



## SIMULASI SISTEM KONTROL YAW TURBIN ANGIN DENGAN LQR DAN SIMULINK

### WIND TURBINE YAW CONTROL SYSTEM SIMULATION WITH LQR AND SIMULINK

Candra Pradhana<sup>1\*</sup>, Indah Martha Fitriani<sup>2</sup>, M. Ana Zamzami<sup>3</sup>, M. Rizal Zamzami<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Teknik Elektro, Fakultas Saintek, Universitas Islam Raden Rahmat, Email : candraphysics@gmail.com

<sup>2</sup>Teknik Elektro, Fakultas Saintek, Universitas Islam Raden Rahmat, Email :  
indah\_martha\_fitriani@uniramalang.ac.id

\*email Koresponden: [candraphysics@gmail.com](mailto:candraphysics@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.62567/micjo.v2i1.478>

Article info:

Submitted: 08/01/25

Accepted: 15/01/25

Published: 30/01/25

#### Abstrak

LQR diimplementasikan pada kontrol yaw untuk turbin angin dengan bantuan Matlab dan Simulink untuk mensimulasikan hasil dari sistem kontrol yang telah didesain. Fokus dalam penelitian ini adalah kontrol posisi dan kecepatan dari motor/turbin terhadap input referensi. Dari persamaan diferensial akan diperoleh matriks A,B,C, D yang akan digunakan untuk kontrol posisi dan kecepatan sudut. Solusi dari LQR dilakukan dengan Matlab sehingga didapat nilai *Gain* yang akan digunakan dalam Simulink. Hasil Simulasi menunjukkan bahwa posisi sudut mengalami osilasi dalam selang waktu tertentu hingga mencapai nilai referensi awal, berbeda dengan kecepatan sudut yang mencapai kondisi *steady state* setelah diterapkan LQR.

**Kata Kunci** : Turbin Angin, Kontrol Yaw, LQR, Simulink.

#### 1. PENDAHULUAN

Turbin angin adalah *device* yang mampu merubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik sehingga dapat dikonversi menjadi energi listrik. Model sederhana dari turbin angin mengambil dasar teori dari momentum, angin dengan kecepatan tertentu yang menabrak rotor yang memiliki performa sayap atau *propeller* (Aryanto et al., 2013). Angin yang datang mengenai rotor dari turbin memiliki karakteristik berbanding lurus, artinya bahwa energi listrik yang dihasilkan akan semakin besar (Aryanto et al., 2013). Sistem ini menjadi salah satu teknologi kunci dalam pengembangan energi terbarukan (*renewable*) karena sifatnya yang ramah terhadap lingkungan, berkelanjutan, serta memiliki potensi yang besar dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, bahkan dalam skala kecilpun turbin angin dapat memenuhi kebutuhan listrik (Yaman, 2024).

Merujuk pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional dan Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 22 Tahun 2017,

ditetapkan bahwa target bauran energi baru dan terbarukan (EBT) adalah minimal 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 (Presiden Republik Indonesia, 2014, 2017). Target kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLT-Angin) pada tahun 2025 ditetapkan sebesar 255 MW. Namun, hingga tahun 2020, kapasitas PLT-Angin yang terpasang baru mencapai sekitar 135 MW, dengan rincian 75 MW di Sidrap dan 60 MW di Janeponto. Oleh karena itu, pengembangan energi angin di Indonesia masih menjadi tantangan yang perlu diatasi secara nasional (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan, 2021).

