

Perancangan Kendali LQR-PD Untuk Pengendalian Sumbu Elevasi *Turret-Gun* Pada *Turret-Gun* Kaliber 20 Milimeter

Halim Mudia¹, Ashar Wahidil Putra², M. Nur Faizi³, Hikmatul Amri⁴

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim, Jl. H.R. Soebrantas, Riau, Indonesia

^{3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bengkalis, Jl. Bathin Alam, Riau, Indonesia

email: halim.mudia@uin-suska.ac.id¹, asharwahidilputra@gmail.com², faizi@polbeng.ac.id³, hikmatul_amri@polbeng.ac.id⁴

Abstrak - Salah satu teknologi persenjataan yang telah mengalami perkembangan yang dimiliki Indonesia adalah *Turret-Gun*. Adapun yang menjadi fokus utama pada penelitian ini adalah kendali pada gerak sumbu Elevasi *Turret-Gun*, di mana ukuran peluru menjadi faktor yang mempengaruhi dimensi dan inersia dari laras senapan, yang disebabkan inersia yang besar membuat sistem sulit bergerak dengan akurat dan presisi, sehingga dibutuhkan pengendali yang sesuai untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Pada penelitian ini desain pengendali LQR yang dikombinasikan dengan pengendali PD untuk mengendalikan posisi sumbu Elevasi *Turret-Gun* kaliber 20 milimeter. Pengendali LQR dirancang untuk menjaga performansi pada sistem, yang dikombinasikan dengan pengendali PD yang berguna untuk menekan nilai *overshoot* dan *steady state error* supaya mendekati nol walaupun sistem diberikan gangguan. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dianalisa, kombinasi pengendali LQR dengan nilai pembobot $Q = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 209987 \end{bmatrix}$ dan $R = [1]$ dan PD dengan nilai $K_p = 11000$ dan $K_d = 2100$ yang didapatkan menggunakan metode heuristik, berhasil membuat sumbu Elevasi *Turret-Gun* mencapai *setpoint* yang diinginkan dan mampu menjaga serta memperbaiki posisi sumbu Elevasi *Turret-Gun* kaliber 20 milimeter dengan gangguan maupun tanpa gangguan. Hal ini dibuktikan dengan nilai *overshoot* sebesar 0% dan *steady state error* sebesar 0°.

Kata kunci - Linear quadratic regulator (LQR), posisi, propotional derivative (PD), sumbu elevasi, *turret-gun*.

Astract - One of the weapons technology that has experienced the development of Indonesia is *Turret-Gun*. The main focus of this research is the control on the turret-gun Elevation axis motion, where the size of the bullet is a factor that affects the dimensions and inertia of the gun barrel, due to the large inertia makes the system difficult to move with accuracy and precision, so it requires an appropriate controller to solve the problem. In this study the design of the LQR controller combined with the PD controller to control the position of the 20 millimeter caliber *Turret-Gun* Elevation axis. The LQR controller is designed to maintain the performance of the system, which is combined with a PD controller which is useful for suppressing the value of overshoot and steady state error to zero even though the system is disturbed. Based on the simulation results that have been analyzed, the combination of LQR controllers with weighting values $Q = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 209987 \end{bmatrix}$ and $R = [1]$ and PD with values of $K_p = 11000$ and $K_d = 2100$ were found using the heuristic method, managed to make the *Turret-Gun* Elevation axis reach the desired *setpoint* and be able to maintain and improve the position of the 20-millimeter caliber *Turret-Gun* axis with distraction or without interference. This is evidenced by an overshoot value of 0% and steady state error of 0°.

