

# Optimasi Pemograman Sistem Pengendalian Mesin CNC Pengebor PCB Berdasar Metode Firefly Algorithm

Hidayatul Nurohmah, Machrus Ali\*, Rukslin, Dwi Ajiatmo, M. Teguh Prayogo

Universitas Darul Uluma, Jalan Gus Dur 29A, Mojongapit, Jombang 61413, Indonesia

\*machrus4@gmail.com

*Kata Kunci :*

ABSTRAK

CNC  
 PCB  
 BCNC  
 PID  
 Firefly Algorithm (FA)

*Automatic circuits use several electronic components found on Printed Circuit boards ( PCB ), namely micro (small) sized boards. With more holes in the PCB, it is more time-consuming to drill them manually with human power. In addition, accuracy is required when the drill bit contacts the PCB board, which may cause drilling errors due to friction. This project aims to create an autonomous drill using a computer and BCNC software to move it live. DC stepper and spindle motors powered by a PID firefly-controlled motor drive this machine. Drilling is carried out using the BCNC program, the drilling process is carried out by entering codes in the form of codes that can later be read by the CNC. By changing the layout to what is known as a code, the coordinates of the holes that have been made in the layout can be found. PCB designing software is used for this procedure. With each of the ten experiments used to test the accuracy of the six axes, an error value of 1.2% was recorded.  $K_p = 54$ ,  $K_i = 38$ , and  $K_d = 0.9$  are constant values obtained from the PID implementation on DC stepper.*

## 1. Pendahuluan

Di masa modern dikala ini, susunan elektronika bisa bertugas cuma dengan chip yang ukurannya terus menjadi kecil yang bisa diucap selaku mikrokontroler. Chip mikrokontroler ini terbuat pada sesuatu media yang bernama PCB, PCB ataupun (Printed Circuit Board) merupakan sesuatu kediaman kecil (mikro) yang penuh dengan sirkuit dengan materi yang

dibuat dari metal yang sanggup mengaitkan bermacam bagian elektronik satu serupa lain tanpa memakai kabel, Jenjang dalam pembuatan PCB saat sebelum bisa dipakai wajib melampaui cara pencetakan rute yang cocok dengan susunan yang di idamkan. Setelah itu dicoba cara penghilangan bagian PCB yang tidak terserang rute ataupun cara etching, serta dilanjutkan cara perforasi pada titik- titik dimana kaki- kaki bagian elektronika hendak diletakkan Pada cara pengeboran PCB dirasa lumayan susah bila dicoba oleh orang sebab diperlukan akurasi sebab dimensi lubang yang kecil(Shamkhalichenar, Bueche and Choi, 2020).

Tidak hanya itu, pengeboran pula tidak menginginkan durasi yang sedikit terlebih dalam suatu susunan yang ada banyak rute kaki buat tiap- tiap bagian. Dengan banyaknya teknologi yang bertumbuh pada dikala ini, pc sudah di terapkan pada alat- alat mesin perkakas, salah satunya ialah mesin bor. Hasil dari kombinasi teknologi pc serta teknologi ahli mesin inilah yang setelah itu dikenal dengan( Computer Numerically Controlled). Diucap selaku CNC, sebab cara pergerakan pada mesin ahli mesin itu digerakkan lewat personal komputer. Personal komputer menginginkan bahasa pem- rograman G- code supaya perangkat keras pada CNC itu supaya bisa mengenali instruksi yang diserahkan oleh personal komputer lewat kode- kode khusus. Pengurusan isyarat dari wujud lukisan ke wujud G- code membutuhkan suatu converter dalam wujud bentuk. gcd yang setelah itu bisa terbaca dengan bagus oleh personal komputer ataupun perangkat keras dari CNC itu. Oleh sebab itu, buat menaikkan tingkatan kepresisian serta keringanan dalam melaksanakan cara pengeboran pada PCB, hingga dirancanglah mesin pengebor otomatis pada PCB memakai CNC. (Fatriyana, 2020).

Optimalisasi diperlukan untuk menghasilkan hasil kontrol suhu yang baik, karena menawarkan hasil yang lebih stabil dan efisien dibandingkan dengan kontrol konvensional. Kontrol cerdas berbasis Artificial Intelligence telah banyak berkembang untuk meningkatkan kontrol konvensional, control PID(Rukslin and Ali, 2022)(Ali, Haikal, *et al.*, 2022)(Ali, Suyono, *et al.*, 2022), kontrol Fuzzy(Ali and Ulum, 2020), Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)(Machrus Ali *et al.*, 2020)(Machrus Ali, Ruslan Hidayat and Iwan Cahyono, 2020)(Ali *et al.*, 2019), dan jenis kontroler lainnya. Metode yang telah diteliti dan berhasil dalam optimasi sistem kontrol adalah Particle Swarm Optimization (PSO)(Muhammad Agil Haikal *et al.*, 2021)(Ali *et al.*, 2018), Firefly Algorithm (FA)(Parwanti *et al.*, 2021)(Budiman and Ali, 2021), Imperialist Competitive Algorithm (ICA)(Ali *et al.*, 2018), Bat algorithm (BA)(Ardi Junianto, Machrus Ali and Rukslin, 2021)(Hasib Al Isbilly, Markhaban Siswanto and Machrus Ali, 2022)(Hartlambang, Nurohmah and Ali, 2017), and Ant Colony Optimization (ACO)(Ali, Rukslin and Hasyim, 2021)(Ali and Sucipto, 2021). Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Optimasi kontrol dalam penelitian ini digunakan metode FA.

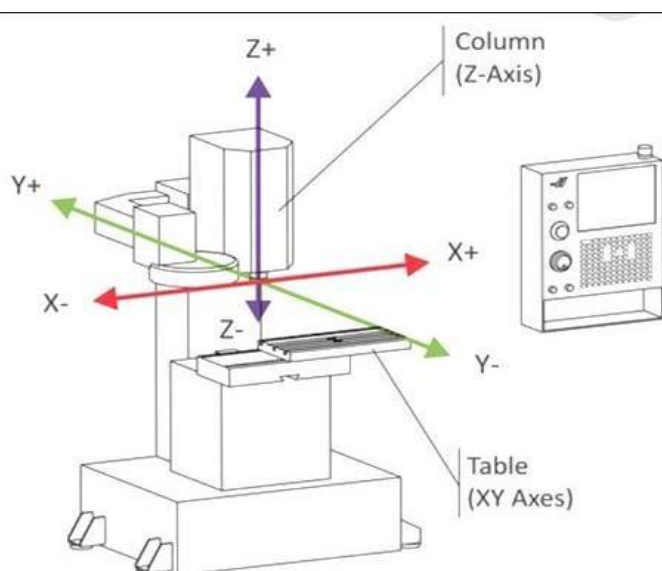
### **1.1 Computer Numerical Control (CNC)**

CNC (*Computer Numerical Control*) ialah sesuatu mesin yang terkategori dalam mesin perkakas, dikontrol oleh personal komputer dengan memakai bahasa numerik( informasi perintah dengan isyarat nilai, graf serta ikon) cocok dengan standar yang sudah disetujui.(Hwas and Katebi, 2012).

