

## PENGEMBANGAN BAHAN AJAR *QUADCOPTER* SEBAGAI PENUNJANG MATERI PEMBELAJARAN PID CONTROL PADA MAHASISWA TEKNIK ELEKTRO

### Fatih Tri Anggara

Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Surabaya  
fatihtri.21055@mhs.unesa.ac.id

### Fendi Achmad

Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Surabaya  
fendiachmad@unesa.ac.id

### Agus Wiyono

Teknik Sipil, Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Surabaya  
aguswiyono@unesa.ac.id

### Nur Kholis

Teknik Elektro, Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Surabaya  
nurkholis@unesa.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini mengembangkan bahan ajar berbasis *quadcopter* sebagai penunjang materi pembelajaran *Proportional-Integral-Derivative* (PID) control bagi mahasiswa Teknik Elektro. Permasalahan yang melatarbelakangi penelitian ini adalah kurangnya inovasi pada metode pembelajaran PID control yang umumnya menggunakan *line tracer*, sehingga berpotensi menurunkan motivasi belajar mahasiswa. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bahan ajar baru yang lebih menarik dan relevan dengan perkembangan teknologi. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE (Analisis, Desain, Pengembangan, Implementasi, dan Evaluasi). Tampilan antarmuka pengguna yang dibuat lebih mudah digunakan untuk orang yang baru mengenal PID control. Perubahan nilai PID dapat diinputkan langsung dalam kolom yang telah tersedia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan ajar *quadcopter* sangat praktis dengan rerata skor angket respon mahasiswa sebesar 89,3%. Dari evaluasi keefektifan berdasarkan model ARCS (*Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction*), diperoleh rerata skor 91,5%, menunjukkan tingkat keefektifan yang sangat tinggi dalam meningkatkan pemahaman dan motivasi belajar mahasiswa Teknik Elektro. Pengujian terbang juga menunjukkan tingkat keberhasilan misi antara 66-93% dengan rentang nilai parameter PID yang terukur. Uji normalitas dan uji T menunjukkan perbedaan signifikan antara penggunaan bahan ajar *quadcopter* dan *line tracer* dalam meningkatkan motivasi belajar. Dapat disimpulkan bahwa pengembangan bahan ajar *quadcopter* efektif dan praktis sebagai penunjang pembelajaran PID control, serta mampu meningkatkan motivasi belajar mahasiswa.

**Kata Kunci:** PID control, *quadcopter*, bahan ajar

### Abstract

This research develops *quadcopter*-based teaching materials as a support for *Proportional-Integral-Derivative* (PID) control learning materials for Electrical Engineering students. The problem behind this study is the lack of innovation in the PID control learning method which generally uses *line tracers*, so that it has the potential to reduce student learning motivation. This research aims to develop new teaching materials that are more interesting and relevant to technological developments. The research method used is *Research and Development* (R&D) with the ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation) model. The user interface is made easier to use for people are new to PID control. Changes in the PID value can be input directly in the available columns. The results of the study showed that the *quadcopter* teaching materials were very practical with an average student response questionnaire score of 89.3%. From the evaluation of effectiveness based on the ARCS (*Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction*) model, an average score of 91.5% was obtained, indicating a very high level of effectiveness in increasing the understanding and motivation of Electrical Engineering students. The flight test also showed a mission success rate between 66-93% with a measurable range of PID parameter values. The normality test and the T test showed a significant difference between the use of *quadcopter* and *line tracer* teaching materials in increasing learning motivation. It can be concluded that the development of *quadcopter* teaching materials is effective and practical as a support for PID control learning, and is able to increase student learning motivation.

**Keywords:** PID control, *quadcopter*, teaching materials

**PENDAHULUAN**

Penerapan *line tracer* sebagai alat bantu praktikum PID *control* telah menjadi praktik lazim di berbagai institusi pendidikan tinggi. Namun, metode ini dinilai kurang inovatif dan tidak memberikan pengalaman belajar yang unik. Pendekatan ini dianggap monoton dan kurang menarik bagi mahasiswa, sehingga berpotensi menurunkan motivasi belajar.

