

# Sistem Kontrol Kecepatan Motor *Spinner* Pada *Cucurbita Powder* Menggunakan Metode PID

Bobby Ananda, Ari Murtono, Herwandi

**Abstrak** - Inti dalam pembuatan *cucurbita powder* adalah pemisahan antara ampas dan air labu, dalam proses ini terdapat dua cara yaitu manual dengan kain kasa, dan otomatis menggunakan alat *spinner*. Untuk efisiensi waktu dan juga tenaga, perlu dibuat *miniplant* mesin ekstraksi air labu otomatis yang kecepatan motor *spinnernya* dikontrol menggunakan metode *PID*. Motor *spinner* ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai kontrolernya dan sensor *rotary encoder* sebagai sensor kecepatannya. Perancangan kontroler *PID* menggunakan metode *Ziegler Nichols* menghasilkan nilai  $K_p = 9.15$   $K_i = 2.31$  dan  $K_d = 9.05$ . Hasil yang didapatkan antara lain *rise time* (tr) sebesar 10.2 s, *settling time* (ts) 37 s, *peak time* (tp) sebesar 24 s dan *Percent Overshoot* (Po) sebesar 7.6%. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban 1kg campuran labu dan air. Proses akhir dari *spinning* labu ini ditandai keringnya ampas pada dinding tabung peniris.

**Kata kunci** : conveyor motor, PID control, serbuk labu kuning

## I. PENDAHULUAN

Labu kuning merupakan buah lokal yang sangat mudah tumbuh dan dijumpai di Indonesia serta memiliki banyak manfaat untuk kesehatan dan terbukti secara ilmiah mampu mengontrol gula darah. Beberapa penelitian pada tikus yang dibuat diabetes menunjukkan ekstrak labu kuning memberikan efek hipoglikemik dan bertindak sebagai antidiabetes. Minyak biji labu kuning juga mengandung mineral kromium yang diketahui berperan dalam metabolisme karbohidrat, dengan penyerapan kromium terbaik. Kandungan gizi labu kuning yang sangat banyak yakni betakaroten sebesar 1569 $\mu$ g/100g bahan, dan juga mengandung gizi lain berupa karbohidrat, protein, lemak, serat, beberapa mineral seperti kalsium, fosfor, serta vitamin yaitu Vitamin A, B, dan C. Warna kuning daging buahnya pertanda kandungan karotenoidnya sangat tinggi.[1]

Daya awet dapat mencapai 6 bulan atau lebih, tergantung pada penyimpanannya. Namun buah yang sudah dibelah harus

segera diolah karena akan sangat mudah rusak. Hal tersebut menjadi kendala dalam pemanfaatan labu pada skala rumah tangga sebab labu kuning yang besar tidak dapat diolah sekaligus, Oleh sebab itu perlu dicari alternatif pengolahan labu kuning yang mudah dibuat dan bermanfaat baik untuk tubuh manusia.[1]

Masyarakat di negara kita cenderung lebih menyukai produk kemasan daripada barang mentah karena mudah dan praktis menjadikan peningkatan permintaan produk kemasan terhadap tanaman dan buah sebagai obat menjadikan peluang peningkatan dan pengembangan nilai tambah tanaman dan buah-buahan yang berkhasiat menjadi produk-produk kemasan seperti kapsul, bubuk, dan sirup serta produk kemasan lainnya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

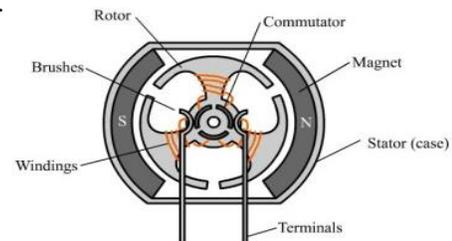
### 2.1 Kandungan Gizi

Tanaman labu kuning juga dapat digunakan sebagai obat tradisional sebagai anti diabetes, anti hipertensi, anti tumor, immunomodulasi, dan anti bakteri karena banyak mengandung nutrisi dan senyawa bioaktif seperti fenolat, flavonoid, vitamin (termasuk betakaroten, vitamin A, vitamin B2, tokoferol, vitamin C, dan vitamin E)[2]

