

Sistem Mesin Roasting Kopi Guna Peningkatan Kualitas Produk Petani Berbasis Mikrokontroler Dengan Metode PID

Muhammad Naufal Suhaimi¹, Ari Murtono², Fathoni³

[Submission: 30-12-2021, Accepted: 26-04-2022]

Abstract—Indonesian people's interest in processed coffee products is getting higher, therefore the demand for coffee for farmers is increasing, so that supporting tools are needed that can make it easier for farmers to improve the quality of farmers' products which are expected to increase financially for the farmers themselves. Coffee roasting is basically the process of removing the water in coffee, drying and developing the beans. This tool requires heating a fire whose temperature can be adjusted to remain stable because the temperature greatly affects the level of maturity of the coffee beans. To adjust the servo so that the temperature remains stable, a control is needed. The PID method was chosen as a control method so that the system has an optimal response based on the characteristics at a predetermined setpoint. To determine the results of the PID controller parameters using the Ziegler-Nichols oscillation method. This method was chosen because it can simplify and shorten the parameter search time, the Ziegler Nichols method can have simple formulas. The results of the PID control parameters obtained values $K_p= 8.89$, $K_i= 0.74$, dan $K_d= 2.98$. From this value, the results of the system response are obtained with a delay time value of 12.4 seconds, a rise time of 1025 seconds, a peak time of 1457.12 seconds, and a settling time value of 1667 seconds. From this value the tool system is said to be able to work well and maintain temperature stability according to the setpoint.

Keywords— Coffee roasting, Coffee Growers, PID, Ziegler-Nichols . oscillation method.

Intisari— Minat masyarakat Indonesia terhadap produk olahan kopi semakin tinggi, oleh karena itu permintaan kopi bagi para petani semakin meningkat, sehingga dibutuhkan alat penunjang yang dapat mempermudah petani guna peningkatan kualitas produk petani yang diharapkan dapat meningkatkan financial bagi para petani sendiri. Roasting kopi pada dasarnya merupakan proses mengeluarkan air dalam kopi, mengeringkan dan mengembangkan bijinya. Alat ini membutuhkan pemanasan api yang suhunya bisa diatur untuk tetap stabil dikarenakan suhu sangat berpengaruh pada tingkat kematangan biji kopi. untuk mengatur servo agar suhu tetap stabil diperlukannya sebuah kontrol. Metode PID dipilih sebagai metode kontrol agar sistem memiliki respon yang optimal berdasarkan karakteristik pada *setpoint* yang sudah ditentukan. Untuk menentukan hasil parameter kontroler PID ini menggunakan metode osilasi

Ziegler-Nichols. Metode ini dipilih karena dapat mempermudah dan mempersingkat waktu pencarian parameter, metode ziegler Nichols dapat memiliki rumus-rumus sederhana. Hasil parameter kontrol PID diperoleh nilai $K_p= 8.89$, $K_i= 0.74$, dan $K_d= 2.98$ dari nilai tersebut didapat hasil respon sistem alat dengan nilai *delay time* sebesar 12,4 detik, *rise time* sebesar 1025 detik, *peak time* sebesar 1457,12 detik, dan nilai *settling time* 1667 detik. dari nilai tersebut sistem alat dikatakan dapat bekerja dengan baik dan menjaga kestabilan suhu sesuai *set point*.

Kata Kunci— Metode osilasi Ziegler-Nichols, Petani Kopi, PID, Roasting kopi.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan penghasil kopi terbesar ketiga di dunia setelah Brazil dan Vietnam, dengan luas area perkebunan kopi mencapai 1,3 juta hektar diantaranya tersebar di Aceh, Sumatra Utara, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, NTT, Sulawesi Selatan, hingga Papua. Jumlah kebutuhan kopi di Indonesia mencapai 121.107 ton pertahun (Data Kementerian Pertanian, 2013). Jumlah tersebut diperkirakan akan terus meningkat dikarenakan semakin tingginya minat masyarakat Indonesia terhadap produk olahan kopi salah satunya minuman kopi. Sehingga pengembangan industri pengolahan kopi di dalam negeri memiliki prospek yang sangat baik, mengingat konsumsi kopi masyarakat Indonesia sangat tinggi. [1]

Semakin tingginya minat masyarakat Indonesia terhadap kopi, sementara produk petani dirasa masih sangat kurang, para petani masih menggunakan cara tradisional untuk pengolahan biji kopi sendiri. Roasting kopi merupakan salah satu tahapan penting dalam peningkatan mutu biji kopi yang berkualitas, dan diharapkan alat ini dapat membantu petani kopi khususnya di Indonesia ini, untuk meningkatkan kualitas biji kopi yang mereka hasilkan. [2]