Sistem kegiatan dari CNC ini apabila dibanding dengan mesin perkakas semacam, hingga mesin perkakas CNC lebih cermat, lebih pas, lebih fleksibel serta lebih sesuai bila melaksanakan penciptaan dengan cara masal. Dengan terdapatnya mesin perkakas ini bisa memudahkan dalam penciptaan yang menginginkan tingkatan kekalutan yang besar, tidak

hanya itu dalam mesin ini pula pengoperasian seluruhnya terdapat pada otak penting, jadi tidak banyak aduk tangan operator sepanjang mesin ini lagi bekerja. Numerical Control( NC) merupakan sesuatu bentuk berbentuk program otomatis dimana pergerakan ahli mesin yang terjalin pada sesuatu perlengkapan permesinan ataupun perlengkapan lain dikendalikan oleh sesuatu program berbentuk isyarat nilai, nilai itu berbentuk informasi alphanumerical yang memperkenalkan sesuatu instruksi profesi buat melaksanakan mesin itu. CNC berguna buat penciptaan sesuatu item, dimana wujud, format, arah cara, serta pengerjaan dari sesuatu mesin, itu berfariasi (Hwas and Katebi, 2012)

Penciptaan Mesin CNC mulai bertumbuh dengan cepat, yang dipicu dengan kemajuan pada aspek mikrokoprosesor. Sampai saat ini, CNC sudah merevolusi cara pencetakan dengan tingkatan kepresisian yang amat baik serta hasil serupa pada tiap item yang dibuat dengan cara masal. Oleh sebab itu, Mesin CNC mempunyai 3 aksis aksi. Ketiga aksis itu merupakan X, Y, serta Z. Aksis X membuktikan arah aksi ke kanan ataupun ke kiri. Aksis Y membuktikan arah aksi ke depan ataupun ke balik. Aksis Z membuktikan arah aksi dengan cara lurus, ke atas ataupun ke dasar semacam yang ditunjukkan pada Lukisan 1. Pergerakan aksis ini dicoba oleh motor servo ac yang tersambung pada ahli mesin masing- masing aksis dari Mesin CNC Milling. Oleh sebab itu, pada Mesin CNC Milling dicoba koreksi posisi serta kontur dicoba dengan menata pergerakan motor servo itu.(Hwas and Katebi, 2012)

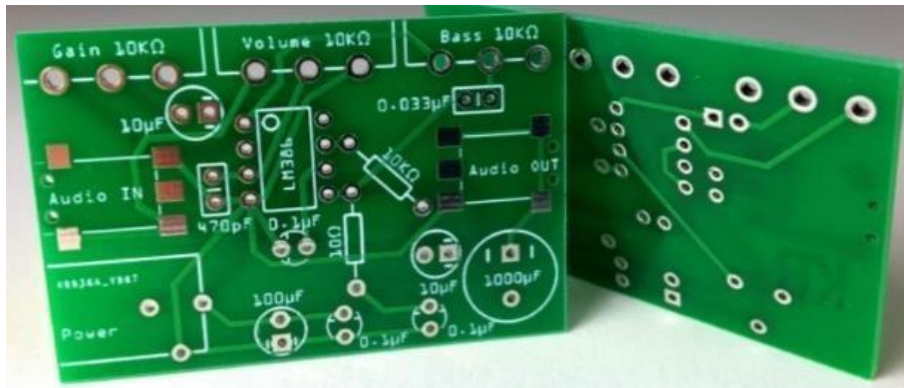


**Gambar 1 Mesin CNC Milling 3 Aksis**

## 1.2 PCB

Printed Circuit Board( PCB) merupakan kediaman yang berperan selaku media buat mengaitkan bagian- bagian elektronika lewat susunan rute konduktor. Wujudnya berbentuk kediaman dengan warna hijau terdiri atas sebagian bagian. Kepanjangan PCB merupakan Printed Circuit Board. Tipe bagian- bagian yang bisa silih tersambung pada PCB dapat saja serupa atau berlainan. Arsitektur PCB terdiri dari rute jalan, socket, garis serta rute buat mengaitkan bagian elektronik yang berlainan dengan cara listrik. Saat sebelum dapat dipakai, PCB lewat cara bernama etching. Cara etching PCB merupakan cara penyablonan ataupun pembuatan jalur- jalur konduktor yang esoknya mengaitkan masing- masing bagian pada kediaman. Prinsip kegiatan PCB ialah bagian elektronika dihubungkan dengan cara listrik

dengan kediaman PCB memakai 2 tata cara berlainan yang diucap teknologi through-hole serta teknologi surface mount. (Shamkhalichenar, Bueche and Choi, 2020)



**Gambar 2 Printed Circuit Board (PCB)**

### 1.3 Pemrograman Mesin CNC

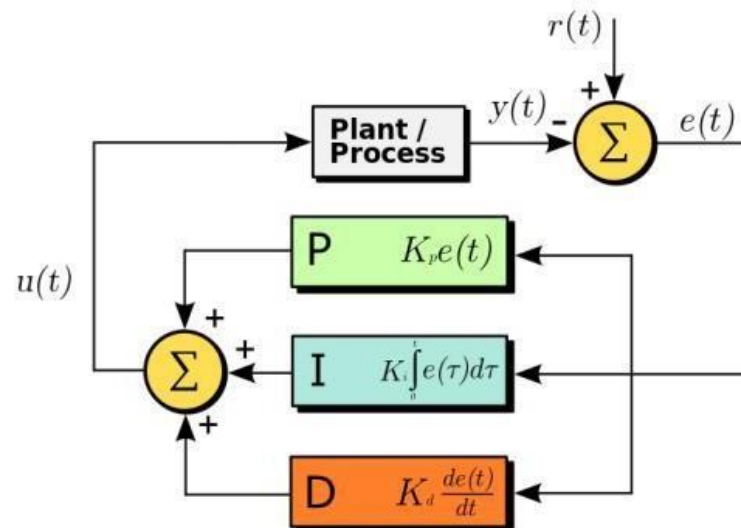
Memprogram Mesin CNC ialah sesuatu cara memasukan informasi kekomputer mesin dengan bahasa yang bisa dimengerti serta dipahami oleh CNC. Bahasa pemrograman itu berbentuk bahasa numerik, ialah bahasa kombinasi graf serta nilai. Buat itu wajib dimasukan sesuatu program ke personal komputer Mesin CNC supaya bisa mengerjakan data informasi serta mengubahnya dalam wujud informasi serta perintah- perintah aksi pada Mesin CNC, Buat bisa menggerakkan Mesin CNC dibutuhkan bahasa pemrograman, berbentuk isyarat– isyarat dalam wujud graf serta nilai dan tata cara pemrograman.

