



# Stabilisasi Orientasi Kamera 3-Axis Berbasis Pengendali PID untuk Fabrikasi Gimbal Ekonomis dan Praktis

Ignatius Joddy Pratama Wibowo<sup>1\*</sup>, Gunawan Dewantoro<sup>2</sup>, Deddy Susilo<sup>3</sup>



<sup>1,2,3</sup> Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received May 17, 2022

Accepted May 13, 2023

Available online October 25, 2023

### Kata Kunci:

Stabilizer, kamera, 3-axis, STorM32, PID.

### Keywords:

Stabilizer, camera, 3-axis, STorM32, PID.



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

## ABSTRAK

Gimbal atau stabilizer menjadi salah satu bagian penting dalam berkembangnya dunia videografi yang mengendalikan gerakan kamera pada sumbu x, y, dan z untuk menjaga orientasi kamera. Namun gimbal komersial yang memiliki respon stabilisasi tinggi masih tergolong mahal untuk hobbyist. Untuk itulah, penelitian ini mengembangkan gimbal yang praktis dan ekonomis menggunakan modul Inertial Measurement Unit (IMU) yang terdiri dari sensor accelerometer dan gyroscope. Kedua sensor tersebut dikombinasikan menjadi complementary filter sehingga mampu mengukur sudut baik ketika gimbal dalam keadaan diam maupun bergerak. Motor DC brushless dipasang pada tiap sumbu, yang apabila ketiga sumbu tersebut ditarik garis lurus maka akan berpotongan pada sebuah titik di mana kamera akan diletakkan. Stabilizer ini dikendalikan dengan software STorM32 yang terkoneksi dengan 3 motor DC brushless yang memiliki fungsi pitch, roll, dan yaw serta sensor IMU MPU6050 untuk menunjang kinerja maksimal dari stabilizer. Penalaan parameter PID serta pengaturan kestabilan dan redaman telah menghasilkan keseimbangan pada stabilizer secara maksimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilizer mampu mengkompensasi sudut yaw 5,52° selama 3,57 detik. Dengan rangka yang ergonomis, pengambilan video menggunakan stabilizer ini menjadi lebih baik dan stabil.

## ABSTRACT

One of the most important parts in the development of videography is a stabilizer which is a motion-controlling device that can move the camera around the x, y, and z-axis to keep the camera orientation unchanged. However, commercial stabilizers with high stabilization response are still expensive for hobbyist. Therefore, this study develops a practical and economical gimbal by using an inertial measurement unit (IMU) module, which consists of an accelerometer and gyroscope. The combination of the two sensors is employed to measure the angle of the stabilizer while the stabilizer is in idle or moving. Brushless DC motor is mounted on each axis of the stabilizer. These axes will intersect to one point if drawn straight in which the camera is placed. This stabilizer is controlled by software named STorM32 that is connected to three brushless DC motors that drive the pitch, roll, yaw motions, and IMU MPU6050 sensor to support the maximum performance of the stabilizer. The tuning of PID parameters, and the adjustment of damping and stability make the stabilizer yields a maximum balance. The results show that the stabilizer is able to compensate yaw angle of 5.52o in 3.57 seconds. Equipped with an ergonomic frame, the stabilizer helps user to be able to take video in more stable motion.

## 1. PENDAHULUAN

Dunia videografi yang semakin maju memaksa kemajuan teknologi kamera dan perangkat pendukungnya. Gimbal atau *stabilizer* menjadi salah satu hal yang lazim didengar. *Stabilizer* sendiri merupakan alat yang bisa mengubah sudut sebuah kamera pada sumbu tertentu dengan tujuan mempertahankan orientasi kamera (R. Hidayat et al., 2014; Kim et al., 2016). Sehingga, sudut pandang kamera dapat dipertahankan pada arah tertentu meskipun tangan yang memegang kamera bergerak. *Stabilizer* sering dipakai pada sistem kamera Pan-Tilt-Zoom (PTZ) yang memiliki gerakan dengan 3 derajat kebebasan (Sayed et al., 2022; Sinha, 2021; Zhou et al., 2020). Pan adalah gerakan kamera pada sumbu *yaw*, sementara *tilt* adalah gerakan kamera baik pada sumbu *roll* maupun *pitch*, sedangkan *zoom* merupakan pengaturan pembesaran atau pengecilan gambar pada kamera. Sudut pada gimbal dapat diukur oleh sensor Inertial Measurement Unit (IMU) yang terdiri dari *accelerometer* dan *gyroscope* (Chen et al., 2022; Mudarris & Zain, 2020; Rafiq et al., 2020). Sensor *accelerometer* mampu mengukur kecepatan suatu objek atau benda, sedangkan sensor *gyroscope* digunakan untuk menghitung sudut objek saat bergerak. Agar dapat mengukur sudut gimbal kamera baik saat diam maupun bergerak, maka digunakanlah *complementary filter* yang menggabungkan kemampuan *accelerometer* dan *gyroscope* (Erfianto & Rizal, 2022; Noordin et al., 2018; Setiawan et al., 2021). *Stabilizer* menggunakan motor servo

\*Corresponding author.