Tantangan dalam pengembangan energi angin adalah kecepatan dan arah angin yang berubah-ubah yang dapat memengaruhi efisiensi (tepat guna) turbin angin. Untuk memaksimalkan penangkapan angin pada sebuah turbin angin, dapat digunakan sistem *yaw control*, sistem *pitch control*, atau kombinasi keduanya (Nuryanti et al., 2021). Sistem kontrol cerdas seperti LQR (*Linier Quadratic Regulator*) dapat meningkatkan efisiensi operasi dari sistem ini. Dengan LQR maka dapat dipastikan turbin angin dapat beroperasi secara efisien, stabil, dan aman meskipun terdapat kondisi angin yang berubah-ubah. *Yaw control* pada turbin angin bertujuan untuk menjaga rotor tetap sejajar dengan arah angin untuk memaksimalkan efisiensi energi yang dihasilkan. Sistem *yaw* mengontrol sudut orientasi nacelle (badan motor) terhadap arah angin dengan menggunakan motor DC (Sudrajat et al., 2020). Motor DC sering digunakan dalam skala industri besar karena lebih efisien daripada motor AC (Anggrila & Astrid, 2024).

*Tools* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah matlab dan Simulink. Simulink merupakan *graphical extension* dari Matlab yang dapat digunakan untuk memodelkan dan mensimulasikan sebuah sistem (Parinduri, 2018). Penelitian ini menggunakan *state system*. Dimana, dalam simulink, sistem digambarkan sebagai sebuah *block diagram*, bisa berupa fungsi transfer, penjumlahan (*sum*), serta didalam *library* simulink terdapat pula *virtual input* dan *output device* seperti *function generator* dan *scope*. Dalam simulink, data dari berbagai *block* dikirim ke *block* lainnya dihubungkan dengan garis.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji unjuk kerja model state-space untuk sistem *yaw control* dengan mencari solusi dari LQR dengan persamaan Riccati, sehingga didapatkan matriks diferensial untuk dimasukkan kedalam model *state-space*.

## 2. METODE PENELITIAN

Untuk mengimplementasikan LQR, langkah awal adalah dimulai dengan memodelkan sistem yaw dari turbin. Model ini biasanya berupa model ruang keadaan (*state-space*) seperti persamaan 1, yang meliputi:

State variables: sudut yaw ( $\theta_y$ )

Input: Torsi aktuator yaw ( $u$ ).

Disturbance: Gangguan dari arah angin yang berubah-ubah.

Untuk Model State-Space secara umum:

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

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

Persamaan 1. Model State-Space (Aghnia, 2018)

**Keterangan:**

$\dot{x}(t)$  : Turunan waktu dari vektor keadaan  $x(t)$ , menggambarkan bagaimana keadaan sistem berubah seiring waktu.

A: Matriks sistem yang menggambarkan dinamika intrinsik dari sistem.

B: Matriks input yang menghubungkan input kontrol  $u(t)$  dengan perubahan keadaan sistem.

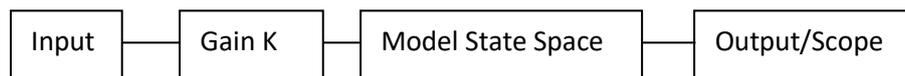
$u(t)$ : Vektor input yang berupa sinyal kontrol yang diberikan pada sistem.

$x(t)$ : Vektor keadaan yang mencakup variabel-variabel internal yang mendeskripsikan kondisi sistem (contohnya sudut yaw dan kecepatan yaw dalam kasus turbin angin).

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{b}{J} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{J} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = [0 \quad 1], \quad \mathbf{D} = [0].$$

**Persamaan 2.** Matriks Ruang Keadaan (Susanto, 2023)

Matriks ruang keadaan didapatkan dari penurunan model state space yaitu disimbolkan dengan A, B, C, D. Masukkan matriks ini ke dalam persamaan LQR kemudian cari solusinya dengan matlab dan masukkan hasilnya ke diagram blok pada simulink