## 2. Penulisan Judul

### 2.1 *Proprtional Integral Derivative (PID)*

Pengatur PID( Proportional, Integral, Derivative) ialah sesuatu otak yang sanggup membenarkan tingkatan ketepatan dari sesuatu sistem plant yang mempunyai karakter korban balik atau feedback pada sistem terse- but. Otak PID membagi serta meminimalisasi angka error atau beda antara output dari cara kepada in- put atau setpoint yang diserahkan ke sistem. Kombinasi antara Proportional, Integral, serta De- rivative hingga disebutlah kontroler PID.(Ali, Suyono, *et al.*, 2022)(Rukslin and Ali, 2022).

Pengawasan pada error yang terjalin( Proportional), jumlah error( Inte- gral), serta pergantian error( Derivative) tiap kelakuan pengawasan ini membagikan partisipasi. Steady state bisa dipercepat dengan campuran dari 3 kontroler itu dan pula kurangi setting time osilasi sistem itu sendiri. Koreksi dengan cara penting kemantapan yang dina- mis bisa diserahkan dengan pemakaian self tuning PID pada sistem pengawasan. Dengan cara adaptif self tuning merupakan parame ter penguat PID. Pengawasan PID bisa digunakan dengan cara bersamaa ataupun sendiri– sendiri terkait dengan reaksi yang hendak kita mau dalam sesuatu pemograman. (Budiman and Ali, 2021)



Gambar 3 Blok diagram pengendali PID

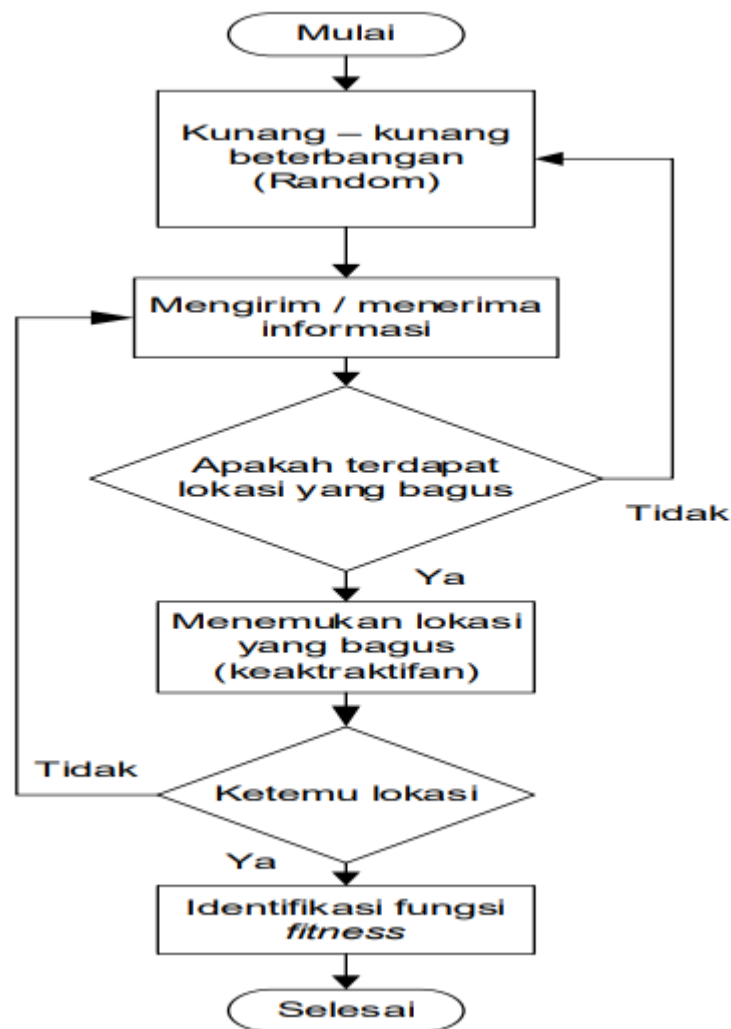
Nilai output dari pengendali PID didapatkan berdasarkan penjumlahan dari masing-masing komponennya sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

## 2.2 Firefly Algorithm

Firefly Algorithm (FA) merupakan suatu algoritma metaheuristik yang termotivasi dari sikap mengedip kunang-kunang. Algoritma ini dibesarkan oleh Dokter Xin-She Yang di Universitas Cambridge pada tahun 2007. Terdapat banyak genus kunang-kunang serta beberapa besar menciptakan sinar dalam lama yang pendek serta mempunyai irama khusus. Sinar diperoleh dari cara bioluminescence. Ada 2 guna elementer dari sinar itu, ialah buat menarik atensi kunang-kunang yang lain (komunikasi) serta buat bertahan dari serbuan pemangsa. Guna yang lain buat metode peringatan ancaman. Sinar ini dipunyai oleh firefly, bagus jantan ataupun betina. (Parwanti *et al.*, 2021)(Ali *et al.*, 2021). Dr Xin-She Yang mengembangkan *Firefly Algorithm* berdasarkan kebiasaan dan pola kehidupan *firefly* tersebut. Dalam merumuskan *Firefly Algorithm*,

Dokter Xin-She Yang memperhitungkan sebagian ketentuan: Seluruh firefly itu berjenis kemaluan satu sehingga kunang-kunang hendak terpikat pada firefly lain terbebas dari tipe kemaluan mereka. Energi raih cocok dengan tingkatan kecerahan firefly, hingga firefly dengan tingkatan kecerahan lebih kecil hendak terpikat serta beranjak ke firefly dengan tingkatan kecerahan lebih besar, kecerahan bisa menurun bersamaan dengan bertambahnya jarak. Bila tidak terdapat firefly yang lebih jelas dari firefly yang diserahkan, hingga kunang-kunang ini hendak beranjak dengan cara random. Bagan ceruk dari *Firefly algorithm* bisa diamati pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 Diagram Alir Firefly Algorithm (FA)