E-mail addresses: [gunawan.dewantoro@uksw.edu](mailto:gunawan.dewantoro@uksw.edu) (Gunawan Dewantoro)

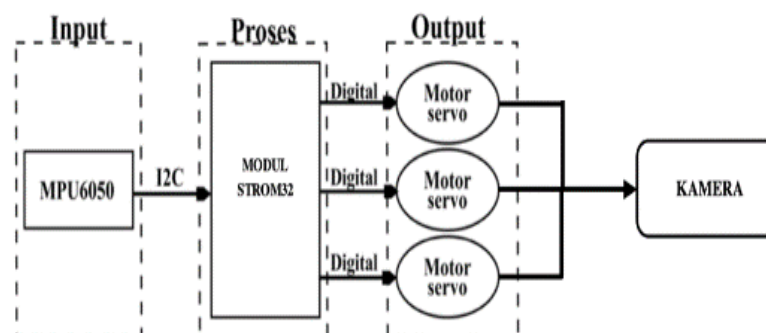
berupa motor DC *brushless* sebagai aktuator. Motor DC *brushless* dipasang pada tiap sumbu, yang apabila ketiga sumbu tersebut ditarik garis lurus maka akan berpotongan pada sebuah titik di mana kamera akan diletakkan (Hazari et al., 2014; Wicaksono & Rusimamto, 2020). *Stabilizer* ini dikendalikan dengan software STorM32 yang terkoneksi dengan 3 motor DC *brushless* yang memiliki fungsi *pitch*, *roll*, dan *yaw* serta sensor IMU MPU6050 untuk menunjang kinerja maksimal dari *stabilizer* (Hidayath et al., 2022; Rosa-Vidal et al., 2022). Beberapa penelitian terkait telah dilakukan untuk mengendalikan gerak gimbal. Self-tuning PID menggunakan kendali fuzzy digunakan untuk stabilisasi sistem gimbal 2-axis (Abdo et al., 2014; Ahmad et al., 2021; Danh, 2021). Sistem yang sama juga telah diterapkan untuk stabilisasi gimbal pada aplikasi pencegah rudal dan juga kamera drone (Byun & Cho, 2016; Kim et al., 2016; Kumar & Anitha, 2021). Namun, penelitian tersebut melakukan verifikasi yang terbatas pada simulasi berbasis software. Sedangkan beberapa penelitian yang lainnya telah melakukan implementasi pada sistem gimbal yang riil, namun terbatas pada stabilisasi 1-axis (Ahi & Nobakhti, 2018; Ban et al., 2022; Manmathakrishnan & Pannersevlam, 2019) maupun 2-axis. Sementara itu pertimbangan penting lainnya adalah terkait dengan desain gimbal, terutama bagian handle yang menjadi perhatian utama para penggunanya. Untuk perlu inovasi desain untuk meningkatkan kepuasan dan pengalaman pengguna (Duan et al., 2021; Lee et al., 2020; Meng, 2022; Nguyen & Nguyen, 2019). Berdasarkan permasalahan di atas, dirancanglah gimbal yang praktis, ekonomis, dan dapat digunakan dalam aplikasi nyata. Gimbal ini dapat membantu para videografer saat merekam gambar karena gimbal ini memiliki 3 axis untuk menambah kualitas pergerakan gimbal, sehingga dalam pengambilan video dapat mencegah blur akibat goyangan tangan.

## 2. METODE

Penelitian ini merupakan *research and development* (RnD) yakni melakukan penelitian dan pengembangan sistem perangkat keras dan lunak secara simultan hingga menghasilkan kesatuan sistem yang berfungsi sesuai dengan spesifikasi. Metode dimulai dengan identifikasi permasalahan, menentukan tujuan penelitian dan spesifikasi alat, perancangan sistem, evaluasi unjuk kerja dan simpulan. Pada penelitian ini, identifikasi permasalahan didapatkan melalui studi literatur dan observasi lapangan khususnya di kalangan *hobbyist* videografi. Tujuan penelitian dan spesifikasi alat dirumuskan secara kuantitatif sebagai acuan pelaksanaan penelitian. Perancangan yang dilaksanakan meliputi desain mekanik, elektrik, dan perangkat lunak untuk menerjemahkan spesifikasi alat menjadi sebuah cetak biru. Evaluasi unjuk kerja yang dilakukan meliputi asesmen terhadap pengaturan parameter, penalaan PID, dan juga kemampuan gimbal untuk mengkompensasi deviasi sudut pada tiap sumbu. Pada tahap analisis, seluruh hasil pengujian akan memberikan simpulan yang menunjukkan tercapai atau tidaknya tujuan penelitian ini.

