



# Sistem Kontrol Governor Menggunakan PID Yang Dioptimasi Dengan Metode Cuckoo Search Algorithm (Csa) (*Governor Control System Using PID Optimized With the Cuckoo Search Algorithm (Csa) Method*)

Mochamad Riduwan<sup>1)</sup>, Fachrudin Hunaini<sup>2)</sup>, Muh Mukhsin<sup>3)</sup>

Departemen Teknik Elektro, Universitas Widyagama Malang, Indonesia

<sup>1)</sup> mochamadriduwan77@gmail.com

<sup>2)</sup> fachrudin\_h@widyagama.ac.id

**Abstract-** Indonesia has enormous potential for a Hydroelectric Power Plant (PLTA). Since hydropower is an environmentally friendly power plant, the components of this plant are developed to advance. One of them is the development of the hydropower governor control system. The PID controller is a control system that is often used in Governor System control in hydropower because of its simple controller. At present hydroelectric plants still use the conventional method of PID control trial-error. For this method, it is difficult to adjust the parameters and time needed and control that is not good. Therefore a smart method (Artificial Intelligence) is needed to overcome this. In recent years, researchers have used many intelligent methods (Artificial Intelligent) to determine the PID parameters of DC motors. One of them is Cuckoo Search Algorithm (CSA) which is inspired by the protection of cuckoo birds in placing their eggs. By using the CSA method, it is expected to provide a better system response using the old system PID control (trial-error). The final goal of the PID control system is used for the hydro generator to be used as a guide for turbine propellers, which will be used increase the electrical power produced by the Generator. Here the Guide Vane blade is set to be likened to the DC motor angle settings. In this study a miniature Governor System prototype will be created which is controlled by using a PID controller which is optimized using the Cuckoo Search Algorithm method. In experiments with fault trial methods, the  $K_p = 3$ ,  $K_i = 1$  and  $K_d = 10$  values obtained with the control parameters obtained the average time setting for set point 4 to set point 8 of 24.2 seconds. Then the CSA method is used to set the PID. After being tuned by the CSA method, the values of  $K_p$ ,  $K_i$  and  $K_d$  are different for each set point. For set point 4,  $K_p = 0.99$ ,  $K_i = 1.00$  and  $K_d = 0.99$ , while the average completion time is also better than PID trial error, which is 18.8 seconds.

Keywords: Hydropower Governor System; Cuckoo Search Algorithm; Control PID.

**Abstrak-** Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA). Mengingat PLTA merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan, maka komponen-komponen dari pembangkit ini patut untuk terus dikembangkan lebih lanjut. Salah satunya pengembangan pada sistem kontrol governor PLTA. Kontroler PID merupakan sistem kontrol yang sering digunakan dalam kontrol Sistem Governor di sebuah PLTA karena kontrolernya yang sederhana. Pada pembangkit hydro yang ada saat ini rata-rata masih menggunakan kontrol PID metode konvensional trial-error. Untuk metode ini sulit untuk menyesuaikan parameter dan dibutuhkan waktu lama serta akurasi kontrol yang kurang baik. Oleh karena itu dibutuhkan metode cerdas (*Artificial Intelligent*) untuk mengatasi hal tersebut. Dalam beberapa tahun terakhir, para peneliti telah menggunakan metode cerdas (*Artificial Intelligent*) untuk penentuan parameter PID motor DC. Salah satunya adalah cuckoo Search Algorithm (CSA) yang mana terinspirasi dari perilaku burung cuckoo dalam menempatkan telurnya. Dengan menggunakan metode CSA ini diharapkan mampu memberikan respon sistem yang lebih baik dibandingkan menggunakan kontrol PID sistem lama (trial-error). Tujuan akhir dari Sistem kontrol PID yang digunakan pada Governor pembangkit hydro adalah untuk mengatur pergerakan sudu guide vane turbin, yang nantinya akan mempengaruhi terhadap daya listrik yang dihasilkan Generator. Disini pengaturan sudu Guide Vane dapat diibaratkan dengan mengatur sudut motor DC. Pada penelitian ini akan dibuat sebuah prototipe miniatur Sistem Governor yang dikontrol dengan menggunakan kontroler PID yang dioptimasi menggunakan metode *Cuckoo Search Algorithm*. Pada percobaan dengan metode trial error didapat nilai  $K_p = 3$ ,  $K_i = 1$  dan  $K_d = 10$  dengan besaran parameter kontrol tersebut didapat settling time rata-rata untuk set point 4 sampai set point 8 sebesar 24,2 second. Selanjutnya digunakan metode CSA untuk tuning PID nya. Setelah dituning dengan metode CSA didapat nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang berbeda-beda untuk setiap set pointnya. Untuk set point 4 didapat nilai  $K_p = 0,99$ ,  $K_i = 1,00$  dan  $K_d = 0,99$  sedangkan untuk settling time rata-ratanya juga lebih bagus

dibanding PID trial error , yaitu sebesar 18,8 second.

Kata Kunci: Sistem Governor PLTA; Cuckoo Search Algorithm; PID Kontrol.

#### LATAR BELAKANG

Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga air. Besar potensi energi air di Indonesia adalah 74.976 MW, sebanyak 70.776 MW ada di luar Jawa, yang sudah dimanfaatkan adalah sebesar 3.105,76 MW sebagian besar berada di Pulau Jawa. Selain PLTA, energi mikrohidro (PLTMH) yang mempunyai kapasitas 200-5.000 kW potensinya adalah 458,75 MW [1] sangat layak dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik di daerah pedesaan di pedalaman yang terpencil ataupun pedesaan di pulau-pulau kecil dengan daerah aliran sungai yang sempit. [2]

Untuk memperoleh pola operasi yang optimal dan untuk mencegah level waduk penampung yang terlalu rendah atau limpas, maka diperlukan pengaturan pembebanan unit yang baik. Dalam pengaturan pembebanan pada pembangkit hydro, Governor sangat berperan penting didalamnya. Governor adalah peralatan utama untuk mengontrol turbin air. Governor ini berfungsi untuk mengatur aliran air yang masuk ke turbin sehingga nantinya diperoleh kecepatan dan daya output generator yang sesuai dengan yang akan dibangkitkan. Dari sini dapat dilihat untuk pengaturan pembebanan pembangkit hydro bisa dilakukan dengan melakukan pengaturan pada sistem kontrol pada governor [3] , [4] .

Ada berbagai macam sistem kontrol yang bisa digunakan untuk mengontrol kerja governor, salah satunya menggunakan sistem kontrol PID. Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (*Proportional*), D (*Derivative*) dan I (*Integral*), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan. Pada pembangkit hydro yang ada saat ini rata-rata sistem kontrol yang ada menggunakan kontrol PID konvensional trial-error. Untuk metode ini sulit untuk menyesuaikan parameter, sehingga dibutuhkan waktu lama serta akurasi kontrol yang tidak baik. Sehingga dibutuhkan metode cerdas (*Artificial Intelligent*) untuk mengatasi hal tersebut [4–6] .