**Gambar 1.** Digram Blok Penelitian

Setelah tahap persiapan selesai, kemudian dilakukan dengan menurunkan persamaan diferensial untuk sistem turbin angin, kemudian dengan separasi variabel dapat dicari output berupa posisi dalam sudut yang akan berubah sesuai dengan torsi dari angin. Diagram blok pada Simulink dirancang berdasar persamaan diferensial ini, dengan *scope* dapat diamati perubahan posisi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari perhitungan LQR dari parameter berupa matriks, inersia, koefisien redaman (b) dapat dilihat pada gambar 2 dengan program matlab, hasil ini kemudian dimasukkan kedalam blok *gain* simulink.

```

1 - b = 0.1; % or any other value you need
2 - J = 0.01; % define J as well if it's not defined yet
3
4 % Matriks ruang keadaan
5 - A = [0 1; 0 -b/J]; % State space matrix A
6 - B = [0; 1/J]; % Control input matrix B
7 - C = [0 1];
8 % Bobot fungsi biaya
9 - Q = diag([10, 1]); % Penalti pada error posisi dan kecepatan
10 - R = 0.01; % Penalti pada energi kontrol
11
12 % Hitung gain LQR
13 - K = lqr(A, B, Q, R); % Compute the LQR gain matrix K
14
15 % Display the result
16 - disp('LQR Gain Matrix K:');
17 - disp(K);
18
Command Window
>> hitung
LQR Gain Matrix K:
31.6228 9.9321

```

**Gambar 2.** Perhitungan LQR dengan Matlab

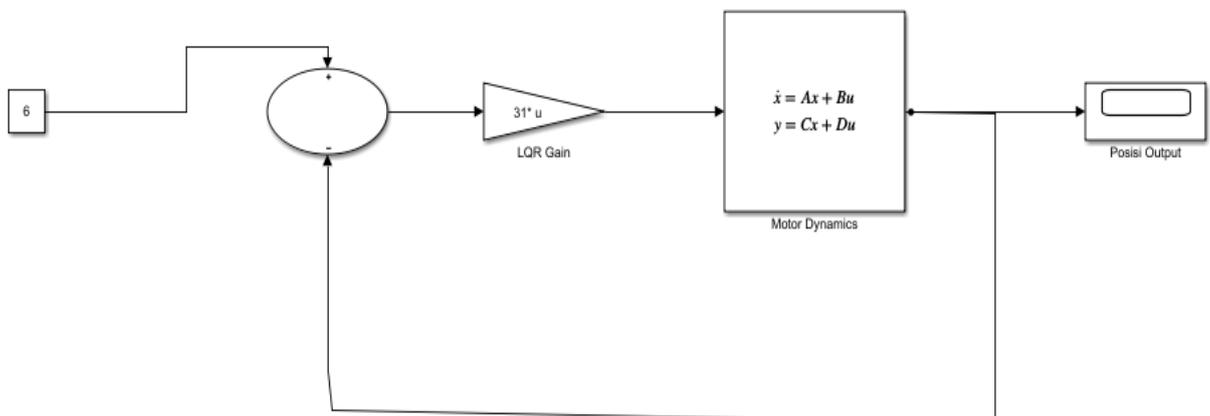
Hasil dari perhitungan LQR memiliki 2 output yang merepresentasikan posisi dan kecepatan sudut. Pada gambar 2 nilai yang didapat adalah 31 dan 9.9

. Dalam sistem ruang keadaan (*state-space*), matriks keluaran (C) dapat digunakan untuk menentukan variabel yang akan dicari dan diamati sebagai output sistem. Dalam penelitian ini matriks C digunakan untuk menentukan kecepatan dan posisi. Matriks C untuk posisi dan kecepatan sudut memiliki nilai yang berbeda yaitu:

$$C_{Posisi} = [1 \ 0]$$

$$C_{Kecepatan} = [0 \ 1]$$

Kemudian LQR dapat dicari solusinya dengan persamaan Riccati, Kestabilan dari sistem nilai penalti Q dan R dalam fungsi biaya menentukan seberapa cepatnya dalam mencapai kondisi *steady-state*



