



Implementasi Metode *Proportional Integral Derivative* (PID) Ziegler Nichols pada Kontrol Mesin Penyangrai Biji Kopi

Implementation of the Ziegler-Nichols Proportional Integral Derivative (PID) Method on Coffee Bean Roasting Machine Controls

Liberius Harsen Nggala^{1*}, Nachrowie², Subairi³

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang

² Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang

³ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang

harsennggala@gmail.com *, nachrowie@unmer.ac.id , subairi@unmer.ac.id

Abstract

PID control has been used in simple or complex machine control. Coffee is an agricultural commodity that is widely used as a food and beverage ingredient. Coffee bean roasting is required before it can be further processed (consumed). This research was conducted to create an automatically controlled coffee bean roaster using the Ziegler-Nichols type-1 PID method. This coffee bean roaster is made with a series of roasters, DC motors, servo motors, ESP32, thermocouple sensors, load cell sensors, ceramic stoves, and other supporting components. The bitterness variations of the coffee beans produced are "light" (3-5% moisture content), "medium" (5-8% moisture content), and "dark" (8-12% moisture content). The Ziegler-Nichols PID control is implemented on this machine to control the degree of rotation of the gas faucet servo motor on the stove so that the temperature in the roasting pan matches the specified set point. Based on the results of the research that has been done, the implementation of PID control was successfully carried out at the temperature set point used, 145°C with a 7,2 KP value, a 0.034 KI value, and a 413.6 KD value. The research tools measurement's average error was 0.32% for temperature, and 0.24% for weight.

Keywords: ESP32, load cell, roasted coffee beans, thermocouple, moisture content, Ziegler-Nichols PID

Abstrak

Kendali PID telah dimanfaatkan dalam berbagai kontrol mesin sederhana maupun mesin kompleks. Kopi merupakan komoditas pertanian yang banyak digunakan sebagai bahan makanan dan minuman. Penyangraian biji kopi diperlukan sebelum dapat diolah lebih lanjut (dikonsumsi). Penelitian ini dilakukan untuk membuat mesin penyangrai biji kopi terkontrol otomatis dengan memanfaatkan metode PID Ziegler-Nichols tipe-1. Mesin penyangrai biji kopi ini dibuat dengan rangkaian wadah sangrai, motor DC, motor servo, ESP32, sensor termokopel, sensor *load cell*, kompor keramik, dan komponen pendukung lainnya, mesin ini juga dilengkapi dengan fitur tiga variasi level kematangan biji kopi yang dapat berpengaruh pada variasi kepahitan dari biji kopi yang dihasilkan yaitu, level "*light*" (3-5% kadar air), "*medium*" (5-8% kadar air), dan "*dark*" (8-12% kadar air). Kendali PID Ziegler-Nichols diimplementasikan pada mesin ini untuk mengontrol derajat putaran motor servo kran gas pada kompor agar suhu pada wadah sangrai sesuai dengan *set point* yang ditentukan. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, implementasi kendali PID ini berhasil dilakukan dengan *set point* suhu yang digunakan, 145°C dengan nilai KP sebesar 7,2, KI sebesar 0,034, dan KD sebesar 413,6. Rata-rata eror dari pengukuran alat penelitian yang diperoleh yaitu untuk suhu sebesar 0,32%, dan untuk berat sebesar 0,24%.

Kata kunci: ESP32, *load cell*, sangrai biji kopi, termokopel, kadar air, Ziegler-Nichols PID

1. Pendahuluan

Dari berbagai faktor penyebab penurunan "*quality&quantity*" dari industri kopi salah satunya yaitu lemah produksi yang disebabkan oleh proses penyangraian biji kopi yang dilakukan untuk mengurangi "kadar air" yang menciptakan varietas kepahitan kopi, masih dikerjakan manual dan sederhana (tradisional), dan mengakibatkan proses tersebut memakan waktu dan tenaga yang tidak efisien [1]. Tingkat penyangraian terdiri dari tiga, yakni "*light*" dengan nilai kadar air 3-5% , "*medium*" dengan nilai kadar air 5-8%, dan "*dark*" dengan nilai kadar air 8-12% [2].

Metode PID (*Proportional Integrative Derivative*) adalah metode kontrol umpan balik yang secara terus-menerus menghitung nilai kesalahan sebagai perbedaan antara *setpoint* yang direncanakan dan variabel proses yang diukur yang biasa digunakan dalam sistem kontrol industri. Kontrol PID bertujuan untuk mengurangi nilai kesalahan dari waktu ke waktu dengan memodifikasi variabel kontrol, seperti posisi katup kontrol atau *dumper*. Kontroler PID tipe-1 Ziegler-Nichols menggunakan sistem *open loop* dimana sistem diberi *input* langkah untuk menghasilkan respon *open loop* [4].

Metode ini diimplementasikan pada mesin penelitian sebagai pengatur sudut motor servo agar aliran gas dari kompor disesuaikan dengan data suhu yang diterima dari sensor termokopel. Penelitian ini dilakukan untuk membuat mesin sangrai kopi yang dapat meningkatkan efisiensi waktu dan tenaga dalam pengolahan biji kopi agar meningkatkan kualitas produksi kopi, selain itu penelitian ini bertujuan agar dapat mengimplementasikan metode kendali PID Ziegler-Nichols sebagai kontrol dari mesin sangrai kopi yang dibuat.