Dalam beberapa tahun terakhir, para peneliti telah banyak menggunakan metode cerdas (*Artificial Intelligent*) untuk penentuan parameter PID motor DC. Pada tahun 2009, seorang peneliti Xin Xhe Yang, menemukan sebuah metode cerdas yang disebut kecerdasan burung cuckoo dan membuat sebuah algoritma penyelesaian yang terinspirasi dari perilaku burung cuckoo dalam menempatkan telurnya. Metode tersebut sering

disebut dengan Cuckoo Search Algorithm (CSA) [7] .

Tujuan akhir dari Sistem kontrol PID yang digunakan pada Governor pembangkit hydro adalah untuk mengatur pergerakan sudu guide vane turbin, yang nantinya akan mempengaruhi terhadap daya listrik yang dihasilkan Generator. Disini pengaturan sudu Guide Vane dapat diibaratkan dengan mengatur sudut motor DC.

Pada penelitian ini akan dibuat sebuah prototipe sebuah miniatur Sistem Governor yang dikontrol dengan menggunakan PID dan dioptimalkan menggunakan salah satu metode cerdas (*Artificial Intelligent*) yaitu *Cuckoo Search Algorithm (CSA)*.

#### METODE PENELITIAN

**Governor PLTA** : Pada setiap pembangkit listrik selalu memiliki Governor, baik pembangkit hydro maupun termal. Fungsi dari governor ini adalah untuk menjaga keseimbangan antara output yang dihasilkan generator (KW) dengan input yang disediakan (debit air). Selain itu governor ini juga berfungsi untuk menjaga kestabilan putaran (rpm) agar didapat frekuensi yang konstan (50 Hz). Atau dengan kata lain alat ini berfungsi untuk mengatur dan menjaga putaran turbin tetap pada putaran nominalnya [2] .

Prinsip kerja dari governor yaitu saat terjadi pembebanan (beban naik atau turun), maka governor akan mengatur debit air (Q) yang akan masuk ke spiral casing (rumah turbin) dengan cara membuka atau menutup guide vane sesuai dengan beban yang akan dibangkitkan. Semakin besar beban yang akan dibangkitkan maka semakin besar pula debit air (Q) yang dibutuhkan oleh turbin [8] .

Tiap-tiap pembangkit memiliki kapasitas daya yang berbeda-beda tergantung dari jumlah debit air yang tersedia (Q) dan ketinggian hidroliknya (H). Sehingga dapat dirumuskan. Gambar 1

[Figure 1 about here.]

Berikut gambar diagram governor secara umum: Gambar 2

[Figure 2 about here.]

#### Motor stepper

**Pengertian Motor Stepper: Motor Stepper** adalah suatu motor listrik yang dapat mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan motor *discret* (terputus) yang disebut *step* (langkah). Satu putaran motor memerlukan 360° dengan jumlah langkah yang tertentu perderajatnya. Ukuran kerja dari motor stepper biasanya diberikan dalam jumlah langkah per-putaran per-detik. Motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan ke motor. Karena itu, untuk menggerakkan motor stepper diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik. Jadi gerak

yang dihasilkan motor stepper berdasarkan urutan pulsa yang diterimanya. Tak heran jika motor ini banyak diaplikasikan di berbagai macam alat industri dan robotic [9] Gambar 3 .

[Figure 3 about here.]

*Prinsip kerja Motor Stepper:* Motor stepper merupakan perangkat pengendali yang mengkonversikan bit-bit masukan menjadi posisi rotor. Bit-bit tersebut berasal dari terminal-terminal input yang ada pada motor stepper yang menjadi kutub-kutub magnet dalam motor. Bila salah satu terminal diberi sumber tegangan, terminal tersebut akan mengaktifkan kutub di dalam magnet sebagai kutub utara dan kutub yang tidak diberi tegangan sebagai kutub selatan. Dengan terdapatnya dua kutub di dalam motor ini, rotor di dalam motor yang memiliki kutub magnet permanen akan mengarah sesuai dengan kutub-kutub input. Kutub utara rotor akan mengarah ke kutub selatan stator sedangkan kutub selatan rotor akan mengarah ke kutub utara stator. Berikut ini adalah ilustrasi struktur motor stepper sederhana dan pulsa yang dibutuhkan untuk menggerakkannya [9] : Gambar 4

[Figure 4 about here.]

Prinsip kerja motor stepper mirip dengan motor DC, sama-sama dicatu dengan tegangan DC untuk memperoleh medan magnet. Bila motor DC memiliki magnet tetap pada stator, motor stepper mempunyai magnet tetap pada rotor. Adapun spesifikasi dari motor stepper adalah banyaknya fasa, besarnya nilai derajat per step, besarnya volt tegangan catu untuk setiap lilitan, dan besarnya arus yang dibutuhkan untuk setiap lilitan [10] .

Motor stepper tidak dapat bergerak sendiri secara kontinyu, tetapi bergerak secara diskrit per-step sesuai dengan spesifikasinya. Untuk bergerak dari satu step ke step berikutnya, diperlukan waktu dan menghasilkan torsi yang besar pada kecepatan rendah. Salah satu karakteristik motor stepper yang penting yaitu adanya torsi penahan, yang memungkinkan motor stepper menahan posisinya yang berguna untuk aplikasi motor stepper dalam yang memerlukan keadaan start dan stop [8] .

### Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan sebuah mikrokontroler berdasarkan ATmega2560. Memiliki 54 pin digital input / output (dimana 15 dapat digunakan sebagai output PWM), 16 input analog, 4 UART (*port serial hardware*), 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack listrik, header ICSP, dan tombol reset. Arduino juga dapat didukung melalui koneksi USB dari komputer, dari baterai 9V, atau dari catu daya. Arduino dapat dikontrol dari komputer atau diprogram oleh komputer dan kemudian terputus dan memungkinkan untuk bekerja secara

independen. Arduino Mega telah kompatibel dengan sebagian shield yang dirancang untuk Arduino Duemilanove atau Diecimila [10] .

[Table 1 about here.]

Arduino Mega2560 Gambar 5

[Figure 5 about here.]

### Kontroller PID

Pengontrol PID adalah jenis pengontrol yang banyak diaplikasikan dalam kontrol proses industri karena kesederhanaan strukturnya, lebih tahan terhadap gangguan luar serta dapat diterapkan dalam kondisi operasi yang bervariasi. Tetapi pengontrol PID perlu ditala secara benar yaitu menentukan harga konstanta pengontrol proporsional, integral dan derivatif yang mengoptimalkan kinerja sistem. Setelah tiga parameter tersebut ditala, maka nilai parameter pengontrol tersebut pada PID biasanya dipertahankan tetap selama proses pengontrolan [5, 11] .