### Perancangan Sistem

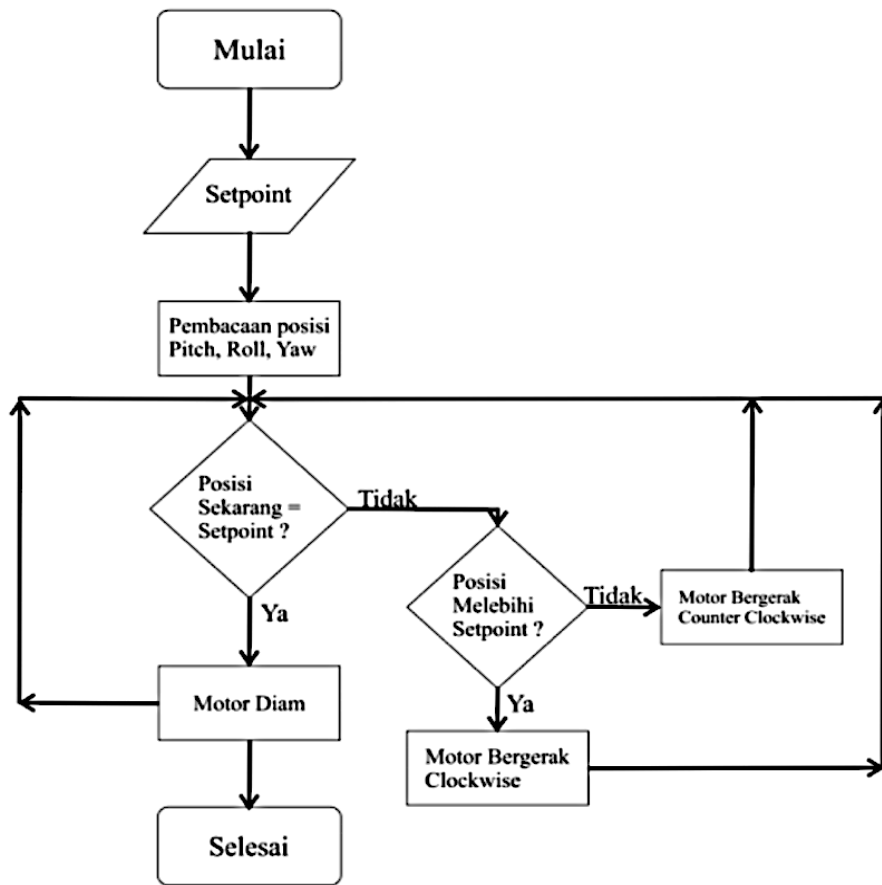
Input dari sistem ini berasal dari modul MPU6050 berupa sudut yang terukur pada tiap sumbu dan kemudian akan diproses oleh modul STorM32 yang terintegrasi dengan sistem EPROM sebagai mikrokontroler untuk menjalankan perintah. Hasil pemrosesan mikrokontroler akan digunakan untuk memutar motor DC *brushless* sebagai aktuator alat, untuk mempertahankan arah hadap kamera perekam. Pada penelitian ini, kamera *action cam* digunakan sebagai objek yang diletakkan pada gimbal yang dirancang. Diagram blok yang akan dirancang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Perancangan

Ketika *stabilizer* dihidupkan, alat akan bererak menuju set point yang telah ditentukan. Lalu alat akan membaca posisi *pitch*, *raw*, dan *yaw*. Apabila posisi sudah sama dengan set point maka motor servo

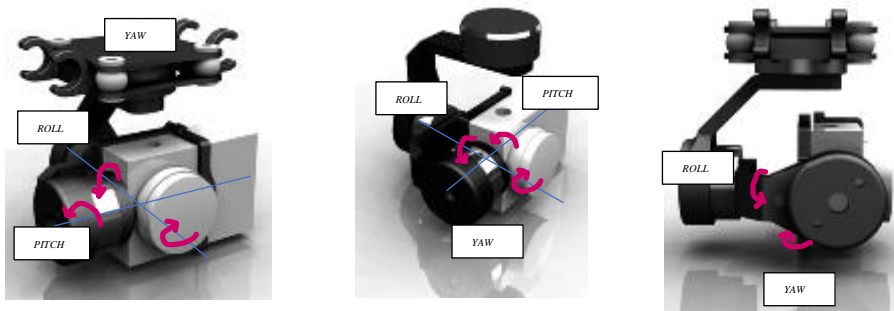
akan tetap diam, jika tidak sama dengan set point maka akan membaca lagi apakah lebih besar dari setpoint atau tidak. Jika posisi lebih besar dari set point, maka motor akan bergerak searah jarum jam. Namun jika lebih kecil dari setpoint maka motor akan bergerak berlawanan arah jarum jam. Setelah semua selesai maka motor akan diam. Diagram alir sistem akan ditunjukkan pada Gambar 2.