### 2.3 Pemodelan Mesin CNC

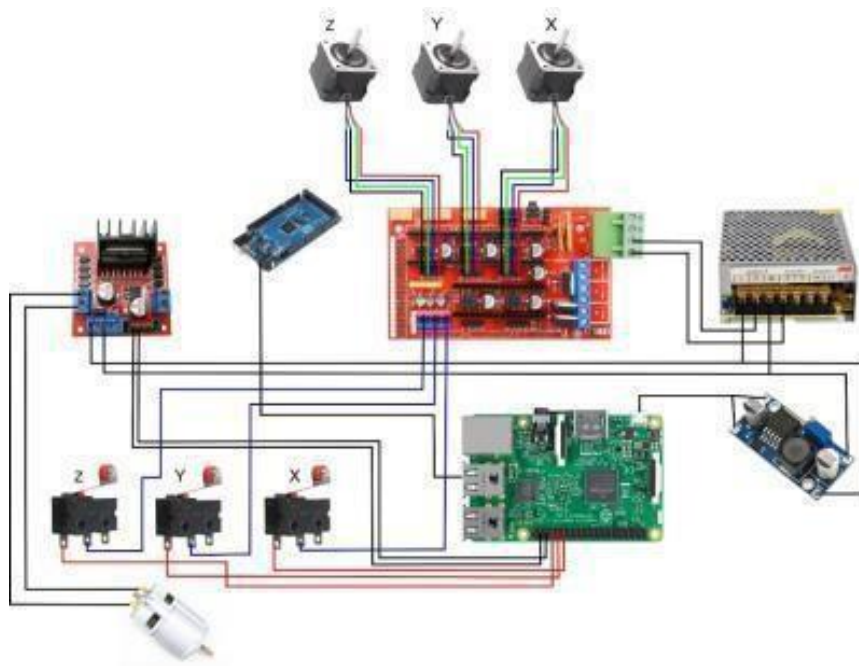
Penyusunan sistem pengawasan CNC pengebor PCB otomatis berplatform Firefly Algorithm( FA) ini terdiri dari 2 langkah, ialah penyusunan fitur keras( perangkat keras) serta penyusunan fitur lunak( aplikasi).

### 2.4 Hardware

Sistem penyusunan fitur keras( perangkat keras) pada mesin CNC pengebor PCB otomatis ini memakai sebagian bagian, di antara lain ialah power supply, materi step down, Firefly Algorithm( FA), arduino awan, CNC shield, batas switch, motor stepper, driver a4988, driver motor, motor stepper. Semua bagian ter- sebut hendak ditempatkan pada satu tubuh mesin CNC yang berdimensi jauh 32 centimeter, luas 53 centimeter serta luas 49 centimeter. Koneksi perangkat keras pada perlengkapan ini bisa dipaparkan kalau Firefly Algorithm( FA) ialah sistem kontrol penting. Firefly Algorithm( FA) menata tiap pergerakan yang dicoba oleh ketiga motor stepper. Motor stepper disini berperan selaku pelopor sumbu x, y serta z yang beranjak buat memusatkan motor stepper ke posisi lubang PCB yang hendak di bor. Firefly Algorithm



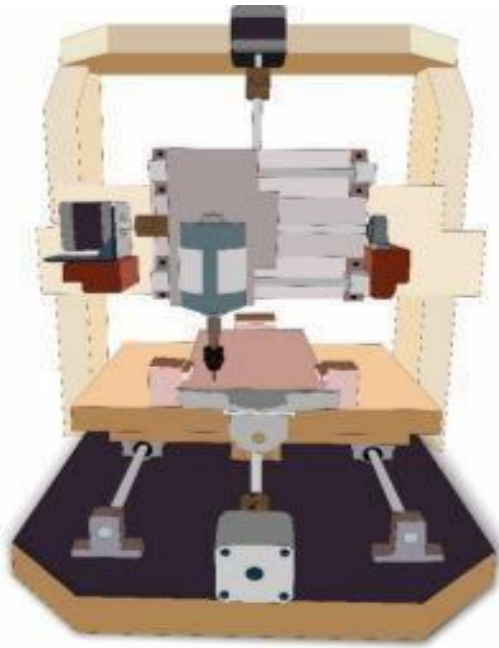
(FA) mengirim perintah pada motor stepper lewat CNC shield yang terpasang pada arduino uno. Batas switch berperan buat menghalangi aksi pada motor stepper dapat dilihat pada gambar 5.



**Gambar 5** *Wiring diagram hardware*

Wiring Bagan Perangkat keras pada lukisan 4 bisa di- jelaskan kalau sistem pengawasan CNC pengebor PCB otomatis ini memakai Firefly Algorithm( FA) pi selaku otak un- tuk mengendalikan semua sistem dari mulai input, output, hingga pengiriman informasi ke motor stepper. Pangkal energi yang digunakan pada susunan itu memakai power supply 12 volt. Power supply disini berperan mengubah tekanan pangkal dari 220 volt AC jadi 12 volt DC. Setelah itu dari power supply tekanan diturunkan balik jadi 5 volt oleh materi step down LM5296 cocok dengan keinginan Firefly Algorithm( FA) pi. Firefly Algorithm( FA) dipakai selaku input dengan menyambut informasi yang dikirim lewat laptop berbentuk koordinat lubang pada PCB. Informasi yang dikirimkan berbentuk gcode supaya esoknya dapat terbanya oleh materi CNC. Setelah itu informasi dari raspy dikirimkan ke arduino awan lewat USB serial. Arduino awan tersambung dengan ramps 1. 4 yang sudah terpasang driver A4988. Driver ini berperan menyambut serta membaca informasi sebe- lumnya buat setelah itu outputnya mengendalikan ketiga motor stepper. Ketiga motor stepper tiap- tiap bertugas kepada sumbu x, y serta

z. Tujuan 3 sumbu itu buat mempermudah pergerakan mesin mengarah koordinat lubang PCB yang sudah di pastikan. Rasp- berry pula tersambung dengan batas switch yang ber- fungsi buat berikan batas pada motor stepper supaya tidak bertugas melampaui aspek kegiatan yang sudah ditentukan. Sehabis sumbu x serta y motor stepper telah men- capai koordinat lubang, berikutnya Firefly Algorithm( FA) hendak mengirimkan perintah pada motor stepper buat meng- gerakkan mata bor. Kala mata bor berkeliling, sumbu z dari motor stepper pula hendak bertugas buat merendahkan posisi motor DC supaya mata bor bisa membolongi PCB. Guna perintah motor stepper itu dikirimkan lewat port GPIO pada Firefly Algorithm( FA)



