

RANCANG BANGUN MESIN PENGEPRES KOPI DENGAN MENGENDALIKAN SUHU MENGGUNAKAN METODE PID BERBASIS ATMEGA 2650

Akhyar¹, Gunawan², Eliyani³, Miftahul Akhyar⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email: akhyar.pnl@pnl.ac.id¹, gunawan.samin@gmail.com², eliyani@pnl.ac.id³

Abstrak – Kopi adalah minuman yang sangat disukai oleh masyarakat Indonesia, baik pria maupun wanita dari berbagai daerah di Indonesia. Minuman kopi memiliki banyak cita rasa serta ukuran kopi yang beraneka ragam. Pembuatan kopi menggunakan mesin Ferratti Ferro FCM-4656. Mesin ini digunakan untuk membuat kopi espresso secara semi otomatis. Mesin ini dapat mengaliri air panas secara otomatis sesuai dengan tekanan uap yang ada pada tabung boiler. Hal tersebut menyebabkan suhu kopi tidak dapat ditentukan, sehingga dapat memengaruhi cita rasa dari kopi tersebut. Pada penelitian ini, dilakukan pengembangan pada mesin kopi dengan menambahkan sistem pengontrolan terhadap suhu kopi sesuai keinginan dan pembuatan kopi sanger secara otomatis. Pengembangan mesin ini dilengkapi dengan Arduino Mega 2560, Metode PID, LCD, Heater dan beberapa sensor antara lain sensor Termokopel tipe K, sensor Pressure Transmitter, dan sensor ultrasonik. Prinsip kerja alat yang dibuat ini yaitu LCD menampilkan data ketinggian level air dan susu, dan pemilihan mode kopi yang diinginkan. Setelah itu, nilai suhu dimasukkan sesuai keinginan. Heater akan otomatis menyala, sensor pressure Transmitter akan mendeteksi tekanan air, dan sensor suhu mendeteksi suhu pada tabung boiler dan PID selalu berjalan untuk menghilangkan nilai error yang terjadi antara pembacaan suhu oleh sensor dan set point yang diinginkan. Hal ini dibuktikan dengan telah dilakukannya uji coba terhadap sensor suhu, dimana sensor tersebut dapat membaca suhu dengan nilai ralat rata-rata yaitu 2,3°C. Hal ini juga telah dilakukan uji coba terhadap sensor tekanan, dimana sensor tekanan dapat bekerja dengan baik dengan mendapatkan nilai ralat tertinggi yaitu 1,81 Psi. Ketika suhu pada tabung boiler telah mencapai nilai yang di set, maka Valve terbuka dan air akan mengalir menuju wadah pengepresan kopi. Keseluruhan sistem yang dibuat berjalan sesuai rancangan. Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh dengan nilai besaran $K_p = 350$, $K_i = 1,0$, dan $K_d = 7,2$, dimana besaran waktu yang dibutuhkan adalah 2 menit 21 detik untuk memansakan air pada tabung boiler dengan nilai set point 80°C.

Kata-kata kunci: Kopi, ATMEGA 2560, PID, Termokopel tipe K, Pressure Transmitter, Ultrasonik

Abstract – Coffee is a drink that is very liked by the people of Indonesia, both men and women from various regions in Indonesia. Coffee drinks have many flavors and various sizes of coffee. Making coffee using the Ferratti Ferro FCM-4656 machine. This machine is used to make espresso coffee semi-automatically. This machine can flow hot water automatically according to the steam pressure in the boiler tube. This causes the temperature of the coffee cannot be determined, so it can affect the taste of the coffee. In this study, a coffee machine was developed by adding a control system for the coffee temperature as desired and making sanger coffee automatically. The development of this machine is equipped with Arduino Mega 2560, PID Method, LCD, Heater and several sensors including type K Thermocouple sensor, Pressure Transmitter sensor, and ultrasonic sensor. The working principle of this tool is that the LCD displays data on the water and milk levels, and the selection of the desired coffee mode. After that, the temperature value is entered as desired. The heater will automatically turn on, the pressure transmitter sensor will detect the water pressure, and the temperature sensor detects the temperature in the boiler tube and the PID is always running to eliminate the error value that occurs between the temperature reading by the sensor and the desired set point. This is evidenced by the testing of the temperature sensor, where the sensor can read the temperature with an average error value of 2.3°C. It has also been tested on the pressure sensor, where the pressure sensor can work well by getting the highest error value of 1.81 Psi. When the temperature in the boiler tube has reached the set value, the Valve opens and water will flow into the coffee pressing container. The entire system is made to run according to design. Based on the simulation results obtained with the value of $K_p = 350$, $K_i = 1.0$, and $K_d = 7.2$, where the amount of time required is 2 minutes 21 seconds to heat the water in the boiler tube with a set point value of 80°C.