Sebuah sistem kendali close-loop yang dasar, diperlihatkan pada gambar 1 terdiri dari sebuah pengendali dan sebuah plant. Pada makalah ini PID digunakan sebagai pengendali. Pengendali PID ini terdiri dari tiga buah komponen: bagian proportional, bagian integral dan bagian derivative. Pengendali PID menggunakan persamaan kendali sebagai berikut: Gambar 6

[Figure 6 about here.]

Dimana  $K_p$  adalah parameter proporsional,  $K_i = K_p/T_i$  adalah parameter integral dan  $K_d = K_p \times T_d$  adalah parameter derivatif. Dalam perancangan pengendali PID, ketiga konstanta tersebut harus dipilih agar sistem close-loop memberikan respon yang diinginkan. Respon yang diinginkan haruslah memiliki settling time yang minimal dengan overshoot yang kecil atau tanpa overshoot dari respon step sistem close-loop [7, 11] . Gambar 7

[Figure 7 about here.]

PID Controller sebenarnya terdiri dari 3 jenis cara pengaturan yang saling dikombinasikan, yaitu P (Proportional) Controller, D (Derivative) Controller, dan I (Integral) Controller. Masing-masing memiliki parameter tertentu yang harus diset untuk dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai konstanta. Setiap jenis, memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, hal ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini [12] :

[Table 2 about here.]

*Cuckoo Search Algorithm*

[Figure 8 about here.]

Burung cuckoo dalam berkembangbiak memiliki cara yang beragam dan unik. Dari sekian spesies cuckoo diketahui bahwa 59 diantaranya merupakan cuckoo yang bersifat parasit dalam berkembangbiak yaitu mereka memanfaatkan sarang burung lain yang berbeda spesies untuk menetas telur mereka. Bahkan tak jarang burung cuckoo yang menaruh telur pada sarang burung cuckoo yang lain. Ada beberapa jenis cuckoo yang membuang telur dari induk asli pada sarang untuk meningkatkan kemungkinan menetas telur mereka. Mungkin saja terjadi konflik antara burung host dan burung cuckoo pada saat burung cuckoo menaruh telurnya, sehingga burung host membuang telur cuckoo tersebut atau meninggalkan sarang mereka kemudian membuat sarang yang baru. Perilaku parasit yang lain adalah saat burung cuckoo menetas, biasanya telur burung cuckoo menetas lebih awal dari telur burung host, telur burung yang belum menetas tadi dibuang dari sarang agar anak cuckoo tersebut mendapatkan lebih banyak makanan [7, 13].

1. Setiap cuckoo meletakkan satu telur pada satu waktu dan membuang telur didalamnya pada sarang yang dipilih acak.
2. Sarang terbaik dengan kualitas telur tertinggi akan dilanjutkan ke generasi berikutnya.
3. Jumlah sarang burung yang tersedia berjumlah tetap, dan peluang telur yang diletakkan oleh cuckoo yang ditemukan burung inang sebesar  $p \in [0,1]$ . Dalam kasus ini, burung dapat membuang telur cuckoo atau meninggalkan sarang, lalu membuat sarang baru [14]

Aturan terakhir dapat disederhanakan dengan pendekatan fraksi  $p$  dari  $n$  sarang digantikan dengan sarang baru (dengan solusi baru secara acak). Untuk masalah maksimisasi, kualitas atau fitness dari sebuah solusi dapat sebanding dengan nilai dari objective function. Kemudian telur-telur tadi akan dievolusikan, telur yang lebih akan menggantikan telur lainnya yang diukur oleh fitness, layaknya dalam GA. Dalam suatu sarang host bisa saja terdapat dua telur, dengan kata lain sarang bisa menyimpan lebih dari satu solusi hanya saja untuk menyederhanakan permasalahan, suatu sarang hanya akan menyimpan satu solusi (telur). Berdasarkan tiga aturan, langkah-langkah dasar Cuckoo Search (CS) dapat diringkas sebagai pseudo code yang ditunjukkan berikut ini [13] [15]:

*Begin Fungsi Objektif  $f(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_d)$  Inisialisasi populasi dari  $n$  sarang burung target  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) While ( $t < \text{generasiTotal}$ ) atau (kriteria lain untuk berhenti) Evaluasi nilai kualitas dari masing-masing burung cuckoo Pilih dari burung cuckoo secara acak dan lakukan random walk Jika ( $F_i > F_j$ ) Gantikan burung cuckoo  $j$  dengan burung cuckoo  $i$  End If Reset ulang sarang-sarang dengan kondisi terburuk ( $P_a$ ) Simpan sarang-sarang yang berhasil lolos Urutkan solusi dan cari yang terbaik End While Proses hasil dan visualisasi End Berikut Flowchart proses optimasi dari CSA : Gambar 8*

*LCD (Liquid Cristal Display)*

LCD (Liquid Crystal Display) merupakan suatu jenis modul tampilan elektronik yang memiliki fungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafikan. LCD sangat berfungsi sebagai penampil yang nantinya akan digunakan untuk menampilkan kondisi volume sampah dan keadaan lampu penerangan jalan. Bentuk fisik dari LCD dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.

[Figure 9 about here.]

## HASIL DAN PEMBAHASAN

*Tinjauan Umum:* Bab ini akan membahas tentang perencanaan dan pembuatan alat. Pembahasan akan dilakukan setiap blok rangkaian, cara kerja masing-masing blok rangkaian, perhitungan dan fungsi masing-masing blok rangkaian tersebut.

*Blok Diagram Secara Umum Sistem :* Pada penelitian ini akan dibuat sebuah prototipe sistem governor PLTA, akan tetapi tidak dibuat sistem governor PLTA secara penuh, melainkan hanya kontrol bukaan sudu yang nantinya akan mempengaruhi beban yang akan dihasilkan/diproduksi PLTA tersebut. Sehingga parameter seperti putaran generator dan parameter lainnya tidak dimasukkan dalam pembahasan penelitian ini.

Prinsip kerja dari alat yang akan dirancang ini diawali dari input berupa set point, set point disini dimasukkan pada Gui yang dibuat pada matlab dan sudah diintegrasikan dengan arduino dan plant.

Data nilai yang diterima setpoint kemudian dikirimkan ke kontroler PID. Besaran yang masuk ke kontroler PID kemudian diolah sehingga nanti akan didapat nilai  $K_i$ ,  $K_p$  dan  $K_d$ . Dan untuk mendapatkan nilai  $K_i$ ,  $K_p$  dan  $K_d$  yang efektif digunakan metode optimasi Cuckoo Search Algorithm (CSA).