Labu kuning mengandung zat yang dapat membunuh mikroba penyebab jutaan kasus infeksi jamur pada orang dewasa dan bayi setiap tahun. Beberapa mikroba penyebab penyakit menjadi resisten terhadap antibiotik yang ada. Penggunaan labu kuning sebagai obat tradisional di beberapa negara terilhami dari fakta tersebut membuat mereka untuk mengekstrak protein dari kulit labu kuning. Labu kuning juga memiliki salah satu jenis protein menghambat pertumbuhan *C. Albicans* dalam hal kultur jaringan tanpa menimbulkan efek racun [3]

### 2.2 Motor DC (*Direct Current*)

Motor DC adalah motor yang digerakkan oleh energi listrik arus searah.[4] Konstruksi motor DC dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Kontruksi Motor [4]

Bobby Ananda adalah Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang email: [bobbyananda8@gmail.com](mailto:bobbyananda8@gmail.com)

Ari Murtono dan Herwandi adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, email : [arimurtono@polinema.ac.id](mailto:arimurtono@polinema.ac.id), [herwandi@polinema.ac.id](mailto:herwandi@polinema.ac.id)

Salah satu jenis motor DC adalah motor DC magnet permanen. Motor DC tipe ini banyak ditemui penggunaannya baik di industri maupun di rumah tangga

Ketika terminal motor DC diberi energi listrik searah dengan polaritas yang sama, maka motor akan berputar searah jarum jam, dan jika polaritas energi listrik dipasang terbalik pada terminal motor maka putarannya akan terbalik atau berlawanan arah jarum jam.[4]

2.3 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem microprocessor dimana di dalamnya sudah terdapat CPU, ROM, RAM, I/O, clock dan peralatan internal lainnya yang sudah saling terhubung dan terorganisasi (teralamat) dengan baik oleh pabrik pembuatnya dan dikemas dalam satu chip yang siap pakai.[5]

Mikrokontroler yang digunakan adalah arduino uno, arduino uno merupakan board sistem minimum berbasis mikrokontroler ATmega-328P jenis AVR. arduino uno memiliki 14 digital input/output (6 diantaranya dapat digunakan untuk PWM output), 6 analog input, 16 MHz osilator kristal, USB connection, power jack, ICSP header dan tombol reset.



Gambar 2 Arduino Uno [6]

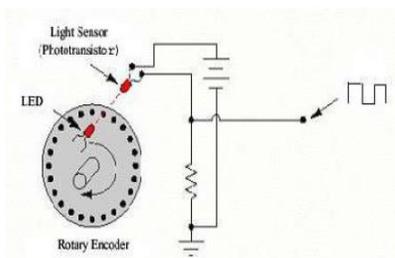
2.4 Sensor Kecepatan (Rotary Encoder)

Sensor rotary encoder adalah komponen elektronik yang terdiri dari dua komponen penyusun :

1 LED-IR sebagai transmitter, yaitu LED yang memancarkan cahaya inframerah yang panjang gelombangnya tak tampak oleh mata manusia.

2. Phototransistor sebagai receiver, yaitu dimana transistor yang penyulut-basisnya adalah cahaya inframerah.

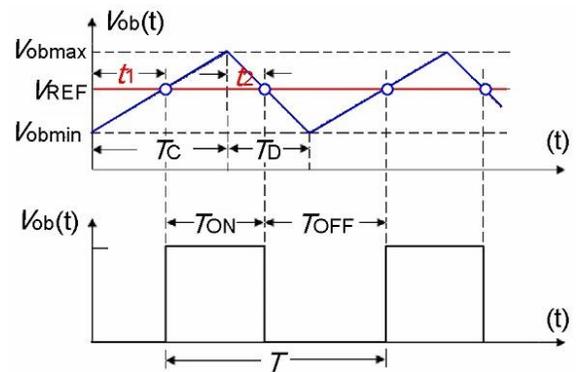
Sensor rotary encoder digunakan sebagai pengukur kecepatan putaran motor DC. Penempatan sensor ini tepat sejajar dengan motor DC, jadi setiap perubahan kecepatan dari motor DC akan ikut mempengaruhi perubahan jumlah pulsa.[7]