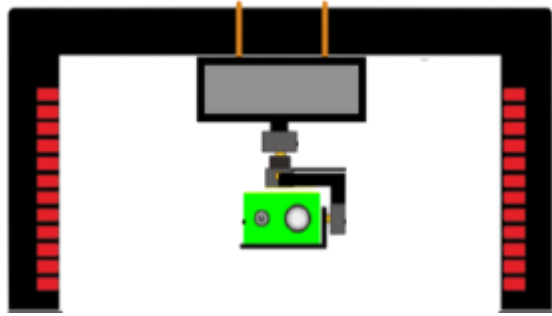
Gambar 2. Diagram Alir Perancangan

**Mekanik**

Desain mekanik dari alat terbagi menjadi 2 bagian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Terlihat desain 3 (tiga) dimensi dari casing gimbal yang berbahan dasar alumunium. Sedangkan pada Gambar 4, gimbal ini menggunakan 2 handle yang dapat dipegang dengan dua tangan sehingga dapat lebih mudah dioperasikan daripada menggunakan 1 handle. Hal ini juga dapat mempermudah proses kalibrasi saat menentukan set point pada kamera. Setiap motor dipasang pada casing agar dapat menggerakkan kamera menurut sumbu *pitch*, *roll*, dan *yaw*. Gambar 5 menunjukkan realisasi alat setelah keseluruhan komponen dirangkai.



Gambar 3. Desain 3 Dimensi Casing Stabilizer



**Gambar 4.** Desain Media Pendukung



**Gambar 5.** Realisasi Alat

### Elektrik

Sistem dikendalikan menggunakan kontroler yaitu STorM32 yang ditunjukkan [Gambar 6](#). STorM32 merupakan kontroler motor *brushless* dengan kualitas tinggi yang menawarkan sifat stabilisasi di tingkat 32-bit. Catu daya yang dibutuhkan STorM32 sebesar 9 - 15 V dan menggunakan arus maksimal 1,5 A. Penelitian ini menggunakan motor *brushless* DC ([Gambar 7](#)) yang selain dikarenakan torsi yang lebih besar, putaran motor lebih halus sehingga tidak menimbulkan suara bising sehingga tidak mengganggu kualitas suara saat pengambilan video.



**Gambar 6.** Board STorM32 BGC



**Gambar 7.** Motor DC *Brushless*

Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah modul MPU-605, seperti ditunjukkan [Gambar 8](#). Modul ini terdiri dari dua sensor di dalamnya yaitu, *accelerometer* dan *gyroscope* yang merupakan *micro-electromechanical system* (MEMS) dan sudah terintegrasi dalam sebuah chip ([Iai Guo, C. et al., 2019](#); [Sakharwade & Nagpal, 2019](#)). Modul ini memiliki 16 pin analog yang menghasilkan data mentah dan perlu

dikonversi untuk menentukan sudut yang akurat. Nilai dari sudut masing-masing sumbu *x*, *y*, dan *z* yang dihasilkan modul MPU-605 dapat dibaca secara simultan sehingga dapat menghemat waktu.



Gambar 8. Sensor MPU-6050

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil

Tabel 1 menunjukkan setelan default baik untuk stabilitas maupun peredaman (*damping*) pada gerakan *pitch*, *roll*, dan *yaw* pada pengujian alat dengan menggunakan software STorM32.

Tabel 1. Setelan Default Software

Kategori	Nilai
Pitch Damping	5
Roll Damping	5
Yaw Damping	5
Pitch Stability	2
Roll Stability	2
Yaw Stability	5

Terlihat pada Tabel 1 bahwa pada menu damping semua nilai di angka 5, sedangkan pada menu *stability* khusus pada bagian *yaw* memiliki nilai 5 dikarenakan untuk menopang berat kamera yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Gambar 9 menunjukkan grafik alat sebelum simulasi dijalankan, dan Tabel 2 menunjukkan keterangan dari display software-nya.