Setelah didapatkan besaran nilai  $K_i$ ,  $K_p$  dan  $K_d$  yang efektif kemudian nilai-nilai tersebut ditransfer ke driver motor sebagai besaran tegangan input motor stepper. Sehingga Motor akan bekerja dan menggerakkan sudu sebesar derajat sudut yang diperintahkan. Dan persentase bukaan sudu yang dihasilkan ini akan dikorelasikan dengan MW yang bisa diproduksi PLTA, kemudian ditampilkan pada LCD. Selanjutnya alat juga akan diberikan masukan berupa frekuensi yang berbeda. Jika frekuensi yang diinput diatas frekuensi nominal (50 Hz) maka alat akan mengurangi bukaan sudu guide vane, begitupula sebaliknya.

Pada penelitian ini karakter pembangkit listrik yang dijadikan acuan untuk setting parameter governor adalah PLTA



Siman. PLTA siman memiliki kapasitas daya listrik total sebesar 08,00 MW dengan data tinggi hidroulik (H) = 100 m dan debit air (Q) = 8 m<sup>3</sup> / det. Sehingga berdasarkan hitungan teori maka PLTA Siman mampu mengkonversi 1 m<sup>3</sup> air menjadi daya listrik sebesar 1 Megawatt. Berikut tabel konversi energi di PLTA Siman :

[Table 3 about here.]

Secara garis besar, diagram blok perancangan sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 10 .

[Figure 10 about here.]

#### *Perencanaan Perangkat Keras*

Dalam perancangan perangkat keras atau *Hardware* membutuhkan beberapa komponen pendukung mulai elektronik hingga perlengkapan mekanik agar sistem dapat bekerja dan berjalan dengan baik sesuai dengan fungsinya.

#### *Perancangan Driver Motor*

Driver motor berfungsi sebagai perangkat untuk memperkuat arus yang masuk ke motor yang digunakan. Hal ini disebabkan karena supply tegangan untuk arduino dan motor penggerak berbeda.

**Perancangan Motor DC:** Motor DC Stepper ini memiliki pergerakan sudut antara 0<sup>o</sup>-80<sup>o</sup> . Sehingga motor ini nantinya dikopel dengan plat/sudu sebagaimana sudu guide vane pada governor PLTA. Besarnya derajat sudut yang dihasilkan motor akan sebanding dengan seberapa besar sudut bukaan sudu yang dikopel dengan motor tersebut.

**Perancangan Arduino Mega:** Pada plant ini digunakan Arduino Mega2560 sebagai pusat dari pengolah data. Agar sebuah Arduino Mega2560 dapat bekerja sebagai pengontrol, kaki-kaki *pin* Arduino Mega2560 dihubungkan dalam rangkaian-rangkaian eksternal. Selanjutnya, Arduino Mega2560 dihubungkan dengan komputer dengan kabel USB dengan protokol komunikasi serial. Hal ini bertujuan agar Arduino Mega2560 dapat berkomunikasi dengan MATLAB di komputer.

#### *Perencanaan Perangkat Lunak*

Perancangan perangkat lunak pada penelitian ini meliputi perancangan Grafical User Interface (GUI) pada matlab dan perancangan sistem kontrol PID pada Arduino.

#### *Perancangan GUI Pada Matlab*

Pada penelitian ini digunakan Matlab R2016 untuk pemrograman Cuckko Search Alghorithm (CSA) dan juga pemodelan Grafical User Interface (GUI). GUI merupakan salah satu fitur aplikasi display dalam Matlab yang mengandung tugas, perintah, atau komponen program yang mempermudah user

(pengguna) dalam menjalankan sebuah program dalam MATLAB. GUI biasanya dibangun dengan objek grafik seperti tombol, kotak, panel, teks, slide dan menu untuk memudahkan pengguna dalam memasukkan perintah pada sistem yang akan dirancang. GUI biasanya digunakan untuk membuat simulasi aplikasi desktop .

Pada penelitian ini GUI digunakan sebagai user Interfacenya, sehingga parameter set point dan grafik respon dari sistem akan ditampilkan pada GUI. Berikut tampilan dari GUI yang telah dirancang.Gambar 11

[Figure 11 about here.]

Berikut flowchart untuk perancangan Matlabnya.Gambar 11 and 12

[Figure 12 about here.]

**Perancangan Sistem Kontrol pada Arduino:** Perancangan sistem kontrol merupakan proses pembentukan loop kontrol pada Simulink. Proses ini melibatkan penentuan awal parameter kontrol dan skema pengontrolan yang digunakan. Disini Kontroler yang digunakan adalah Kontroler PID.Gambar 13

[Figure 13 about here.]

Pada penelitian ini digunakan Arduino Mega2560 sebagai mikrokontroler untuk sistem kontrolnya.

Berikut flowchart untuk program arduino yang akan dibuat. Gambar 14

[Figure 14 about here.]

#### *Hasil perancangan alat*

Perancangan alat yang telah dibuat pada penelitian ini adalah prototipe sistem governor PLTA, akan tetapi tidak dibuat sistem governor PLTA secara penuh , melainkan hanya kontrol bukaan sudu yang nantinya akan mempengaruhi beban yang akan dihasilkan/diproduksi PLTA tersebut.Gambar 15

[Figure 15 about here.]

#### *Pengujian dan Analisa Alat*

Pengujian dan analisis dilakukan untuk menganalisis apakah sistem telah bekerja sesuai perancangan. Pengujian dilakukan setiap blok kemudian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini dibagi menjadi lima bagian, yaitu:

- Pengujian rotary encoder

- Pengujian motor DC Stepper
- Pengujian *driver* motor
- Pengujian sistem secara keseluruhan

**4.2.1 Pengujian Rotary Encoder**

Pengujian Rotary Encoder Gambar 16

[Figure 16 about here.]

a. Tujuan

Mengetahui tingkat kelinieran dari rotary encoder dalam membaca perubahan sudut dari rotor motor dc.

b. Peralatan yang digunakan

- Motor Stepper dengan rotary encoder terhubung dengan bagian rotor
- Arduino Mega2560.
- Catu daya 5 volt.
- Laptop dengan software arduino dan Matlab
- Kabel USB

. *Langkah pengujian*

1. Memasang alat seperti dalam Gambar
2. Menghubungkan keluaran rotary encoder dengan port interrupt Arduino Mega2560.
3. Memberikan sumber tegangan 5 volt untuk Arduino Mega2560 dan rotary encoder.
4. Memberikan sumber tegangan 12 volt untuk motor dc
5. Menghubungkan Arduino Mega2560 dengan laptop untuk monitoring komunikasi serial.
6. Mengoperasikan motor DC dari posisi sensor 0 sampai posisi 30 derajat.

Gambar 14 menunjukkan diagram blok pengujian rotary encoder. Rotary encoder dipasang dekat dari motor dc. motor DC dioperasikan dari posisi sensor 0 sampai posisi 30 derajat. Arduino Mega2560 akan membaca banyaknya lubang dan mengirim datanya secara serial dan ditampilkan pada LCD Display.