Gambar 3 Rotary Encoder [8]

2.5 Konsep PWM ( Pulse Width Modulations)

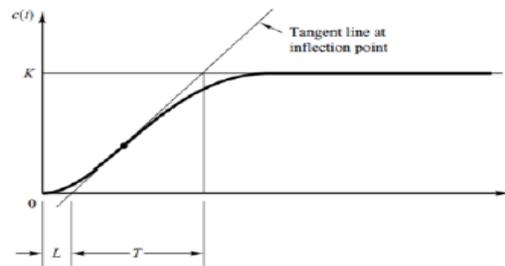
PWM merupakan sebuah teknik pengontrolan tegangan menggunakan metode pengaturan lebar pulsa. Sebuah PWM biasanya merupakan gabungan antara rangkaian pembangkit sinyal segitiga dengan nilai tegangan referensi yang dapat diatur. Kedua komponen tersebut kemudian dihubungkan dengan sebuah komparator. Pengaturan lebar pulsa dilakukan dengan mengatur nilai tegangan referensi. Jika level tegangan sinyal segitiga lebih besar dari tegangan referensi maka tegangan keluaran komparator bernilai positif (kondisi on), sedangkan jika level tegangan sinyal segitiga lebih kecil dari tegangan referensi maka keluaran komparator bernilai nol (kondisi off). Semakin tinggi nilai referensi akan mengakibatkan kondisi on semakin kecil atau sempit, sebaliknya semakin kecil nilai tegangan referensi akan menyebabkan kondisi on akan semakin besar atau lebar. [9]



Gambar 4 Pembentukan Sinyal PWM [9]

2.6 Metode PID Ziegler-Nichols I

Pada metode PID Ziegler-Nichols I respon motor dari plant didapatkan secara eksperimental dengan masukan unit-step. Tipe dari respon tersebut adalah orde satu dengan transportation delay. Karakteristik dari respon adalah time delay (L) dan time constant (T) yang dapat diketahui dengan menggambar garis singgung pada titik belok dari kurva, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.[10]



Gambar 5 Kurva Respon Garis Singgung [10]

Cara menentukan garis singgung adalah membuat garis lurus dan menghimpit pada respon yang memiliki nilai linier paling banyak dan harus melalui nilai  $\gamma$  yaitu waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai 63,2% dari nilai steady state respon. Respon ini didapatkan dari plant yang diberi masukan

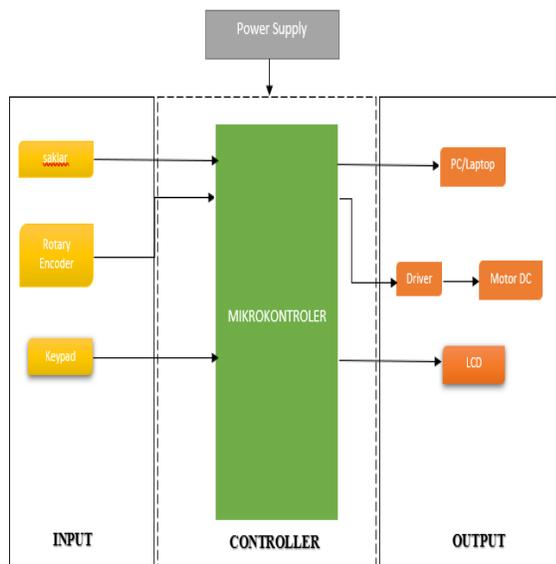
berupa *unit-step*.berikut adalah aturan *Ziegler-Nichols I* yang ditunjukkan pada Tabel 1.[10]