Keywords - Elevation axis, linear quadratic regulator (LQR), position, propotional derivative (PD), *turret-gun*.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi robot pada dasarnya sangat membantu di setiap bidang, terlebih pada bidang pertahanan dan keamanan yang semakin kompleks dengan pertumbuhan dan perkembangan sistem alat pertahanan utama yang lebih canggih [1]. Oleh karena itu negara-negara besar berupaya untuk mengembangkan persenjataan sebagai pertahanan mereka dengan mengedepankan aplikasi teknologi canggih. Salah satu teknologi persenjataan yang telah mengalami perkembangan yang dimiliki Indonesia adalah *Turret-gun*. *Turret-gun* adalah sistem senjata laras panjang yang dapat mempermudah kerja militer untuk mengenai target, yang dioperasikan secara manual maupun otomatis menggunakan *remote control*. Sistem *Turret-Gun* mempunyai dua sumbu gerak, yaitu sumbu *Azimuth* dan sumbu Elevasi. Sumbu *Azimuth* berotasi sebesar 360° yang berperan untuk mengatur posisi dari titik koordinat yang diarahkan. Sedangkan sumbu Elevasi berotasi sebesar 70° yang berperan untuk mengatur jarak. Yang menjadi fokus utama pada penelitian ini adalah perancangan kendali pada gerak sumbu Elevasi *Turret-gun*, di mana ukuran peluru menjadi faktor yang mempengaruhi dimensi dan inersia dari laras senapan, hal ini disebabkan inersia yang besar membuat sistem sulit bergerak dengan akurat dan presisi, sehingga dibutuhkan pengendali yang sesuai untuk menyelesaikan masalah tersebut.

Beberapa penelitian yang telah membahas *Turret-gun*, salah satunya yaitu penelitian mengenai pengendalian sumbu Elevasi pada *Turret-gun* dengan kaliber 20 mm. Dalam penelitian tersebut menggunakan pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID) dengan menggunakan metode *Root Locus* dan *Ziegler Nichols*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Turret-gun* berhasil mencapai *setpoint*, namun terdapat *overshoot* yang besar, sehingga hasil kerjanya belum maksimal. [2].

Penelitian lain tentang pengaturan sumbu Elevasi pada *Turret-gun* menggunakan kendali PI dengan parameter nilai yang didapat dari simulasi tuning *Ziegler-Nichols*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada saat sumbu Elevasi diberikan *setpoint* sebesar 5 derajat, sistem mendapatkan *overshoot* yang besar, dan pada saat sumbu Elevasi diberikan *setpoint* sebesar 10 derajat sistem mendapatkan *overshoot* yang masih besar, namun *overshoot* yang dihasilkan pada *setpoint* sebesar 10 derajat lebih kecil daripada *setpoint* sebesar 5 derajat. [3].

Kemudian penelitian pada *Turret-gun* dengan metode *Active Force Control* dan *Crude Approximation* sebagai estimasi parameter inersia sistem untuk kaliber 12 mm. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa osilasi dan *overshoot* dapat diatasi. Namun ketika gerakan sudut pada sumbu Elevasi semakin besar, sumbu Elevasi mulai menghasilkan *overshoot* meskipun pada akhirnya dapat mencapai target [4].

Penelitian serupa juga menerapkan PID pada *Turret-Gun* kaliber 20 milimeter. Hanya saja dilakukan pada Sumbu *Azimuth*. Pada penelitian ini dilakukan pengendalian menggunakan pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID) dengan metode *Ziegler-Nichols* dan *Root Locus*. Hasil penelitian menunjukkan kestabilan respon sistem yang dihasilkan masih memiliki *overshoot* yang besar [5],[6]. Penelitian sebelumnya yang dilakukan pada *Turret-Gun*, masih terdapat permasalahan di kestabilan pada posisi *Turret-Gun*, sehingga performanya masih belum maksimal. Maka dibutuhkan pengendali yang mampu menyelesaikan permasalahan tersebut.

LQR dipilih karena merupakan salah satu kendali optimal yang dikenal mampu dalam menjaga performa sistem. Secara umum perancangan sistem kendali optimal mempunyai dua tujuan, yaitu sebagai regulator dan *tracker*. Di mana regulator berfungsi untuk menjaga dan memperbaiki sistem agar berada pada kondisi konstan walaupun terdapat gangguan, dan *tracker* berfungsi mengendalikan sistem agar mampu mengikuti perubahan *setpoint* [7],[8].

Pada kendali optimal untuk menyelesaikan permasalahan regulator dapat menggunakan metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR) di mana kendalinya didesain berdasarkan *linear model plant* [9], sementara untuk permasalahan *tracker* dapat digunakan pengendali *Linear*

Quadratic Gaussian (LQG) [10]. Melihat hal tersebut kendali optimal menggunakan metode LQR dapat diterapkan pada sumbu Elevasi *gun* pada sistem *Turret-gun*, karena permasalahan utama pada sumbu elevasi sistem *Turret-gun* adalah performanya yang tidak mencapai *setpoint* serta adanya osilasi pada sistem. Maka dari itu pengendali LQR dapat digunakan karena memiliki performa yang baik terhadap berbagai sistem [11]. Namun, pada penelitian tersebut disebutkan pula bahwa pengendali LQR memiliki kelemahan dalam hal kecepatan respon waktu.

