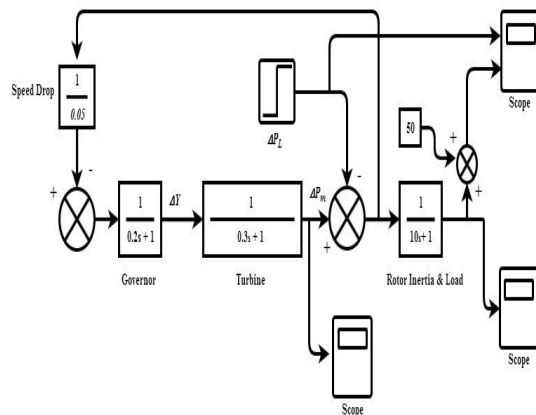
g) Prosedur Perancangan kontroler

Prosedur perancangan pengendali *Linear Quadratic Regulator (LQR)* adalah sebagai berikut:

1. Masukkan nilai matriks A, B, C, D.
2. Kemudian dilakukan validasi state untuk memastikan apakah persamaan plant yang digunakan sudah valid atau tidak.
3. Selanjutnya dipilih matriks Q dan R dengan cara coba-coba, yang berguna untuk mendapatkan nilai umpan balik *gain (K)*
4. Kinerja dari pengendali yang dirancang harus diuji dalam berbagai kondisi baik dalam kawasan frekuensi maupun waktu.
5. Kinerja dari pengendali yang dirancang harus diuji dalam berbagai kondisi baik dalam kawasan frekuensi maupun waktu.

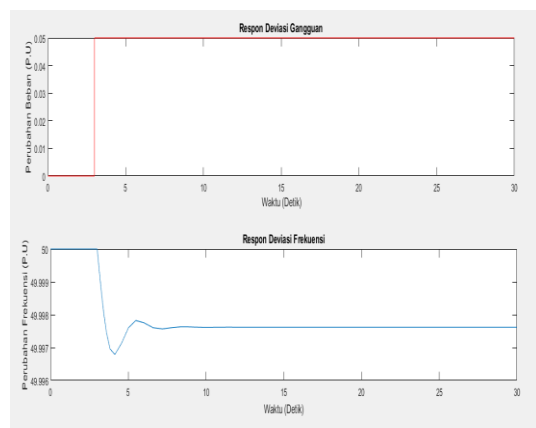
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Dan Simulasi Adanya Gangguan Tanpa Pengontrolan



Gambar 4. Adanya Gangguan Tanpa Pengontrolan

Dengan respon deviasi frekuensi didapatkan dari *plant* tanpa pengontrolan seperti yang ditunjukkan pada gambar.

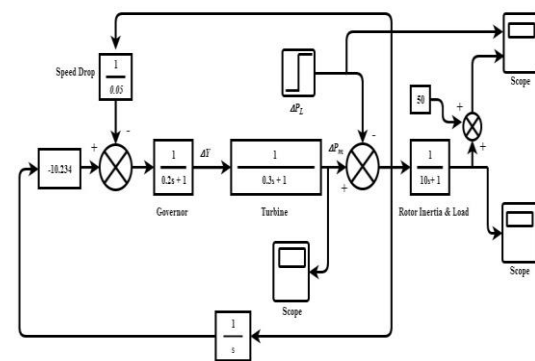


Gambar 5. Respon Plant Tanpa Pengontrolan

Dari respon plant diatas, dapat dilihat bagaimana ketika terjadi perubahan beban pada plant sebesar 0.05 per unit. Dari respon dapat diamati bahwa ketika terjadi perubahan beban, frekuensi akan turun hingga 49.975 Hz atau 0.05% dari nilai *setpoint* frekuensi yaitu 50 Hz.