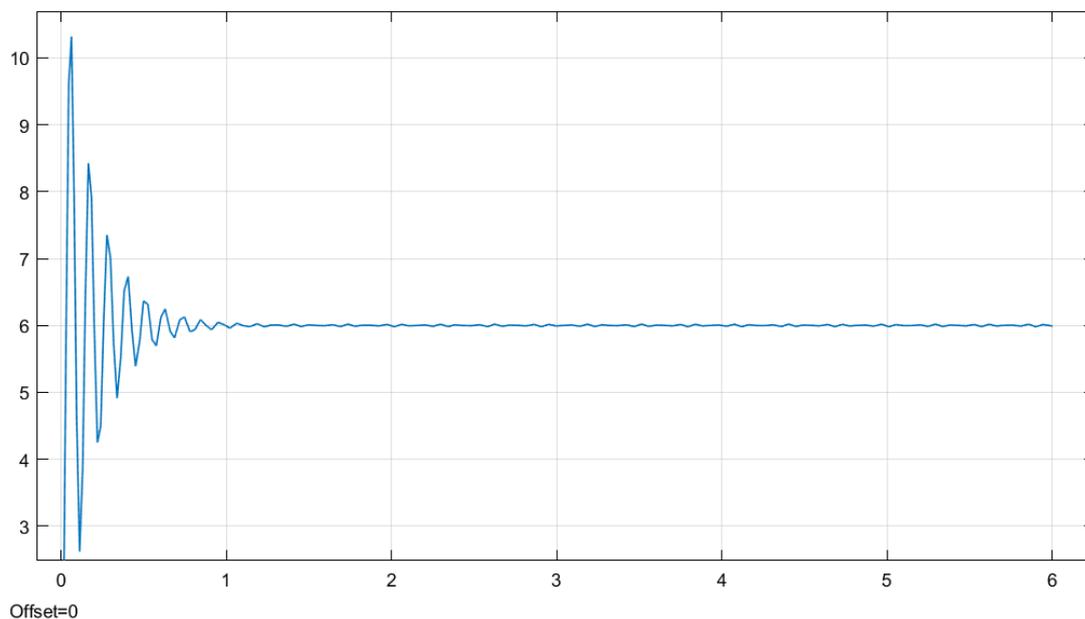
**Gambar 3.** Diagram Blok Simulink Yaw Control Posisi

Berikut adalah penjelasan dari Gambar 3:

1. Setpoint (input referensi) dapat direpresentasikan sebagai arah angin berupa sudut dalam radian

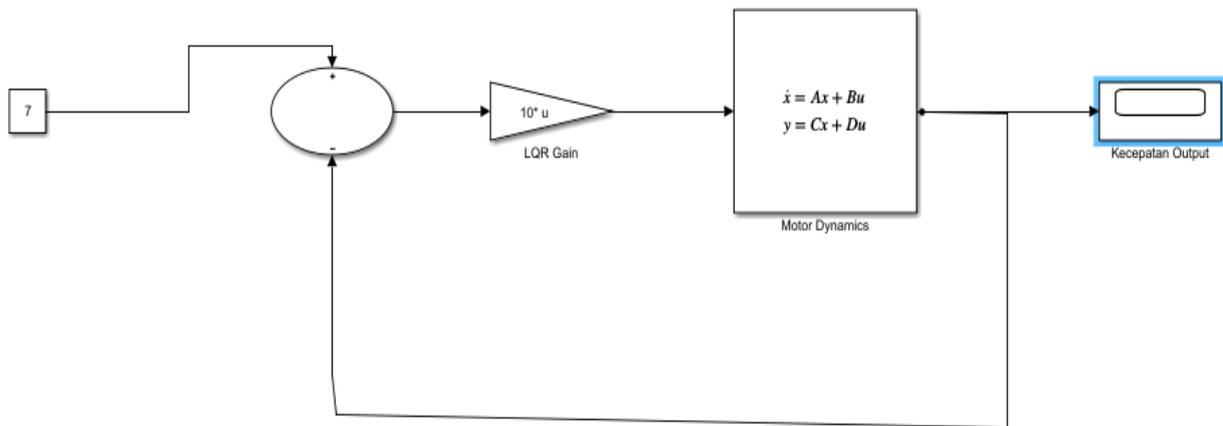
2. LQR gain (K) memproses error dan menentukan sinyal kontrol  $u(t)$ .
3. Blok Dinamika motor menerima  $u(t)$ , memprosesnya sesuai dinamika atau matriks diferensial (A,B,C,D), dan menghasilkan kecepatan sudut.
4. Kecepatan  $y(t)$  diumpankan kembali (*loop*) untuk terus menyesuaikan kontrol sampai sistem tersebut sesuai dengan input berupa arah angin.