Kelemahan pengendali LQR dalam hal kecepatan respon waktu terutama respon *rise time* yang membutuhkan penambahan pengendali yang dapat meningkatkan kecepatan respon waktu terhadap sistem, sehingga dikombinasikan yang dengan pengendali *Proportional-Derivative* (PD) menjadi LQR-PD. Karena dari teori PD mengandung konstanta proporsional yang dapat mempercepat *rise time* sistem, dan derivatif untuk menurunkan atau meredam osilasi/overshoot [12], yang diakibatkan oleh penambahan nilai parameter P.

II. METODE

Pada penelitian ini, penulis telah menelaah beberapa pustaka khususnya pada penelitian-penelitian yang terkait dengan topik yang akan diselesaikan. Uraian dari tiap-tiap pustaka yang disampaikan akan dirangkum untuk mendapatkan beberapa konsep yang digunakan dalam penelitian. Pustaka-pustaka yang mendasari penelitian ini meliputi, sistem *Turret-Gun*, LQR, dan *Proportional Derivative*.

A. Pengumpulan Data

Dalam perancangan pengendali LQR-PD persamaan yang digunakan adalah persamaan *state space* dari transfer fungsi sistem *Turret-Gun*, dengan *setpoint* 30° , model matematis sistem *Turret-Gun* serta nilai Q dan R.

B. Penentuan Variabel

Data-data pra-desain maka dibuat dalam model matematis berbentuk persamaan *transfer function* berbentuk:

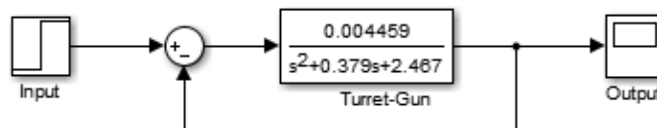
$$G = \frac{K}{aS^2+bS+c} \quad (1)$$

Bentuk *transfer function* di atas dapat juga dituliskan menjadi:

$$G(s) = \frac{0.004459}{s^2+0.379s+2.467} \quad (2)$$

C. Validasi Model Matematis

Gambar 1. merupakan blok *Simulink* pengujian sistem *Turret-Gun* secara *open loop* tanpa pengendali untuk mengetahui perilaku dan karakteristik dari sistem sebelum dirancang pengendali.



Gambar 1. Blok Simulasi *Turret-gun* Secara *Open Loop*

D. Perancangan Pengendali LQR

Linear Quadratic Regulator (LQR) adalah metode kendali optimal dengan kriteria kuadratik untuk menyelesaikan permasalahan regulator. Oleh karena model dan bentuk kendalinya berupa sistem linear maka disebut linear, sedangkan karena memiliki *Cost Function* disebut kuadratik dan karena referensi sistem bukan fungsi waktu maka disebut regulator [13].

Persamaan transfer fungsi dari *Turret-Gun* diubah dalam bentuk *state space* karena pada perancangan pengendali LQR dibutuhkan pemodelan *state space* dari sistem. Adapun pemodelan *state space* tersebut adalah [14]:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0.004459}{s^2 + 0.379s + 2.467} \tag{3}$$

$$s^2 Y(s) + 0.379 s Y(s) + 2.467 Y(s) = 0.0044589 U(s) \tag{4}$$

Lalu persamaan 4. diturunkan dengan menggunakan metode *inverse transformasi laplace* balik sehingga diperoleh persamaan diferensi orde dua, seperti:

$$\frac{d^2 y(t)}{d(t)^2} + 0.379 \frac{dy(t)}{d(t)} + 2.467 y(t) = 0.004459 u(t)$$

$$\ddot{y} + 0.379 \dot{y} + 2.467 y = 0.004459 u$$

$$\dot{y} = -0.379 \dot{y} - 2.467 y + 0.004459 u$$

$$\dot{y} = -a\dot{y} - by + cu \tag{5}$$

Didefinisikan:

$$x_1 = y \rightarrow \dot{x}_1 = \dot{y} = x_2 \tag{6}$$

$$x_2 = \dot{y} \rightarrow \dot{y} = \dot{x}_2 \tag{7}$$

Jadi:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2.467 & -0.379 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0.004459 \end{bmatrix} E_a(t) \tag{8}$$

$$[y] = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \tag{9}$$

Sehingga didapat persamaan *steady state* untuk persamaan linear *Turre-Gun* adalah