Tabel 1 Aturan *Ziegler-Nichols I* [11]

| Tipe Kontroler | $K_p$             | $T_i$   | $T_d$ |
|----------------|-------------------|---------|-------|
| P              | $\frac{T}{L}$     | ~       | 0     |
| PI             | $0,9 \frac{T}{L}$ | $L/0,3$ | 0     |
| PID            | $1,2 \frac{T}{L}$ | 2L      | 0,5L  |

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Blok Sistem



Gambar 6 Diagram Blok Sistem

#### 3.2. Prinsip Kerja Alat

Prinsip kerja dari pengontrolan kecepatan putaran motor DC untuk *spinner cucurbita powder*. Pertama, labu yang sudah dihancurkan dan telah diberikan campuran air berbanding 1:1 disalurkan melalui *valve* ke tabung *spinner*. Kemudian tabung ditutup saat sistem sudah mulai dinyalakan, dan akan diminta untuk memasukkan setpoint yaitu putaran motor (rpm) dan timer (bersifat tetap) yang nantinya akan ditampilkan pada LCD (*Liquid Crystal Display*). Setelah itu saat tombol *start* ditekan maka motor DC akan berputar menuju setpoint yang telah dimasukkan sebelumnya dan dengan bantuan sensor *rotary encoder* sebagai pendeteksi putaran serta feedback untuk kontrol, maka kontrol PID akan dapat menstabilkan kecepatan putar mesin *spinner* ini sesuai setpoint. Selisih antara kecepatan putar dengan *setpoint* akan menghasilkan *error*. Sehingga, mikrokontroler yang didalamnya terdapat kontrol PID secara otomatis mengontrol kecepatan putar motor agar sesuai atau mendekati *setpoint*.

Dan setelah timer habis maka proses pemisahan ampas dengan sari (*spinning*) akan berhenti.

Spesifikasi Alat :

- Sensor : Sensor Rotary Encoder
- Range yang digunakan : Kecepatan yang digunakan 800 RPM- 1000 RPM
- Processor : Arduino Uno
- Actuator : Motor DC
  - Tegangan : 24 V
  - Arus : 13 A
  - Maksimum Kecepatan : 90 RPM
- Display : LCD 16 x 2
- Tegangan Kerja Sumber : 220 VAC

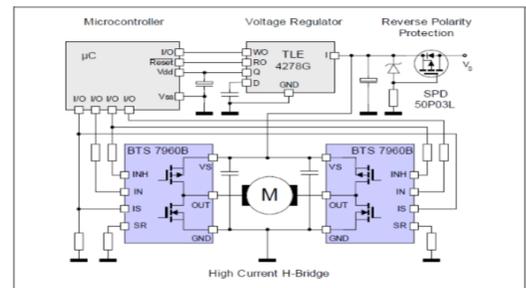
#### 3.3 Perancangan dan Pembuatan Mekanik



Gambar 7 Mekanik Keseluruhan

Mesin *spinning* terdiri dari 2 tabung, yaitu tabung luar sebagai penahan dan tabung dalam sebagai pemisah ampas dan sari. (Gambar 7)

#### 3.4 Perancangan Driver Motor DC

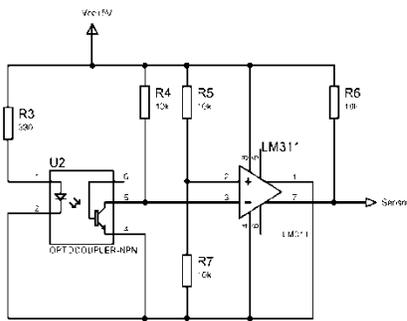


Gambar 8 Rangkaian Driver Motor DC

Gambar 8 merupakan rangkaian driver motor DC yang berfungsi menggerakkan motor DC pada as *spinner*. Untuk menggerakkan motor DC di perlukan tegangan maksimum 24VDC dan arus maksimum 13 Ampere namun pada saat starting arus motor bisa menjadi 2-3 kali lipat, Oleh karena itu digunakan module driver motor BTS7960 yang mampu mengeluarkan arus hingga 43A dengan memiliki fungsi *pulse-width modulation*. Tegangan sumber DC yang dapat diberikan antara 5,5V-27VDC, sedangkan tegangan *input level* antara

3,3V-5VDC ,driver motor ini menggunakan rangkaian *full H-bridge* dengan IC BTS7960 dengan perlindungan saat terjadi panas dan arus berlebihan.