Metode drone quadcopter dipilih sebagai media pembelajaran PID *control* karena menawarkan keunggulan dibandingkan media pembelajaran *line tracer*, yaitu lebih menarik, tingkat kesulitan kendali wahana quadcopter dapat mengasah *critical thinking* mahasiswa. Kendali seperti *roll*, *pitch*, *yaw* dan kebutuhan untuk berfokus pada menahan posisi serta ketinggian membuat metode ini lebih menarik dari *line tracer*.

Quadcopter merupakan sebuah pesawat tanpa awak (UAV) dengan konfigurasi sayap putar (Nvss et al., 2022). Penggunaan metode wahana drone quadcopter diharapkan dapat meningkatkan minat dan motivasi belajar mahasiswa, melatih kreativitas mahasiswa dalam mengeksplorasi aplikasi PID *control*, serta memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik dan unik bagi mahasiswa.

PID *control*, atau singkatan dari Proportional-Integral-Derivative *control*, merupakan salah satu konsep fundamental dalam sistem kendali. Algoritma ini banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti robotika, otomasi, dan sistem kendali lainnya. Dalam dunia teknik elektro, pemahaman mengenai PID *control* menjadi penting dapat digunakan untuk pengendalian posisi wahana, terutama pada wahana quadcopter, telah menjadi topik penting dalam pengembangan teknologi kendaraan udara tanpa awak (UAV). Quadcopter, dengan kemampuannya untuk melakukan vertikal *take-off* dan berbagai misi, menjadi semakin populer dalam berbagai aplikasi, termasuk survei udara, pengawasan, dan pengiriman barang. Pada dasarnya, pengendalian posisi wahana quadcopter memerlukan sistem yang mampu merespons dengan cepat terhadap perubahan kondisi untuk mempertahankan atau mencapai posisi yang diinginkan. Di sinilah konsep kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) menjadi sangat penting. Kontroler PID pertama kali dipasarkan pada tahun 1939 dan tetap menjadi pengontrol yang paling banyak digunakan dalam pengendalian proses hingga saat ini. (Araki, 2009)

Sistem kontrol PID telah terbukti efektif dalam mengendalikan berbagai sistem dinamis, termasuk quadcopter (Araki, 2009), dengan menggunakan umpan balik dari sensor untuk menghasilkan respons yang sesuai. Dengan menganalisis kesalahan antara posisi aktual dan posisi yang diinginkan, sistem PID dapat menghasilkan sinyal

kontrol yang memungkinkan quadcopter untuk mempertahankan atau mengoreksi posisinya secara efisien (Ebrahimi & Gharaveisi, 2012).

Perbandingan parameter pengontrol yang diperoleh dengan metode beberapa kutub dominan nyata dengan parameter pengontrol yang disetel, dapat dibuktikan bahwa nilai konstanta waktu integrasi jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai konstanta waktu transien sirkuit ekuivalen yang menggunakan pengontrol stabilisasi (Huba, 2022).

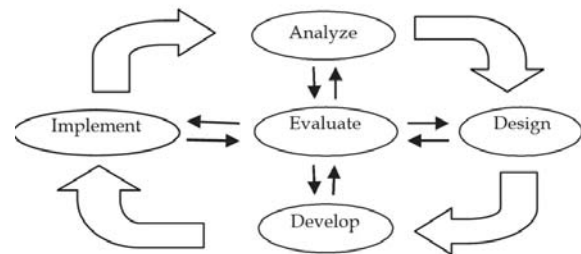
PID *control* pada penerapannya dalam pengendalian posisi quadcopter jauh lebih menarik. Hal ini disebabkan oleh perlunya penyetelan parameter yang rumit dan pemahaman menyeluruh tentang respons dinamis wahana terhadap perintah kontrol. Oleh karena itu, penguasaan prinsip-prinsip dasar PID dan teknik penyetelan yang tepat menjadi kunci untuk mencapai performa pengendalian yang optimal.

Konteks pembelajaran, pemahaman konsep kontrol PID dan implementasinya dalam pengendalian posisi wahana quadcopter menjadi aspek yang penting bagi para insinyur dan teknisi yang terlibat dalam pengembangan dan operasional UAV.

Pembelajaran tentang implementasi PID *control* dalam pengendalian posisi wahana quadcopter tidak hanya memungkinkan para praktisi untuk memahami teknologi ini dengan lebih baik, tetapi juga membekali mereka dengan keterampilan yang diperlukan untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengoptimalkan sistem kontrol yang efisien dan andal.