Selama ini Proses penyangraian petani kopi secara manual, sehingga tidak menghasilkan kopi yang berkualitas cukup baik dikarenakan suhu untuk penyangraian tidak stabil dan adukan masih secara manual. serta kinerja yang dilakukan

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195

¹Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang , Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang, Jawa Timur, 65141, Indonesia; e-mail: suhaiminaufal5@gmail.com

^{2,3} Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang , Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang, Jawa Timur, 65141, Indonesia; e-mail: ari.murtono@polinema.ac.id , pakfapyrus@yahoo.com



masih secara manual, sehingga adukan pada proses penyangrain tidak merata, pekerja juga cepat lelah dengan proses manual Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Anaitul Bahroin (2013) yang berjudul Sistem Kontrol Suhu dan Putaran pada Mesin Penyangrai Kopi Semi otomatis. [3] Dan juga terdapat penelitian dari **Mila Fauziyah (2018)**. Dengan judul penelitian Kontrol Suhu Logika Fuzzy Berbasis untuk Mesin Roaster Kopi, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengontrol suhu proses penyangraian agar stabil. Pengontrol suhu sangat dibutuhkan dalam proses penyangraian kopi karena suhu tinggi dan rendah sangat berpengaruh pada proses tersebut. [4]

Terdapat saran yaitu perlu adanya penyempurnaan dan pengembangan pada alat mesin roasting ini, salah satunya pada pengaturan kontrol. Untuk menyempurnakan alat sebelumnya penulis saat ini akan melakukan pengembangan yaitu dengan mengatur keluaran gas dengan servo valve menggunakan metode *PID Control* yang berguna sebagai pengstabilan suhu. Sistem roasting ini sangat berpengaruh pada suhu roasting kopi, terlalu tinggi atau terlalu rendah suhu yang digunakan akan berpengaruh pada hasil biji kopi. Berdasarkan latar belakang tersebut maka penulis mencoba mengangkat judul “Sistem mesin roasting kopi guna peningkatan kualitas produk petani berbasis mikrokontroler dengan metode pid” dengan harapan dapat meningkatkan kualitas produk petani dengan menyempurnakan alat tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Roasting

Roasting atau penyangraian adalah proses pembentukan rasa dan aroma pada biji kopi. Sehingga proses penyangraian merupakan seni dan memerlukan ketrampilan dan pengalaman sebagaimana permintaan konsumen.

Proses penyangraian dilakukan dengan menggunakan suhu yang tinggi. Biji kopi disangrai pada suhu 140-240 ° C, biasanya memerlukan waktu 15 sampai 20 menit. Selama penyangraian biji kopi diaduk agar uap air cepat terbawa keluar dan panas terdistribusi secara seragam secara keseluruhan. Ketika penyangraian selesai maka biji kopi harus segera dikeluarkan dari mesin dan didinginkan secara cepat. Akan tetapi beberapa kasus terjadi yaitu terlalu lamanya penyangraian yang menyebabkan overroast. Untuk itu proses penyangraian perlu dikendalikan.

Tingkatan roasting paling umum dijadikan patokan terutama di Indonesia ada tiga tingkat yaitu; light roast, medium roast,

dan dark roast. Tingkatan ini biasanya paling pas dalam memanggang kopi arabika dan robusta. [5].

B. Arduino Uno

Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik open source yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (integrated circuit) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai ‘otak’ yang mengendalikan input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik.[6].

C. Thermocouple

Termokopel merupakan sensor temperatur yang berfungsi dengan mendeteksi adanya perbedaan panas pada sambungan 2 material berbeda dan mengubahnya menjadi tegangan listrik. Termokopel merupakan salah satu jenis dari thermometer elektronik. Dalam dunia industri penggunaan termokopel dimanfaatkan untuk melakukan pengukuran suhu. Hal ini dikarenakan jangkauan pengukuran yang lebar, yakni – 270 sampai 2000 ° C dengan sensitifitas yang sangat tinggi. Termokopel dapat mengubah perbedaan temperatur menjadi potensial atau tegangan listrik yang besar beda potensial yang didapatkan adalah sekitar 1-70 µV/OC, bergantung dari jenis termokopelnya .