Key words: Coffee, ATMEGA 2560, PID, Type K Thermocouple, Pressure Transmitter, Ultrasonic

I. PENDAHULUAN

Kopi adalah minuman yang sangat disukai oleh masyarakat Indonesia, baik pria maupun wanita dari

berbagai daerah di Indonesia. Minuman kopi memiliki banyak cita rasa serta ukuran kopi yang beraneka ragam. Kebanyakan orang banyak mengonsumsi kopi karena

dipercaya dapat menghilangkan rasa kantuk dan melawan rasa lelah.

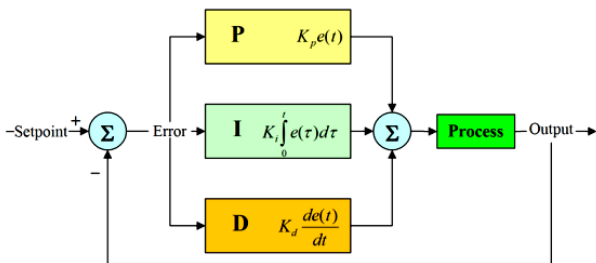
Menurut *National Coffee Association*, suhu air paling baik dalam membuat kopi idealnya adalah 195-205°F, atau 90-96°C. Ada beberapa orang biasanya menggunakan suhu di bawah 90°C saat menyeduh dengan metode *manual brew*. Namun, suhu tidak pernah di atas 96°C karena akan membuat kopi terasa pahit dan *flavor* pada kopi bisa saja hilang [1].

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi pada mesin pengepresan kopi manual menjadi otomatis. Mesin ini dimodifikasi untuk memudahkan masyarakat dalam menentukan atau mengendalikan suhu kopi sendiri dalam kondisi panas. Mesin ini dapat bekerja otomatis dengan menggunakan metode PID untuk menyesuaikan suhu sesuai dengan yang diinginkan. Dengan demikian para penikmat kopi akan menikmati minuman kopi dengan sensasi rasa kopi yang berbeda.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. PID

Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan umpan balik (*feedback*) pada sistem tersebut. 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 digabung. Blok diagram sistem seperti diperlihatkan pada Gambar 1 [2].



Gbr. 1 Blok Diagram Sistem Kontrol PID [2]

PID Controller memiliki *transfer function* seperti pada Persamaan 1 berikut [3].

$$H(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s^3 + K_D s^2 + K_P s + K_I} \tag{1}$$

PID Controller sebenarnya terdiri dari 3 jenis cara pengaturan yang saling dikombinasikan, yaitu *P Controller*, *D Controller*, dan *I Controller*. Masing-masing memiliki parameter tertentu yang dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai konstanta. Setiap jenis, memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel I
Respon PID Controller Terhadap Perubahan Konstanta [3]

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

Parameter-parameter tersebut tidak tetap, sehingga pada saat salah satu nilai konstantanya berubah, maka sistem tidak akan bereaksi seperti yang diinginkan. Tabel 1 di atas hanya dipergunakan sebagai pedoman jika akan melakukan perubahan konstanta [3].

B. Proportional Controller

Dari Tabel 1 diketahui bahwa *P Controller* dapat mengurangi *rise time*, menambah *overshoot*, dan mengurangi *steady state error*. *Closed-loop transfer function* sistem dengan menggunakan *P Controller*, seperti pada Persamaan 2 [3].