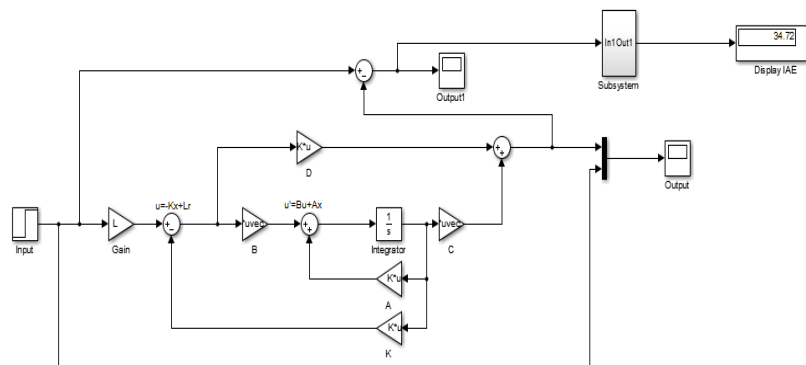
$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2.467 & -0.379 \end{bmatrix} \tag{10}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.004459 \end{bmatrix} \tag{11}$$

$$C = [1 \quad 0] \tag{12}$$

$$D = [0] \tag{13}$$

Pada matriks $Q = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 209987 \end{bmatrix}$ respon keluaran sistem mendapatkan hasil *overshoot* yang kecil. Sehingga dilakukan perancangan pengendali LQR dengan menggunakan nilai matriks $Q = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 209987 \end{bmatrix}$, matriks $R = [1]$ dan nilai IAE = 30.66 pada sistem *Turret-Gun* sumbu Elevasi.



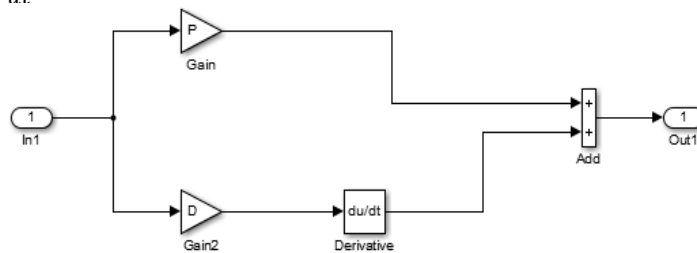
Gambar 2. Blok *Simulink Turret-gun* Menggunakan Pengendali LQR Dengan Kondisi *Setpoint 30°* Pada Sistem Elevasi *Turret-Gun*

E. Perancangan Pengendali Proportional Derivative (PD)

Sistem kontrol yang digunakan adalah sistem kontrol Proportional dan Derivatif. Sistem kontrol ini dapat berjalan secara bersamaan maupun berjalan terpisah. Masing-masing sistem kontrol ini memiliki keunggulan tertentu, di mana, kontrol proporsional unggul dalam *rise time* yang cepat dan kontrol derivatif mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau mengurangi *overshoot/undershoot* [15].

Berdasarkan studi literatur yang telah ditentukan maka desain pengendali PD dapat dibuat dalam bentuk *simulink* dengan memasukkan nilai *transfer function* yang diperoleh dari sistem *Turret-Gun* sumbu Elevasi dengan kondisi *setpoint* 30° yang telah dimasukkan kedalam blok desain pengendali PD. Penentuan nilai konstanta K_p dan K_d diperoleh dengan metode *heuristic*.