3.5 Rangkaian *Rotary Encoder*

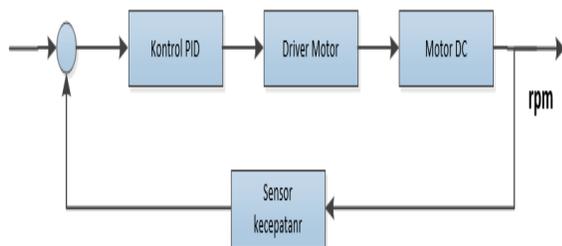


Gambar 9 Rangkaian *Rotary Encoder*

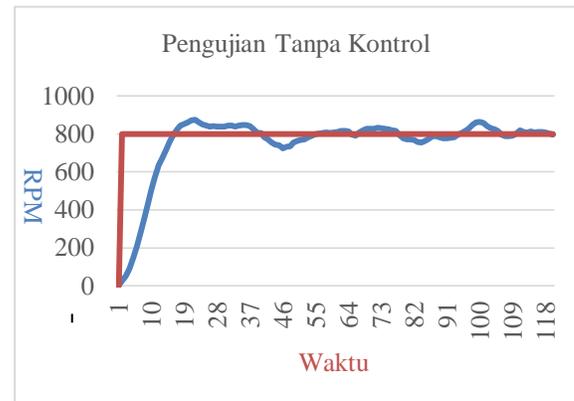
Sensor *rotary encoder* merupakan rangkaian yang berbentuk modul dimana pada rangkaian ini terdapat LED sebagai *transmitter* berupa cahaya dan *phototransistor* sebagai *receiver* cahaya tersebut. Kedua komponen tersebut dipasang berhadapan pada satu tempat dan dipisahkan oleh piringan (*rotary disc*). *Rotary disc* berbentuk lingkaran dan terdapat bagian yang berlubang dan tidak berlubang di tepinya. Bagian yang berlubang dimaksudkan untuk meneruskan cahaya yang dipancarkan *transmitter* untuk dapat diterima oleh *receiver*, dan bagian yang tidak berlubang dimaksudkan untuk menghalangi cahaya tersebut. Sensor *rotary encoder* membutuhkan tegangan minimal 3.3V hingga tegangan maksimal 5.5V untuk pengaktifannya.

3.6 Perancangan PID

PID adalah kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu *Proportional*, *Integratif* dan *Derivatif*. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant. Aksi kendali proporsional mempunyai keunggulan untuk memperkecil kesalahan, dan aksi kendali integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil kesalahan, dan aksi kendali differensial memiliki keunggulan meredam kekurangan tanggapan atau kelebihan tanggapan.



Gambar 10 Blok Kontrol PID



Gambar 11 Grafik Pengujian Sistem Tanpa Kontrol

Gambar 11 diperoleh dari grafik respon *open loop* motor DC. Caranya diberi masukan berupa unit step. Kemudian hasil grafik yang berupa kurva S dicari nilai L dan T dimana L adalah *time delay* dan T *time constant*. Maka didapatkan nilai L=1s dan T=13s. setelah mendapatkan nilai L dan T maka selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$K_p = 1.2 \times \frac{T}{L} \tag{1}$$

$$K_p = 1.2 \times \frac{15,1}{1,98}$$

$$K_p = 9,15$$

$$T_i = 2 \times L \tag{2}$$

$$T_i = 2 \times 1,98$$

$$T_i = 3,96$$

$$T_D = 0.5 \times L \tag{3}$$

$$T_D = 0.5 \times 1,98$$

$$T_D = 0,99$$

Setelah didapatkan nilai  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  maka nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$K_p = K_p \tag{4}$$