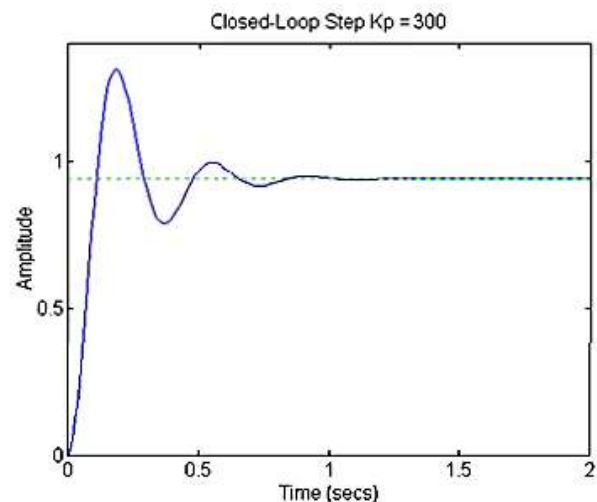
$$H(s) = \frac{K_P}{s^2 + 10s + (20 + K_P)} \tag{2}$$

Misal, diambil konstanta $K_p = 300$, maka :

```

Kp = 300;
num = [Kp];
den = [1 10 20+Kp];
t = 0 : 0.01 : 2;
step(num,den)
title('Closed-Loop Step Kp = 300')
    
```

Respon sistem tertutup menggunakan P controller seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Penambahan variabel $t = 0:0.01:2$ dimaksudkan untuk melihat respon sistem dari $t = 0$ s/d $t=2$, dengan *step* 0,01 detik.



Gbr. 2 Respon Sistem Tertutup Menggunakan P Controller [3]

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa penambahan P Controller mengurangi *rise time* dan *steady state error*, tetapi menambah *overshoot*. Namun, *overshoot* yang terjadi masih terlalu besar. Jika konstanta K_p diperbesar, maka *overshoot* yang terjadi juga semakin besar, *settling time* juga semakin besar, tetapi *rise time*-nya menjadi kecil. Kebalikan dari keadaan itu terjadi jika konstanta K_p diperkecil.

C. Proportional-Derivative Controller

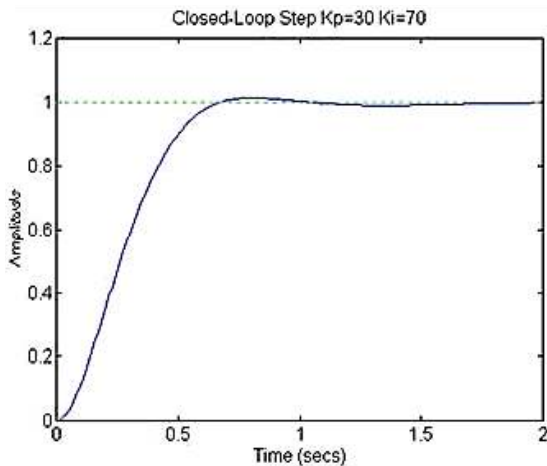
Closed-Loop transfer function sistem dengan PD Controller, seperti pada Persamaan 3 berikut [3].

$$H(s) = \frac{K_D s + K_P}{s^2 + (10 + K_D)s + (20 + K_P)} \tag{3}$$

Misal, $K_p = 300$ dan $K_d = 10$, maka :

```
Kp = 300;
Kd = 10;
num = [Kd Kp];
den = [1 10+Kd 20+Kp];
t = 0 : 0.01 : 2;
step(num,den)
title('Closed-Loop Step Kp=300 Kd=10')
```

Respon sistem tertutup menggunakan PD Controller seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Penggunaan PD Controller dapat mengurangi *overshoot* dan *settling time*, tetapi tidak memberikan dampak apa pun terhadap *steady state error*.



Gbr. 3 Respon Sistem Tertutup Menggunakan PD Controller [3]

D. Proportional-Integral Controller

PI Controller memiliki karakteristik mengurangi *rise time*, menambah *overshoot*, dan *settling time*, serta menghilangkan *steady state error*. Karakteristik seperti ini tidak dimiliki oleh controller jenis yang lain. Closed-loop transfer function sistem dengan menggunakan PI Controller, seperti pada Persamaan 4 berikut [3].