2. Metodologi

Penelitian yang dilakukan pada tahun 2019 oleh Dicky Kurniawan, Dwi Arman Prasetya, dan Wahyu Dirgantara dengan judul “Implementasi *Proportional Integral Derivative* (PID) pada Simulator DOF 2 Kursi”, mengimplementasikan metode PID untuk mengubah sudut motor servo menjadi sudut yang telah ditentukan yaitu sebanyak empat titik sudut, dan pada penelitian ini hanya menggunakan satu buah sensor [7]. Berlandaskan penelitian tersebut dan untuk mengembangkannya, penelitian ini menambahkan jumlah jenis sensor yang digunakan yaitu sensor termokopel untuk membaca data temperatur pada wadah penyangrai, sensor RPM membaca data putaran motor DC pengaduk, dan sensor *load cell* untuk mengonversi nilai berat kopi menjadi nilai kadar air biji kopi. Data dari ketiga sensor ini nantinya yang akan di proses dan dirimkan oleh mikrokontroler ESP32 ke platform thingspeak menampilkan data informasi penelitian. ESP32 juga akan menjalankan perintah mengaktifkan *driver* motor servo yang diatur dengan metode PID Ziegler-Nichols yang akan mengatur kran gas agar aliran gas yang mengalir akan menyesuaikan data suhu yang diterima dari wadah *roasting*. Penelitian ini juga memanfaatkan *driver* SSR untuk mengaktifkan modul pemantik api kompor, *driver* MOSFET yang digunakan untuk mengatur motor DC pengaduk agar biji kopi dapat matang/tersangrai secara merata serta menggunakan modul *relay* untuk mengontrol motor penarik untuk membuka dan menutup pintu wadah sangrai ketika biji kopi sudah “matang”.

PID (*Proportional Integral Derivative*)

Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) adalah mekanisme kontrol umpan balik, biasanya digunakan dalam sistem kontrol industri. Kontroler PID secara terus menerus menghitung nilai error sebagai selisih antara set point yang diinginkan dengan variabel proses yang terukur [14]. Pengontrol mencoba meminimalkan nilai kesalahan setiap kali dengan mengatur variabel kontrol ke nilai baru, yang dikonfirmasi oleh penambahan yang dijelaskan oleh persamaan. Metode PID diterapkan pada motor servo untuk mengatur keran gas berdasarkan data suhu yang diterima dari sensor termokopel dan untuk mengatur *set point* suhu. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$mv(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d de(t)/dt$$

Keterangan :

$mv(t)$ = output dari *controller* PID atau variabel yang dimanipulasi

K_p = konstanta skala

T_i = konstanta integral

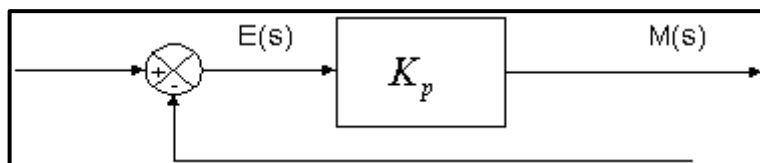
T_d = konstanta turunan

$e(t)$ = *error* (perbedaan antara titik setel dan level aktual)

Pengendali *Proportional*

Pengontrol proporsional memiliki tujuh *output* sinyal kontrol yang sebanding dengan besarnya perubahan nilai kesalahan (perbedaan antara titik setel sistem dan nilai aktual yang dibaca oleh sensor). Dapat dikatakan bahwa *output* dari kontroler proporsional adalah nilai konstanta proporsional dikalikan dengan nilai *error*. Oleh karena itu, *Proportional Controller* memiliki pengaruh langsung (proporsional) terhadap error, yaitu semakin besar error maka semakin besar pula sinyal kontrol yang dihasilkan oleh *Proportional Controller*. Sinyal kesalahan (*error*) adalah selisih antara nilai *set point* dengan nilai aktual yang terbaca. Perbedaan ini

mempengaruhi pengontrol, memberikan sinyal positif (mempercepat pencapaian nilai *setpoint*) atau sinyal negatif (memperlambat pencapaian nilai yang diinginkan).



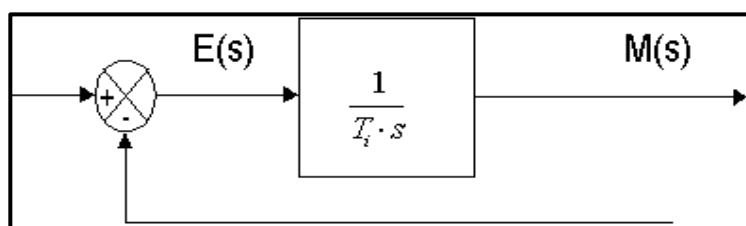
Gambar 1. Diagram blok kendali proporsional

Gambar 1 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran setting, besaran aktual dengan besaran keluaran controller proporsional. Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran *setting* dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi controller, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga setting) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan). Ketika pengontrol diterapkan pada sistem, karakteristik pengontrol proporsional harus dipertimbangkan di beberapa titik, diantaranya : yang pertama, jika nilai K_p kecil, pengontrol proporsional hanya dapat melakukan koreksi kesalahan kecil, yang akan memperlambat respon sistem. Yang kedua, jika nilai K_p dinaikkan maka respon sistem menunjukkan keadaan tunak yang lebih cepat. Yang ketiga, jika nilai K_p dinaikkan hingga mencapai harga yang terlalu tinggi, maka akan mengakibatkan operasi sistem tidak stabil atau respon sistem tidak normal.

Pengendali Integral

Kontroller integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah plant tidak memiliki unsur integrator ($1/s$), kontroller proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Dengan kontroller integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol.

Pengontrol integral memiliki atribut yang sama dengan Integral. *Output* pengontrol sangat dipengaruhi oleh tujuh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. *Output* dari pengontrol adalah jumlah terus menerus dari perubahan inputnya. Ketika nilai sinyal kesalahan nol, nilai sinyal keluaran akan sama dengan harga sebelumnya. Sirkuit integrator yang menggunakan op amp sangat mirip dengan sirkuit "loop tertutup" lainnya yang menggunakan umpan balik resistif. Perbedaannya di sini adalah bahwa umpan balik menggunakan kapasitor (C). Sinyal keluaran kontroler integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan penggerak-lihat konsep numerik. Sinyal keluaran akan berharga sama dengan harga sebelumnya ketika sinyal kesalahan berharga nol.