Gambar 9. Grafik Alat Ketika Sebelum Disimulasikan

Tabel 2. Keterangan Display Software

No.	Keterangan
1	Sudut kamera saat ini dalam <i>pitch</i> , <i>roll</i> , dan <i>yaw</i>
2	Tombol mulai dan berhenti
3	<i>Clear</i> : Menghapus dan mengatur ulang data display <i>Save</i> : Menyimpan data dalam bentuk file <i>Rec</i> : Perekaman langsung data display
4	Grafik vektor gravitasi
5	Rentang sudut <i>pitch</i> , <i>roll</i> , dan <i>yaw</i>
6	Grafik sudut kamera <i>pitch</i> , <i>roll</i> , dan <i>yaw</i>
7	Grafik sudut gimbal <i>pitch</i> , <i>roll</i> , dan <i>yaw</i>

No.	Keterangan
8	Checklist grafik sudut kamera yang akan dipilih
9	Checklist grafik sudut gimbal <i>pitch</i> , <i>roll</i> , dan <i>yaw</i>
10	Status Baterai
11	Jumlah <i>error</i> saat <i>software</i> dijalankan
12	Status sensor

Ketika nilai pada menu damping ditambahkan pada masing-masing nilai *pitch*, *roll*, dan *yaw* tetapi tetap mempertahankan nilai *stability* sesuai dengan nilai default, maka didapatkan nilai seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Gambar 10 menunjukkan grafik alat ketika sedang disimulasikan.

**Tabel 3.** Penambahan Nilai Damping pada Software

Kategori	Nilai
<i>Pitch</i> Damping	40
<i>Roll</i> Damping	37
<i>Yaw</i> Damping	37
<i>Pitch</i> Stability	2
<i>Roll</i> Stability	2
<i>Yaw</i> Stability	5

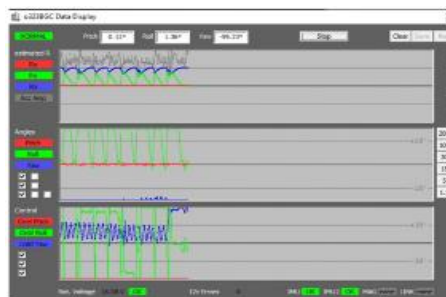


**Gambar 10.** Grafik Alat Ketika Penambahan Nilai Damping dan Sedang Disimulasikan

Ketika nilai pada menu *stability* ditambahkan pada masing-masing nilai *pitch*, *roll*, dan *yaw* tetapi tetap mempertahankan nilai damping sesuai dengan nilai setelah default seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Gambar 11 menunjukkan grafik alat ketika sedang disimulasikan.

**Tabel 4.** Penambahan Nilai Stability pada Software

Kategori	Nilai
<i>Pitch</i> Damping	5
<i>Roll</i> Damping	5
<i>Yaw</i> Damping	5
<i>Pitch</i> Stability	79
<i>Roll</i> Stability	85
<i>Yaw</i> Stability	91



**Gambar 11.** Grafik Alat Ketika Penambahan Nilai *Stability* dan Sedang Disimulasikan

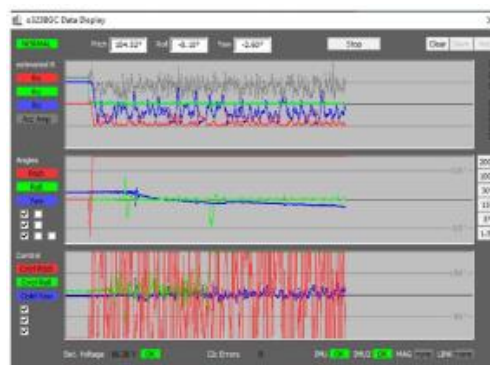


Setelah didapatkan nilai peredaman dan stabilitas yang cukup stabil, penulis menentukan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  agar alat berkerja semakin maksimal. Metode yang digunakan adalah *trial-and-error* dengan memasukkan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  pada menu *pitch*, *roll*, dan *yaw*.

**Tabel 5.** Pengujian Awal Nilai  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$

Kategori	Nilai $K_p$	Nilai $K_i$	Nilai $K_d$
<i>Pitch</i>	24,10	23,20	22,40
<i>Roll</i>	1270,0	1550,0	100,0
<i>Yaw</i>	0,62	0,665	0,04

Pada **Tabel 5**, penulis mencoba mencari nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  secara acak. Ketika alat disimulasikan, alat mengalami guncangan yang besar dan alat menjadi tidak stabil. **Gambar 12** menunjukkan grafik yang ditimbulkan sangat pemasangan nilai awal.