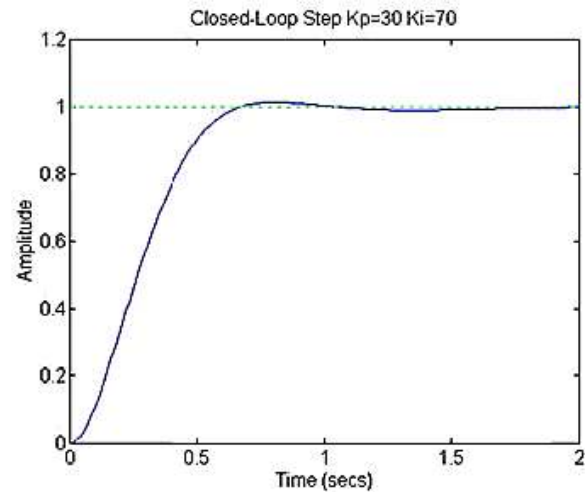
$$H(s) = \frac{K_P s + K_I}{s^3 + 10s^2 + (20 + K_P)s + K_I} \tag{4}$$

Misal, $K_p = 30$ dan $K_i = 70$, maka :

```
Kp = 300;
Ki = 70;
num = [Kp Ki];
den = [1 10 20+Kp Ki];
t = 0 : 0.01 : 2;
step(num,den)
title('Closed-Loop Step Kp=30 Ki=70')
```

PI Controller memiliki karakteristik yang sama dalam hal *rise time* dan *overshoot*. Oleh karena itu, nilai K_p harus dikurangi untuk menghindari *overshoot* yang berlebihan. Nilai K_i diambil lebih besar dari K_p , karena diinginkan untuk meniadakan *steady state error*. Jika $K_p > K_i$, maka *steady state error*-nya tidak dapat dihilangkan.

Respon sistem tertutup menggunakan PI Controller seperti diperlihatkan pada Gambar 4. *Rise time* sistem menurun, dengan *overshoot* yang kecil, serta *steady state error* nya dapat dihilangkan.



Gbr. 4 Respon Sistem Tertutup Menggunakan PI Controller [3]

E. Proportional-Integral-Derivative Controller

PID Controller memiliki transfer function seperti pada Persamaan 5 berikut [3].

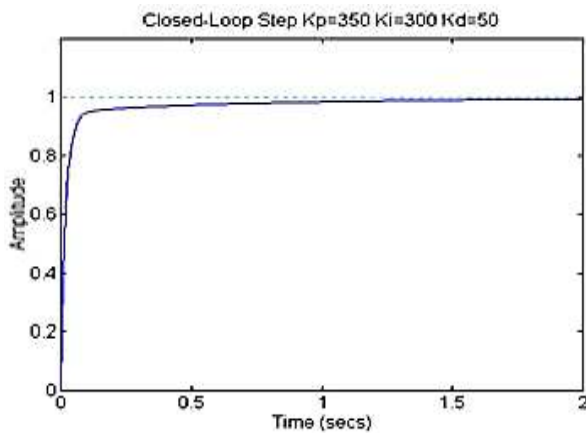
$$\frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s^3 + (10 + K_D)s^2 + (20 + K_P)s + K_I} \tag{5}$$

Misal, $K_p = 350$ dan $K_i = 300$, maka :

```
Kp = 350;
Ki = 300;
Kd = 50;
num = [Kp Ki Kd];
den = [1 10+kD 20+Kp Ki];
t = 0 : 0.01 : 2;
```

```
step(num,den)
title('Closed-Loop Step Kp=350 Ki=300 Kd=50')
```

Respon sistem tertutup menggunakan PID Controller seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Kriteria sistem yang diinginkan sudah terpenuhi, yaitu tidak memiliki overshoot, rise time yang cepat, dan tidak memiliki steady state error. Nilai-nilai konstanta yang terdapat pada tulisan ini diperoleh dari percobaan (trial and error). Sehingga perancang yang berbeda akan mendapatkan nilai yang berlainan, untuk memenuhi kriteria di atas. Hal itu terjadi karena perubahan pada salah satu konstanta akan berpengaruh pada konstanta yang lain. Artinya tidak akan didapatkan hasil sesuai dengan Tabel 1. Tabel tersebut hanya dipergunakan sebagai pedoman [3].



Gbr. 5 Respon Sistem Tertutup Menggunakan PID Controller [3]

Beberapa tips yang dapat digunakan untuk mendapatkan respon yang diinginkan antara lain:

1. Dapatkan respon sistem terbuka (*open-loop*) untuk menentukan bagian mana yang harus diperbaiki (*rise time, settling time, overshoot, steady state error*).
2. Tambahkan P Controller untuk memperbaiki *rise time*.
3. Tambahkan D Controller untuk memperbaiki *overshoot*.
4. Tambahkan I Controller untuk menghilangkan *steady state error*.
5. Kombinasikan konstanta yang ada untuk mendapatkan respon yang diinginkan.