Gambar 2. Blok diagram hubungan besaran kesalahan dengan kendali integral

Pengendali differential

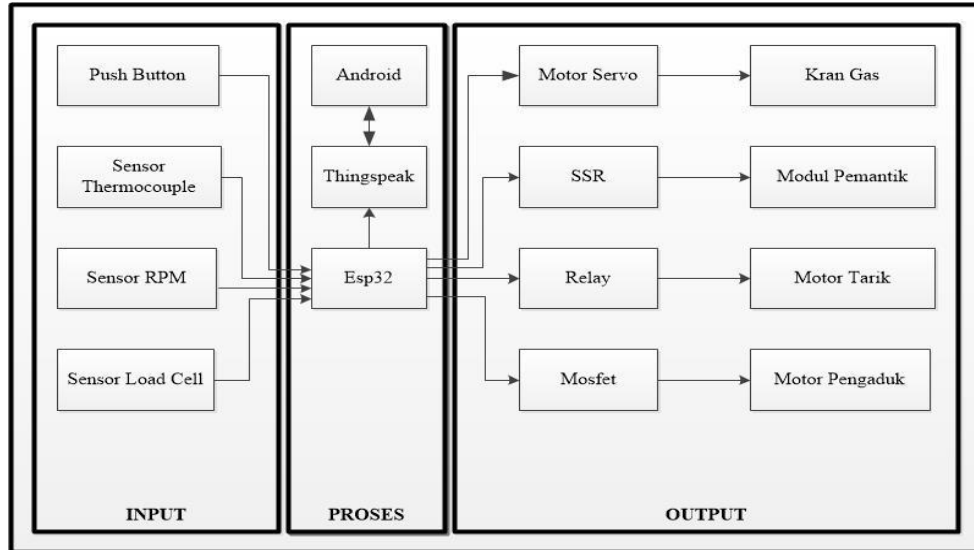
Besarnya sinyal kontrol sebanding dengan perubahan kesalahan (e). Semakin cepat perubahan kesalahan, semakin besar efek kontrol yang dihasilkan. *Output* dari kontroler derivatif memiliki sifat yang sama dengan operasi derivatif. Perubahan input pengontrol yang tiba-tiba akan menghasilkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Karakteristik dari kontroler diferensial yaitu, pertama, jika masukan tidak berubah (berupa sinyal kesalahan), pengontrol tidak dapat menghasilkan keluaran. Kedua, jika sinyal kesalahan bervariasi dengan waktu, keluaran yang dihasilkan oleh pengontrol bergantung pada nilai T_d dan laju perubahan sinyal kesalahan. Yang ketiga, kontroler diferensial memiliki karakter leading sehingga kontroler dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkitan eror menjadi sangat besar.

Berdasarkan karakteristik pengontrol, pengontrol diferensial umumnya digunakan untuk mempercepat respon awal sistem, tetapi tidak dapat meminimalkan kesalahan dalam keadaan tunaknya. Pengontrol diferensial bekerja hanya dalam rentang yang sempit, yaitu selama periode transisi. Oleh karena itu, pengontrol diferensial

tidak pernah digunakan tanpa pengontrol lain dalam sistem. Peran alat metode PID adalah mengatur aliran gas yang diatur pada keran gas melalui kerja motor servo.

Perancangan Sistem Penelitian

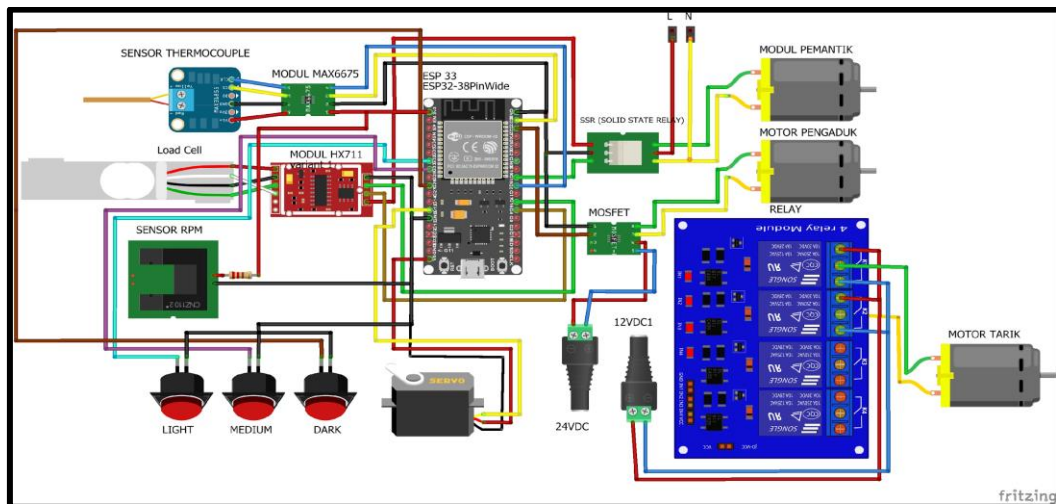
Blok Diagram Penelitian



Gambar 3. Blok diagram

Berdasarkan blok diagram yang ditunjukkan oleh Gambar 3 diatas terdapat beberapa proses yang dikerjakan oleh mesin sangrai kopi pada penelitian ini yaitu proses *input*, proses dan *output*. Pada bagian *input* terdapat beberapa komponen yang digunakan yaitu *push button*, sensor *thermocouple*, sensor *rpm* dan sensor *load cell* dari keempat *input* tersebut akan mengirimkan data yang dibaca oleh masing-masing input ke mikrokontroler ESP32. Kemudian pada bagian proses, ESP32 akan memproses data dari push button, sensor *thermocouple*, sensor *rpm* dan sensor *load cell*, dan data – data tersebut diproses sesuai program yang kemudian dikirim ke server ThingSpeak sebagai media monitoring. Selain mengupload data informasi ke ThingSpeak, ESP32 juga mengontrol *driver* motor servo untuk mengatur putaran kran gas kompor, *driver* SSR untuk mengatur modul pemantik, *relay* untuk mengatur motor penarik buka/tutup wadah sangrai, dan *driver* MOSFET untuk mengatur putaran motor DC pengaduk sangrai kopi.

