

# Kendali Kecepatan Motor Dengan Kontrol Pid Menggunakan Metode Metaheuristik

Habibi Ahmad Basyari<sup>1\*</sup>, Muhammad Fikri Fathurrohman<sup>2</sup>, Anggara Trisna Nugraha<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi D4 Teknik Elektro Kapal, Jurusan Teknik Elektro Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, 60111, Indonesia  
Email:

## Abstrak

Kemajuan teknologi kontrol digunakan di hampir setiap industri di seluruh dunia. Motor arus searah (DC) adalah aktuator yang banyak digunakan dalam industri dan teknologi kontrol. Motor DC memiliki respons yang cepat tetapi memiliki ekskursi yang stabil. Oleh karena itu, diperlukan pengontrol yang sesuai dengan karakteristik motor DC. Pengontrol proporsional-integral-derivatif (PID) adalah pengontrol aksi respons cepat yang cocok untuk mengontrol kecepatan motor DC. Dalam karya ini, kami menggabungkan metode metaheuristik dari algoritma genetika untuk menemukan parameter PID yang optimal dibandingkan metode PID tradisional yang digunakan sejauh ini, karena overshoot yang rendah dan kecepatan kondisi mapan yang jauh lebih cepat. Dicari keuntungan. Dari parameter PID-nya yang diperoleh dari metode metaheuristik yang diimplementasikan pada motor DC, hasil respon sistem dibandingkan dengan metode konvensional (*trial and error*, *Ziegler-Nichols*, dan optimisasi metaheuristicnya untuk simulasi Simulink). hukum) dapat dibandingkan. MATLAB). memperoleh.

**Kata kunci:** komponen, motor DC, PID, metaheuristik

## Abstract

### 1. Pendahuluan

Pada era revolusi industri 4.0 saat ini sistem kontrol pada suatu industri berperan besar dalam meningkatkan efektifitas dan efisiensi dalam suatu proses produksi. Sistem kendali plant dalam sistem, karena sistem terdiri dari plant yang membentuk aliran produksi dalam sistem produksi, maka penulis mencoba memberikan contoh beberapa plant dalam sistem produksi Amonia di Petrokimia Gresik adalah reaktor kimia, pemanas, boiler dan sebagainya. Plant selalu dipantau di ruang kontrol dan berbagai parameter di plant dibaca oleh instrumen dan dikirim ke ruang kontrol untuk pemantauan dan pengendalian. Perkembangan sistem kendali saat ini telah banyak mengalami pembaruan yang sangat positif, mulai dari kendali konvensional hingga kendali cerdas. Kendali PID (Proportional Integral Derivative) merupakan pengembangan dari kendali konvensional yang bertujuan untuk memberikan kinerja kendali terbaik pada sistem kendali. Sistem Kontrol (P) memiliki keunggulan waktu penelitian yang cepat. Kontrol Integral (I) memiliki keunggulan dalam meminimalkan kesalahan. Derivative Control (D) memiliki keunggulan overshoot.

### 2. Metode Penelitian

Penelitian dimulai dengan melakukan pemodelan Simulink pada MATLAB dan menganalisa respon sistem tanpa kontroler PID.

**Tabel 1** Respon Motor DC Tanpa PID

No	System Response	Rise Time (S)	Over Shoot (pu)	Settling Time (s)	Steady State (pu)
1	Motor DC	1.02	0.0907	1.85	0.0908

Penyesuaian selanjutnya dilakukan dengan cara tradisional yaitu percobaan metode *-and-error*, dan *Ziegler-Nichols* sebagai pembanding metode optimisasi yang digunakan.

**Tabel 2.** Respon Motor DC Hasil Tuning PID Menggunakan metode konvensional

No	Respon Sistem	Rise Time (S)	Over Shoot (pu)	Settling Time (s)	Steady State (pu)
1	Trial And Error	0.014176	16.040	0.118	1.636
2	Ziegler Nichols	0.068865	1.138	15.256	1.636

Setelah menerapkan penalaan PID menggunakan metode tradisional, kami mulai menerapkan algoritma genetik untuk kontroler PID. Dalam eksperimen penelitiannya ini, ia menguji penerapan algoritma genetika pada kontroler PID miliknya sebanyak sembilan kali.