INTERNATIONAL COLOUR CODES FOR THERMOCOUPLE CABLE INSULATION										
T/C Type	Cable Code	Conductor		T/C Junction Continuous Temp. Range °C	International IEC 584-3:2008 (IEC 584-3:1993)	Former British BS 1843:1986	French to NFE 18001	German to DIN 43714	Japanese to JIS C 1610-1981	American to ANSI MC 96.1
K	KX	Ni-Cr	Ni-Al	0 to +1100						
J	JX	Fe	Cu-Ni Constantan	+20 to +700						
T	TX	Cu	Cu-Ni Constantan	-185 to +300						
N	NX NC	Ni-Cr-Si Mn	Ni-Si-Mg Ni	0 to +1300						
E	EX	Ni-Cr	Cu-Ni Constantan	0 to +800						
B	BX	Pt-30Rh	Pt-6Rh	0 to +1800						
R	RCA	Pt-13Rh	Pt	0 to +1600						
S	SCA	Pt-10Rh	Pt	0 to +1550						

Gambar 1: Jenis-jenis Termokopel

Pada gambar 1 menjelaskan jenis-jenis termokopel yang pada dasarnya terdapat 8 jenis tipe termokopel. Perbedaannya terdapat pada bahan dan aplikasi penggunaannya. Mulai dari tipe T, R, J, B, N, J, S, dan tipe K. Sebagai penandanya adalah perbedaan warna pembungkus konduktor yang digunakan.





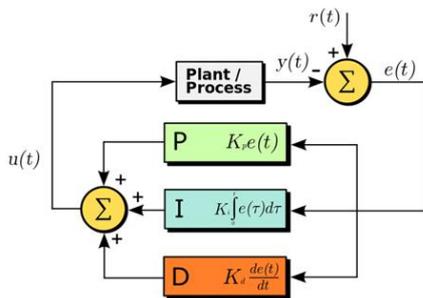
Gambar 2 : Gambar Termokopel Tipe-K

Gambar 2 merupakan termokopel tipe-k, yang menjelaskan termokopel buatan india, digunakan warna putih untuk pembungkus kabel, dan pembungkus konduktornya berwarna biru merah .

Termokopel merupakan sensor temperatur yang berfungsi dengan mendeteksi adanya perbedaan panas pada sambungan 2 material berbeda dan mengubahnya menjadi tegangan listrik. Termokopel merupakan salah satu jenis dari thermometer elektronik. Dalam dunia industri penggunaan termokopel dimanfaatkan untuk melakukan pengukuran suhu. Hal ini dikarenakan jangkauan pengukuran yang lebar, yakni – 270 sampai 2000 ° C dengan sensitifitas yang sangat tinggi. Termokopel dapat mengubah perbedaan temperatur menjadi potensial atau tegangan listrik yang besar beda potensial yang didapatkan adalah sekitar 1-70 µV/0C, bergantung dari jenis termokopelnya. [7]

D. PID (Proportional Integral Derivative controller)

PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Pengontrol PID adalah pengontrol konvensional



Gambar 3. Blok Diagram PID

yang banyak dipakai dalam dunia industri. Pengontrol PID akan memberikan aksi kepada Control Valve berdasarkan besar error yang diperoleh. Control valve akan menjadi aktuator yang mengatur aliran fluida dalam proses industri yang terjadi Level air yang diinginkan disebut dengan Set Point. Error adalah perbedaan dari Set Point dengan level air actual. Adapun persamaan 1 Pengontrol PID adalah :

$$mv(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_f} \int_0^t e(t) dt - T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

Keterangan :

mv(t) = output dari pengontrol PID atau Manipulated Variable

Kp = konstanta Proporsional

Ti = konstanta Integral

Td = konstanta Derivatif

e(t) = error (selisih antara set point dengan level aktual) [8].

E. Motor Servo

Motor servo adalah motor yang mampu bekerja dua arah (CW dan CCW) dimana arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan hanya dengan memberikan pengaturan duty cycle sinyal PWM pada bagian pin kontrolnya.



Gambar 4 : Motor servo

Motor Servo merupakan sebuah motor DC yang memiliki rangkaian control elektronik dan internal gear untuk mengendalikan pergerakan dan sudut angularnya.

Motor servo adalah motor yang berputar lambat, dimana biasanya ditunjukkan oleh rate putarannya yang lambat, namun demikian memiliki torsi yang kuat karena internal gearnya.