**METODE**

Jenis metode yang digunakan pada penelitian pengembangan (Research and Development) yang dikenal dengan model ADDIE mencakup lima tahap, yaitu Analisis, Desain, Pengembangan, Implementasi, dan Evaluasi (Wibawa, 2017).



Gambar 1. Langkah-langkah model ADDIE  
ADDIE model (Dick & Carey 1996)

**Analisis**

Tahap analisis. Analisis kebutuhan mahasiswa adalah langkah awal yang sangat penting dalam

proses pembelajaran. Dengan melakukan analisis yang cermat, instruktur dapat menyesuaikan pengajarannya agar lebih relevan dan efektif bagi setiap individu.

Pembelajaran *PID* kebanyakan menggunakan media *Line Follower/Line Tracer*, namun seiring berkembang teknologi saat ini memungkinkan untuk merakit sebuah bahan ajar baru yaitu *multirotor/drone*. Dengan bahan ajar baru mahasiswa diharapkan untuk lebih tertarik pada pembelajaran.

### Desain

Tahap desain dan konfigurasi, desain pada penelitian ini memilih konfigurasi *Quadcopter* (jenis pesawat terbang yang menggunakan sayap putar). Pemilihan desain *quadcopter* karena memiliki manuver yang sangat tinggi sehingga model matematika sederhana yang biasa kita gunakan untuk memprediksi gerakannya (model orde pertama) tidak lagi memadai.

Efek aerodinamis yang muncul pada kecepatan tinggi dan manuver tajam menyebabkan ketidakakuratan yang signifikan dalam prediksi model tersebut (Nvss et al., 2022). Karena alasan itulah desain ini dipilih.



Gambar 2. Desain *Quadcopter*

Model baru ini sangat bagus dalam menghitung gaya-gaya yang bekerja pada *drone* saat terbang, seperti gaya dorong dari baling-baling, gaya gesek udara, dan gaya yang membuat *drone* berputar (Paz et al., 2021). Model ini lebih akurat dibandingkan model sebelumnya, dengan kesalahan perhitungan yang berkurang hingga setengahnya (Tuna et al., 2020). Selain itu, model ini juga bisa digunakan untuk memprediksi gerakan drone dalam kondisi yang berbeda-beda, tidak hanya pada data yang sudah digunakan untuk melatih model (Bogatov et al., 2021).

### Pengembangan

Tahap pengembangan. Pengembangan pada media ini adalah kontrol *PID* yang sudah diatur untuk memudahkan pembelajaran mahasiswa, karena pada pengaturan *PID control* untuk mengubah parameter pada media *Quadcopter* ini, sangat mudah. Pengaturan parameter *PID* sudah didesain semudah mungkin saat digunakan (Bennett, 1993).



Gambar 3. Antarmuka pengguna (*Mission Planner*)

Mahasiswa hanya perlu merubah nilai pada tabel diatas untuk mengubah sensitif dan respon *Quadcopter*. Pada kolom antarmuka pengguna sudah diberi penamaan yang memudahkan manakah kolom untuk merubah nilai *P(Proportional)*, *I(Integral)* dan *D(Derivative)*.

### Implementasi

Tahap implementasi, tahap ini mahasiswa akan dilatih untuk mencari gabungan nilai *P(Proportional)*, *I(Integral)* dan *D(Derivative)* yang paling stabil, dengan menerapkan *Ziegler-Nichols technique* (Sheta et al., 2021).

Dengan menggunakan nilai dari rumus:

$$y(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de}{dt} + K_i \int_0^T e(t) dt$$

Keterangan:

$y(t)$  = Keluaran dari pengendali pada waktu  $t$ . Ini adalah sinyal yang akan digunakan untuk mengontrol sistem.

$K_p$  = *Proportional gain*. Ini adalah konstanta yang menentukan seberapa besar pengaruh error saat ini terhadap keluaran. Semakin besar  $K_p$ , semakin cepat sistem merespon error, tetapi juga semakin rentan terhadap overshoot.