Perancangan Elektronika

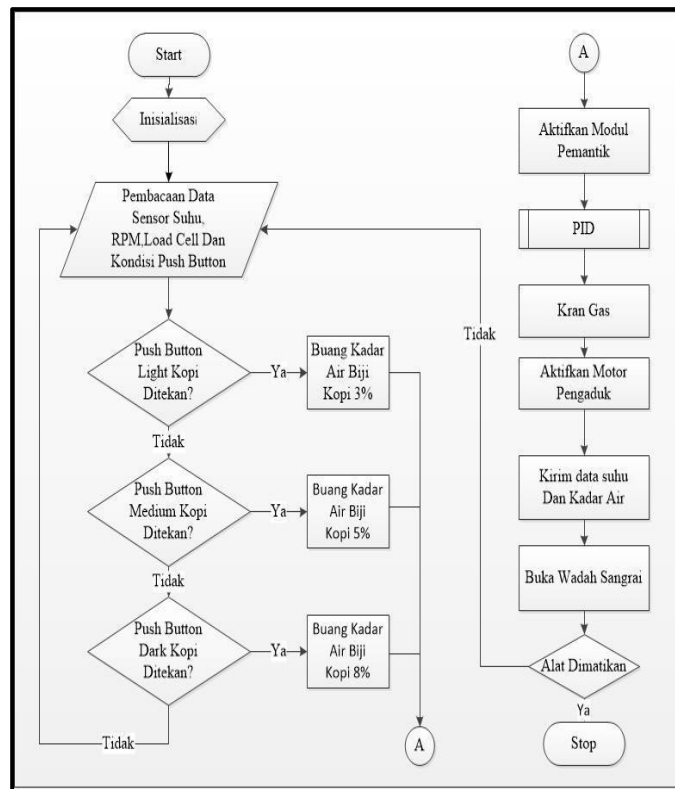


Gambar 4. Perancangan skematik rangkaian elektronika

Gambar 4 merupakan tampilan perancangan skematik rangkaian elektronika dalam mesin penyangrai kopi pada penelitian ini. Semua komponen elektronik maupun mesin (motor) dirangkai sesuai dengan Gambar 4, dimana *push button* sebagai media untuk memilih fitur tingkat kematangan biji kopi, sensor *thermocouple* untuk membaca data suhu, sensor rpm digunakan untuk membaca data putaran motor, sensor *load cell* berfungsi membaca data berat biji kopi. ESP32 berfungsi menerima data dan menjalankan perintah program, *driver* motor servo akan mengatur sudut kran gas.

MOSFET difungsikan untuk mengatur putaran motor pengaduk, *driver* SSR digunakan untuk mengaktifkan motor untuk modul pemantik dan *relay* digunakan untuk mengontrol motor penarik saat membuka dan menutup pintu wadah sangrai. Seluruh komponen elektronik seperti sensor termokopel, sensor *load cell*, sensor RPM, modul driver MOSFET, *push button*, motor DC pengaduk, motor servo, motor penarik tutup wadah sangrai, mikrokontroler ESP32, yang bertegangan DC mendapatkan sumber tegangan dari *power supply* DC, sedangkan yang menggunakan arus AC seperti SSR (*solid state relay*) memperoleh sumber tegangan dari *power supply* AC.

Diagram Alir Sistem Mesin Sangrai Kopi



Gambar 5. Diagram alir sistem mesin sangrai kopi

Pada Gambar 5 dijelaskan alur dari sistem mesin sangrai kopi penelitian yang ditanamkan ke dalam mikrokontroler ESP32. Sistem dimulai dari inisialisasi *library* dari semua komponen mekatronik, dan platform *ThingSpeak*. Selanjutnya ESP32 membaca *input* data *push button*, data sensor *thermocouple*, data sensor *load cell*, data sensor rpm, dan output motor servo, *relay*, MOSFET, serta SSR untuk modul pemantik. Kemudian proses selanjutnya adalah pemilihan tingkat kematangan biji kopi yang akan disangrai melalui data kondisi *push button*. Jika PB ditekan, selanjutnya mikrokontroler ESP32 akan mengaktifkan modul pemantik. Jika PB tidak ditekan, maka akan kembali ke proses pembacaan data sensor dan kondisi *push button*.

Proses selanjutnya adalah proses PID Ziegler-Nichols yang ditanamkan pada kontroller ESP32, metode PID digunakan untuk mengontrol kran gas sampai pada titik *set point* yang ditentukan yaitu suhu 145°C. Selanjutnya kontroler ESP32 akan mengindikasikan MOSFET untuk mengaktifkan motor pengaduk dengan memberikan logika *high* (1/aktif) agar biji kopi dapat matang secara merata. Proses selanjutnya adalah pengiriman data kadar air yang diperoleh dari pengonverisian dari berat biji kopi dengan menggunakan landasan pemilihan

tingkat kematangan pensangraian kopi, dan data suhu wadah pensangraian kopi. Selanjutnya, jika kadar air yang diterima dalam pengonversian berat dari biji kopi telah memenuhi kondisi yang sesuai maka kontroller ESP32 akan mengindikasikan logika *high* kepada *relay* untuk mengaktifkan motor penarik agar motor penarik menarik pintu wadah sangrai keluar dan biji kopi yang telah disangrai akan keluar otomatis menuju wadah penampungan kopi dan sistem akan dihentikan. Namun sebaliknya, jika kondisi kadar air yang telah dikonversikan ke dalam bentuk berat tersebut belum sesuai maka proses yang terjadi adalah proses awal pembacaan data sensor dan lainnya.