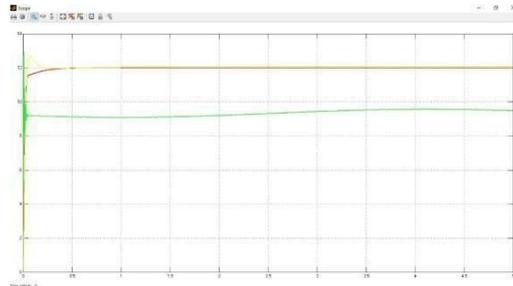
- Populasi acak 20 dibatasi 20 liter
- Populasi acak 20 dibatasi 40 liter
- Populasi acak 20 dibatasi 60 liter
- Populasi acak 30 dibatasi 20 liter
- Populasi acak 30 dibatasi 40 liter
- Populasi acak 30 dibatasi 60 liter
- Populasi acak 50 dibatasi 20

Dalam percobaan ini, kami menerapkan nilai parameter Kp, Ki, dan Kd pada output dari optimasi Simulink dan diperoleh hasil sebagai berikut.

Keterangan:

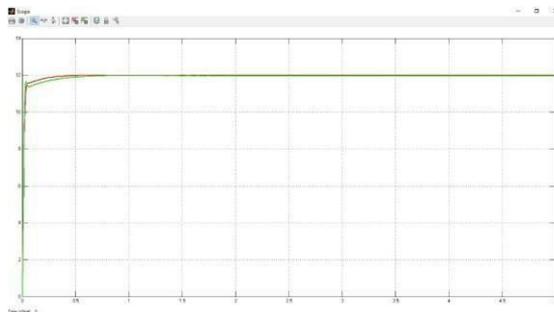
- Output literasi warna merah 60
- Output literasi warna kuning 40
- Output literasi warna hijau 20

1. Populasi 20



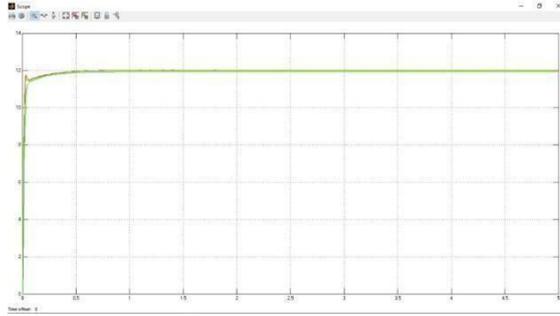
**Gambar 1.** Respon motor DC hasil *tuning* PID dengan eksperimen 20 *random*

2. Populasi 30



**Gambar 2.** Respon motor DC hasil *tuning* PID dengan eksperimen 30 *random*

3. Populasi 50

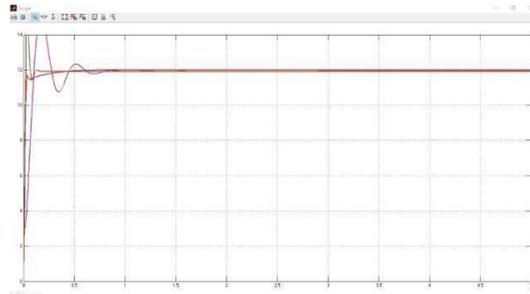


**Gambar 3.** Respon motor DC hasil *tuning* PID dengan percobaan 50 *random*

Ekspirimen acak Setelah percobaan optimasi menggunakan algoritma genetika, hasil respon sistem dibandingkan dengan berbagai metode yang diterapkan sebelumnya pada langkah selanjutnya.