Gambar 3 menghasilkan scope berupa posisisudut, tampilan dari scope dapat diamati pada gambar 4 dimana sumbu X (horizontal) merupakan waktu  $t$  dalam detik serta sumbu Y (vertikal) menunjukkan nilai state atau variabel sistem yaitu posisi dan kecepatan sudut. Karakteristik dari grafik memiliki kemiripan dengan osilasi teredam yang mana amplitudo berkurang seiring waktu hingga mencapai keadaan stabil.

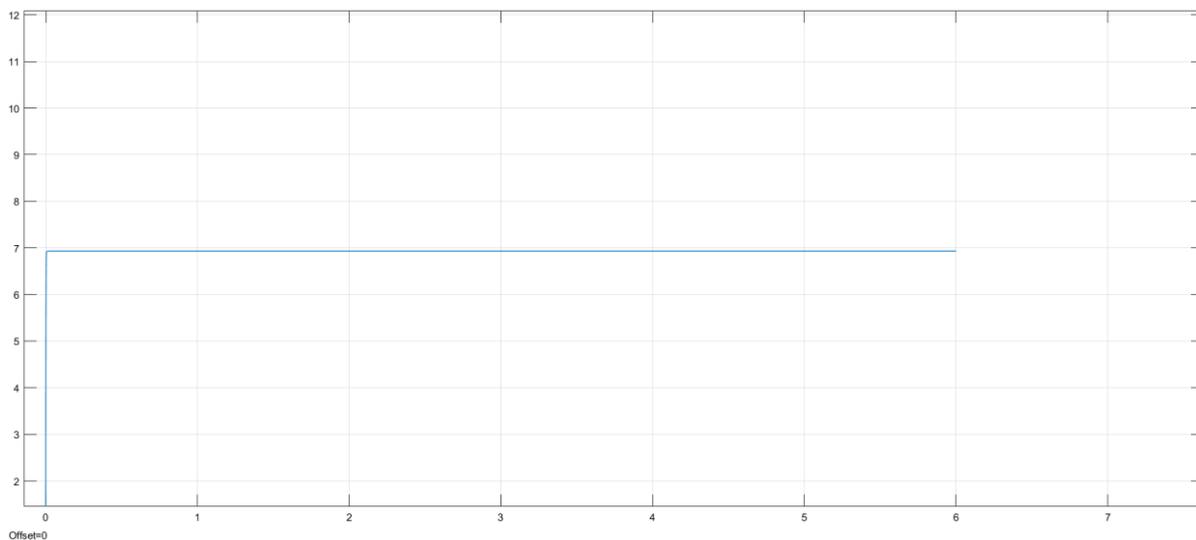


**Gambar 4.** Output Simulink Yaw Control Posisi

Output pada Gambar 4 berupa simulasi bisa diamati melalui blok *scope* pada simulink, terlihat adanya lonjakan/osilasi (*overshoot*) dari posisi sudut motor DC (*yaw angle*) pada turbin angin. Posisi sudut *yaw* direpresentasikan dalam grafik dan berubah seiring waktu hingga mencapai nilai referensi input bernilai 6 rad.