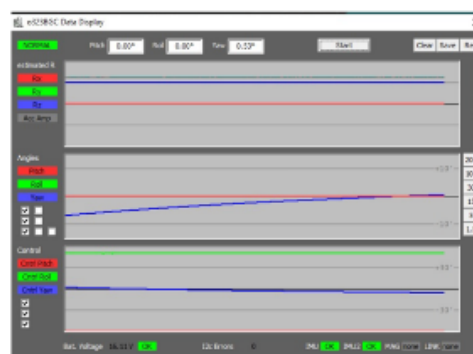


**Gambar 12.** Grafik Penentuan Nilai Awal  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ .

Setelah melakukan beberapa kali pengujian dengan metode *trial and error* dengan memasukkan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  pada menu *pitch*, *roll*, dan *yaw* maka ditemukan setelan terbaik pada **Tabel 6**. Sehingga grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 13** alat berkerja dengan baik dan stabil.

**Tabel 6.** Setelan Terbaik Nilai  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$

Kategori	Nilai $K_p$	Nilai $K_i$	Nilai $K_d$
<i>Pitch</i>	1,40	1,40	1,40
<i>Roll</i>	100,0	100,0	100,0
<i>Yaw</i>	0,04	0,04	0,04



**Gambar 13.** Grafik nilai akhir  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ .

**Pembahasan**

Saat melakukan serangkaian pengujian sistem, penulis secara intensif mengoptimalkan parameter kontrol PID untuk mencapai respons yang optimal. Tahap awal mencakup peningkatan nilai  $K_p$  dengan tujuan merespons dengan cepat terhadap perubahan set point. Setelah berhasil menentukan nilai  $K_p$  yang memadai, penulis melanjutkan ke tahap pengaturan nilai  $K_i$  untuk mempercepat pergerakan alat

menuju set point. Meskipun demikian, peningkatan terus-menerus pada nilai  $K_i$  diidentifikasi sebagai penyebab munculnya overshoot dalam sistem. Proses selanjutnya melibatkan penyesuaian nilai  $K_d$  secara hati-hati, dengan harapan dapat meredam overshoot dan mendekati set point secara optimal. Penulis menyadari bahwa peningkatan berlebihan pada nilai  $K_d$  dapat mengakibatkan ketidakstabilan sistem, sehingga penyesuaian dilakukan secara bertahap. Selama tahap ini, penulis juga mengevaluasi kembali nilai  $K_p$ , menguranginya untuk meminimalkan overshoot, dan menyelaraskan kembali respons sistem. Dalam perjalanan uji coba trial-and-error yang dilakukan oleh penulis, hasilnya mengungkap bahwa nilai proporsional ( $P$ ) memberikan respons sebanding dengan nilai error. Sementara itu, nilai integral ( $I$ ) memperhitungkan besar dan durasi error, meningkat seiring berjalannya waktu. Nilai  $I$ , sebagai hasil dari penjumlahan error dalam rentang waktu tertentu, dikalikan dengan gain  $K_i$  untuk menghasilkan keluaran nilai  $I$  yang memainkan peran kunci dalam pengendalian sistem. Nilai derivatif ( $D$ ), dengan sifatnya yang bersifat antisipatif, membantu meramal keluaran sistem dan memperbaiki settling time serta stabilitas sistem. Penyesuaian nilai  $K_d$  dilakukan secara perlahan untuk memastikan bahwa overshoot dapat ditekan seminimal mungkin, mendekati set point dengan presisi, dan menjaga stabilitas sistem dalam jangka panjang. Keseluruhan proses ini mencerminkan dedikasi penulis dalam mencapai keseimbangan yang optimal antara respons sistem yang cepat, minimnya overshoot, dan stabilitas keseluruhan sistem (Aniekan et al., 2016; D. Hidayat, 2017).

Setelah mendapatkan titik stabil pada pengujian  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , penulis melakukan pengujian nilai  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  terhadap waktu. Dikarenakan dalam pengambilan video sudut *yaw* lebih dominan dipakai untuk memperhalus peralihan keadaan, maka sudut *yaw* memiliki waktu yang lebih lama untuk mencapai set point. Sedangkan pada sudut *pitch* dan *roll* membutuhkan waktu yang lebih singkat karena hanya berfokus untuk meredam guncangan. Ketika gimbal pada sudut *yaw* digerakkan sebesar  $5,52^\circ$  membutuhkan waktu 3,57 detik untuk mencapai set point terlihat gimbal sudah mencapai set point. Dari pengujian ini terlihat bahwa waktu gimbal untuk mencapai set point sudah cukup stabil dan baik sehingga, pengurangan guncangan pada saat pengambilan video menjadi lebih efektif. Sehingga, hasil penelitian ini mampu memperbaiki kinerja gimbal 2 axis yang sudah dibuat (Kurbanov & Litvinov, 2020; Rajesh & Ananda, 2015).