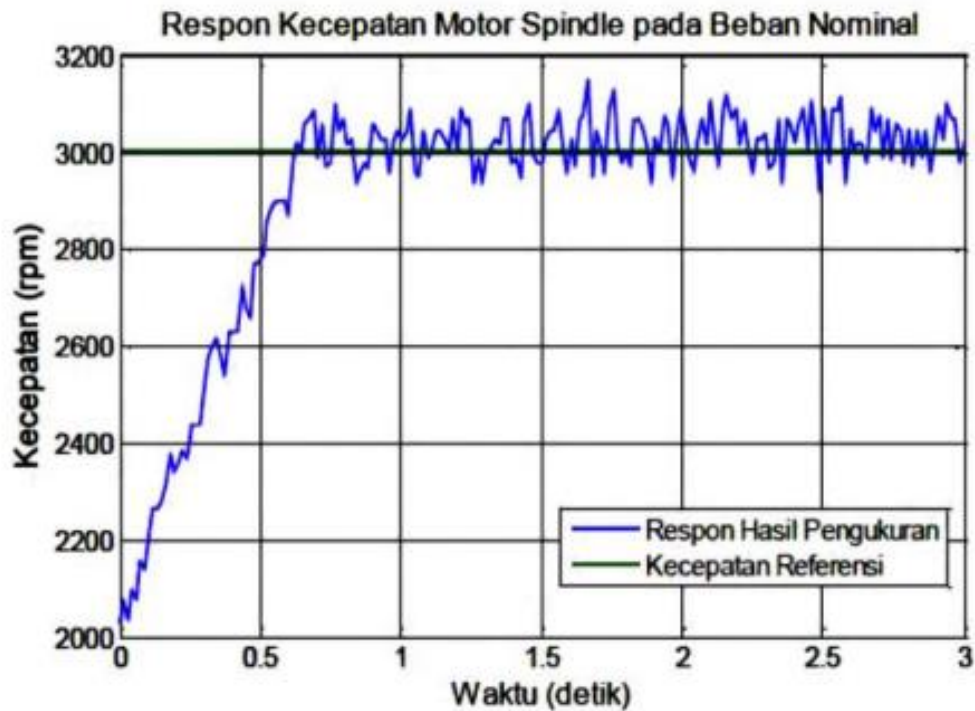
Gambar 6 Desain mekanik mesin CNC tampak depan

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Respon Kecepatan Motor

Pengenalan sistem dibutuhkan buat memperoleh bentuk matematika dari motor stepper. Pengenalan yang dicoba merupakan pengenalan statis dengan memandang reaksi dari kecekatan rujukan yang diberikan. Reaksi sistem yang diidentifikasi merupakan pada dikala situasi bobot minimum, nominal serta maksimum. Reaksi sistem hendak berubah- ganti cocok dengan kecekatan serta situasi pembebanan yang berubah- ubah pula. Pengumpulan informasi dicoba pada dikala CNC melaksanakan cara feeding( pemakanan) buat barang kegiatan berbahan plastik tipe polietilen. Cara feeding dengan aksi arah mendatar diserahkan kecekatan rujukan sebesar 2000 rpm. Reaksi didapat dikala kecekatan berganti dari 2000 rpm jadi 3000 rpm. Pada kondisi feedrate yang berlainan hendak menciptakan reaksi sistem yang berlainan pula. Situasi pembebanan diserahkan semacam selanjutnya: Bobot minimum: dikala tidak memegang barang kegiatan Bobot nominal: dikala feedrate 250 milimeter atau min; Bobot maksimum: dikala feedrate 500 milimeter atau min. Buat memperoleh guna ganti sistem, reaksi yang dipakai merupakan reaksi dikala bobot nominal. reaksi kecekatan motor stepper pada lukisan 7. Pada reaksi itu, didapat angka keluaran steady state pada kecekatan 3044 rpm. Angka itu didapat dari pada umumnya semua informasi keluaran sistem dikala steady state.





**Gambar 7 Respon kecepatan motor pada beban nominal**

Berdasarkan respon pada Gambar 7, diperoleh gain overall respon pada Persamaan berikut.

$$Y_{ss} = 3044 \quad (1) \quad X_{ss} = 3000 \quad (2)$$

Berdasarkan respon pada metode harriot diperoleh:

$$t_{33} = 0,212 \text{ detik} \quad (3)$$

$$t_{70} = 0,486 \text{ detik} \quad (4)$$

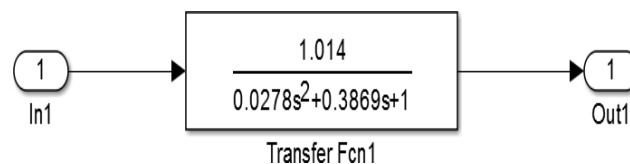
$$t_{73} = 0,503 \text{ detik} \quad (5)$$

Sehingga diperoleh parameter:  $TdH = (1,937 \times 0,212) - (0,937 \times 0,486) = -0,045$  (6)

Sehingga didapatkan Fungsi alih:

$$G_H(s) = \frac{1.014}{0.276s^2 + 0.3896s + 1} \quad (7)$$

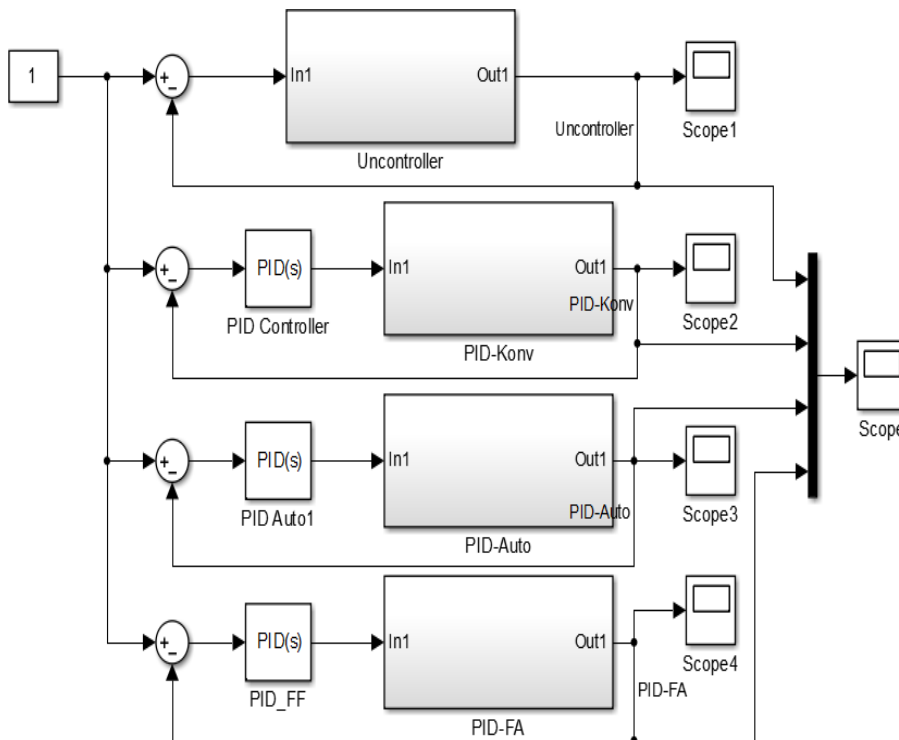
Gambar transfer function pada simulink matlab dapat dilihat pada gambar 8