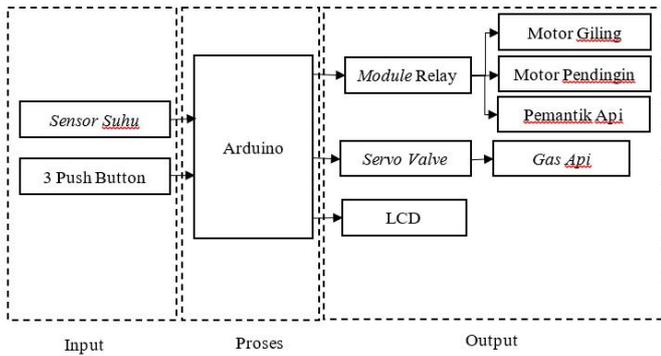
Lebih dalam dapat digambarkan bahwa sebuah motor servo memiliki :

- 3 jalur kabel : power, ground, dan control
- Sinyal control mengendalikan posisi
- Operasional dari servo motor dikendalikan oleh sebuah pulsa selebar ± 20 ms,
- dimana lebar pulsa antara 0.5 ms dan 2 ms menyatakan akhir dari range sudut maksimum.
- Konstruksi didalamnya meliputi internal gear, potensiometer, dan feedback control. [8]

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Blok Sistem



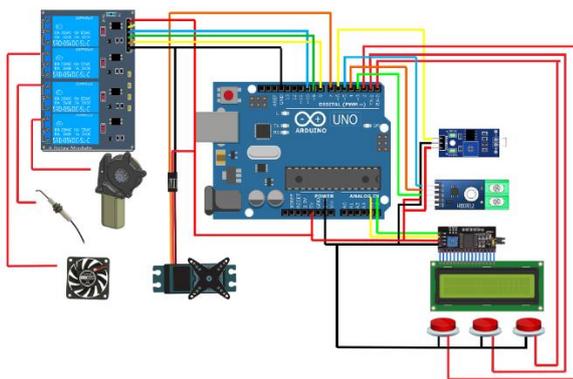


Gambar 5 : Diagram Blok Sistem

Prinsip kerja dari alat ini adalah ketika sistem diaktifkan motor servo akan mereset servo pada posisi 0°. pushbutton digunakan untuk memilih menu tingkat kematangan. Kematangan yang dipilih akan memproses Arduino untuk mengaktifkan servo valve guna membuka katup gas dan menyalakan pemanthik. Sensor LDR akan membaca cahaya dalam tungku mesin roasting kopi apakah api sudah menyala atau belum, jika sensor LDR tidak membaca adanya intensitas cahaya maka akan terulang sampai api menyala. Sensor thermocouple membaca suhu dan menampilkan kedalam LCD 16x2.

Arduino memproses control PID untuk mencapai batas set point yang telah ditentukan. Ketika sudah mencapai set point yang telah ditentukan LCD menampilkan perintah untuk memasukkan biji kopi kedalam mesin roasting kopi. Ketika suhu telah mencapai batas set point saat itu juga timer akan aktif 12 menit untuk menu roasting Light, 15 menit untuk menu roasting Medium, 17 menit untuk menu roasting Dark. Waktu yang telah terlewati LCD menampilkan perintah untuk mengeluarkan biji kopi, dan kipas pendingin.

B. Perancangan Rangkaian Elektronik Sistem

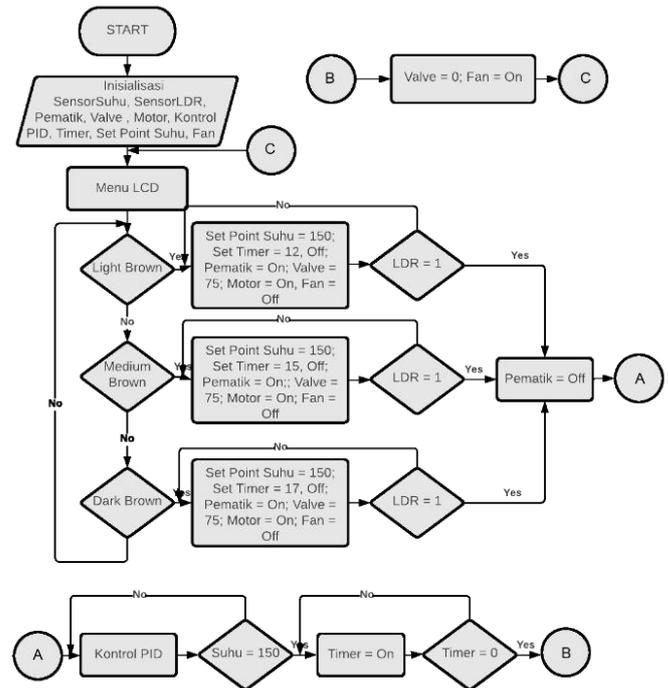


Gambar 6 : Rangkaian Elektronik Sistem

Pada gambar 6 menunjukkan rancangan *wiring elektronik* dari komponen-komponen yang digunakan.