Keterangan:

- Optimasi Output warna merah dari Genetic Algorithm
- Output warna Ungu Ziegler Nichols
- Output warna Brown Trial and Error



**Gambar 4.** Perbandingan respon motor DC dengan hasil *tuning* PID Trial & Error, Ziegler Nichols dan Optimasi Genetic Algorithm

Sebagai perbandingan, didapatkan:

**Tabel 2.** Respon dengan Hasil *Tuning* PID dengan Metode Konvensional

<i>Tidak</i>	<i>Respon Sistem</i>	<i>Rise Time (S)</i>	<i>Over Shoot (pu)</i>	<i>Settling Time (s)</i>	<i>Steady State (pu)</i>
1	Trial And Error	0.014176	16.040	0.118	1.636
2	Ziegler Nichols	0.068865	15.256 1.138	12.013	1.636
3	Algoritma Genetika	0.442057	Optimal	1.30	motor

### 3. Pembahasan

#### 3.1 Sistem Kontrol Motor DC

Metode Kontrol Kecepatan Motor DC Metode kontrol kecepatan diterapkan pada motor DC. Kontrol kecepatan motor DC terutama dilakukan dengan dua cara.

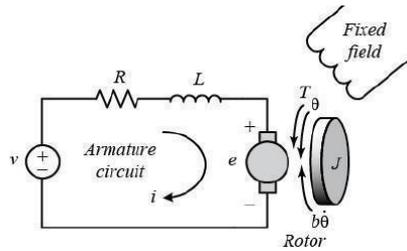
a. Kontrol Jangkar

Dalam metode ini, kecepatan motor dikontrol dengan memvariasikan tegangan jangkar.

b. Kontrol Medan

Pada metode ini, kecepatan motor dikontrol dengan memvariasikan arus medan atau arus stator.

Tata Letak Fisik Motor DC, rangkaian ekivalen kelistrikan dari diagram armature dan bodyless rotor ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



**Gambar 5.** Rangkaian ekuivalen listrik rotor

Masukan ke sistem adalah tegangan suplai (V) yang diterapkan ke armature motor dan keluarannya adalah kecepatan poros. Rotor dan poros dianggap benda tegar. model gesekan kental. Momen gesekan sebanding dengan kecepatan sudut poros.

**Tabel 3.** Parameter fisik motor dc.

Momen inersia rotor (J)	0,01 kg.m <sup>2</sup>
tetapan gesek (b)	0,1 Nms
Tetapan gaya gerak listrik (Ke)	0,01 V/rad/detik
Tetapan torsi motor (Kt)	0,01 Nm / Amp
listrik (r)	Hambatan 1 Ohm
Induktansi (L )	0,5 H

Rumus fungsi transfer sistem kontrol umpan balik. Torsi yang dihasilkan oleh motor DC sebanding dengan arus jangkar dan kekuatan medan magnet. Contoh ini mengasumsikan bahwa medan magnet konstan. Oleh karena itu, torsi motor sebanding dengan arus jangkar i dengan Kt konstan seperti ini disebut motor yang dikendalikan jangkar.

$$T = K_t i \quad (1)$$

Keterangan :

T = torsi

Kt = faktor sesaat

I = arus jangkar

Ggl balik, e, sebanding dengan kecepatan sudut poros dengan faktor konstan Ke.

$$e = K_e \dot{\theta} \quad (2)$$

Keterangan : e = ggl balik

Ke = faktor Konstanta

$\dot{\theta}$  = kecepatan

Dalam satuan SI, torsi mesin dan konstanta belakang adalah sama.  $H.K_t = K_e$ ; oleh karena itu, kami menggunakan K untuk menyatakan konstanta torsi motor dan konstanta belakang. Berdasarkan Hukum II Newton dan Hukum Stres Kirchhoff, diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$J \ddot{\theta} + b \dot{\theta} = K I \quad (3)$$

$$L \frac{di}{dt} + R i = V - K_e \dot{\theta} \quad (4)$$

Keterangan :

J = momen inersia rotor

B = konstanta gesek motor kental

Ki = konstanta faktor

L = induktansi listrik R = hambatan listrik

V = sumber tegangan

Dengan menerapkan transformasi Laplace, persamaan pemodelan di atas dapat dinyatakan dalam bentuk Laplace variabel.