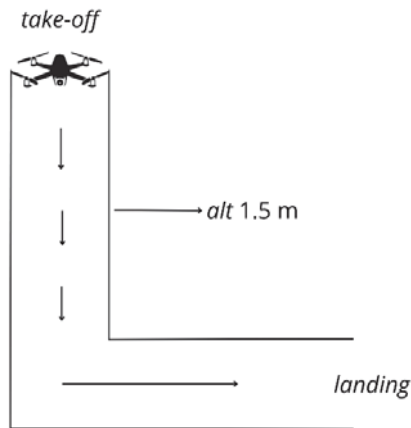
$e(t)$  = Error pada waktu ( $t$ ). Error didefinisikan sebagai selisih antara nilai setpoint dan nilai aktual dari variabel yang dikontrol.

$K_d$  = *Derivative gain*. Ini adalah konstanta yang menentukan seberapa besar pengaruh laju perubahan error terhadap keluaran.  $K_d$  membantu memprediksi

kemana error akan menuju dan mengambil tindakan preventif.

$K_i = Integral\ gain$ . Ini adalah konstanta yang menentukan seberapa besar pengaruh akumulasi error terhadap keluaran.  $K_i$  membantu menghilangkan error steady-state.

Menguji apakah mahasiswa bisa menjalankan bahan ajar dengan benar, maka dengan membuat sebuah tantangan dengan nama (misi). Misi yang akan diujikan berupa keluar dari lorong, sebagai mana yang ditunjukkan pada ilustrasi ini:



Gambar 4. Misi penerbangan

Mahasiswa akan mencoba menerbangkan bahan ajar pada ketinggian 1,5 meter diatas tanah. Maju sejauh 5 meter dan belok kiri sejauh 5 meter lalu landing, pada sebuah lorong yang sesuai dengan ilustrasi gambar diatas. Mahasiswa dianggap berhasil jika bahan ajar bisa melewati lorong dengan stabil tanpa menabrak tembok.

**Evaluasi**

Tahap evaluasi, setelah mahasiswa memahami rumus dan mencoba untuk mengendalikan bahan ajar, mahasiswa akan diamati apakah terjadi kesulitan atau tidak dalam menyelesaikan misi untuk menerbangkan bahan ajar sesuai dengan misi yang telah ditentukan dengan selamat.

Penelitian ini dilakukan di Universitas Negeri Surabaya, jl. Ketintang, Ketintang, Kec. Gayungan, Kota Surabaya, Jawa Timur 60231. Tepatnya 45 mahasiwa jurusan teknik elektro yang bergabung dalam Lembaga Semi Otonom Dewo Robotic Unesa yang berada dibawah naungan Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Penelitian ini menerapkan sampling jenuh, yaitu dengan mengambil setiap individu dalam populasi sebagai sampel.

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan teknik pengumpulan data

1)Observasi, 2)Angket, 3)Tes berupa mengamati mahasiswa yang berhasil menyelesaikan misi (Lena et al., 2020). Data dalam penelitian ini dianalisis secara kuantitatif menggunakan perangkat lunak SPSS.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pelaksanaan penelitian menghasilkan produk berbentuk buku dan prototype bahan ajar. Penelitian ini diimplementasikan pada mata kuliah robot industri dan mekatronika. Juga pernah diujikan pada Kontes Robot Terbang Indonesia (KRTI 2023 dan 2024) untuk menilai kepraktisan dan keefektifan prototype bahan ajar.

**1. Hasil kepraktisan PID Control *Quadcopter***

Bahan ajar PID control *quadcopter* diimplementasikan dalam pembelajaran di mata kuliah robot industri dan mekatronika kepada mahasiswa jurusan teknik elektro yang bergabung dalam Dewo robotic Unesa, dilakukan penilaian kepraktisan dengan menggunakan angket respon mahasiswa. Angket ini berisi pertanyaan-pertanyaan terkait kemudahan penggunaan dan kepraktisan mengganti nilai pid pada bahan ajar. Tujuan penggunaan angket ini adalah untuk mengukur tingkat kepraktisan bahan ajar PID *quadcopter* yang telah dikembangkan dari sudut pandang mahasiswa.