C. Perancangan Software Mesin Roasting Kopi

Pada perancangan *software* untuk mesin roasting ini bertujuan untuk menentukan alur program yang digunakan untuk memproses alat ini, agar mempermudah proses roasting kopi. berikut flowchart dari perancangan software pada sistem mesin roasting kopi dengan metode PID :

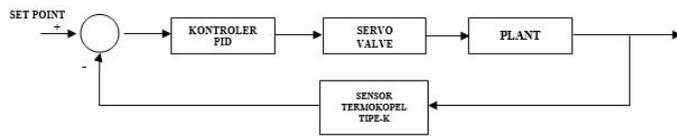


Gambar 7 : Flowchart Program Mesin roasting kopi

Gambar 7 menunjukkan prinsip program dari mesin roasting ini adalah ketika sistem diaktifkan maka servo akan mengatur pada posisi nol, menandakan bahwa gas tertutup. Selanjutnya terdapat pilihan menu pada LCD, dengan pilihan menu tingkat kematangan kopi. Ketika push button pull up maka servo akan membuka valve gas dan secara bersamaan pemanthik api, dan motor DC sebagai pemutar akan menyala, pemanthik akan mati ketika sensor LDR mendeteksi cahaya api didalam ruang mesin roasting, Termokopel akan membaca temperature suhu didalam ruangan mesin roasting. Ketika sudah mencapai batas set point yang telah ditentukan LCD akan memberitahu bahwa waktunya untuk memasukkan biji kopi. timer akan mulai menghitung dalam jangka waktu 15 menit. PID mengatur kestabilan suhu untuk mencapai batas set poin yang telah ditentukan.



Pada perancangan control PID yang akan diproses menggunakan persamaan dibutuhkan umpan balik dari pembacaan suhu yang diperoleh sensor suhu termokopel tipe-K pada ruangan mesin roasting kopi yang nantinya menjadi perhitungan pada sebuah program.

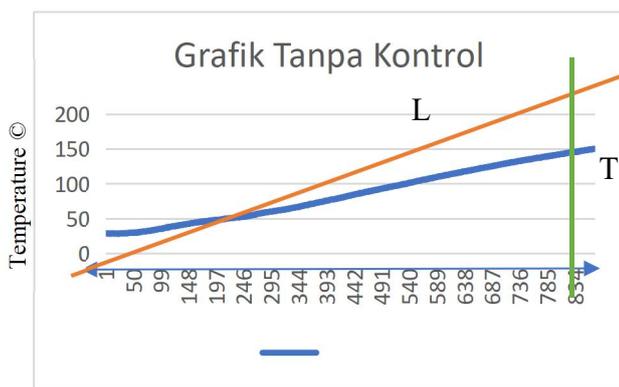


Gambar 8 : Diagram Blok Suhu

Set point dari gambar 8 yang menunjukkan bahwasanya sistem ini adalah sensor suhu termokopel tipe-k yang mengukur suhu didalam mesin roasting kopi dan dikirim ke mikrokontroler. Untuk melakukan proses pengontrolan servo valve guna menstabilkan besar kecil api dengan PID. Diperlukan suatu nilai error yaitu selisih antara set point dengan perubahan suhu terukur.

Kontroler PID memiliki dua parameter yang berpengaruh pada kinerja kontroler ini yaitu konstanta proporsional (Kp), Konstanta integral (KI), dan konstanta Derivative (KD). Oleh karena itu dilakukan tuning eksperimen untuk mendapatkan nilai Kp, Ki, dan Kd yang tepat sehingga kontroler dapat bekerja dengan optimal. Pada perancangan sistem Kontrol PID kali ini menggunakan tuning Ziegler-Nichols metode kurvasi reaksi.

Berikut adalah hasil respon atau real dari kompor mesin roasting kopi tanpa kontrol dengan menjadikan nilai Kp, Ki, Kd menjadi nol.



Gambar 9: Grafik Tanpa Kontrol PID

Kurva berbentuk-s pada gambar 9 mempunyai dua konstanta, waktu mati (dead time) L dan (waktu tunda) T. Kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu L. Pada

kurva dibuat suatu garis bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari waktu L.