$$= 9,15$$

$$K_i = K_p / T_i \tag{5}$$

$$= 9,15 / 3,96$$

$$= 2,31$$

$$K_d = K_p \times T_d \tag{6}$$

$$= 9,15 \times 0,99 = 9,05$$

Dari perhitungan respon dari plant maka didapat nilai

$K_p=9,15$ ,  $K_i=2,31$  dan  $K_d=9,05$

IV. HASIL DAN ANALISA

4.1 Pengujian Sensor Kecepatan

Pengujian sensor kecepatan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor kecepatan yang ditampilkan pada LCD dengan alat ukur Tachometer. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai *error* pembacaan sensor kecepatan. Berikut ini adalah tabel hasil pengujian sensor kecepatan berdasarkan perubahan nilai PWM:

$$E = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100 \% \quad (7)$$

Keterangan :

$E$  = Presentase *error* (%)

$P_1$  = Pembacaan pada sensor kecepatan (rpm)

$P_2$  = Pembacaan pada *tachometer* (rpm)

Tabel 2 Tabel Hasil Pengujian Sensor *Rotary Encoder*

| PWM | RPM Pada LCD | RPM Pada Tachometer | Error Rata - rata |
|-----|--------------|---------------------|-------------------|
| 0   | 0            | 0                   | 2,04%             |
| 50  | 804          | 813                 |                   |
| 100 | 908          | 927                 |                   |
| 150 | 1032         | 1051                |                   |
| 200 | 1139         | 1153                |                   |
| 255 | 1214         | 1231                |                   |

hasil pengujian dari tabel 2 menunjukkan bahwa perbandingan antara sensor *rotary encoder* dengan pembacaan tachometer didapatkan hasil error rata-rata 2,04%.

4.2 Pengujian Rangkaian Driver Motor DC

Pengujian rangkaian driver motor DC ini dilakukan dengan mengubah-ubah nilai *duty cycle* dari 0% hingga 100%. Dan motor DC diberi tegangan sumber 12V. Berikut ini adalah tabel perubahan tegangan motor DC terhadap *duty cycle* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Tabel Hasil Pengujian Diver Motor DC

| <i>Duty Cycle</i> (%) | Tegangan Motor (V) |
|-----------------------|--------------------|
| 10                    | 2.8                |
| 20                    | 5.3                |
| 30                    | 7.7                |
| 40                    | 10.5               |
| 50                    | 12.7               |
| 60                    | 14.8               |
| 70                    | 17.5               |
| 80                    | 19.7               |
| 90                    | 21.6               |
| 100                   | 23.6               |

Berdasarkan data yang didapatkan tabel 3, dapat diplotkan dengan grafik hubungan antara *Duty Cycle* dengan tegangan motor adalah semakin besar nilai *Duty Cycle* semakin tinggi tegangan motor.

4.3 Pengujian Arduino Uno

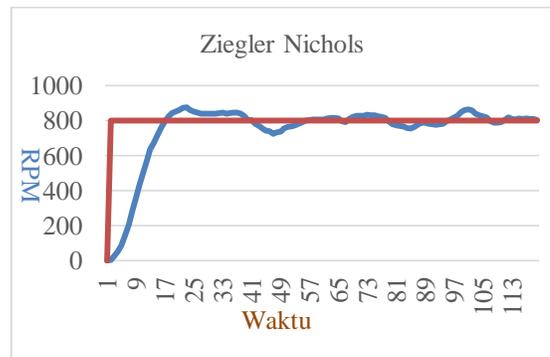
Tabel 4 Hasil Pengujian Arduino Uno

| PIN | PORT B (V) | PORT C (V) | PORT D (V) |
|-----|------------|------------|------------|
| 0   | 4.9        | 4.9        | 4.9        |
| 1   | 4.9        | 4.9        | 4.9        |
| 2   | 4.9        | 4.9        | 4.9        |
| 3   | 4.9        | 4.9        | 4.9        |
| 4   | 4.9        | 4.9        | 4.9        |
| 5   | 4.9        | 4.9        | 4.9        |
| 6   | 4.9        | 4.9        | 4.9        |
| 7   | 4.9        | -          | 4.9        |