Perancangan perhitungan PID Penelitian

Tabel 1. Parameter PID untuk ZN tipe-1

Tipe pengendali	Kp	Ti	Td
P	T/L	∞	0
PI	0,9 T/L	L 0,3	0
PID	1,2 T/L	2L	0,5L

Tabel 1 menunjukkan tabel parameter PID tipe-1. Dalam melakukan proses desain kendali PID dengan metode ZN tipe 1, sistem yang dibuat adalah sistem *open loop*. Namun untuk *plant* gas tidak bisa digunakan sistem *open loop* karena gas yang mengalir pada kompor harus di sesuaikan dengan data suhu yang di terimah. Sehingga untuk melakukan proses desain kendali PID harus dibuat Sistem kendali *closed loop*. Setelah respon *close loop* didapat, langkah selanjutnya yaitu menentukan nilai 'Kp', 'Ti', 'Td', 'Ki' dan 'Kd' dengan menggunakan persamaan (1) berikut :

$$\begin{aligned}
 K_p &= 1,2.T/L \\
 T_i &= 2L \\
 T_d &= 0,5.L \\
 K_i &= K_p/T_i \\
 K_d &= K_p \times T_d
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Keterangan :

- Kp = konstanta *propotional*
- Td = waktu yang dibutuhkan untuk memprediksi keadaan selanjutnya
- Ti = penjumlahan nilai error sebelumnya dengan waktu Ti detik
- Ki = konstanta *integral*
- Kd = konstanta *derivative*
- L = waktu tunda
- T = konstanta waktu

3. Hasil dan Pembahasan

Sebelum dirakit menjadi mesin sangrai kopi, sensor termokopel, sensor load cell, sensor RPM harus diuji terlebih dahulu untuk membuktikan bahwa sensor yang digunakan dapat berfungsi dengan baik. Pengujian sensor ini dilakukan dengan menjalankan program *library* sensor yang tersedia pada *cloud* Arduino IDE pada mikrokontroler ESP32.



Gambar 6. Pengujian sensor termokopel dengan pembanding HTC-2

Gambar 6 menunjukkan sensor termokopel yang digunakan pada mesin yang dibuat pada penelitian ini. Sensor ini digunakan untuk membaca suhu kopi sangrai di dalam wadah sangrai. Hasil pengujian sensor termokopel ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Perbandingan Sensor Termokopel Penelitian dengan *Thermometer HTC-2*

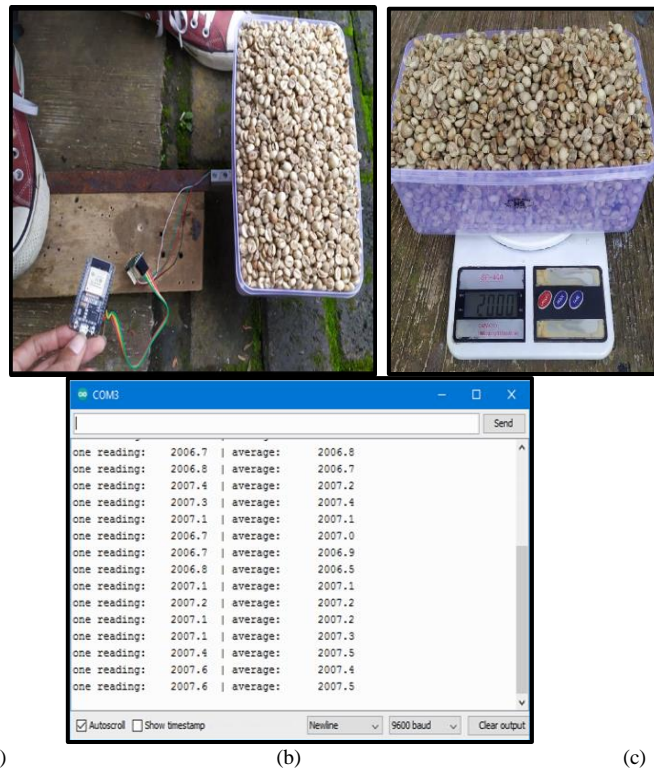
Percobaan	<i>Termokopel Penelitian (°C)</i>	<i>Hygrometer HTC-2(°C)</i>	<i>Error (%)</i>	<i>Akurasi (%)</i>
1	70,25	70	0,36%	99,64%
2	57,5	57,6	0,17%	99,83%
3	51,75	51,9	0,29%	99,71%
4	66,75	66,7	0,07%	99,93%
5	32,25	32,5	0,77%	99,23%
6	30,5	30,4	0,33%	99,67%
7	36,75	37,1	0,94%	99,06%
8	60,5	60,5	0%	100%
9	42,25	42,2	0,12%	99,88%
10	46,25	46,3	0,11%	99,89%
Rata-rata			0,32%	99,67%

Pada Tabel 2 terdapat data perbandingan pengujian pengukuran nilai suhu wadah sangrai dengan alat penelitian melalui sensor termokopel dengan alat pengukur suhu standard / komersil yaitu *hygrometer (HTC-2)*. Error suhu rata-rata yang diperoleh berdasarkan Tabel 2. yaitu sebesar 0,32% dan akurasi rata-rata sebesar 99,67%. Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai error (%) dan akurasi (%) adalah sebagai berikut :

$$Error \% = \frac{Pengukuran\ alat - Pengukuran\ standard}{Pengukuran\ standard} \times 100\% \quad (2)$$

$$Akurasi = 100\% - error \quad (3)$$

dengan nilai Pengukuran alat merupakan nilai dari sensor *thermocouple*, nilai Pengukuran standard yang diperoleh dari nilai *hygrometer HTC-2*. Melalui persamaan (3) di atas maka akan didapatkan nilai error (%) dengan cara membagi nilai selisih kedua sensor dengan nilai *hygrometer HTC-2* kemudian dikalikan dengan nilai 100. Nilai akurasi didapatkan setelah mengetahui nilai error, dengan mengurangkan rasio persentase 100% dengan nilai error yang diperoleh sebelumnya.