Dari gambar grafik gambar 9, dapat diketahui respon plant berupa kurva S, sehingga dalam perancangan ini digunakan metode Ziegler Nichlos I. Kemudian langkah selanjutnya yaitu mencari nilai L (dead time) dan T (waktu tunda) dari grafik respon sistem, maka didapatkan nilai L = 6 second dan T = 889 second.

Penalaan (tuning) parameter PID didasarkan perolehan kedua konstanta L dan Pada tabel 1, dapat dilihat persamaan penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi.

TABEL 1.
RUMUS CONTROL PID

Tipe Kontrol	Kp	Ti	Td
P	T/L		0
PI	0.9 x T/L	L/0,3	0
PID	1,2 x T/L	2L	0,5 L

Dengan nilai L dan T yang sudah didapatkan, maka nilai Kp dan Ti dapat diperoleh melalui persamaan pada tabel 1 Nilai-nilai tersebut kemudian dimasukkan pada persamaan 2 untuk mendapatkan nilai Kp, Ki, dan Kp:

$$K_p = K_p$$

$$K_i = \frac{K_p}{K_i} \quad (2)$$

$$K_d = K_p \times T_d [9]$$

Dimana :

Kp = Konstanta Proporsional

Ki = Konstanta Integral

L = Dead time

T = Delay time

Maka;

$$K_p = 1,2 \cdot T/L \quad \text{Output} \\ = 1,2 \cdot 889/6 \\ = 177,8 \text{ waktu (s)}$$

$$T_i = 2 L \\ = 2 \cdot 6 \\ = 12$$

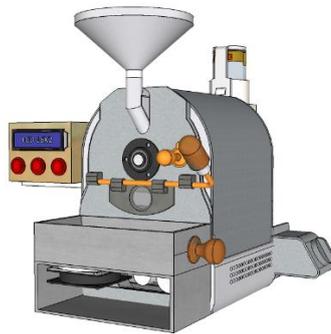
$$T_d = 0,5 \cdot L \\ = 0,5 \cdot 6$$



$$\begin{aligned}
 &= 3 \\
 K_i &= K_p/T_i \\
 &= 177,8/12 \\
 &= 14,8 \\
 K_d &= K_p \times T_d \\
 &= 177,8 \times 3 \\
 &= 533,4
 \end{aligned}$$

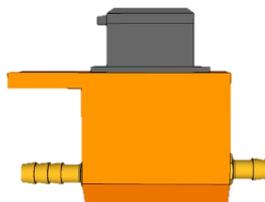
D. Perancangan Mekanik

Pada perancangan mekanik menjelaskan bagian dari mesin roasting kopi yang akan dibuat, Langkah pertama membuat desain mekanik yang terbuat dari plat aluminium.



Gambar 10 : Desain Mekanik Mesin Roasting Kopi

Pada gambar 10 ditunjukkan desain mekanik mesin roasting kopi, dari mesin sendiri akan dibentuk dari plat besi. Terdapat tabung silinder didalamnya guna pemanggangan kopi sendiri. Dan diatas terdapat corong untuk memasukkan biji kopi. Pada sebelah kanan terdapat box yang terbuat dari bahan kayu, box kayu dengan ukuran 15 cm x 10 cm x 11 cm yang memiliki fungsi sebagai penyimpanan rangkaian-rangkaian elektrik, pemilihan kayu dimaksudkan agar tahan panas yang dihantarkan dari plat besi.



Gambar 11 : Desain Servo Valve

Pada gambar 11 ditunjukkan desain mekanik dari servo valve untuk buka tutup gas. Servo valve berikut adalah motor servo yang disatukan dengan valve gas dan direkatkan menggunakan 3D Printing, box servo valve akan dicetak menggunakan 3D printing dengan berbasahan dasar filament. Box berdimensi panjang 10 cm, lebar 8 cm dan tinggi 9 cm.

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Pengujian Sensor suhu thermocouple type-K

Pengujian sensor suhu dilakukan untuk mengetahui apakah suhu sudah sesuai berjalan dengan baik atau tidak. Suhu yang ditampilkan pada LCD adalah suhu yang sudah melalui proses smart driver MAX6675. Driver MAX6675 mengubah input dari thermocouple menjadi output digital dan ditampilkan pada LCD.