Tabel 1. Hasil angket mahasiswa

No	Aspek yang dinilai	Rerata skor	Golongan
1	Aspek desain antarmuka pengguna	89,1%	Sangat Praktis
2	Aspek isi	88,8%	Sangat Praktis
3	Aspek bahasa	90,1%	Sangat Praktis
Total rerata hasil rating		89,3%	Sangat Praktis

Penilaian kepraktisan media pembelajaran dilakukan melalui angket respon siswa yang berisi pertanyaan-pertanyaan terkait bagaimana tampilan UI(*User Interface*), bagaimana isi kelengkapan untuk mengubah nilai PID Control, Bagaimana kemudahan pemahaman bahasa yang ditampilkan. Penilaian ini mencakup tiga aspek, yaitu desain media

antarmuka pengguna, isi media kelengkapan nilai Kp, Ki, dan Kd serta beberapa parameter lain, dan tata bahasa penggunaan bahasa pada antarmuka pengguna.

Berdasarkan skala penilaian 80-100% yang dikategorikan "sangat praktis", diperoleh skor sebagai berikut: aspek desain 89,1%, aspek isi 88,8%, dan aspek tata bahasa 90,1%. Rerata keseluruhan skor adalah 89,3%, yang menunjukkan bahwa media pembelajaran tersebut termasuk dalam kategori "sangat praktis". Hal ini mengindikasikan bahwa bahan ajar pembelajaran mudah digunakan dan dipahami oleh mahasiswa, serta berpotensi untuk mendukung proses pembelajaran secara efektif (Noordin et al., 2021).

**2. Hasil Keefektifan PID Control *Quadcopter***

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji keefektifan bahan ajar PID Control *Quadcopter* dalam meningkatkan motivasi belajar siswa. Keefektifan dalam konteks penelitian ini diukur melalui analisis data yang diperoleh dari observasi misi yang bertujuan untuk mengukur beberapa aspek motivasi belajar, yaitu minat, perhatian, relevansi, dan kepercayaan diri mengacu pada ARCS Model.

Tabel 2. ARCS Model

No	Aspek yang dinilai	Rerata skor	Golongan
1	Keinginan untuk berhasil	100%	Sangat efektif
2	Keinginan untuk belajar	88,7%	Sangat efektif
3	Full misi	88,9%	Sangat efektif
4	Mencoba <i>tuning</i>	100%	Sangat efektif
5	Mencoba misi	89,8%	Sangat efektif
Rerata hasil rating		91,5%	Sangat efektif

Mengukur efektifitas juga melalui analisis data yang diperoleh dari uji misi terbang KRTI wilayah 2023 dan 2024 yang dilakukan oleh tim divisi *Vertical Take-off Landing (VTOL)* pada saat melakukan uji terbang *take-off-landing*. Dengan data *tuning* parameter dengan nilai rerata dari 45 kali percobaan penerbangan, yang stabil dan aman digunakan. Dengan hasil

pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil (Kp) *take off-landing*

No	Nilai rerata P	(n) coba	Rerata berhasil
1	<i>Roll</i> = 0.013985 <i>Pitch</i> = 0.13985 <i>Yaw</i> = 0.725	45	93.3%
2	<i>Roll</i> = 0.010521 <i>Pitch</i> = 0.010521 <i>Yaw</i> = 0.418	45	86.7%
3	<i>Roll</i> = 0.009580 <i>Pitch</i> = 0.009580 <i>Yaw</i> = 0.124	45	71.1%
4	<i>Roll</i> = 0.005210 <i>Pitch</i> = 0.005210 <i>Yaw</i> = 0.051	45	66.7%

Tabel 4. Hasil (Ki) *take off-landing*

No	Nilai rerata I	(n) coba	Rerata berhasil
1	<i>Roll</i> = 0.013985 <i>Pitch</i> = 0.13985 <i>Yaw</i> = 0.018	45	93.3%
2	<i>Roll</i> = 0.010525 <i>Pitch</i> = 0.010525 <i>Yaw</i> = 0.015	45	86.7%
3	<i>Roll</i> = 0.009583 <i>Pitch</i> = 0.009583 <i>Yaw</i> = 0.013	45	71.1%
4	<i>Roll</i> = 0.005218 <i>Pitch</i> = 0.005218 <i>Yaw</i> = 0.010	45	66.7%