Dalam mengimplementasikan sistem kontrol, sebenarnya tidak perlu menggunakan D Controller jika dengan PI Controller saja sistem sudah memberikan respon yang cukup baik. Sehingga sistem menjadi lebih sederhana.

Analisa pada contoh di atas, dilakukan dengan input unit *step*. Apabila diinginkan analisa dengan input yang berbeda, maka harus dilakukan modifikasi *transfer function*. Untuk menganalisa sistem dengan input *impulse function*, maka *transfer function* dikalikan dengan faktor *s*. Demikian juga untuk *input ramp function*, perlu dikalikan dengan faktor *1/s*.

F. Mesin Kopi Espresso/Espresso Machine Ferratti Ferro FCM-4656

Espresso Machine Ferratti Ferro FCM-4656 merupakan mesin espresso yang tergolong dalam tipe semi otomatis yang memiliki spesifikasi daya sebesar 800 Watt dengan kekuatan tekanan pengepresan sebesar 15 bar dan bertegangan 220 V/50 Hz. Mesin espresso ini memiliki kapasitas tangka air 240 ML. Waktu pemanasan air selama 45 detik.

Mesin espresso ini tidak bertekanan *porta filter*, yaitu komponen penting dari mesin kopi espresso yang mana prosesnya, air panas akan di alirkan secara cepat menuju basket yang berisi *ground coffee* yang selanjutnya akan mengalir melalui lobang akhir pada *porta filter*. Bentuk fisik dari Espresso Machine Ferratti Ferro FCM-4656 seperti diperlihatkan pada Gambar 6 [4][5].



Gbr. 6 Espresso Machine Ferratti Ferro FCM-4656 [5]

G. Mikrokontroler ATmega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip ATmega2560. Board ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, yaitu 54 buah digital I/O pin, dengan 15 pin diantaranya adalah PWM., 16 pin analog input, dan 4 pin UART (*serial port Hardware*). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 MHz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. Skema Arduino Mega 2560 seperti diperlihatkan pada Gambar 7 [6].



Gbr. 7 Mikrokontroler ATmega 2560 [6]

Karakteristik ATmega 2560 adalah:

1. Mikrokontroler : ATmega 2560

2. Tegangan Operasional : 5V
3. Tegangan Masukan (direkomendasi) : 7-12V
4. Tegangan Masukan (batas) : 6-20V
5. Pin Digital I/O : 54 (14 pin untuk keluaran PWM)
6. Analog Input Pins : 16
7. Arus DC per I/O Pin : 40 mA
8. Arus DC for 3.3V Pin : 50 mA
9. Memori Flash : 256 KB (8 KB digunakan untuk bootloader)
10. SRAM : 8 KB
11. EEPROM : 4 KB
12. Clock Speed : 16 MHz [6]

Mikrokontroler yang digunakan pada Arduino Mega 2560 ini adalah Mikrokontroler ATmega 2560. Mikrokontroler ini menjadi komponen utama dari sistem minimum Arduino Mega 2560. Setiap pin mikrokontroler ATmega 2560 dipetakan sesuai dengan kebutuhan standar Arduino pada umumnya [6].

Tabel 2 adalah informasi teknis mikrokontroler ATmega 2560.

Tabel II
Informasi Teknis Mikrokontroler ATmega 2560 [6]

Nomor Pin	Nama Pin	Nama Pin yang Dipetakan
1	PG5 (OC0B)	Digital pin 4 (PWM)
2	PE0 (RXD0/PCINT8)	Digital pin 0 (RX0)
3	PE1 (TXD0)	Digital pin 1 (TX0)
4	PE2 (XCK0/AIN0)	
5	PE3 (OC3A/AIN1)	Digital pin 5 (PWM)
6	PE4 (OC3B/INT4)	Digital pin 2 (PWM)
7	PE5 (OC3C/INT5)	Digital pin 3 (PWM)
8	PE6 (T3/INT6)	0
9	PE7 (CLKO/ICP3/INT7)	0
10	VCC	VCC
11	GND	GND
12	PH0 (RXD2)	Digital pin 17 (RX2)
13	PH1 (TXD2)	Digital pin 16 (TX2)
14	PH2 (XCK2)	
15	PH3 (OC4A)	Digital pin 6 (PWM)
16	PH4 (OC4B)	Digital pin 7 (PWM)
17	PH5 (OC4C)	Digital pin 8 (PWM)