TABEL 2.
 PENGUJIAN SUHU

No.	Suhu	Suhu Thermocouple percobaan ke-			Rata-Rata Suhu	Error
		1	2	3		
1	27	27	27	27	27,0	0,0%
2	28,5	28,5	28,25	28,5	28,4	0,3%
3	35	35,25	35	35	35,1	0,2%
4	52	52	52,5	52	52,2	0,3%
5	73,5	73,25	73,5	73,25	73,3	0,2%
6	76	76,5	76	76	76,2	0,2%
7	106	106,4	106	106	106,1	0,1%
8	112	112	112	112	112,0	0,0%
9	123	123,5	123,25	123	123,3	0,2%
10	130	130,5	130	130	130,2	0,1%
					Jumlah	
					Rata-Rata	

Pada tabel 2 kalibrasi dilakukan sebanyak 10 kali dengan cara mengukur kenaikan nilai suhu secara bertahap, dimana nilai suhu termokopel pada LCD dan thermometer diukur secara bersamaan. Dapat diketahui dari tabel diatas bahwasanya jumlah error menunjukkan nilai = 0,7%, dan rata-rata error menunjukkan nilai = 0,1%. dengan nilai tersebut nilai error masih dapat ditoleransi karena nilai error yang dihasilkan masih berkurang dari 5% sehingga nilai error tidak terlalu mengganggu dari sistem pembacaan suhu termokopel tipe-k.

Adapun perhitungan persentase nilai error yang didapatkan dari perbandingan pembacaan sensor termokopel tipe-k dengan thermometer dapat dilihat pada persamaan 3 dibawah ini:



$$error(\%) = \frac{\text{suhu termometer} - \text{ratarata suhu termokopel}}{\text{suhu termokopel}} \times 100\% \quad (3)$$

Selain itu nilai error rata-rata yang dihasilkan juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4 berikut

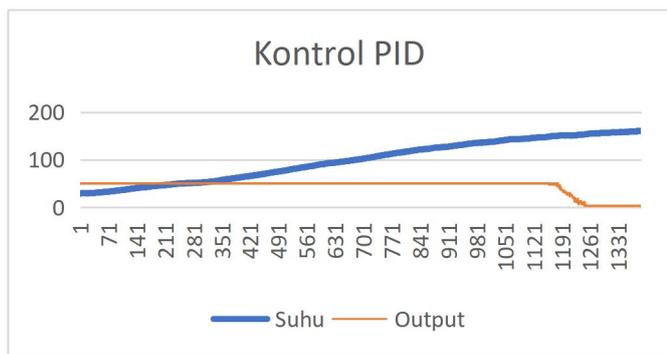
$$error\ rata - rata(\%) = \frac{\sum Error\ suhu}{\sum Data\ pengujian} \times 100\% \quad (4)$$

dapat disimpulkan dari hasil Analisa diatas bahwa sensor termokopel layak digunakan.

B. Pengujian Kontrol PID

Pengujian sistem kontrol PID dilakukan untuk mengetahui apakah sistem kontrol dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Sistem kontrol suhu PID disini akan menstabilkan suhu sesuai set point yang telah ditentukan, ketika sudah mencapai set point maka PID akan berusaha untuk tetap pada set point.

Pada pengujian ini digunakan metode osilasi Ziegler-Nichols dimulai dengan memberikan nilai $K_p= 8.89$, $K_i= 0.74$, dan $K_d= 2.98$ untuk perhitungan suhu setpoint $150^\circ C$



Gambar 12 : Grafik PID pada set point 150

Dilihat pada gambar 12 menjelaskan bahwasanya grafik warna biru menunjukkan kelandaian untuk mencapai setpoint 150, dan grafik warna orange menunjukkan output PID. Dapat disimpulkan bahwasanya PID berjalan sesuai yang direncanakan, akan tetapi tidak dapat stabil 100% dikarenakan beberapa faktor, salah satunya faktor ruang pembakaran yang terbuat dari plat besi yang dimana jika dibakar suhu akan naik terus menerus dan membutuhkan waktu untuk menurunkan suhunya.

C. Pengujian Keseluruhan Sistem

Setelah menguji perblok sistem telah sesuai dengan diagram blok sistem, maka Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian keseluruhan sistem dalam proses

roasting kopi, yaitu pengujian suhu, waktu sesuai set point dan warn biji kopi apakah sudah sesuai dengan standart warna biji kopi. biji kopi akan diroasting pada suhu $150^\circ C$, dengan waktu 12 Menit untuk Light, 15 menit untuk medium, dan 17 menit untuk dark. Maka didapatkan hasil pada tabel 3 :