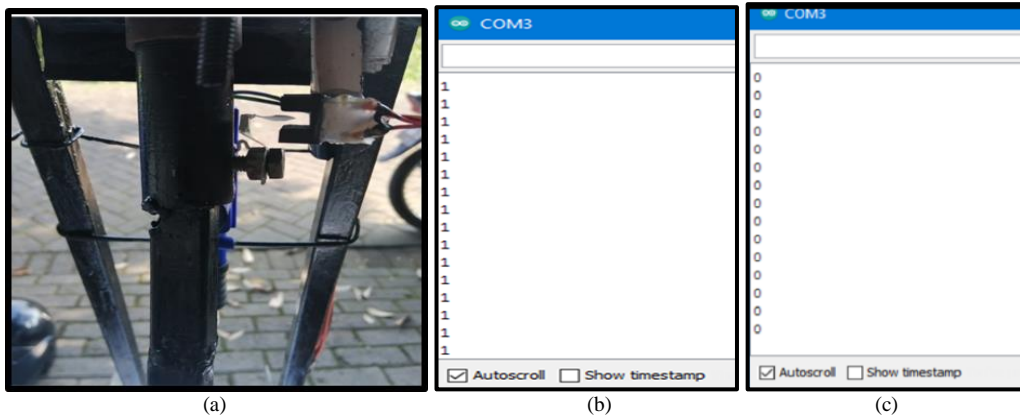
Gambar 7. Pengujian sensor *load cell* dengan pembandingan timbangan digital

Gambar 7 (a) menunjukkan sensor *load cell* yang digunakan pada mesin pada penelitian ini. Sensor ini digunakan untuk membaca berat biji kopi yang telah disangrai di dalam wadah sangrai. Pada Gambar 7 (a), sensor *load cell* dirangkai dengan *module HX711* yang berfungsi untuk mengonversi perubahan yang terukur dalam perubahan resistansi dan mengonversinya ke dalam besaran tegangan dimana besaran ini diteruskan ke ESP32. Data berat kopi sangrai yang dibaca oleh sensor ini akan digunakan sebagai nilai konversi untuk menentukan tingkat kadar air biji kopi sangrai. Hasil perbandingan pengujian sensor *load cell* dengan nilai pembandingan dari timbangan digital ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan data berat timbangan digital dengan sensor *load cell*

No	Timbangan digital (g)	<i>Load cell</i> sensor (g)	<i>Error</i> (%)	<i>Accuracy</i> (%)
1	1000	1005	0,5 %	99,5 %
2	1500	1507	0,47 %	99,53%
3	2000	2007	0,35 %	99,65 %
4	2500	2505	0,2 %	99,8 %
5	3000	3009	0,3 %	99,7 %
6	3500	3507	0,2 %	99,8 %
7	4000	4002	0,05 %	99,95 %
8	4500	4505	0,11 %	99,89 %
9	5000	5005	0,1 %	99,9 %
10	6000	6007	0,12 %	99,72 %
Rata-rata			0,24 %	99,76 %

Pada Tabel 3. pengujian yang dilakukan sebanyak 10 kali dengan berat awal 1000gr sampai dengan berat 6000gr dengan error berat rata-rata 0,24% dan ketelitian rata-rata 99,76%. Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai error (%) nilai berat adalah persamaan (2) dengan menggunakan nilai yang diperoleh dari sensor load cell sebagai nilai Pengukuran Alat, dan nilai dari timbangan digital sebagai nilai Pengukuran standard. Demikian juga untuk mencari nilai akurasi dari sensor *load cell* sesuai dengan persamaan (3).



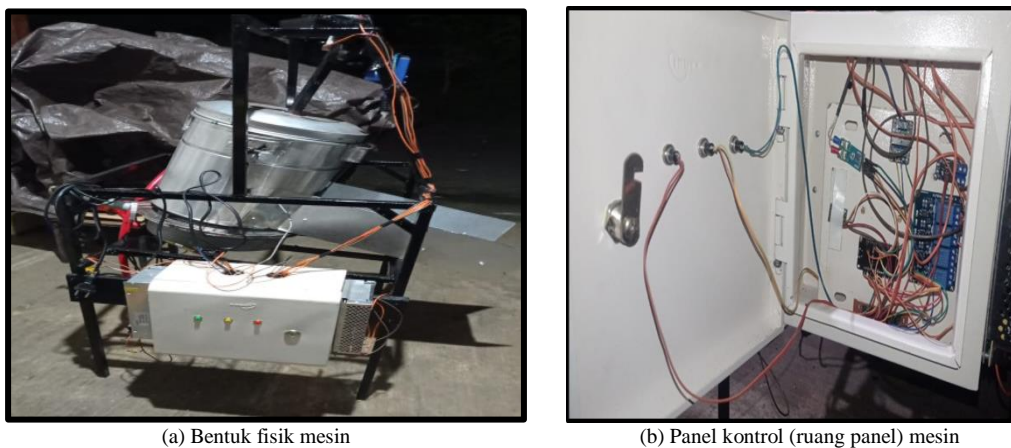
Gambar 8. Pengujian sensor RPM

Gambar 8 (a) menggambarkan sensor RPM yang digunakan pada mesin pada penelitian ini. Sensor ini digunakan untuk membaca putaran motor pengaduk biji kopi. Cara pengujian sensor RPM dilakukan dengan menggunakan penghalang dan tanpa penghalang sebagai tolak ukur perbandingannya.

Tabel 4. Pengujian Input Sensor RPM

Kondisi sensor RPM	Logika
Tanpa Penghalang	1
Ada Penghalang	0

Tabel 4 merupakan hasil dari pengujian sensor RPM sebagai input. Ketika sensor RPM diberi penghalang maka akan ditampilkan angka 1 (aktif) pada serial monitor seperti pada Gambar 6(b) dan ketika diberi penghalang maka akan ditampilkan angka 0 (mati) pada serial monitor seperti yang ditunjukkan Gambar 6(c).



Gambar 7. Keseluruhan tampilan mesin sangrai kopi

Gambar 7(a) menunjukkan hasil proyek penelitian yang telah berhasil dilakukan yaitu mesin sangrai kopi otomatis. Pada mesin terdapat berbagai bagian seperti wadah penyangrai kopi, kompor, motor servo, motor pengaduk biji kopi, sensor load cell, sensor rpm, sensor termokopel, lava atau jalur sangrai kopi, dan ruang panel. Ruang panel ditunjukkan pada Gambar 7(b). Pada ruang panel terdapat berbagai komponen yang digunakan dalam

penelitian ini seperti controller ESP-32, MOSFET, rangkaian kabel untuk sensor, relay, SSR, dan beberapa komponen lainnya. Ruang panel sangat dibutuhkan pada mesin sangrai ini karena komponen-komponen kecil akan rusak jika terkena panas langsung dari api kompor sangrai kopi.