**Gambar 8 Transfer function**

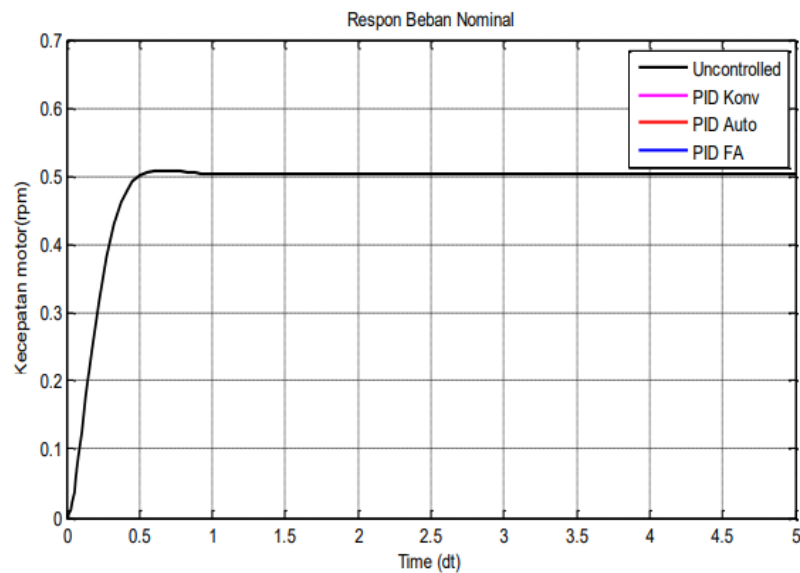
### 3.2 Design Control

Konsep yang dipakai ialah konsep yang terbuat memakai aplikasi simulink matlab 2013a. Konsep yang disusun telah mencakup bermacam situasi controller itu, ialah PID tanpa pengawasan, PID standar atau konvensional, PID auto tuning, serta PID dengan tata cara Firefly Algorithm( FA). Selanjutnya merupakan lukisan konsep controller:



Gambar 9 desain kontrol berbagai metode

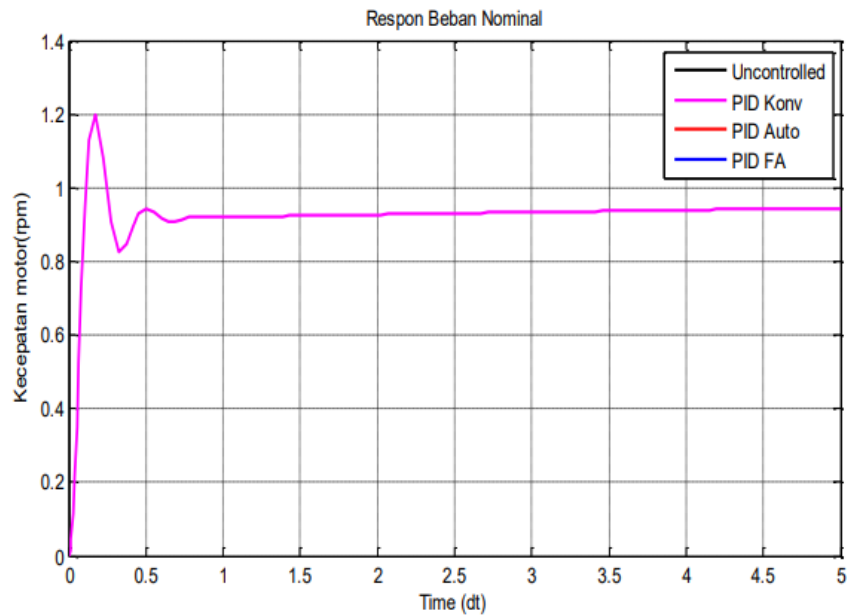
**A. Design PID Tanpa Control**



Gambar 10 Respon Tanpa Kontroler

Dari gambar 10 merupakan hasil dari simulasi PID tanpa kontroler. menunjukkan bahwa model tanpa kontroler tidak memiliki nilai  $k_p$ ,  $k_i$ , dan  $k_d$  dengan nilai *overshoot* nol (0), *undershoot* 0.173, dan tidak memiliki *settling time* karena tidak pernah mencapai titik atau *setpoint* yang diinginkan sampai pada detik ke 100.

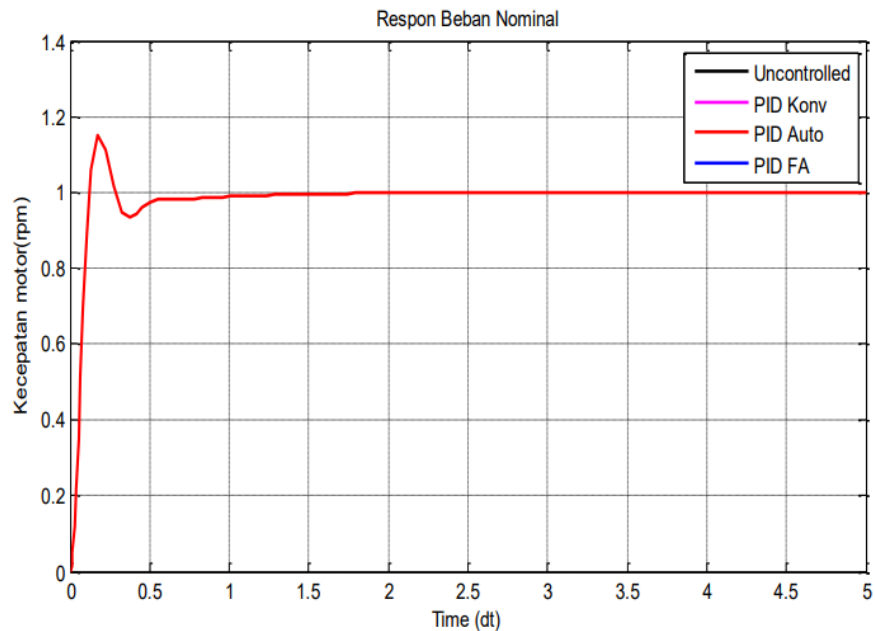
## B. Design PID Konvensional



Gambar 11 Respon PID Konvensional

Dari gambar 11 merupakan hasil dari Metode PID-Konv (konvensional) dengan nilai  $k_p=1$ ,  $k_i=1$ , dan  $k_d=0$ , dengan hasil *overshoot* = 0.199, *undershoot* = 0.173, dan *settling time* pada 10.223 detik.