$$s J( s + b )\theta(s) = KI(s) \quad (5)$$

$$(Ls + R)I(s) = V(s) - Ks\theta(s) \quad (6)$$

kecepatan sebagai keluaran dan tegangan jangkar sebagai masukan.

$$P(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{(Js+b)(Ls+R)+K^2} \text{ (rad/detik/V)} \quad (7)$$

$$P(s) = \frac{0.01}{(0.01s+0.1)(0.5s+1)+0.01^2} \quad (8)$$

$$P(s) = \frac{0.01}{0.005s^2+0.006s+0.1001} \quad (9)$$

Sistem kontrol umpan balik sering disebut sistem kontrol loop tertutup. Dalam sistem kontrol loop tertutup, sinyal aktuasi, yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik, dikirim ke pengontrol untuk mengurangi kesalahan dan mengarahkan keluaran sistem ke nilai yang diinginkan. Istilah kontrol loop tertutup selalu menyiratkan penggunaan langkah-langkah kontrol umpan balik untuk mengurangi kesalahan sistem.

$$P(s) = \frac{0,01}{0,005s^2+0,006s+0,1001} \quad (10)$$

### 3.2 Metode Optimalisasi Metaheuristik

Optimasi Metaheuristik mengacu pada masalah optimasi menggunakan algoritma metaheuristik. Optimasi pada dasarnya ada di mana-mana, mulai dari desain teknis hingga ekonomi, dari perencanaan liburan hingga perutean Internet. Uang, sumber daya, dan waktu selalu terbatas, jadi sangat penting untuk memanfaatkan sumber daya yang tersedia ini sebaik mungkin. Sebagian besar pengoptimalan dunia nyata sangat nonlinier dan multimodal dalam berbagai kondisi batas yang kompleks. Tujuan yang berbeda sering bertabrakan. Bahkan dengan satu tujuan, mungkin tidak ada solusi optimal sama sekali. Menemukan solusi optimal atau suboptimal umumnya bukanlah tugas yang sepele. Dalam pengertian yang paling sederhana, optimasi dapat dianggap sebagai masalah minimalisasi atau maksimalisasi. Misalnya, nilai minimum untuk fungsi  $f(x) = x^2$  adalah  $f_{\min} = 0 | x=0$ . Aktif untuk jangkauan penuh  $-\infty < x < \infty$ . Secara umum, jika fungsi Anda cukup sederhana, Anda dapat menggunakan turunan pertama  $f'(x) = 0$  untuk menentukan lokasi potensial dan menggunakan turunan kedua  $f''(x)$  Periksa apakah solusi maksimum atau minimum. Namun, untuk fungsi non linier, multimodal, dan multivariat, ini bukanlah tugas yang sepele. Selain itu, beberapa fungsi memiliki diskontinuitas, sehingga memperoleh informasi turunan tidaklah mudah. Hal ini dapat menimbulkan berbagai tantangan bagi banyak metode tradisional seperti pendakian. Optimasi Secara umum, masalah optimasi dapat ditulis sebagai:

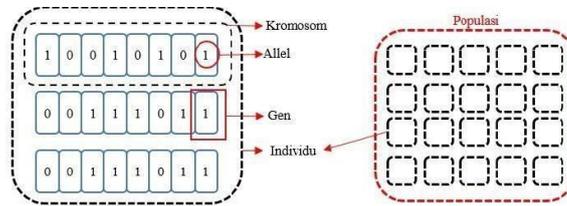
$$f_1(x), \dots, f_i(x), \dots, (x), x = (x_1, \dots, x_d) \quad (11)$$

Penyelesaian masalah optimasi membutuhkan algoritma optimasi yang efisien. Ada banyak algoritma pengoptimalan yang dapat diklasifikasikan dalam berbagai cara tergantung pada fokus dan propertinya.