TABEL 3.
 PENGUJIAN SISTEM

No	Menu Roasting Kopi	Set point suhu C	Set point waktu (menit)	Hasil Roasting Kopi	Standart Roasting Kopi
1	Light	150	12		
2	Medium	150	15		
3	Dark	150	17		

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 3 pengujian dilakukan dengan nilai set point suhu yang sama $150^\circ C$ dan set point waktu yang berbeda, yaitu 12 menit, 15 menit, 17 menit. Berdasarkan table tersebut bahwa pengamatan bentuk fisik berupa warna dan kematangan kopi yang didapatkan dari hasil penelitian, dan Analisa yang didapat adalah hasil roasting kopi saat waktu 12 Menit biji kopi bewarna coklat terang tidak mengkilap, Ketika waktu 15 menit biji kopi bewarna coklat medium, dan Ketika suhu waktu pada set point 17 menit biji kopi bewarna coklat gelap dan warna lebih mengkilap. Warna tersebut sudah sesuai dengan standart warna tingkat roasting kopi.

V. PENUTUP

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisa pada mesin roasting kopi dengan metode control PID, maka didapat beberapa kesimpulan:

1. Mesin *Roasting* dapat menghasilkan kopi dengan tiga pilihan tingkat kematangan yaitu *light*, *medium*, dan *dark*.
2. Hasil *roasting* menggunakan *set point* nilai $K_p= 8.89$, $K_i= 0.74$, dan $K_d= 2.98$ dengan hasil kontrol yang baik,



dan mendekati stabilitas *set point* yang ditentukan. Dikarenakan beberapa faktor yaitu suhu membutuhkan waktu untuk menaikkan dan menurunkan nilainya, PID memiliki respon kontrol yang cepat, sedangkan suhu merupakan variabel yang memiliki perubahan lambat. Dan juga ruang mesin kopi yang terbuat dari plat besi, sehingga membutuhkan waktu dan api yang mati untuk menurunkan suhu. dari nilai tersebut didapat hasil respon sistem alat dengan nilai *delay time* sebesar 12,4 detik, *rise time* sebesar 1025 detik, *peak time* sebesar 1457,12 detik, dan nilai *settling time* 1667 detik. dari nilai tersebut sistem alat dikatakan dapat bekerja dengan baik dan menjaga kestabilan suhu sesuai setpoint.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada teman-teman saya yang telah memberikan semangat, motivasi, dan doa selama pengerjaan berlangsung.

REFERENSI

- [1] Martauli, Elvin Desi. 2018. Analisis Produksi Kopi Di Indonesia. Sumatera Utara: Jurusan Agribisnis, Universitas Quality Berastagi.
- [2] Zainra, Ulya. 2016. Perilaku Kewirausahaan petani Kopi Arabika Gayo di Kabupaten Bener Meriah Provinsi Aceh. Bogor: Institut Pertanian Bogor
- [3] Bahroin, Anaitul dan Agung Prijo Budijono. 2013. Sistem Kontrol Suhu dan Putaran pada Mesin Penyangrai Kopi Semi Otomatis. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
- [4] Fauziyah, Mila. 2018. Kontrol Suhu logika Fuzzy Berbasis untuk Mesin Roaster Kopi. Malang : Politeknik Negeri Malang.
- [5] Rahayoe, S., J. Lumbanbatu, dan W. K. J. Nugroho. 2009. Pengaruh Suhu dan Lama Penyangraian terhadap Sifat Fisik-Mekanis Biji Kopi Robusta. Jurnal Penelitian. Yogyakarta: UGM.
- [6] Andrianto, Heri dan Aan Darmawan. 2016. Arduino Belajar Cepat Pemograman. Bandung: Penerbit Informatika.
- [7] Krisdayanes, Gita. 2019. Penggunaan Thermocouple Type K Pada Oven Pemanggang Kue Sebagai Sensor Temperatur Berbasis Mikrokontroler ATMEGA328. Medan : Universitas Sumatera Utara
- [8] Dewi, Kartika. 2016. Desain Dan Implementasi Tanggapan Sistem Kontrol Proportional, Integral, Diferensial (PID) Pada Pembebanan Kompleks Menggunakan Metode Ziegler-Nichols. Medan : Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [9] Hilal, Ahmad. Manan, Saiful. 2012. Pemanfaatan Motor Servo Sebagai Penggerak CCTV Untuk Memilih Alat-Alat Monitor dan Kondisi Pasien di Ruang ICU.
- [10] Agung Prijo Budijono. 2015. Sistem Sistem Kontrol Suhu Dan Putaran Pada Mesin Penyangrai Kopi Semi Otomatis.