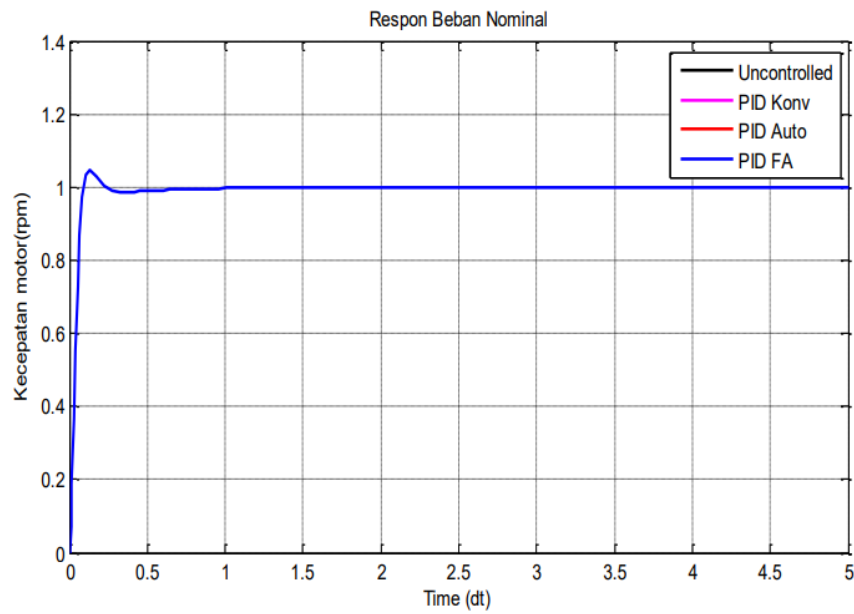
## C. Design PID – Autotuning



Gambar 12 Respon PID Autotuning Matlab

Dari gambar 12 merupakan hasil dari Metode PID-Auto (tuning matlab 2013a) dengan  $k_p = 7.590$ ,  $k_i = 13.014$ ,  $k_d = 0.199$ , dengan hasil *overshoot* = 0.155, *undershoot* = 0.067, dan *settling time* pada 2.541 detik.

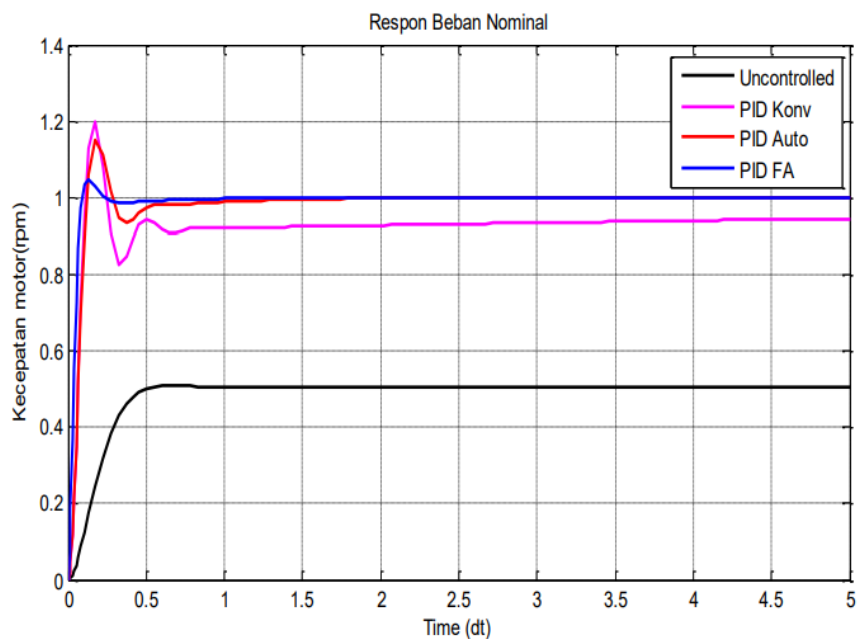
### D. Design PID – Firefly Algorithm



Gambar 13 Respon PID Firefly Algorithm

Dari gambar 13 merupakan hasil dari metode PID-FA dengan nilai konstanta  $k_p = 11.460$ ,  $k_i = 23.872$ ,  $k_d = 0.493$  menghasilkan  $overshoot = 0.048$ ,  $undershoot = 0.014$ , dan  $settling\ time$  pada 1.148 detik.

### E. Hasil Perbandingan Untuk Semua Tanggapan



Gambar 10 Respon Berbagai Kontroler

**Tabel 1 Respon masing-masing kontroler**

	Uncontrol	PID_Standar	PID_Auto	PID_FA
Kp	-	1	7.590	11.460
Ki	-	1	13.014	23.872
Kd	-	0	0.119	0.493
Overshot	-	0.199	0.115	0.048
Undershot	0.523	0.173	0.067	0.014
Settling Time	-	10.223	2.541	1.148

Dari Lukisan 10 hingga dengan lukisan 13 serta dari table 1. membuktikan kalau; Rancangan PID- Uncontrolled tidak luang mencapai steady stead, hingga kapanpun, dengan angka undershot amat besar= 0. 523; sebaliknya pada metodePID- konvensional pada  $k_p= 1$ ,  $k_i= 1$ ,  $k_d= 0$  mendapatkan overshootpaling tinggi sebesar= 0. 199 dan undershot sebesar=0. 173 dengan sttling time= 10. 223 detik. Sebaliknya pada meode respon PID Auto tuning matlab pada  $k_p= 7. 590$ ,  $k_i= 13. 014$ ,  $k_d= 0. 119$  mendapatkan nilai overshoot sebesar= 0. 115, didapat undershot sebesar 0. 067. Dengan settling time pada disaat 2. 541 detik. Sebaliknya respon pada PID- FA dengan  $k_p= 11. 460$ ,  $k_i=23. 873$ ,  $k_d= 0. 493$  mendapatkan nilai overshoot sebesar= 0. 048, undershoot= 0. 014, pada settling time 1. 148 detik. Mengenai ini meyakinkan jika kontroler PID- FA ialah aturan metode terbaik dengan overshoot terkecil pada 0. 048, undershot terkecil pada 0. 014 dan settling time tercepat pada 1. 148 detik.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa metode optimasi terbaik dihasilkan oleh metode PID-Firefly Algorithm dengan menghasilkan overshoot = 0.048, undershoot 0.014, dan settling time pada 1.148 detik yang merupakan nilai terkecil, Sedangkan Desain tanpa kontrol tidak pernah mencapai steady stead dengan undershot paling besar = 0.523. sehingga dipilih PID-Firefly Algorithm sebagai metode terbaik dan cocok digunakan dalam kontrol Mesin CNC Pengebor PCB. Dengan diterapkan metode PID-Firefly Algorithm terhadap Mesin CNC Pengebor PCB, maka akan dapat menghasilkan hasil bor yg lebih presisi.