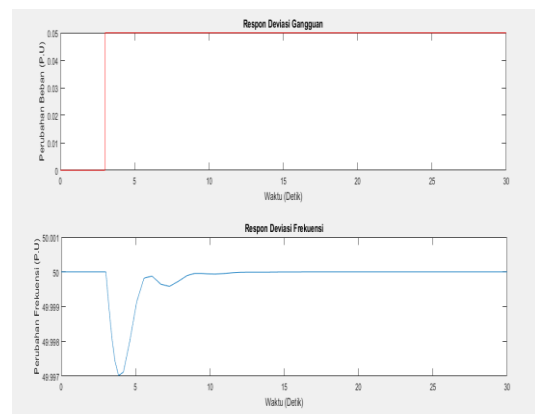
4.2 Pengujian Dan Simulasi Adanya Gangguan Dengan Pengontrolan

Pada simulasi yang dilakukan akan diuji seberapa mampu kontroler mengatasi gangguan yang terdapat pada sistem saat beroperasi. Kemudian dari respon *plant* yang didapat kita akan mengetahui bagaimana kontroler mampu membawa frekuensi kembali stabil tetapi gelombang frekuensi tidak sinusoidal.



Gambar 6. Diagram Blok Turbin Uap Adanya Gangguan Dengan Pengontrolan

Gambar diatas adalah bentuk blok diagram turbin uap *non reheat* dimana ketika adanya gangguan lalu dipasang sebuah pengontrolan sederhana yang belum *ditunning* menggunakan LQR. Dengan respon deviasi frekuensi didapatkan dari *plant* dengan pengontrolan sederhana ketika terjadi gangguan, seperti yang ditunjukkan pada gambar.

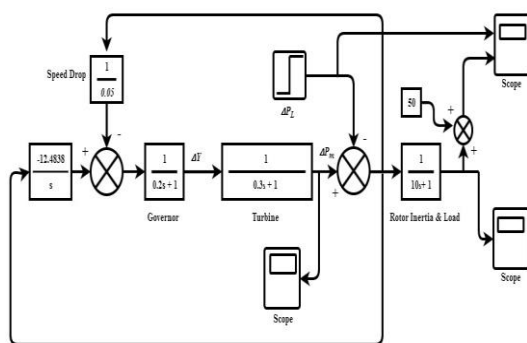


Gambar 7. Respon *plant* Adanya pengontrolan Dan Beban

Dari respon *plant* diatas dapat kita simpulkan, ketika kita memasang sebuah kontroler sederhana disebuah *plant* saat terjadi gangguan didapatkan kesimpulan bahwa frekuensi dapat kembali ke nilai *setpoint* 50 Hz yang kita inginkan, akan tetapi tidak sempurna pengembalian frekuensinya dan gelombang frekuensi tidak *sinusoidal* sempurna. Untuk itu kita perlu melakukan pengendali yang lebih baik.

4.3 Adanya Gangguan Dan Pengontrolan Yang Telah Dilakukan Tunning

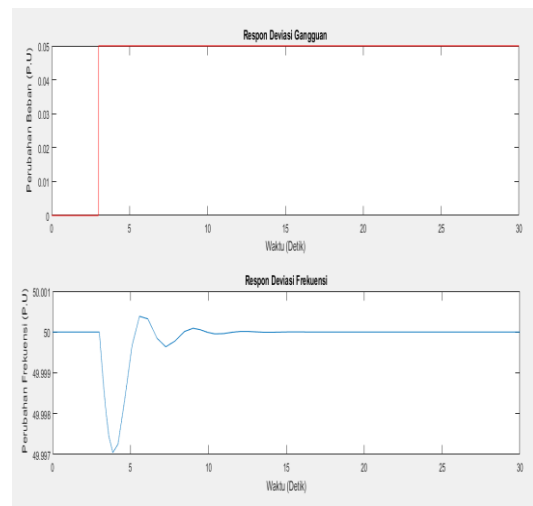
Disini inti dari penelitian yang dilakukan adalah bagaimana mendesain sebuah pengontrol pada sistem pembangkit. Berbeda dari pengontrolan sederhana sebelumnya, pada pengontrolan ini telah dilakukan proses *tunning* untuk mendapatkan nilai *gain K* terbaik sebagai penguat, sehingga proses pengontrolan dapat lebih baik. Pada simulasi diambil *plant* turbin uap *non reheat* sebagai objek penelitian, dengan melakukan pengontrolan untuk menjaga frekuensi pada sistem tetap menuju nilai *setpoint* 50 Hz atau dengan kata lain menjaga frekuensi dari sistem untuk selalu berada pada batas yang diperbolehkan ketika terjadi gangguan.