Proses penerapan alat *roasting* kopi secara langsung dimulai dari alat dihubungkan ke sumber tegangan, kemudian pada serial monitor akan menampilkan tulisan “Masukan Kopi” maka kopi siap dimasukkan ke wadah sangrai. Setelah kopi dimasukkan ke dalam wadah pilih tingkatan kematangan biji kopi sesuai keinginan dengan pilihan pada *push button* yaitu “Light”, “Medium” dan “Dark”.



Gambar 8. Proses penyangraian biji kopi

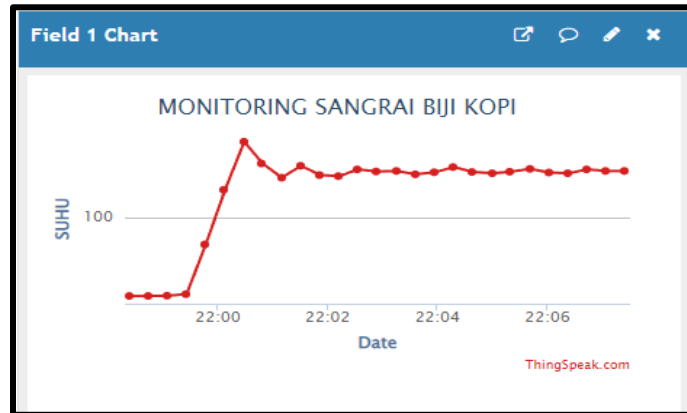
Gambar 8 merupakan tampilan kerja alat pada saat proses penyangraian kopi. Ketika *push button* telah ditekan maka servo akan berbunyi tanda bawah kran gas dibuka secara *full* untuk mengejar *set point* yang telah ditetapkan yaitu 145 °C. Motor pemantik akan menyalakan kompor dan motor pengaduk akan berputar secara otomatis. Jika nilai suhu pada wadah lebih dari *set point* maka servo agar bergerak ke sudut yang lebih kecil dan jika nilai suhu kurang dari *set point* maka servo akan bergerak ke sudut yang lebih besar untuk mengecilkan kran gas. Untuk pembacaan putaran motor pengaduk akan dibaca oleh sensor RPM. Pada alat ini parameter kematangan menggunakan kadar air. Untuk kadar yang harus dihilangkan yaitu *Light* sebesar 3%, *Medium* sebesar 5% dan *Dark* sebesar 8%. Saat proses *roasting* berlangsung sensor *load cell* akan membaca data berat, ketika data berat yang terbaca telah sesuai dengan tingkatan kematangan yang dipilih atau dikatakan matang maka motor pengaduk dan motor pemantik akan berhenti bekerja secara otomatis dan motor penarik akan membuka wadah sangrai untuk mengeluarkan biji kopi.

Tabel 5. Pembacaan suhu seluruh proses sangrai kopi

RPSA	RPSS	Error (%)	Akurasi keseluruhan (%)
32,04	32,0	0,124737395	99,88
46,69	46,7	0,02123630701	99,98
75,37	75,4	0,04000701493	99,96
102,67	103,0	0,3169381369	99,69
120,77	121,0	0,1861211666	99,80
129,43	130,0	0,4386522568	99,57
136,33	136,0	0,2445916383	99,76
144,24	144,3	0,0403773131	99,96
159,77	160,0	0,1407541322	99,86
178,63	179,0	0,2088623667	99,80

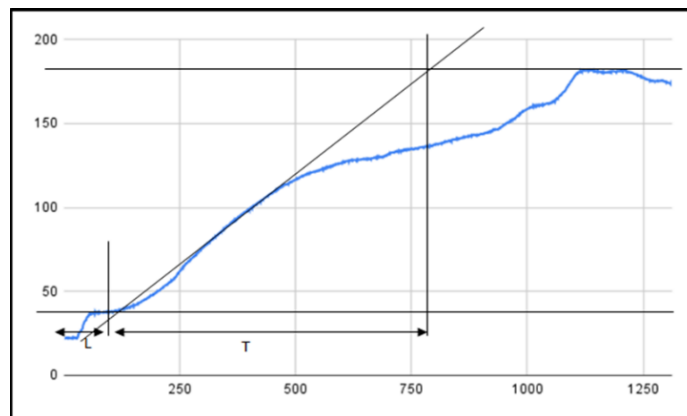
Rata-rata	0,176227728	99,82
-----------	-------------	-------

dengan RPSA adalah rata-rata pembacaan suhu dengan alat penelitian, dan RPSS adalah rata-rata pembacaan suhu dengan alat standard (*hygrometer* HTC-2). Untuk perhitungan error dan akurasi suhu keseluruhan proses sangrai kopi diperoleh dengan menggunakan persamaan (2) dan (3), sama seperti perhitungan pada Tabel 3.



Gambar 9. Tampilan data monitoring sangrai kopi pada *ThingSpeak*

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 9 menunjukkan bahwa pemantauan data suhu dari proses pemanggangan biji kopi di *ThingSpeak* dapat berjalan dengan baik menggunakan sensor *thermocouple* yang dikirim dari mikrokontroler ESP32 setiap dua puluh detik (20s). Data suhu dimulai dari suhu udara normal yaitu 22,5°C dan terus meningkat dengan waktu pemanasan kemudian terjadi *overshot* sejauh 170 C° setelah 140 detik pertama dan kembali ke suhu *setting point* 145°C.