Berikut hasil pengujian Rotary encoder: Tabel IV

[Table 4 about here.]

**Pengujian Driver Motor Gambar 17:**

[Figure 17 about here.]

a. Tujuan

Mengetahui *output* dari *driver* motor apabila diberi *input* yang berbeda.

b. Peralatan yang digunakan

- Driver
- Motor DC
- Arduino Mega2560
- Program Matlab R2016b
- Multimeter
- Catu daya 12 Volt
- Rotary encoder
- Laptop

c. Langkah pengujian

Merangkai alat seperti dalam Gambar 15. Membuat program pada *GUI* untuk menentukan arah putar motor. *Compile* program yang telah dibuat pada *software* Matlab dengan *Arduino Hardware Target*. Jalankan program yang telah dibuat pada matlab. Mengukur tegangan pada pin OUT 1, OUT 2, OUT 3 dan OUT 4 dari *driver* motor yang digunakan sebagai tegangan untuk motor. Mencatat data yang didapatkan pada tabel pengujian.

Berikut hasil pengujian Driver Motor :Tabel V

[Table 5 about here.]

**Pengujian Motor Stepper Gambar 18:**

[Figure 18 about here.]

a. Tujuan

Mengetahui karakteristik motor DC Stepper yang digunakan terhadap tegangan suplai yang diberikan.

b. Peralatan yang digunakan

- Motor DC
- Catu daya
- Rotary encoder
- Arduino Mega2560
- Program Matlab R2016b

- Laptop

c. Langkah Pengujian

1. Menyusun alat seperti dalam Gambar
2. Mengatur
3. Mengukur kecepatan motor dengan tachometer.
4. Mencatat data hasil pengujian pada tabel pengujian.

Berikut hasil pengujian Motor Stepper :Tabel VI

[Table 6 about here.]

[Table 7 about here.]

**Pengujian Keseluruhan Gambar 19:**

[Figure 19 about here.]

**Pengujian HILS tanpa Optimasi CSA** Pada pengujian ini dilakukan uji Hardware In the Loop Simulation namun untuk kontrolernya hanya menggunakan PID saja, tanpa dilengkapi dengan proses optimasi dengan Metode Cuckoo Search Alghorithm (CSA). Pada pengujian ini nilai  $K_i=3$ ,  $K_p=1$  dan  $K_d=10$ . Berikut tabel hasil pengujian dengan PID tanpa Optimasi CSA.

[Table 8 about here.]

Respon PID Gambar 20

[Figure 20 about here.]

Dari hasil pengujian Sistem tanpa menggunakan Metode CSA diatas dapat dilihat waktu yang dibutuhkan alat untuk mencapai titik idle berebeda-beda. Dari set point 4 sampai set point 8 memiliki settling time rata-rata sebesar 24,2 second.

**Pengujian HILS dengan Optimasi CSA** Pada pengujian ini dilakukan uji Hardware In the Loop Simulation secara penuh , yankni dengan dilengkapi proses optimasi dengan Metode Cuckoo Search Alghorithm (CSA). Berikut tabel hasil pengujian sistem dengan metode CSA.

[Table 9 about here.]

Respon Optimasi CSA Gambar 21

[Figure 21 about here.]

Dari hasil pengujian Sistem dengan menggunakan Metode Optimasi CSA dapat dilihat waktu yang dibutuhkan alat untuk mencapai titik idle juga berbeda. Namun perubahan lama waktunya terjadi secara linier dan rata-rata waktu settling time yang lebih kecil dibanding menggunakan PID saja. Dari set point 4 sampai set point 8 memiliki settling time rata-rata sebesar 18,8 second.

**Pengujian Alat Terhadap Perubahan Frekuensi** Pengujian ini dilakukan dengan memberikan input terhadap alat seakan frekuensi mengalami kenaikan atau penurunan dari 50 Hz. Berikut hasil respon alat terhadap perubahan frekuensi tersebut. Kondisi awal bukaan sudu guide vane berada di posisi  $65^\circ$  dan frekuensi 50 Hz. Berikut tabel hasil pengujian terhadap perubahan frekuensi. Tabel X

[Table 10 about here.]

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa alat mampu memberikan respon berupa pengurangan/ penambahan bukaan sudu ketika frekuensi mengalami perubahan. Gambar berikut merupakan perubahan sudut yang dihasilkan alat Gambar 22 and 23 .

[Figure 22 about here.]

[Figure 23 about here.]

Pada kondisi awal sudu berada pada posisi  $65^\circ$ . Setelah frekuensi terjadi gangguan dan frekuensi naik menjadi 50,5 Hz. Alat memberikan respon dengan megurangi bukaan sudu guide vane, yakni dari  $65^\circ$  menjadi  $52^\circ$ . Sehingga frekuensi akan kembali ke 50 Hz.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan pada perancangan dan pengujian sistem kontrol governor PLTA dengan menggunakan metode CSA ( Cuckoo Search Alghorithm) yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem kontrol governor menggunakan PID yang dioptimasi dengan metode CSA dibangun dari sebuah kontroler PID pada arduino. Untuk mendapatkan parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang optimal, kontroler diintegrasikan dengan metode optimasi CSA yang dirancang pada Grafical User Interface (GUI) pada library Matlab.
2. Sistem kontrol yang telah dirancang diawali dari sebuah input berupa set point. Data nilai yang diterima setpoint kemudian dikirimkan ke kontroler PID. Besaran yang masuk ke kontroler PID kemudian dituning menggunakan CSA. Untuk set point 4 didapat
3. Settling time rata-rata untuk kontrol PID dengan metode trial error didapat waktu sebesar 24,2 second, sedangkan ketika menggunakan Optimasi CSA didapat settling time rata-rata yang lebih baik, yakni sebesar 18,8 second.
4. Motor penggerak sudu mampu memberikan respon dengan mengurangi atau menambah bukaan sudu guide vane sebesar  $\pm 10^\circ$  setiap terjadi perubahan frekuensi sebesar 0,5 Hz. Ketika frekuensi disimulasikan berada diatas frekuensi nominal maupun sebaliknya,

5. Terdapat error rata-rata sebesar  $2,9^\circ$  antara sudut pembacaan rotary dan sudut perhitungan.

### Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian, maka penulis merekomendasikan berupa saran-saran sebagai berikut :