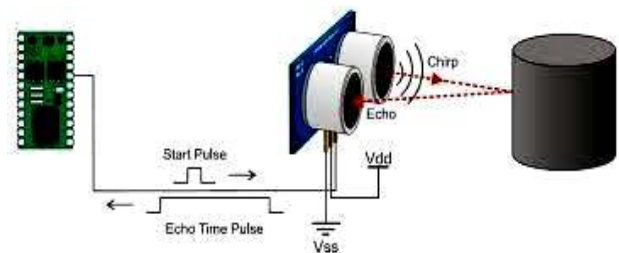
H. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik adalah sensor yang bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara dan digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek atau benda tertentu di depan frekuensi kerja pada daerah di atas gelombang suara dari 20 kHz hingga 2 MHz. Sensor ultrasonik terdiri dari dari 2 unit, yaitu unit pemancar dan unit penerima. Struktur unit pemancar dan penerima sangatlah sederhana. Sebuah kristal *piezoelectric* dihubungkan dengan mekanik jangkar dan hanya dihubungkan dengan diafragma penggetar

tegangannya bolak-balik yang memiliki frekuensi kerja 20 kHz hingga 2 MHz. Struktur atom dari Kristal *piezoelectric* menyebabkan berkontraksi mengembang atau menyusut terhadap sebuah polaritas tegangan yang diberikan dan ini disebut dengan efek *piezoelectric* pada sensor ultrasonik.

Pantulan gelombang ultrasonik terjadi bila ada objek tertentu dan pantulan gelombang ultrasonik akan diterima kembali oleh unit sensor penerima. Selanjutnya unit sensor penerima akan menyebabkan diafragma penggetar akan bergetar dan efek *piezoelectric* menghasilkan sebuah tegangan bolak-balik dengan frekuensi yang sama [7].

Prinsip kerja dari sensor ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 8.

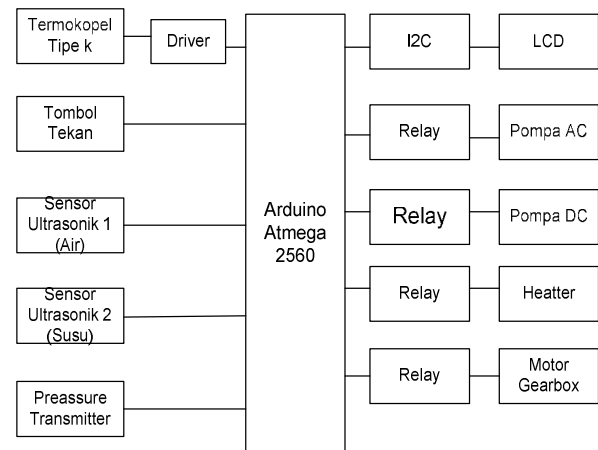


Gbr. 8 Prinsip Kerja Sensor Ultrasonik [7]

III. METODOLOGI

A. Blok Diagram

Blok diagram sistem seperti diperlihatkan pada Gambar 9 berikut.



Gbr. 9 Blok Diagram Sistem

Fungsi masing-masing blok adalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroler ATmega2560 sebagai pengendali utama.
2. Dua buah sensor ultrasonik sebagai pengukur level air dan susu pada wadah penampungan.
3. Sensor Termokopel Tipe K sebagai sensor pendeteksi suhu air pada boiler.
4. Tombol Tekan digunakan untuk memilih pilihan menu kopi dan suhu.
5. Sensor Pressure Transmitter digunakan untuk pendeteksi tekanan air pada boiler.
6. I2C digunakan untuk memperpendek kabel LCD.

7. LCD berfungsi menampilkan data level air dan susu, suhu, tekanan air dan pilihan menu.
8. Relay berfungsi untuk mengendalikan aliran listrik AC dan DC, sebagai saklar pemutus atau penghubung aliran listrik ke motor.
9. Pompa AC digunakan untuk menyalurkan air dari wadah penampungan air ke dalam boiler.
10. Pompa DC digunakan untuk memompa susu menuju cangkir kopi.
11. Motor Gearbox digunakan untuk memutar Valve pengepresan kopi.
12. Heater digunakan untuk memanaskan air pada boiler.