Gambar 10. Grafik data suhu penyangraian biji kopi

Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa suhu akan terus meningkat seiring dengan waktu pemanasan dan akan mencapai titik suhu terpanas yang stabil. Pada metode Ziegler-Nichols menyatakan bahwa sisi linear ketika data suhu sedang naik akan ditarik garis dimana perpotongan garis dengan suhu awal disebut sebagai L sedangkan perpotongan antara garis dengan suhu tertinggi disebut sebagai T. Dari pengamatan data suhu pemanasan di dapatkan nilai L = 110 dan T = 690. Setelah nilai L dan T didapat kemudian dimasukkan rumus-rumus PID untuk Ziegler- Nichols tipe-1 sebagai berikut:

$$K_p = 1,2 \frac{T}{L} = 1,2 \frac{690}{110} = 7,52 \quad (4)$$

$$T_i = 2L = 2 \times 110 = 220 \quad (5)$$

$$T_d = 0,5 \cdot L = 0,5 \times 110 = 55 \quad (6)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{7,52}{220} = 0,034 \quad (7)$$

$$Kd = K_p \times T_d = 7,52 \times 55 = 413,6 \quad (8)$$

Dari perhitungan menggunakan aturan Ziegler-Nichols didapatkan data $K_p = 7,52$ $K_i = 0,034$ dan $K_d = 413,6$. Setelah proses perhitungan konstanta K_p , K_i dan K_d selanjutnya adalah pengujian keseluruhan proses *roasting* kopi dengan *setting point* 145°C menggunakan metode PID dalam mengendalikan suhu pemanasan melalui kontrol motor servo yang digunakan sebagai pemutar kran gas.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan penerapan nilai K_p , K_i dan K_d untuk memperoleh suhu *setpoint* pada sistem yang dibuat dapat bekerja dengan baik Dan seluruh komponen yang digunakan bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Prototipe mesin sangrai biji kopi dapat mengaduk biji kopi menggunakan motor DC dengan *driver* MOSFET sebagai kendalinya. Proses pemanasan menggunakan kompor keramik dengan bahan bakar gas. Monitoring alat penyangrai kopi menggunakan platform *ThingSpeak* yang telah bekerja dengan baik dalam menyimpan data suhu penyangraian dalam bentuk grafik. Implementasi metode PID pada alat penyangrai kopi digunakan pada pengendalian putaran motor servo untuk aliran gas yang masuk ke kompor stove keramik menggunakan rumus Ziegler Nichols dalam menghitung konstanta K_p , K_i dan K_d . Pada pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai $K_p = 7,52$ $K_i = 0,034$ dan $K_d = 413,6$. Hal yang perlu diperhatikan adalah mikrokontroler ESP32 yang dimana pada ESP32 sangat rentan terhadap *noise* yang disebabkan oleh pemantik elektrik sehingga ketika proses penyalaan kompor berjalan dapat mengganggu proses tersebut dikarenakan mikrokontrolernya akan berhenti bekerja, untuk menghindari hal tersebut maka hal yang harus dilakukan adalah memasang *grounding* pada modul pemantik dan *re-start* mikrokontroler tersebut. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya Kami mengarahkan sebaiknya dapat menggunakan wadah sangrai yang berukuran lebih besar, menggunakan motor pembuka wadah sangrai yang tahan terhadap panas, dapat menambahkan fitur MIT App Inventor, dapat menempatkan sensor load cell yang lebih efisien sehingga dapat membaca berat dengan baik serta dapat menjaga keseimbangan alat, serta penggunaan mikrokontroler yang tahan terhadap *noise*.

Referensi

- [1] Titan, M. (2022). Rancangan Mesin Sangrai Biji Kopi Otomatis 5 Kg Dengan Tipe Silinder Horizontal. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT], 2(3).
- [2] Hariyanto, S., Yuniawan, D., & Putra, A. F. P. (2019). Implementasi Mesin Sangrai Kopi Pada UKM Kopi Bubuk "Bias Kahyangan" Di Desa Arjowinangun-Kota Malang. *Abdimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Merdeka Malang*, 4(1), 1-6.
- [3] Nasution, N., Rizal, M., Setiawan, D., & Hasan, M. A. (2020). IoT Dalam Agrobisnis Studi Kasus: Tanaman Selada Dalam Green House. *IT Journal Research and Development*, 4(2).
- [4] Fauzan fauziansyah. (2015). Desain Kendali PID Dengan Metoda Ziegler-Nichols Dan Cohen-Coon Menggunakan Matlab Dan Arduino Pada Plant Level Air. Politeknik Negeri Bandung.
- [5] Budiharjono, K., & Fahmi, W. M. (2020). Strategi Peningkatan Produksi Kopi Robusta (*Coffea L.*) Di Desa Pentingsari, Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agroinfo Galuh*, 7(2), 373-379.
- [6] Suprapmoko, Agus, Rahman Arifuddin, and Aries Boedi Setiawan. (2020). "Mesin Nasi Goreng Otomatis Menggunakan Metode PID Berbasis Arduino Mega 2560." *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)* 5.1 : 9-14.
- [7] Prasetya, D. A., & Dirgantara, W. (2019). Implementasi Propotional Integral Derivative (PID) pada Kursi Simulator 2 DOF. *Prosiding SENIATI*, 116-121.
- [8] Sorongan, E., Hidayati, Q., & Priyono, K. (2018). ThingSpeak sebagai Sistem Monitoring Tangki SPBU Berbasis Internet of Things. *JTERA-Jurnal Teknologi Rekayasa*, 3(2), 219-224
- [9] Surya Santika, Nachrowie Nachrowie, Dwi Arman Prasetya, Basitha F Hidayatulail. (2019). MINI PLANT SISTEM PENGENDALI BERAT LIMESTONE PADA PLTU TANJUNG JATI B UNIT #3&4 BERBASIS PLC DAN ARDUINO MEGA 2560.
- [10] Adiguna Yudhanto, Anggraini Puspita Sari, Nur Rachman, Subairi. (2020). Implementasi Sensor Thermocouple Berbasis Telemetri Untuk Mengukur Thermal Pembakaran Propelan Roket. doi : 10.29207/resti.v5i1.2602