### 3.3 Genetika

Algoritma genetika (GA) adalah metode pencarian global probabilistik yang meniru proses evolusi alami. Ini adalah salah satu metode yang digunakan untuk optimasi. John Holland secara resmi memperkenalkan metode tersebut pada tahun 1970 di Universitas Michigan, AS. Peningkatan terus-menerus dalam kinerja sistem komputer telah membuat pengoptimalan dari berbagai jenis menjadi menarik. Algoritma genetik dimulai tanpa pengetahuan tentang solusi yang sesuai dan bergantung sepenuhnya pada respons dari operator lingkungan dan evolusi seperti pemuliaan, persilangan, dan mutasi untuk sampai pada solusi optimal. Dengan memulai dari beberapa titik independen dan

mencari secara paralel, algoritma menghindari minimum lokal dan menyatu ke solusi suboptimal. Dengan cara ini, GAs dapat menemukan wilayah berdaya tinggi dalam domain kompleks tanpa menemui masalah yang terkait dengan dimensi tinggi, seperti halnya dengan metode gradien layak dan metode berbasis informasi turunan. ditampilkan. Algoritma genetika memiliki enam komponen utama: teknik pengkodean, metode inisialisasi, fungsi evaluasi, pilihan, operator genetik, dan parameter.

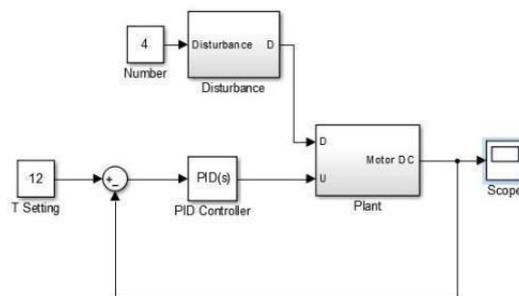


**Gambar 6.** Penentuan

- yang disebut kromosom.
- Alel, nilai gen.
- Kromosom, gabungan gen yang membentuk nilai tertentu.
- Individual, mewakili nilai yang menyatakan salah satu solusi yang mungkin untuk masalah optimisasi.
- Populasi, kumpulan individu yang akan diproses dalam satu siklus dari algoritma genetika.
- Generation, menyatakan jumlah siklus yang dijalankan oleh algoritma genetika.

### 3.4 Pemodelan Matlab

Dari perancangan sistem yang telah dijelaskan pada diagram alir dan model matematis yang telah dibahas pada bab sebelumnya, kita dapat mulai bergerak ke realisasi dalam bentuk simulasi.

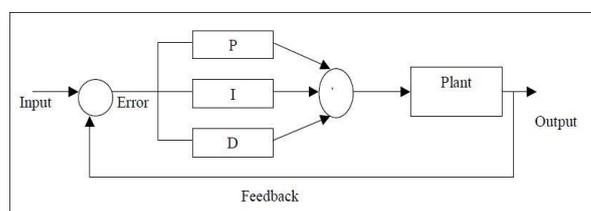


**Gambar 7.** Pemodelan Simulasi pada *Simulink*

Pada fitur Simulink pada program MATLAB proses ini disebut dengan pemodelan. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.3 dimana terdapat pemodelan dari keseluruhan sistem.

### 3.5 PID

terdiri dari tindakan proporsional, integral, dan turunan. Kami biasanya mengacu pada parameter penyetelan PID Ziegler-Nichols. Ini adalah algoritma kontrol yang paling umum dan tersebar luas. Algoritma pengontrol PID terutama digunakan dalam loop umpan balik. Kontroler PID dapat diimplementasikan dalam berbagai bentuk. Ini dapat diimplementasikan sebagai pengontrol mandiri, sebagai bagian dari paket Direct Digital Control (DDC), atau bahkan sebagai sistem kontrol terdistribusi "DCS". Yang terakhir adalah sistem kontrol proses yang terdistribusi secara hierarkis, banyak digunakan di pabrik pemrosesan seperti obat-obatan dan kilang minyak industri. Perhatikan bahwa lebih dari separuh pengontrol industri yang digunakan saat ini menggunakan skema kontrol PID atau PID yang dimodifikasi. Di bawah ini adalah diagram sederhana yang menunjukkan skema kontroler PID. Pengaturan seperti itu dikenal sebagai format paralel.