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de}{dt} \tag{14}$$

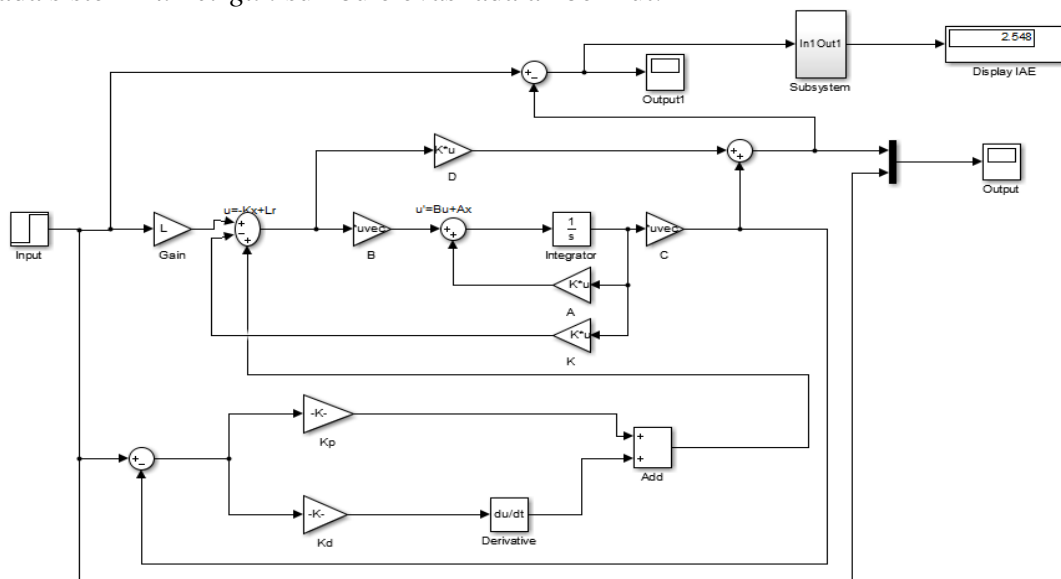


Gambar 3. Blok Diagram Pengendali PD [15]

Pada Gambar 3. Merupakan bentuk umum pemodelan pada kendali PD yaitu pada persamaan 14, yang dirubah menjadi blok-blok menggunakan *Simulink Matlab*. Blok pengendali ini ditanam dalam subsistem kendali PD yang akan digunakan dalam mengendalikan sumbu Elevasi pada sistem *Turret-Gun*.

F. Perancangan Pengendali LQR - PD

Setelah mendapatkan pengendali LQR dan desain pengendali PD maka dapat mengkombinasikan pengendali LQR dan pengendali PD agar kinerja dari pengendali LQR menjadi lebih baik. Hasil respon difokuskan pada respon waktu yang cepat, *overshoot* yang kecil, *steady state error* yang kecil dan tidak ada osilasi. Nilai parameter PD di-*tuning* menggunakan metode heuristik, adapun tabel heuristik parameter PD terdapat pada lampiran. Sehingga didapatkan nilai $K_p = 11000$ dan $K_d = 2100$. Blok diagram desain pengendali LQR-PD pada sistem *Turret-gun* sumbu elevasi adalah berikut:

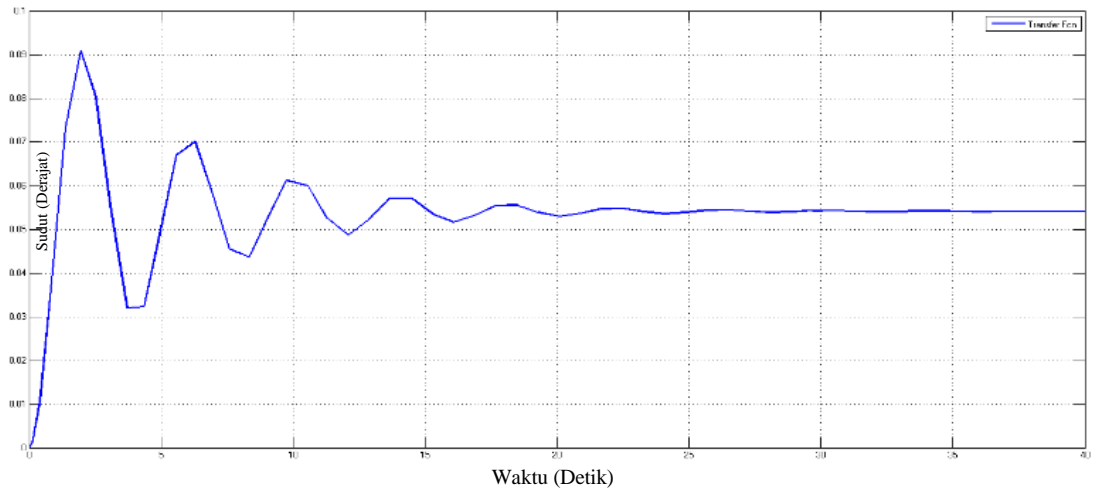


Gambar 4. Blok Diagram Desain Pengendali LQR-PD dengan Kondisi *Setpoint* 30° pada Sistem Elevasi *Turret-gun*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Sumbu Elevasi Pada Turret-Gun secara Open Loop

Pengujian untuk menganalisa respon keluaran dari sistem *Turret-Gun* maka perlu dilakukan simulasi terlebih dahulu. Pengujian dilakukan untuk melihat karakteristik keluaran sistem sebelum dirancang pengendali.