1. Selain menggunakan metode Cuckoo Search Algoritm, untuk optimasi parameter sistem kontrol PID bisa menggunakan metode cerdas lainnya, seperti PSO (Partical Swarm Optima), Bee Colony Algorithm, Ant Colony Algorithm dan lain-lain.
2. Pada penelitian ini metode CSA ( Cuckoo Search Algoritm) hanya digunakan untuk penalaan parameter PID untuk kontrol motor governoor saja. Diharapkan dimasa yang akan datang metode optimasi ini bisa dikembangkan untuk sistem kontrol AVR, Exitasi dan lain-lain pada pembangkitan listrik.
3. Rotary encoder yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi 32 pulse/rotation, Penggunaan rotary encoder yang memiliki spesifikasi pulse/rotation lebih tinggi diharapkan akan mampu menambah tingkat akurasi pengujian.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Lubis, "Energi terbarukan dalam pembangunan berkelanjutan,," *J. Teknol. Lingkung*, vol. 8, p. 2, 2011.
- [2] P. N. V. K. X. S. Muthukumar, "Frequency regulation by free governor mode of operation in power stations,," dalam, " *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*, vol. 2010, no. 302, pp. 28–29, 2010.
- [3] E. G. M. J. A. Pomilio, "Induction-generator-based system providing regulated voltage with constant frequency,," *IEEE Trans. Ind. Electron*, vol. 47, no. 4, pp. 908–914, 2000.
- [4] M. Ali, "Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID dengan Software MATLAB,," *J. Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2004.
- [5] K. Singh, P. Vasant, I. Elamvazuthi, & R. Kannan, "PID Tuning of Servo Motor Using Bat Algorithm,," *Procedia Comput. Sci*, vol. 60, pp. 1798–1808, 2015.
- [6] F. Hunaini, I. Robandi, & N. Sutantra, "Lateral and Yaw Motion Control of The Vehicle using Fuzzy Logic and PID being Optimized by Firefly Algorithm,," *J. Theor. Appl. Inf. Technol*, vol. 87, no. 1, pp. 16–24, 2016.
- [7] M. R. Djalal, D. Ajiatmo, A. Imran, & I. Robandi, *Desain Optimal Kontroler PID Motor DC Menggunakan Cuckoo Search Algorithm*,. Pros. SENTIA, 2015.
- [8] C. A.K., D. S. G.R., & T. Rathnayaka, "Implementation of Electronic Governor & Control System of a Mini-hydro Power Plant,," *University of Moratuwa · Department of Electrical Engineering Sri Lanka* , 2018.
- [9] A. H. C. T. Judianto, "OPTIMALISASI AKURASI ANTENA PENJEJAK SAIT ORBIT RENDAH MENGGUNAKAN MOTOR STEPPER HYBRID 2 FASA (OPTIMIZATION OF LOW EARTH ORBIT TRACKING ANTENNA USING STEPPER MOTOR HYBRID 2-PHASE),," *J. Teknol. Dirgant*, vol. 11, no. 1, 2013.
- [10] D. J. Mahaputra, R. S. Wibowo, & A. Priyadi, "Economic dan Emission Dispatch pada Sistem Kelistrikan 500 kV Jawa-Bali Menggunakan Composite Generation Cost Function dengan Metode Cuckoo Optimization Algoritm,," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, pp. 34–38, 2017.
- [11] I., "Retnowati dan others, "APLIKASI KONTROL PID UNTUK PENGATURAN POSISI MOTOR DC PADA PISAU PEMOTONG ALAT PEMBAGI ADONAN ROTI (DOUGH DIVIDER),," *J. Mhs. TEUB*, vol. 1, no. 4, 2013.
- [12] A. N. A. Kusmantoro, "PENGENDALI POSISI MOTOR DC DENGAN PID MENGGUNAKAN METODE ROOT LOCUS,," *MEDIA Elektr*, vol. 7, no. 1, 2014.
- [13] M. H. Sulaiman, Z. Mustaffa, M. R. Mohamed, & N. R. H. Abdullah, *An application of Cuckoo Search Algorithm for solving combined economic and emission dispatch problem*,, 2015.
- [14] M. A. Akbar dan others, "Simulation of fuzzy logic control for DC servo motor using Arduino based on MATLAB/Simulink,," dalam *Intelligent Autonomous Agents, Networks and Systems*.
- [15] J. G. C. Reyes, F. F. H. Schlam, A. R. Garcia, E. R. Kriuchkova, & A. M. Camarillo, "Design of a Position Control Based on Cuckoo Search Tuning for a Cutter Leaves Robot,," *IEEE Lat. Am. Trans*, vol. 14, no. 5, pp. 2085–2092, 2016.

Conflict of Interest Statement: The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2019 Author [s]. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.



Received: 13-04-2019  
Accepted: 30-04-2019  
Published: 03-04-2019

## LIST OF TABLES

I	Karakteristik dari Arduino Mega 2560Tabel I	172
II	Respon PID Controller Terhadap Perubahan KonstantaTabel II	173
III	Tabel Konversi Energi di PLTA SimanTabel III	174
IV	Hasil Pengujian Rotary Encoder	175
V	Hasil Pengujian Driver	176
VI	Hasil Pengujian Motor Stepper Clock Wise	177
VII	Hasil Pengujian Motor Stepper Counter Clock WiseTabel VII	178
VIII	Hasil Pengujian Tanpa CSATabel VIII	179
IX	Hasil Pengujian dengan Optimasi CSATabel IX	180
X	Hasil Pengujian Terhadap Perubahan Frekuensi.	181

TABEL I.. KARAKTERISTIK DARI ARDUINO MEGA 2560TABEL I

Microcontroller	Atmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

TABEL II.. RESPON PID CONTROLLER TERHADAP PERUBAHAN KONSTANTA TABEL II

Closed-Loop Response	Rise Time	Overshoot	Settling Time	SS Error
Kp	Decrease	Increase	Small change	Decrease
Ki	Decrease	Increase	Increase	Eliminate
Kd	Small change	Decrease	Decrease	Small change



TABEL III.. TABEL KONVERSI ENERGI DI PLTA SIMANTABEL III

No	Guide Vane Poss (%)	Debit Air (m3)	Daya (MW)
1	0	0	0,00
2	12,5	1	1,00
3	25	2	2,00
4	37,5	3	3,00
5	50	4	4,00
6	62,5	5	5,00
7	75	6	6,00
8	87,5	7	7,00
9	100	8	8,00

TABEL IV.. HASIL PENGUJIAN ROTARY ENCODER

No.	Set Point GUI	Sudut perhitungan	Sudut yang terbaca rotary	Error
1	1	12,5 °	10 °	2,5 °
2	2	25 °	23 °	2 °
3	3	45 °	40 °	5 °
4	5	60 °	56 °	4 °
5	7	75 °	73 °	2 °
6	8	90 °	88 °	2 °

TABEL V.. HASIL PENGUJIAN DRIVER

No	Out 1	Out 2	Out 3	Out 4	Hasil Pengukuran Tegangan
1	0	0	0	0	Pin 1 – 4 tidak bertegangan
2	0	0	1	1	Pin 3 dan 4 bertegangan 12 VDC
3	1	0	0	1	Pin 1 dan 4 bertegangan 12 VDC
4	1	1	0	0	Pin 1 dan 2 bertegangan 12 VDC
5	0	1	1	0	Pin 2 dan 3 bertegangan 12 VDC