**Gambar 8.** Skema Kontroler PID – Bentuk Tidak Berinteraksi

Pada kontrol proporsional,

$$P_{term} = K_p \times \text{Error} \quad (12)$$

Menggunakan proporsi error sistem untuk mengontrol sistem. Dalam tindakan ini offset diperkenalkan dalam sistem.

Dalam Integral

$$I_{term} = K_i \times \text{Error} \int \text{Error} dt \quad (13)$$

Ini sebanding dengan jumlah kesalahan dalam sistem. Dalam aksi ini Action-I memperkenalkan penundaan ke dalam sistem. Ini menghilangkan offset yang sebelumnya diperkenalkan oleh aksi P.

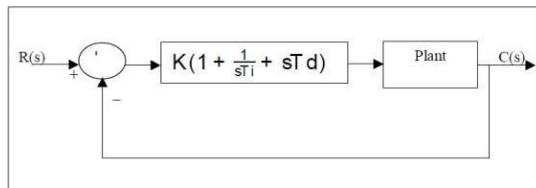
Pada kontrol Derivatif,

$$D_{term} = K_D \times \frac{d(\text{error})}{dt} \quad (14)$$

Hal ini sebanding dengan banyaknya error pada sistem. Dalam aksi ini Action-I memperkenalkan penundaan ke dalam sistem. Ini menghilangkan offset yang sebelumnya diperkenalkan oleh aksi P.

$$GC(s) = K \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) \quad (15)$$

Hal ini dapat diilustrasikan di bawah ini dalam diagram blok berikut



**Gambar 9.** Diagram Blok Kontroler PID Kontinu

Pada dasarnya, yang dilakukan oleh kontroler PID adalah bertindak pada variabel yang dimanipulasi oleh kombinasi yang tepat dari tiga kontrol aksi: H. Aksi Kendali P, Aksi Kendali I, dan Aksi Kendali D. Aksi P adalah aksi kendali yang sebanding dengan kesalahan pada sinyal penggerak, yang merupakan perbedaan antara sinyal input dan sinyal umpan balik. Komponen I adalah intervensi kontrol yang sebanding dengan integral dari sinyal kesalahan pemosisian. Akhirnya, aksi D adalah aksi kontrol yang sebanding dengan turunan dari sinyal kesalahan aktuasi. PID yang berkelanjutan dapat dicapai dengan mengintegrasikan ketiga langkah tersebut. Jenis kontrol ini banyak digunakan di industri di seluruh dunia. Nyatanya, banyak studi, studi dan aplikasi telah ditemukan dalam beberapa tahun terakhir.

#### 4. Kesimpulan

Nilai settling time sebesar 1,30 detik diperoleh dari pengujian sistem kontrol menggunakan simulasi pada kontroler PID dan tuning algoritma genetika pada plant motor DC menggunakan 50 populasi acak dibatasi hingga 60 liter. terbukti lebih panjang. Secepat metode Ziegler. Nichols adalah 1,138 detik dan trial and error 0,118, tetapi mengungguli metode optimasi algoritmik karena overshoot kecil (yaitu hanya 12.013) dibandingkan dengan metode trial and error 16.040 dan metode Ziegler Nichols 15.256 . Jika optimasi tidak terbatas pada iterasi dan optimasi membutuhkan waktu, hasilnya mungkin akan lebih optimal.

#### 5. Daftar Pustaka

K.Ogata, Modern Control Engineering, Fifth ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010.

Grassi, E., Tsakalis, K., Dash, S., Gaikwad, SV, Macarthur, W., & Stein, G. (2001). Identifikasi sistem terintegrasi dan penyetelan kontroler PID dengan loop shaping frekuensi. Transaksi IEEE pada Teknologi Sistem Kontrol.