B. Sistem Kerja Alat

Pada saat mesin dinyalakan, langkah pertama yang dilakukan ialah inialisasi program. Kemudian dilanjutkan dengan pembacaan sensor ultrasonik untuk mendeteksi level air dan susu pada wadah penampungan. Apabila level air dan susu <20 %, maka mesin tidak akan berlanjut pada mode pemilihan minuman kopi.

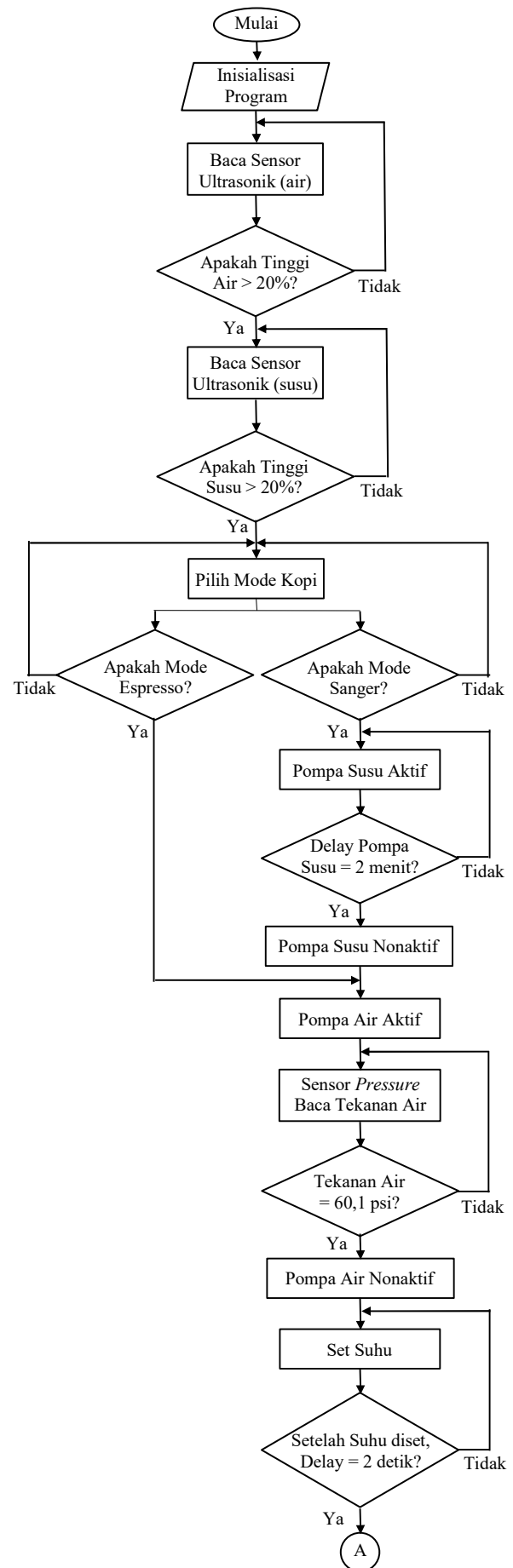
Pada Mode Kopi memiliki 2 pilihan varian rasa kopi, yaitu mode kopi espresso dan mode kopi sanger. Setelah memilih mode kopi yang diinginkan, langkah selanjutnya adalah memasukan nilai *set point* suhu kopi yang diinginkan, dengan 3 varian suhu, yaitu 80°C, 85°C dan 90°C. Kemudian mesin ini akan berkerja secara otomatis. Untuk pilihan kopi sanger, sebelum masuk pada tahap pengisian air pada tabung boiler, pompa DC akan diaktifkan terlebih dahulu untuk memompa susu dari wadah penampungan menuju cangkir kopi selama ± 2 menit. Sedangkan untuk pilihan mode kopi espresso, pompa DC tidak akan aktif dikarenakan pilihan mode kopi ini tidak memerlukan tambahan susu.