**Gambar 5.** Diagram Blok Simulink Yaw Control Kecepatan



**Gambar 6.** Output Simulink Yaw Control Kecepatan

Sistem yang akan disimulasikan diawali dengan input berupa kecepatan sudut referensi sebesar 7 rad/s (input pada blok *constant*). Nilai dari matriks A,B,C,D masukkan kedalam blok State-Space pada simulink dengan gain K sebesar 10. Gambar 6 menunjukkan bahwa sistem telah mencapai nilai *steady-state* atau tidak ada perubahan terhadap waktu/tanpa osilasi. Hal ini memang sesuai bahwa LQR memiliki dinamika yang bagus tanpa overshoot serta memiliki *settling time* yang cepat untuk kontrol kecepatan sudut (Hashim and Ahmed 2013).

#### 4. KESIMPULAN

Sistem mengukur posisi dan kecepatan motor sebagai output dengan persamaan  $y=Cx+Du$ , kemudian setelah beberapa waktu berlalu dalam kondisi *steady-state*, Posisi sudut motor  $y(t)$  dalam grafik akan sama dengan setpoint awal  $r(t)$ . Hal ini dapat dikatakan bahwa sistem telah didesain dengan baik meskipun mengalami osilasi. Sedangkan untuk kontrol kecepatan sudut sistem LQR mampu menyetabilkan kecepatan sehingga dicapai keadaan konstan/*steady state* tanpa adanya osilasi.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Aghnia, A. H. (2018). *PERANCANGAN SISTEM FAULT TOLERANT CONTROL PADA TURBIN ANGIN DENGAN KESALAHAN PADA AKTUATOR*.
- Anggrila, B., & Astrid, E. (2024). Rancang Bangun DC Chopper Empat Kuadran untuk Motor DC dengan Monitoring Simulink Matlab. *MSI Tansaction on Education*, 5(4), 185–196.
- Aryanto, F., Mara, M., & Nuarsa, M. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal. *Dinamika Teknik Mesin*, 3(1), 50–59. <https://doi.org/10.29303/d.v3i1.88>
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan, E. B. T. dan K. E. (2021, January 30). *Potensi Energi Angin Indonesia 2020*. [https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi\\_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020](https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020)
- Hashim, Aamir, and Obeid Ahmed. 2013. “Optimal Speed Control for Direct Current Motors Using Linear Quadratic Regulator.” *Journal of Science and Technology -Engineering and Computer Sciences* 14(2):48–56.
- Nuryanti, N., Salam A., & Julianto, A. (2021). Simulasi Pengujian Kinerja Kendali Pitch Turbin Angin Berbasis Matlab Simulink. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 7(2), 237. <https://doi.org/10.24036/jtev.v7i2.113214>
- Parinduri, I. (2018). Model dan Simulasi Rangkaian RLC Menggunakan Aplikasi Matlab Metode Simulink. *Journal of Science and Social Research*, 1(1), 42. <https://doi.org/10.54314/jssr.v1i1.106>
- Presiden Republik Indonesia. (2014). *Kebijakan Energi Nasional*. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/5523/pp-no-79-tahun-2014>
- Presiden Republik Indonesia. (2017). *Rencana Umum Energi Nasional*.
- Sudrajat, A., Hidayanti, F., Repi, V. V. R., & Widjayahakim, D. (2020). Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Turbin Angin Yaw Direction. *Jurnal Ilmiah Giga*, 23(2), 83. <https://doi.org/10.47313/jig.v23i2.936>
- Susanto, E. (2023). *Desain dan Analisis Sistem Kendali: Menggunakan Metode Ruang Keadaan (State Space), Tempat Kedudukan Akar (Root Locus), dan Respons Frekuensi* (A. Suslia, Ed.). Salemba Teknika.
- Yaman. (2024). Turbin Angin menggunakan Pipa PVC sebagai Pembangkit Tenaga Listrik dan Pengusir Hama Burung Pipit. *Serambi Engineering (JSE)*, 9(No. 2 (2024)), 8851–8859.