Gambar 8. Diagram Blok Turbin Uap Dengan Pengontrolan Yang Telah Tunning.

ketika dilakukan pengontrolan dengan ada perubahan beban yang terjadi mampu mengembalikan frekuensi ke nilai *setpoint* 50 Hz dan membuat sistem nyaman beroperasi, sehingga proses pembangkitan

dapat dioptimalkan. Pada gambar respon *plant* dibawah dapat kita lihat bagaimana sebuah kontrol dapat memberikan kenyamanan kepada sistem ketika terjadi gangguan, kontroler dapat mengembalikan frekuensi yang turun untuk kembali secepat mungkin menuju nilai *setpoint* yang ditetapkan.



Gambar 1. Respon Plant Pengontrolan Yang Telah Tunning

Dari respon *plant* dapat kita tarik sebuah kesimpulan, ketika dipasang sebuah kontroler pada sebuah *plant*, maka secara otomatis kontroler tersebut berupaya untuk menjaga frekuensi dari turbin tersebut tetap dalam kondisi stabil, sehingga *plant* dapat dengan nyaman beroperasi dan sistem tetap stabil. Tentu dengan adanya kontroler ini, proses pembangkitan dapat dioptimalkan dengan sangat baik. Pada respon *plant* diatas, ketika terjadi gangguan, kontroler bekerja dengan baik untuk mengembalikan frekuensi kembali normal.

5. PENUTUP

a) Kesimpulan

Berdasarkan hasil *running program* dan analisa pengaturan frekuensi pada turbin buat non reheat dengan metode kontrol optimal *LQR* dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Desain kontrol optimal LQR dirancang untuk mengatasi perubahan frekuensi pada beban yang diketahui dan kontrol optimal LQR mampu mempertahankan frekuensi tetap stabil pada 50 Hz.
2. Dengan menggunakan kontrol optimal LQR ketika terjadi gangguan, frekuensi dapat kembali dibawa menuju keadaan *steady state* dengan cepat dan dapat diandalkan.
3. Matriks pembobot Q dan R yang didapat yaitu $Q = \text{diag}[24 \ 0 \ 0; 0 \ 7 \ 0; 0 \ 0 \ 5]$ dan $R = 0.15$ dan nilai *gain* K yang paling optimal didapat sebesar -12.4638.
4. Pada saat diberikan gangguan yang bervariasi dari 10% hingga 30%, LQR mampu melakukan pengontrolan dengan baik dan membawa frekuensi kembali ke 50 Hz, tetapi membutuhkan waktu yang sedikit lebih lama dikarenakan beban yang semakin bertambah.

b) Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan untuk pengembangan lebih lanjut penelitian ini adalah :

1. Metode optimasi *LQR* memiliki kekurangan tidak dapat mengatasi gangguan acak (*random*) pada sistem. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan metode optimasi *LQG* yang memperhitungkan gangguan acak. Optimasi dilakukan secara *online*, agar dapat diketahui respon sistem secara riil.
2. Pemilihan matrik bobot Q dan R pada skripsi ini dilakukan dengan cara coba-coba (*trial and error*), yang membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan hasilnya. Oleh sebab itu, perlu dikembangkan metode yang lebih baik untuk mendapatkan nilai matrik Q dan R tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Iswadi, H. R., Best, R. J. and Morrow, D. J. (2015) 'Irish power system primary frequency response metrics during different system non synchronous penetration', in *2015 IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech 2015*. doi: 10.1109/PTC.2015.7232425.
- Kundur, P. (2006) *Power System Stability and Control, System*. doi: 10.1049/ep.1977.0418.
- Roni, A. and Rameli, M. (2012) 'Perancangan dan Implementasi Metode Kontrol Optimal LQR untuk Pengendalian Frekuensi pada Simulator Pembangkit Listrik Generator', *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), pp. 1–6. doi: ISSN: 2301-9271.
- Saadat, H. (1994) *Power System Analysis, Power*. doi: 10.1002/nag.1610130603.