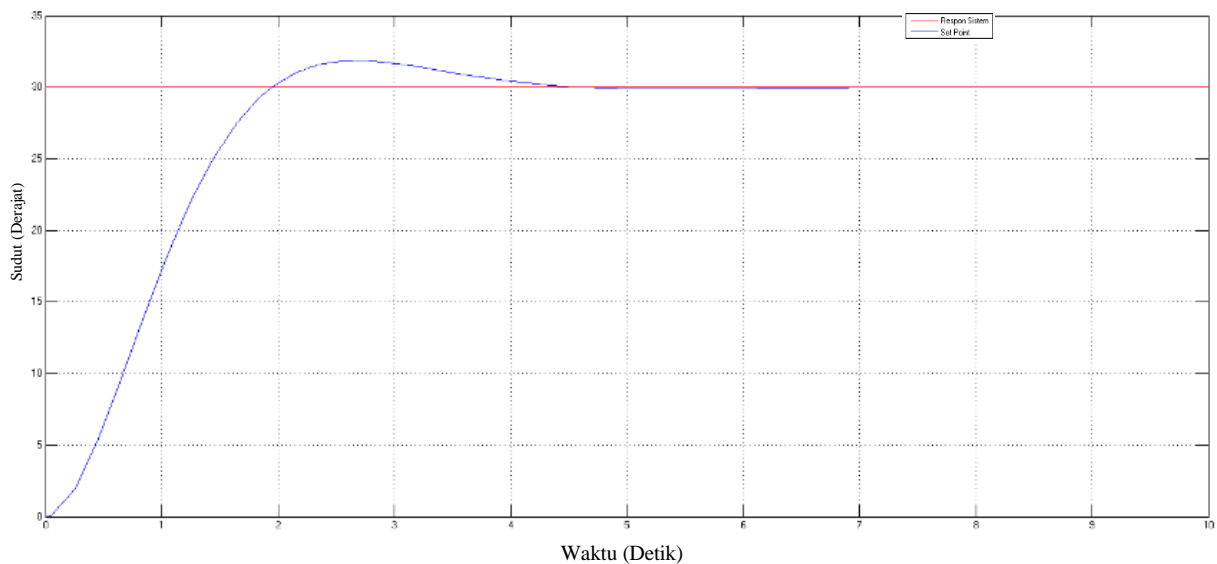


Gambar 5. Hasil Respon Keluaran *Open Loop Turret-Gun*

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa sistem menunjukkan performansi yang tidak mencapai *setpoint* dan mengalami osilasi.