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa masing-masing pin pada setiap port berfungsi dengan baik. Pada saat pin untuk setiap port diberi logika high (1) maka tegangan yang dikeluarkan adalah 5V. Maka dari itu mikrokontroler arduino uno dapat digunakan pada penelitian ini karena memiliki tegangan keluaran dan bekerja sesuai dengan fungsi.

4.4 Pengujian PID *Ziegler-Nichols* 1 800 rpm

Pengujian metode PID *Ziegler-Nichols* dilakukan dengan memasukkan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang telah diperoleh pada perancangan *software* di bab sebelumnya, yaitu  $K_p=9.15$   $K_i = 2.31$  dan  $K_d = 9.05$  , serta *setpoint* 800rpm.



Gambar 12 Grafik Respon Hasil Perhitungan PID

Dengan nilai parameter kontroler *Ziegler Nichols* yang telah dihitung tadi, didapatkan respon sistem dengan unjuk kerja yang ditunjukkan pada tabel 6 berikut :

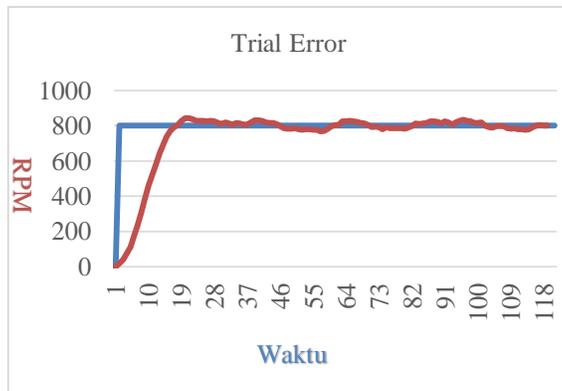
Tabel 6 Karakteristik Respon dengan nilai  $K_p=9.15$   $K_i = 2.31$  dan  $K_d = 9.05$

| Performa Respon Kurva    | Hasil  |
|--------------------------|--------|
| $t_r$ (rise time)        | 10,2 s |
| $t_s$ (settling time)    | 37 s   |
| $t_p$ (peak time)        | 24 s   |
| $Mo$ (Maximum overshoot) | 7,6 %  |

Dari tabel 6 dapat dilihat bahwa respon kontrol PID Ziegler Nichols dengan nilai  $K_p=9.15$   $K_i = 2.31$  dan  $K_d = 9.05$  menghasilkan grafik yang tidak bagus karena settling time masih lambat, terlalu besar overshootnya. Oleh Karena itu dilakukan trial error dan didapat nilai  $K_p=0.03$ ,  $K_i=0.05$  dan  $K_d=0.01$ .

4.5 Pengujian PID metode Trial-Error

Berdasarkan respon sistem kontrol PID yang terdapat pada gambar 13 kurang baik maka, dilakukan trial error dengan mengganti nilai  $K_p$ ,  $K_i$  serta  $K_d$  nya untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Dengan nilai  $K_p=0.03$   $K_i=0.05$  dan  $K_d=0.01$  dengan  $SP=800$  rpm.