TABEL VI.. HASIL PENGUJIAN MOTOR STEPPER CLOCK WISE

No Step	Logic				Respon Motor
	Pin A	Pin B	Pin C	Pin D	
1	0	0	1	1	Clock Wise Step 1
2	1	0	0	1	Clock Wise Step 2
3	1	1	0	0	Clock Wise Step 3
4	0	1	1	0	Clock Wise Step 4



TABEL VII.. HASIL PENGUJIAN MOTOR STEPPER COUNTER CLOCK WISE TABEL VII

No Step	Logic				Respon Motor
	Pin A	Pin B	Pin C	Pin D	
1	0	1	1	0	Counter Clock Wise Step 1
2	1	1	0	0	Counter Clock Wise Step 2
3	1	0	0	1	Counter Clock Wise Step 3
4	0	0	1	1	Counter Clock Wise Step 4

TABEL VIII.. HASIL PENGUJIAN TANPA CSATABEL VIII

No	Set Point	PID			t-0 (s)	t-1 (s)	Settling Time (s)
		Kp	Ki	Kd			
1	4	3,00	1,00	10,00	22	40	19
2	5	3,00	1,00	10,00	138	161	24
3	6	3,00	1,00	10,00	45	71	27
4	7	3,00	1,00	10,00	88	113	26
5	8	3,00	1,00	10,00	68	92	25

TABEL IX.. HASIL PENGUJIAN DENGAN OPTIMASI CSATABEL IX

Set Point	Optimasi CSA					t-0 (s)	t-1 (s)	Settling Time (s)
	Jml Sarang	Jml Iterasi	Kp	Ki	Kd			
4	25	7150	0,9900	1,0000	0,9900	68	76	9
5	25	6500	1,0001	0,9998	0,9976	41	55	15
6	25	6350	0,9983	0,9989	1,0001	19	36	18
7	25	6750	1,0003	1,0029	1,0007	8	30	23
8	25	7350	0,9991	0,9999	0,9982	14	42	29

TABEL X.. HASIL PENGUJIAN TERHADAP PERUBAHAN FREKUENSI.

No.	Frekuensi	Frekuensi Error	Sudu Awal	Sudu Akhir	Perubahan Sudut
1	50 Hz	50,5 Hz	65 °	52 °	13 °
2	50 Hz	51 Hz	65 °	45 °	20 °
3	50 Hz	49,5 Hz	65 °	77 °	12 °
4	50 Hz	49 Hz	65 °	86 °	21 °



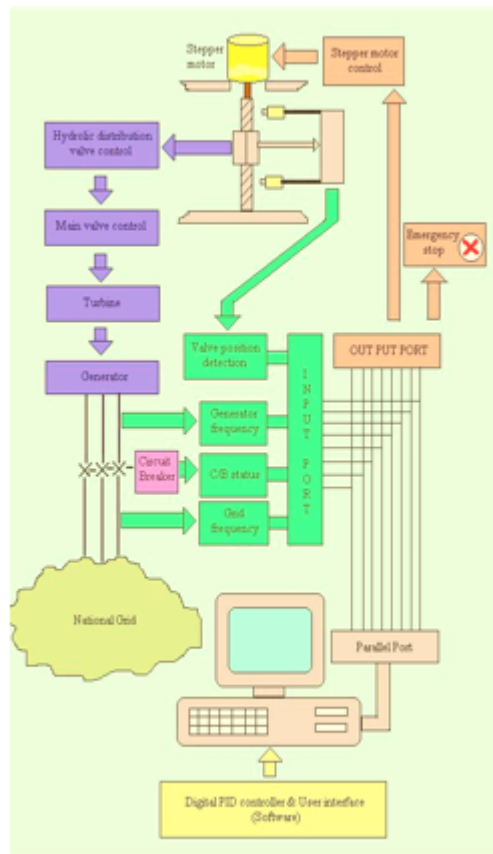
LIST OF FIGURES

1	kapasitas daya . . . . .	183
2	Diagram Block Governor . . . . .	184
3	Motor Stepper . . . . .	185
4	Prinsip kerja motor stepper . . . . .	186
5	Arduino Mega2560 . . . . .	187
6	Pengendali PID menggunakan persamaan kendali . . . . .	188
7	Sistem Close loop . . . . .	189
8	Flowchart Proses Optimasi CSA . . . . .	190
9	Bentuk Fisik LCD . . . . .	191
10	Diagram Blok Sistem secara Keseluruhan . . . . .	192
11	Tampilan GUI . . . . .	193
12	Flowchart Matlab . . . . .	194
13	Diagram Blok Sistem Kontrol . . . . .	195
14	Flowchart Program Arduino . . . . .	196
15	Hasil perancangan alat . . . . .	197
16	Diagram Blok Pengujian Rotary Encoder . . . . .	198
17	Diagram Blok Pengujian Driver Motor . . . . .	199
18	Diagram Blok Pengujian Motor Stepper . . . . .	200
19	Pengujian Keseluruhan . . . . .	201
20	Grafik Respon PID . . . . .	202
21	Grafik Respon Optimasi CSA . . . . .	203
22	Bukaan Sudu Berada Pada Sudut 65 ° . . . . .	204
23	Bukaan Sudu Berubah Posisi ke Sudut 52 ° . . . . .	205

$$P = 9,8 \times Eff \times Q \times H \dots\dots(1)$$

Dimana : P = Daya mampu (KW)  
9.8 = konstanta gravitasi  
Eff = efisiensi turbin & generator  
Q = debit air (m<sup>3</sup>/det)  
H = tinggi terjun (m)

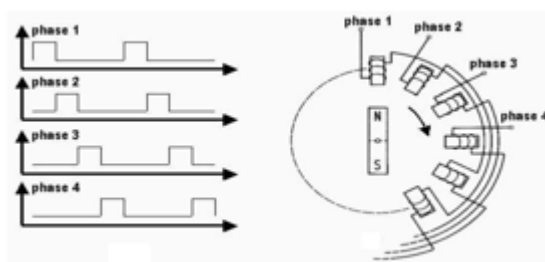
Gambar 1. kapasitas daya



Gambar 2. Diagram Block Governor



Gambar 3. Motor Stepper



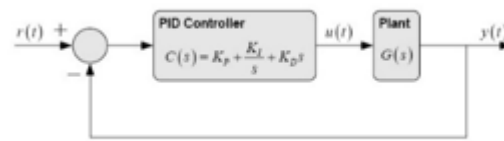
Gambar 4. Prinsip kerja motor stepper



Gambar 5. Arduino Mega2560

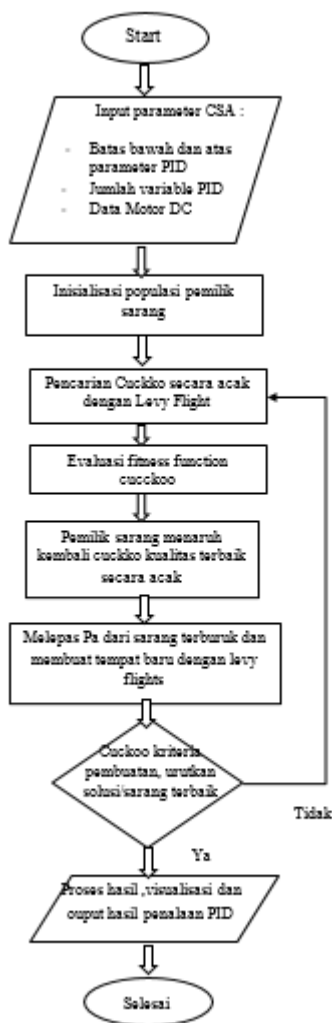
$$C(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = \frac{K_d s + K_p s + K_i}{s} \dots(2)$$