B. Analisa Pengendali LQR dan LQR-PD Pada Sumbu Elevasi Sistem Turret-gun Dalam Mencapai Setpoint.

1. Analisa Pengendali LQR Dalam Pencapaian SetPoint Pada Turret-Gun

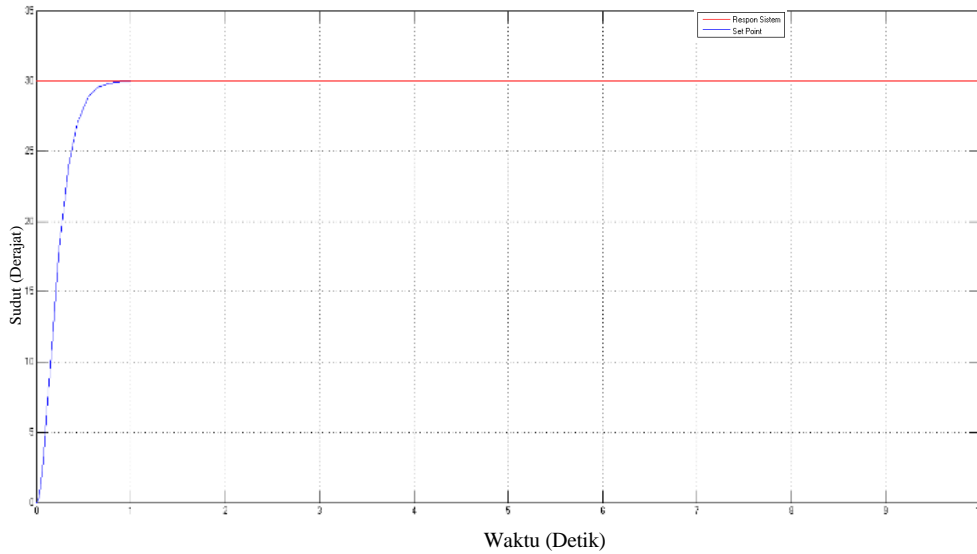


Gambar 6. Hasil Respon Keluaran Sistem *Turret-Gun* Menggunakan Kendali LQR

2. Analisa Pengendali LQR-PD Pada Sumbu Elevasi Sistem Turret-Gun Dalam Mencapai Setpoint.

Hasil simulasi untuk pengendalian posisi sumbu Elevasi pada sistem *Turret-Gun*, menggunakan pengendali LQR-PD dengan nilai matriks pembobot $Q = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 209987 \end{bmatrix}$,

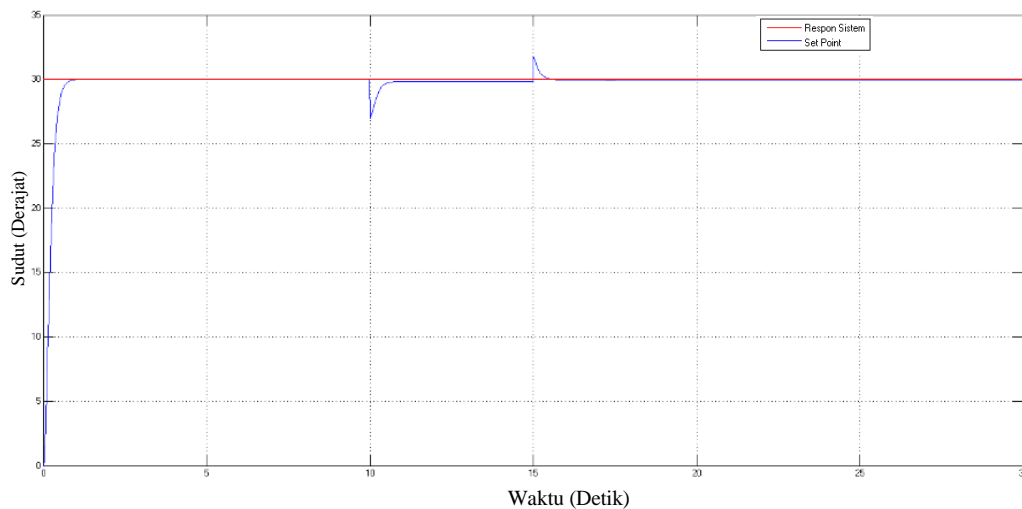
matriks $R = [1]$. Nilai parameter PD yang digunakan adalah $K_p = 11000$ dan $K_d = 2100$. Hasil ini dipilih berdasarkan hasil keluaran respon *output Turret-Gun*.



Gambar 7. Hasil Respon Keluaran Sistem *Turret-Gun* Menggunakan Kendali LQR-PD

C. *Analisa Kestabilan Pengendali LQR-PD Dalam Mengatasi Gangguan Sinyal Kendali Pada Turret-Gun.*

Gangguan yang diberikan dari *output* sistem *Turret-Gun* untuk mengganggu pengendalian posisi. Gangguan yang diberikan pada detik ke 10 sampai detik ke 15,5775 dari waktu simulasi yaitu 30 detik.



Gambar 8. Hasil Respon Keluaran Sistem *Turret-gun* Menggunakan Kendali LQR-PD Dengan Gangguan

TABEL 1. PERBANDINGAN RESPON SUMBU ELEVASI PADA TURRET-GUN MENGGUNAKAN PENGENDALI LQR-PD DENGAN GANGGUAN.