#### 4. SIMPULAN

Alat ini telah diuji dan dapat bekerja dengan baik. Penambahan nilai damping membuat alat semakin responsif melawan guncangan tetapi membutuhkan waktu yang cukup lama. Sedangkan, penambahan nilai *stability* membuat alat tidak peka terhadap guncangan tetapi memiliki waktu yang cepat untuk menstabilkan diri. Setelah didapat nilai terbaik maka diimplementasikan pada alat dengan software STorM32. Dalam pengambilan video sudut *yaw* lebih dominan dipakai untuk memperhalus peralihan keadaan, maka sudut *yaw* memiliki waktu yang lebih lama untuk mencapai set point. Sedangkan pada sudut *pitch* dan *roll* membutuhkan waktu yang lebih singkat karena hanya berfokus untuk meredam guncangan. Ketika gimbal pada sudut *yaw* digerakkan sebesar  $5,52^\circ$  dibutuhkan waktu 3,57 detik untuk mencapai set point. Hal ini membuktikan *stabilizer* sudah stabil untuk meredam guncangan saat pengambilan video.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdo, M. M., Vali, A. R., Toloei, A. R., & Arvan, M. R. (2014). Stabilization loop of a two axes gimbal system using self-tuning PID type fuzzy controller. *ISA Transactions*, 53(2), 591–602. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2013.12.008>.
- Ahi, B., & Nobakhti, A. (2018). Hardware implementation of an ADRC controller on a gimbal mechanism. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 26(6), 2268–2275. <https://doi.org/10.1109/TCST.2017.2746059>.
- Ahmad, M. H., Osman, K., Zakeri, M. F. M., & Samsudin, S. I. (2021). Mathematical modelling and PID controller design for two DOF gimbal system. *IEEE 17th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)*. <https://doi.org/10.1109/CSPA52141.2021.9377274>.
- Aniekan, I., Ikechukwu, O., & Paul, S. (2016). Comparative analysis of a PID controller using Ziegler-Nichols and Auto Tuning Method. *International Academic Institute for Science and Technology*, 3(10), 1–16. <https://doi.org/10.1109/IC4.2015.7375580>.
- Ban, J., Chen, G., Meng, Y., & Shu, J. (2022). Calibration method for misalignment angles of a fiber optic gyroscope in single-axis rotational inertial navigation systems. *Optics Express*, 30(5), 6487–6499. <https://doi.org/10.1364/OE.449629>.
- Byun, G.-S., & Cho, H.-R. (2016). The stabilization loop design for a drone-mounted camera gimbal system