- Khin Ei Ei Khine., Win Mote Mote Htwe., Yin Yin Mon., (2019). Simulasi Sistem Kontrol Kecepatan Motor DC dengan menggunakan Kontroler PID. *IJTSRD*,: 2456-6470.
- JB Ziegler dan NB Nichols, "Pengaturan optimal untuk pengontrol otomatis," *Jurnal Sistem Dinamis, Pengukuran, dan Kontrol*, vol. 115, tidak. 2B, hlm. 220-222, 1993.
- Institut Teknologi dan Manajemen, Jamshedpur, India, Kamal Kishor, Departemen Teknik Elektronika dan Komunikasi, Institut Teknologi Ramgovind, Koderma, India, Pankaj Rai, Departemen Teknik Listrik, BIT Sindri, Dhanbad, India, Visioli, *Kontrol PID Praktis*. London: Springer, 2006.
- Ferdinandus, Aprildy Randy Andrew, Anggara Trisna Nugraha, dan Jamaaluddin Jamaaluddin. "Mengatur Kontrol PID Neuro-Fuzzy Pada Tanaman Suspensi Aktif Nonlinier." *Jurnal Fisika: Seri Konferensi*. Vol. 1114. No. 1. Penerbitan IOP, 2018.
- Nugraha, AT, dan T. Agustinah. "Jalur quadcopter mengikuti desain kontrol menggunakan umpan balik keluaran dengan pelacak generator perintah LOS berdasarkan jalur persegi." *Jurnal Fisika: Seri Konferensi*. Vol. 947. No. 1. Penerbitan IOP, 2018.
- Nugraha, Anggara Trisna. *Desain Kontrol Path Following Quadcopter Dengan Command Generator Tracker Model following*. Dis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- Bimbira, PS 1990. *Mesin Listrik*. Delhi: Penerbit Khana.
- Linsley, Trevor. 1998. *Pekerjaan Instalasi Listrik Dasar Edisi Ketiga*. Kidlington (Inggris): Elsevier Ltd.
- Anggono, Tri. 2011. *Perancangan Sistem Kontrol Tekanan Uap Pada Boiler Steam Drum Skala Kecil Menggunakan PID dan LQR* [thesis]. Depok (ID): Universitas Indonesia.
- Fitzgerald. AE 1992. *Mesin Listrik (Edisi ke-4)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Berahim, Hamzah. 1994. *Pengantar Teknik Elektro*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Mehta, Samir & John Chiasson. 1998. *Kontrol Nonlinear Motor DC Seri: Teori dan Eksperimen*. *Transaksi IEEE pada Industri Elektronik*. 45(1): 134141.
- Dubey, Saurabh & SK Srivastava. 2013. *Analisis Real Time Motor DC Terkendali PID*. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. 01(8): 1965-1973.
- Nugraha, Anggara Trisna, dan Trihastuti Agustinah. "Jalur quadcopter mengikuti desain kontrol menggunakan umpan balik keluaran dengan pelacak generator perintah berdasarkan LOS." *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA) 2017*. IEEE, 2017.
- Achmad, Irgi, dan Anggara Trisna Nugraha. "Implementasi Voltage Stabilizer Pada Sistem Solar Cell Menggunakan Buck-Boost Converter." *Jurnal Elektronika, Teknik Elektromedis, dan Informatika Medis* 4.3 (2022): 154-160.
- Nugraha, Anggara Trisna, Alwy Muhammad Ravi, and Mayda Zita Aliem Tiwana. "Penggunaan Algoritma Interferensi dan Observasi Untuk Sistem Pelacak Titik Daya Maksimum Pada Sel Surya Menggunakan Konverter DC-DC Photovoltaics." *Jurnal Janitra Informatika dan Sistem Informasi* 1.1 (2021): 8-18.
- Ivannuri, Fahmi, dan Anggara Trisna Nugraha. "Implementasi Fuzzy Logic Pada Turbine Ventilator Sebagai Energi Terbarukan." *Jurnal Elektronika, Teknik Elektromedis, dan Informatika Medis* 4.3 (2022): 178-182.
- Zakariz, Naufal Praska, Anggara Trisna Nugraha, and Khongdet Phasinam. "Pengaruh Variasi Inlet Notch Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Dengan Metode Eksperimental Untuk Memperoleh Kecepatan Turbin Optimal." *Jurnal Elektronika, Teknik Elektromedis, dan Informatika Medis* 4.1 (2022): 3