Identifikasi Keluaran	Pengendali LQR	Pengendali LQR-PD	Pengendali LQR-PD Dengan Gangguan
<i>Delay Time</i>	0.892 detik	0.2074 detik	0.2074 detik
<i>Rise Time</i>	1.2951 detik	0.3625 detik	0.3625 detik
<i>Settling Time</i>	3.5744 detik	0.6254 detik	0.6254 detik
Maksimum <i>Overshoot</i>	6.2%	0%	0.0023%
<i>Error</i>	-0.0001°	0°	-0.0421°
<i>Recovery Time</i> Gangguan Detik Ke 10 (Jalan Mendaki)	-	-	5 detik/0.1537°
<i>Recovery Time</i> Gangguan Detik Ke 15 (Jalan Menurun)	-	-	0.5775 detik

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang dilakukan pada sumbu Elevasi *Turret-Gun*, dapat ditarik kesimpulan yaitu dengan menggunakan pengendali LQR-PD sumbu Elevasi *Turret-Gun* berhasil mencapai *setpoint* yang diberikan yaitu sebesar 30° , serta *overshoot* dapat ditekan dari 6.2% menjadi 0% dan nilai *steady state error* 0° . Pengendali LQR-PD juga mampu memperbaiki dan menjaga posisi sumbu Elevasi *Turret-Gun* saat diberikan gangguan pada detik ke 10 yang berlangsung terjadi sampai ke detik 15 dengan waktu *recovery* 5 detik, dan pada detik ke 15 dengan waktu *recovery* 0.5775 detik. Respon yang baik ini diperoleh dari nilai matriks $Q = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 209987 \end{bmatrix}$ dan matriks $R = [1]$, dengan nilai parameter PD yaitu $K_p = 11000$ dan $K_d = 2100$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada beberapa rekan yang telah membantu dalam menyelesaikan dan berkontribusi pada penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Kuswadi, S., Tamara N.M., dan Nugroho D. *Gun Turret Automatic Weapon Control System Design and Realization*. International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD). Bandung. 2016; 30-34.
- [2] Kunto, D., Wahjudi, A., dan Nurhadi, H. Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendali Sumbu Elevasi Gun pada Turret-gun Kaliber 20 Milimeter. *Jurnal Teknik ITS*. 2016; 5(2): 517-523.
- [3] Pradanam, A.B. Sistem Pengaturan Sumbu Elevasi Gun Pada Turret-Gun Menggunakan Kontroler PI. Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang.
- [4] Nasyir, M., Bambang, P., Hendro, N., dan Endra P. Simulasi dan Eksperimen Kontrol Automatic Turret-Gun. Surabaya, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember; 2018.
- [5] Herlambang, R., dan Rusimamto, P.W. Perancangan Sistem Kontrol Posisi Sumbu Elevasi Gun Pada Turret-gun Menggunakan Kontroler PID Berbasis Arduino Mega. Surabaya, Universitas Negeri Surabaya; 2020.
- [6] Wisnu, D., Wahjudi, A., dan Nurhadi, H. Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendali Sumbu Azimuth Turret Pada Turret-gun Kaliber 20mm. Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember; 2016.
- [7] Arifin, F. Perancangan dan Simulasi Sistem Suspensi Mobil Berbasis Kendali Optimal. Yogyakarta, Universitas Negeri Yogyakarta; 2006.
- [8] Teofana, P. *LQR Power Control of Wind Generator*. Proceedings of the 29th International Conference. Lazy pod Makytou. 2018.
- [9] Badri, U., Agus I.G., Kemalasar, dan Alrijadjis. Kontrol Optimal Pada Motor DC Menggunakan Metode Linear Quadratic Regulator (LQR). Surabaya, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS) ITS; 2008.
- [10] Candra, W.A., Rusdhianto E. dan Fatoni, A. Pengaturan Kecepatan Pada Simulator Parallel Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Menggunakan Linear Quadratic Regulator (LQR) Berdasarkan Particle Swarm Optimization (PSO). *Jurnal Teknik POMITS*, 2014; 4(1):13-18.
- [11] Ilham. Kendali Kecepatan Motor Induksi 3 Phasa Menggunakan LQR (Linear Quadratic Regulator). *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*. 2013; 3(1): 61-68.

- [12] Ogata, Katsuhito. "Modern Control Engineering Fourth Edition", Prentice Hall, 1970.
- [13] Nise N.S, "Control System Engineering, 6th Edition", John Wiley & Sons.Inc, 2011.
- [14] Mangkusasmito, F., Wahyudi, dan Setiyono, B. Sistem Kendali Posisi Sudut Agguk Untuk Roket RKK-300 dengan Metode Linear Quadratic Regulator (LQR) dan Pole Placement. *Jurnal Transmisi*, 2013;15(2): 99-106.
- [15] Johnson, M.A dan Moradi, M.H. PID Control: New Identification And Design Methods, Springer, London; 2005.