Tabel 5. Hasil (Kd) *take off-landing*

No	Nilai rerata D	(n) coba	Rerata berhasil
1	<i>Roll</i> = 0.0036 <i>Pitch</i> = 0.0036 <i>Yaw</i> = 0.000	45	93.3%
2	<i>Roll</i> = 0.0032 <i>Pitch</i> = 0.0032 <i>Yaw</i> = 0.000	45	86.7%
3	<i>Roll</i> = 0.0030 <i>Pitch</i> = 0.0030 <i>Yaw</i> = -0.01	45	71.1%
4	<i>Roll</i> = 0.0025 <i>Pitch</i> = 0.0025 <i>Yaw</i> = -0.001	45	66.7%

Evaluasi keefektifan bahan ajar dilakukan melalui instrumen ARCS belajar mahasiswa. Keinginan untuk berhasil, keinginan untuk belajar, harapan untuk berhasil, mencoba tuning, mencoba misi. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kelima aspek tersebut memenuhi kriteria "sangat efektif" dengan perolehan skor sebagai berikut: keinginan untuk berhasil (100%), keinginan untuk belajar (88,7%), full misi (88,9%), mencoba *tuning* (100%), dan mencoba misi (89,8%). Rerata keseluruhan skor adalah 91,5%, yang mengindikasikan tingkat keefektifan yang sangat tinggi. Keefektifan bahan ajar dengan pengujian terbang juga menunjukkan bahwa bahan ajar mampu memberikan skala 66-93% keberhasilan misi dengan rentang nilai (*p*) *roll* dan *pitch* dengan skala 0.005210 hingga 0,013985, Yaw skala 0.0514 hingga 0.725. Untuk nilai (*i*) *roll* dan *pitch* skala 0.005218 hingga 0.013985, Yaw 0.010 hingga 0.018. Untuk nilai (*d*) *roll* dan *pitch* dengan skala 0.0025 hingga 0.0036, Yaw -0.001 hingga 0.000. Rekapitulasi nilai ARCS mahasiswa disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 6. Rekapitulasi nilai motivasi belajar

Bahan ajar	Total	Rerata
<i>Line tracer</i>	2462	54.1
<i>Quadcopter</i>	4216	93.6

Tabel 6 menjelaskan rekapitulasi nilai motivasi mahasiswa saat diberikan angket dari nilai skala 1-100, dengan perbandingan bahan ajar memperoleh rerata pemberian nilai untuk PID *line tracer* 54,1 dan untuk PID *quadcopter* 93,6.

Tabel 7. Uji normalitas Shapiro-Wilk

Tests of Normality			
	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
<i>Line_Tracer</i>	.959	45	.116
<i>Quadcopter</i>	.956	45	.082

Uji normalitas dilakukan untuk menguji apakah data yang didapatkan berdistribusi normal atau tidak. Pemilihan uji data dilakukan menggunakan metode *shapiro wilk* dikarenakan

data kurang dari 50 data. Berdasarkan pedoman pada uji normalitas *shapiro wilk* jika nilai Sig.(signifikasi) > 0.05 maka data penelitian berdistribusi normal. Jika nilai Sig.(signifikasi) < 0.05 maka data penelitian tidak berdistribusi normal. Pada nilai Sig.(signifikasi) diatas menunjukkan nilai *linetracer* pada 1.16 dan *quadcopter* pada 0.82 yang berarti data berdistribusi normal.

Tabel 8. Uji T Motivasi Belajar

Paired Samples Statistics				
		Mean	N	Std. Deviation
Pair 1	Line Tracer	54.711	45	5.7192
	Quadcopter	85.222	45	4.0276

Tabel diatas dari 45 responden yang mengisi angket, memperlihatkan motivasi belajar hasil statistik deskriptif dengan nilai rata-rata untuk penggunaan bahan ajar *quadcopter* memiliki nilai sebesar 85.222 yang menunjukkan bahwa nilai rata-rata bahan ajar PID *control quadcopter*. Memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi.