#### Daftar Pustaka

Ali, M. *et al.* (2018) ‘Combined ANFIS method with FA, PSO, and ICA as Steering Control Optimization on Electric Car’, in *2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*. IEEE, pp. 299–304. doi: 10.1109/EECCIS.2018.8692885.

Ali, M. *et al.* (2019) ‘Algoritma Persaingan Imperialis Sebagai Optimasi Kontroler PID dan ANFIS Pada Mesin Sinkron Magnet Permanen’, *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, 3(1), pp. 57–81. doi: 10.21070/jeee-u.v3i1.2023.

Ali, M. *et al.* (2021) ‘Monitoring and Identification Electricity Load Using Artificial Neural

Network', in *2021 7th International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*. IEEE, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICEEIE52663.2021.9616922.

Ali, M., Suyono, H., *et al.* (2022) 'Determination of the parameters of the firefly method for PID parameters in solar panel applications', *SINERGI*, 26(2), p. 265. doi: 10.22441/sinergi.2022.2.016.

Ali, M., Haikal, M. A., *et al.* (2022) 'Optimisasi Steering Control Pada Mobil Listrik Auto-Pilot Menggunakan Metode Bat Algorithm', *JE- Unisla*, 7(1), p. 36. doi: 10.30736/je-unisla.v7i1.813.

Ali, M., Rukslin, R. and Hasyim, C. (2021) 'Hybrid System of Dual Axis Photovoltaic Tracking System Using Pid-Ces-Aco', *JEEMECs (Journal of Electrical ...)*, 4(2), pp. 59–68. Available at: <https://jurnal.unmer.ac.id/index.php/jeemecs/article/view/6138>.

Ali, M. and Sucipto, H. (2021) 'Ant Colony Optimization Algorithm Implementation for Distribution of Natural Disaster Relief Logistics in Jombang Regency Web Base', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 704(1), p. 12008. doi: 10.1088/1755-1315/704/1/012008.

Ali, M. and Ulum, M. (2020) 'Perbandingan Optimasi Kontroler Putaran Motor Permanent Magnet Synchronous Machine', *Jurnal FORTECH*, 1(1), pp. 12–19. doi: 10.32492/fortech.v1i1.218.

Ardi Junianto, Machrus Ali and Rukslin (2021) 'Hybrid Adaptive-Neuro-Fuzzy-Inference-System – Bat-Algorithms (ANFIS-BA) Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi', *Jurnal Intake: Jurnal Penelitian Ilmu Teknik dan Terapan*, 12(1), pp. 45–52. doi: 10.48056/jintake.v12i1.176.

Budiman and Ali, M. (2021) 'Modifikasi Firefly Algorithm Untuk Partial Shading pada Photovoltaic', *ALINIER: Journal of Artificial Intelligence & Applications*, 2(1), pp. 22–27. doi: 10.36040/alinier.v2i1.3534.

Fatriyana, M. (2020) 'CNC PROGRAM AND PROGRAMMING OF CNC MACHINE', *Journal of Mechanical Science and Engineering*, 7(1), pp. 019–023. doi: 10.36706/jmse.v7i1.37.

Hartlambang, Y. G., Nurohmah, H. and Ali, M. (2017) 'Optimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan Algoritma Kelelawar (Bat Algorithm)', in *SEMANTIKOM 2017, Universitas Madura*, pp. 1–8. Available at: [http://semantikom.unira.ac.id/2017/SEMANTIKOM\\_2017\\_paper\\_2.pdf](http://semantikom.unira.ac.id/2017/SEMANTIKOM_2017_paper_2.pdf).

Hasib Al Isbilly, M., Markhaban Siswanto and Machrus Ali (2022) 'Optimasi PID Kontroller



Pada Sistem Pengaturan Irigasi Menggunakan Metode Bat Algorithm', *Jurnal JEETech*, 3(2), pp. 78–83. doi: 10.48056/jeetech.v3i2.198.

Hwas, A. and Katebi, R. (2012) 'Wind Turbine Control Using PI Pitch Angle Controller', *IFAC Conference on Advances in PID Control*.

Machrus Ali *et al.* (2020) 'Hybrid Design Optimization of Heating Furnace Temperature using ANFIS-PSO', *Journal FORTEI-JEERI*, 1(2), pp. 35–42. doi: 10.46962/forteijeeri.v1i2.21.

Machrus Ali, Ruslan Hidayat and Iwan Cahyono (2020) 'Penggunaan ANFIS pada Pengaturan Debit Air Berdasarkan Volume Air Dalam Tangki', *ALINIER: Journal of Artificial Intelligence & Applications*, 1(1), pp. 24–32. doi: 10.36040/alinier.v1i1.2519.

Muhammad Agil Haikal *et al.* (2021) 'Desain Optimasi PID Controller Pada Heating Furnace Temperature Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)', *ALINIER: Journal of Artificial Intelligence & Applications*, 2(2), pp. 77–82. doi: 10.36040/alinier.v2i2.5162.

Parwanti, A. *et al.* (2021) 'Modified Firefly Algorithm for Optimization of the Water Level in the Tank', in *2021 3rd International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS)*. IEEE, pp. 113–116. doi: 10.1109/ICRACOS53680.2021.9701981.

Rukslin and Ali, M. (2022) 'Desain Pitch Angle dengan Tuning Bat Algorithm (BA) pada Wind Turbine Menggunakan PID Controller', *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, 6(1), pp. 40–51. doi: 10.21070/jeeeu.v6i1.1624.

Shamkhalichenar, H., Bueche, C. J. and Choi, J. W. (2020) 'Printed Circuit Board (PCB) Technology for Electrochemical Sensors and Sensing Platforms', *Biosensors*. doi: 10.3390/bios10110159.