Gambar 6. Pengendali PID menggunakan persamaan kendali



Gambar 7. Sistem Close loop

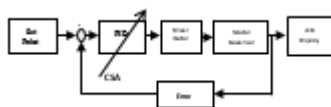




Gambar 8. Flowchart Proses Optimasi CSA



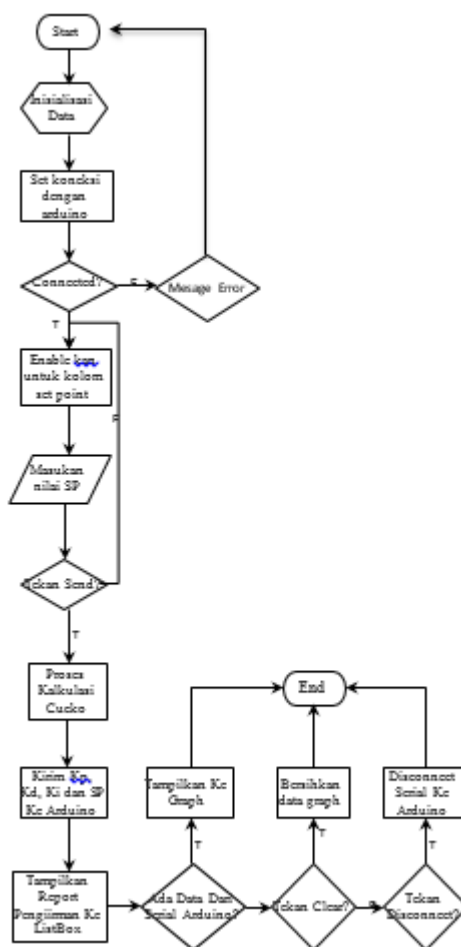
Gambar 9. Bentuk Fisik LCD



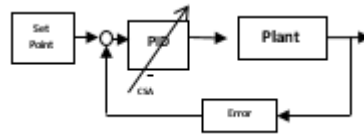
Gambar 10. Diagram Blok Sistem secara Keseluruhan



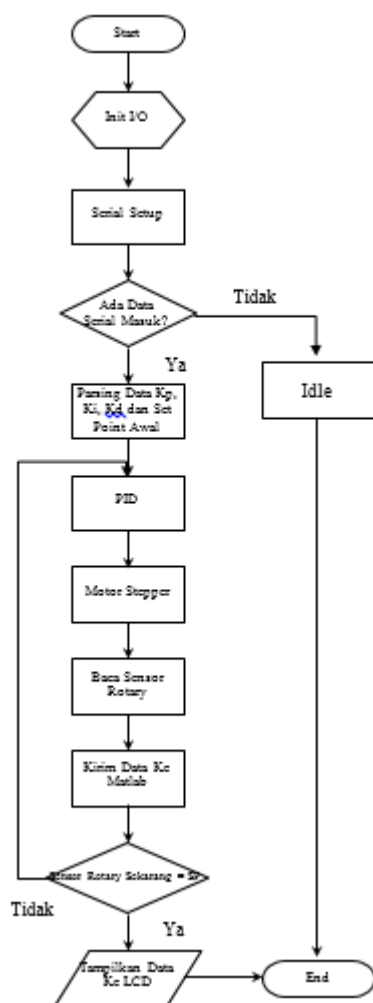
Gambar 11. Tampilan GUI



Gambar 12. Flowchart Matlab



Gambar 13. Diagram Blok Sistem Kontrol

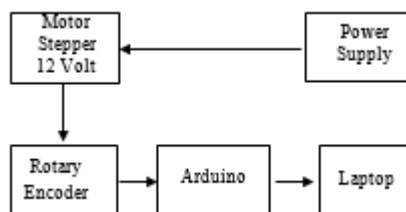


Gambar 14. Flowchart Program Arduino

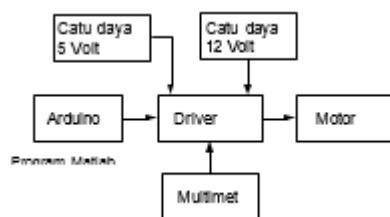


Gambar 15. Hasil perancangan alat

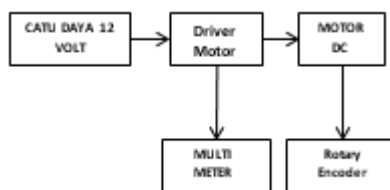




Gambar 16. Diagram Blok Pengujian Rotary Encoder



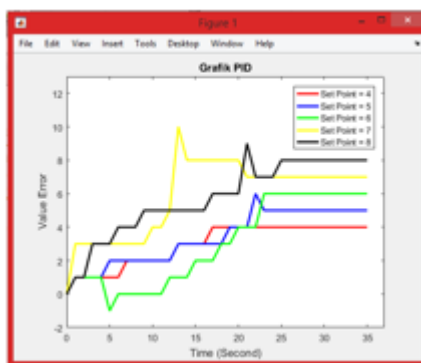
Gambar 17. Diagram Blok Pengujian Driver Motor



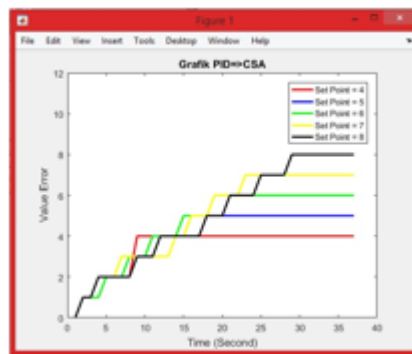
Gambar 18. Diagram Blok Pengujian Motor Stepper



Gambar 19. Pengujian Keseluruhan



Gambar 20. Grafik Respon PID



Gambar 21. Grafik Respon Optimasi CSA



Gambar 22. Bukaan Sudu Berada Pada Sudut  $65^\circ$



Gambar 23. Bukaan Sudu Berubah Posisi ke Sudut  $52^\circ$