Gambar 13 Grafik Hasil Respon Trial error

Dengan nilai parameter kontroller PID yang telah ditentukan tadi, didapatkan respon sistem dengan unjuk kerja yang ditunjukkan pada tabel 7 berikut :

Tabel 7 Karakteristik Respon dengan nilai  $K_p=0.03$   $K_i=0.05$  dan  $K_d=0.01$

| Performa Respon Kurva    | Hasil |
|--------------------------|-------|
| $t_r$ (rise time)        | 10 s  |
| $t_s$ (settling time)    | 15 s  |
| $t_p$ (peak time)        | 13 s  |
| $Mo$ (Maximum overshoot) | 7,1%  |

Berdasarkan percobaan trial error yang telah dilakukan dilihat dari karakteristik responnya yang memiliki  $t_s$  paling cepat dan  $P_o$  yang paling kecil daripada sebelumnya adalah dengan nilai  $K_p=0.03$ ,  $K_i=0.05$  dan  $K_d=0.01$  dan grafiknya lebih stabil

V. PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan bahwa nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  didapatkan dengan perhitungan metode Ziegler Nichols dengan nilai  $K_p=9.15$   $K_i = 2.31$  dan  $K_d = 9.05$  . Memiliki rise time ( $t_r$ ) sebesar 10.2 s, settling time ( $t_s$ ) 37s, peak time ( $t_p$ ) 24 s dan Percent Overshoot ( $P_o$ ) sebesar 7.6 %.
2. Sedangkan perancangan yang telah dilakukan dengan perhitungan metode trial error dengan nilai  $K_p = 0.03$   $K_i = 0.05$  dan  $K_d = 0.01$  . Memiliki rise time ( $t_r$ ) sebesar 10.7 s, settling time ( $t_s$ ) 41s, peak time ( $t_p$ ) 27 s dan Percent Overshoot ( $P_o$ ) sebesar 8.4 %.
3. Beban labu berfungsi sebagai gangguan pada sebuah kontrol. Jumlah beban labu yang diproses pada spinner motor dengan metode PID mempengaruhi karakteristik sistem. Yaitu mempengaruhi kecepatan motor DC

Alat yang telah dibuat ini masih banyak kekurangan. Perlu adanya perbaikan dan penyempurnaan agar alat ini dapat bekerja secara optimal. Ada beberapa hal yang disarankan untuk perbaikan dan penyempurnaan yaitu:

1. Untuk motor yang digunakan bisa diganti dengan motor DC dengan torsi yang lebih besar
2. Kontrol PID bisa menggunakan metode yang lain seperti metode Ziegler Nichols II metode osilasi untuk membandingkan hasilnya.
3. Untuk rangka bawah ditambah lebar agar lebih kuat menahan goncangan

DAFTAR PUSTAKA

[1] Gardjito. 2006. Pengaruh Penambahan Asam Sitrat dalam Pembuatan Manisan Kering Labu Kuning (Cucurbita maxima) terhadap Sifat-Sifat Produknya. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada

[2] Hendrasty, HK 2003 Tepung Labu Kuning. Yogyakarta: Kanisius

[3] Valenzuela et al, 2011. Karakterisasi Labu Kuning (Cucurbita moschata Dutch)

[4] Andrianto, M.(2014). Kendali Kecepatan Motor Direct Current (DC) Menggunakan Proportional Integral Derivative (PID) Controller Terhadap Beban. Malang: Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang

[5] Sokop, Steven Jendri (2016). Trainer Periferal Antarmuka Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno : E-Journal Teknik Elektro dan Komputer vol.5 no.3

[6] <https://www.theengineeringprojects.com/2018/06/introduction-to-arduino-uno.html>

[7] Azlina, Maya. 2013. Pembuatan Alat Ukur Kecepatan Angin Dan Penunjuk Arah Angin Berbasis Mikrokontroler AT-MEGA 8535. Saintia Fisika

[8] Hakim, Lukman. (2012). Implementasi Perhitungan Posisi Robot Dengan FPGA Menggunakan Rotary Encoder. Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Noverber

[9] k1301.ilearning.me/tentang-pwm-pulse-width-modulation

[10] Sutrisno, Meinanto Tri. 2016. Aplikasi Kontrol PID Untuk Mengendalikan Gerak Robot Pemanjat Tiang Pada Kontes Robot Abu Indonesia. Semarang : Universitas Dian Nuswantoro

[11] Gude, Juan (2010). Modified Ziegler-Nichols Method For Fractional PI Controllers : Jurnal IEEE