- Using intelligent-PID controller. *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 15(1), 102–108. <https://doi.org/10.12815/kits.2016.15.1.102>.
- Chen, P. S. M., Tien, D. T. K., & Chung, E. C. Y. (2022). Novel adjustable platform for camera mount. *Journal of Physics: Conference Series*, 2222, 1–15. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2222/1/012011>.
- Danh, N. C. (2021). The stability of a two-axis gimbal system for the camera. *The Scientific World Journal*, 2021, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2021/9958848>.
- Duan, Q., Zhou, X., He, Q., Chen, X., Liu, W., & Mao, Y. (2021). Pointing control design based on the PID type-III control loop for two-axis gimbal systems. *Sensors and Actuators A: Physical*, 331, 112923. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112923>.
- Erfianto, B., & Rizal, A. (2022). IMU-based respiratory signal processing using cascade complementary filter method. *Journal of Sensors*, 2022, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2022/7987159>.
- Hazari, M. R., Jahan, E., Siraj, M. E., Khan, M. T. I., & Saleque, A. M. (2014). Design of a Brushless DC (BLDC) motor controller. *International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICEEICT.2014.6919048>.
- Hidayat, D. (2017). Implementasi pengontrol PID pada model fisis elektronik. *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(2), 178–185. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss02/75>.
- Hidayat, R., Komarudin, M., & Raharjo, Y. (2014). Rancang Bangun Sistem Penstabil Kamera Untuk Foto Udara Berbasis Wahana Udara Quadcopter. *Electrician: Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 8(2), 112–123. <https://doi.org/10.23960/elc.v8n2.130>.
- Hidayath, M. I. T., Wicaksono, M. F. A., & Pohan, G. A. (2022). Analisa Pengaruh Manuver Dan Kecepatan Pada Pesawat Tanpa Awak Tipe Fixed Wing Dengan Variasi Airfoil Berbasis Ardupilot. *Jurnal Mesin Material Manufaktur Dan Energi*, 3(1), 25–38. <https://doi.org/10.47549/jmmme.v3i1.5662>.
- Kim, M., Byun, G.-S., Kim, G.-H., & Choi, M.-H. (2016). The stabilizer design for a drone-mounted camera gimbal system using intelligent-PID controller and tuned mass damper. *International Journal of Control and Automation*, 9(5), 387–394. <https://doi.org/10.14257/ijca.2016.9.5.37>.
- Kumar, S. S., & Anitha, G. (2021). A novel self-tuning fuzzy logic-based PID controllers for two-axis gimbal stabilization in a missile seeker. *International Journal of Aerospace Engineering*, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2021/8897556>.
- Kurbanov, R., & Litvinov, M. (2020). Development of a gimbal for the Parrot Sequoia multispectral camera for the UAV DJI Phantom 4 Pro. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1001(1), 12–62. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1001/1/012062>.
- lai Guo, C., Ren, H., Xing, Y., Lang, J., & Xiong, L. (2019). The Research of Four Rotor Aircraft based on STM32. *IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, 1671–1675. <https://doi.org/10.1109/ITNEC.2019.8729479>.
- Lee, D. H., Tran, D.-Q., Kim, Y.-B., & Chakir, S. (2020). A robust double active control system design for disturbance suppression of a two-axis gimbal system. *Electronics*, 9(10), 1–18. <https://doi.org/10.3390/electronics9101638>.
- Manmathakrishnan, P., & Pannerselvam, R. (2019). Design and performance evaluation of single axis gyrostabilizer for motion stabilization of a scaled Barge model. *OCEANS 2019 MTS/IEEE SEATTLE*. <https://doi.org/10.23919/OCEANS40490.2019.8962634>.
- Meng, Y. (2022). Research on the design of handheld gimbals based on KANO model. *International Conference on Human-Computer Interaction*, 200–212. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-05906-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-05906-3_15).
- Mudarris, M., & Zain, S. G. (2020). Implementasi sensor Inertial Measurement Unit (IMU) untuk monitoring perilaku roket. *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, Controls*, 2(1), 55–64. <https://doi.org/10.28989/avitec.v2i1.610>.
- Nguyen, D.-H., & Nguyen, V.-H. (2019). Robust control of two-axis gimbal system. *2019 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE)*. <https://doi.org/10.1109/ISEE2.2019.8921070>.
- Noordin, A., Basri, M. A. M., & Mohamed, Z. (2018). Sensor fusion algorithm by complementary filter for attitude estimation of quadrotor with low-cost IMU. *Telkomnika*, 16(2), 868–875. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v16i2.9020>.
- Rafiq, A. A., Rohman, W. N., & Riyanto, R. (2020). Development of a Simple and Low-cost Smartphone Gimbal with MPU-6050 Sensor. *Journal of Robotics and Control*, 1(4), 136–140. <https://doi.org/10.18196/jrc.1428>.
- Rajesh, R. J., & Ananda, C. M. (2015). PSO tuned PID controller for controlling camera position in UAV using 2-axis gimbal. *International Conference on Power and Advanced Control Engineering (ICPACE)*, 128–133. <https://doi.org/10.1109/ICPACE.2015.7274930>.
- Rosa-Vidal, R., Bardallo, J. A., Rodriguez, J. M., & Vazquez, A. R. (2022). A mobile platform for movement

- tracking based on a fast-execution-time optical-flow algorithm. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 69(4), 1715–1727. <https://doi.org/10.1109/TCSI.2021.3136656>.
- Sakharwade, S. G., & Nagpal, S. (2019). Analysis of transient belt stretch for horizontal and inclined belt conveyor system. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 4(5), 1169. <https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2019.4.5-092>.
- Sayed, M., Cinca, R., Costanza, E., & Brostow, G. (2022). LookOut! Interactive camera gimbal controller for filming long takes. *ACM Transactions on Graphics*, 41(3), 1–16. <https://doi.org/10.1145/3506693>.
- Setiawan, A., Susilo, D., & Dewantoro, G. (2021). Self-balancing robot beroda dua dengan metode PID. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 10(1), 51–60. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v10i1.32407>.
- Sinha, S. N. (2021). Pan-Tilt-Zoom (PTZ) Camera. In *Computer Vision*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-63416-2\\_496](https://doi.org/10.1007/978-3-030-63416-2_496).
- Wicaksono, R. H. T., & Rusimamto, P. W. (2020). Perancangan Sistem Kontrol Posisi Sumbu Elevasi Gun Pada Turret-Gun Menggunakan Kontroler PID Berbasis Arduino Mega. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1). <https://doi.org/10.26740/jte.v9n1.p%25p>.
- Zhou, W., Ning, C., Lu, D., & Wi, S. (2020). Design and implementation of UAV self stabilizing PTZ. *Journal of Physics: Conference Series*, 1570, 1–5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1570/1/012038>.