Tabel 9. Signifikasi Paired Sample Test

Paired Samples Test			
	t	df	Sig. (2-tailed)
Line_Tracer – Quadcopter	-32.241	44	.000

Tabel signifikasi *paired sample test* menunjukkan nilai signifikasi (2-tailed). Pada pengujian *paired sample T test* jika nilai signifikasi < 0,05 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua bahan ajar. Jika nilai signifikasi > 0,05 maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Berdasarkan nilai tabel yang didapatkan sebesar 0,00. Maka pengambilan keputusan menghasilkan sebuah keputusan bahwa bahan ajar *quadcopter* jika diterapkan memiliki perbedaan nilai yang signifikan pada mahasiswa.

**PENUTUP****Simpulan**

Analisis yang telah dipaparkan, dapat ditarik kesimpulan bahwa 1) Hasil kepraktisan dinilai melalui angket respon mahasiswa dengan nilai rerata 89.3 %, dengan termasuk kedalam golongan sangat praktis. 2) Hasil keefektifan pada motivasi belajar dan penerapan pada uji terbang dengan nilai efektifitas lebih dari 90%. Berdasarkan hasil pada ARCS model didapatkan rerata untuk hasil rating ARCS model sebesar 91,5%. Bahan ajar juga memiliki kelebihan dalam hal *tuning* parameter yang mudah karena menggunakan antarmuka software UI/UX yang *easy to use* mudah digunakan dan *disetting*. Pengujian bahan ajar *quadcopter* memiliki skala *tuning* dan tingkat keberhasilan yang tinggi sehingga memiliki keuntungan sebagai bahan ajar karena mahasiswa bisa memiliki banyak percobaan dan pengalaman saat menggunakan bahan ajar *quadcopter*. Dari rekapitulasi motivasi belajar didapatkan hasil bahwa dengan adanya bahan ajar baru bisa meningkatkan semangat belajar. Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa terdapat signifikansi pada bahan ajar baru.

**Saran**

Potensi bahan ajar ini masih memungkinkan banyak sekali yang dapat dikembangkan seperti membahas tentang *PID control throttle*, *PID velocity xy*, dan lainnya,

**DAFTAR PUSTAKA**

- Araki, M. (2009). *Control Systems, Robotics And Automation - Volume II: System Analysis and Control: Classical Approaches-II. II*, 450.
- Bennett, S. (1993). Development of the PID Controller. *IEEE Control Systems*, 13(6), 58–62.
- Bogatov, N., Kostin, A., & Maiorov, N. (2021). Control and analysis of quadcopter flight when setting a complex trajectory of motion. *Journal of Physics: Conference Series*, 1925(1).
- Ebrahimi, N., & Gharaveisi, a. (2012). Optimal Fuzzy Supervisor Controller for an Active Suspension System. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, Volume-2(4), 36–39.
- Huba, M. (2022). Disturbance Observer in PID Controllers for First-Order Time-Delayed Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 55(17), 19–24.
- Lena, L. A. N., Samiha, Y. T., Habisukan, U. H., Wigati, I., Hapida, Y., & Anggun, D. P. (2020). Studi tentang Pengembangan Bahan Ajar E-Book. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi 2020*, 33–40.
- Noordin, A., Mohd Basri, M. A., Mohamed, Z., & Mat Lazim, I. (2021). Adaptive PID Controller Using Sliding Mode Control Approaches for Quadrotor UAV Attitude and Position Stabilization. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(2), 963–981.
- Nvss, S., Esakki, B., Yang, L. J., Udayagiri, C., & Vepa, K. S. (2022). Design and Development of Unibody Quadcopter Structure Using Optimization and Additive Manufacturing Techniques. *Designs*, 6(1).
- Paz, C., Suárez, E., Gil, C., & Vence, J. (2021). Assessment of the methodology for the CFD simulation of the flight of a quadcopter UAV. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 218.
- Sheta, A., Braik, M., Maddi, D. R., Mahdy, A., Aljahdali, S., & Turabieh, H. (2021). Optimization of pid controller to stabilize quadcopter movements using meta-heuristic search algorithms. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(14).
- Tuna, T., Ertug Ovrur, S., Gokbel, E., & Kumbasar, T. (2020). Design and development of FOLLY: A self-foldable and self-deployable quadcopter. *Aerospace Science and Technology*, 100(March).
- Wibawa, S. C. (2017). the Design and Implementation of an Educational Multimedia Interactive Operation System Using Lectora Inspire. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 2(1), 74–79.