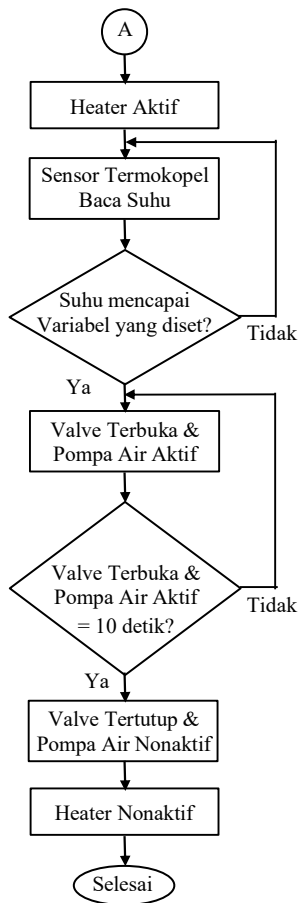
Selanjutnya mesin akan memompa air dari wadah penampungan air menuju tabung boiler menggunakan pompa AC yang diaktifkan oleh relay. Pompa akan berhenti apabila tekanan air pada tabung boiler sudah mencapai 60,1 Psi, yang dideteksi oleh sensor *Pressure Transmitter*. Setelah pompa AC mati, maka lanjut pada tahap memasukan *set point* suhu yang diinginkan. Sensor termokopel secara otomatis akan mendeteksi nilai suhu pada tabung boiler.

Pada Arduino ATmega 2560 berjalan proses perhitungan PID untuk menghilangkan nilai *error* yang terjadi antara pembacaan suhu oleh sensor dan *set point* yang diinginkan. Hasil perhitungan PID ini berkaitan erat dengan proses PWM dalam mengatur lebar pulsa yang masuk ke rangkaian kontrol tegangan AC pada heater listrik. Setelah nilai *real temperature* telah sesuai dengan nilai *set point*, maka motor Gearbox secara otomatis akan membuka valve pengepresan kopi dengan delay selama 10 detik, dan pembuatan minuman kopi telah selesai dan akan kembali pada mode awal.

C. Flow Chart

Flow chart sistem kerja alat seperti diperlihatkan pada Gambar 10.





Gbr. 10 Flow Chart Sistem Kerja Alat

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Pressure Transmitter

Sensor tekanan yang digunakan adalah sensor Pressure Transmitter. Pengujian dilakukan menggunakan pembanding alat ukur tekanan mechanical gauge untuk mengetahui keberhasilan sensor Pressure Transmitter.

Hasil Pengujian sensor dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel III
Hasil Pengujian Sensor Tekanan

Waktu (detik)	P1 (Psi)	P2 (Psi)	Ralat (Psi)
0	0,58	0	0,58
10	3,77	2,11	1,66
20	13,92	12,85	1,81
30	48,29	47,68	0,61
40	65,41	64,64	0,77

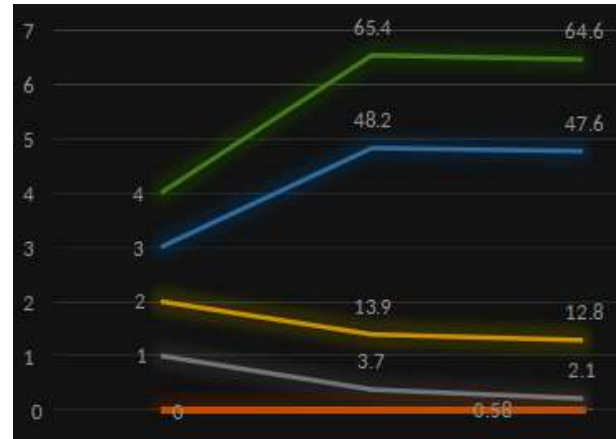
Keterangan:

P1 = Tekanan menggunakan sensor Pressure Transmitter (Psi)
P2 = Tekanan menggunakan mechanical gauge (Psi)

Dari hasil pengujian sensor Pressure Transmitter,

sensor tersebut dapat membaca nilai tekanan dengan ralat tertinggi yaitu 65,41 Psi. Selain itu sensor tersebut juga dapat membaca perubahan tekanan yang relatif cepat sehingga dapat memberikan hasil yang akurat.

Gambar 11 adalah grafik yang menampilkan skala perbandingan pembacaan nilai tekanan sensor dengan alat ukur.



Gbr. 11 Grafik Skala Perbandingan Nilai Sensor dan Alat Ukur

B. Pengujian Sensor Termokopel Tipe K

Pengujian sensor Termokopel dilakukan untuk mendeteksi suhu pada tabung boiler. Pengujian dilakukan dengan menggunakan pembanding alat ukur suhu Thermostart untuk mengetahui keberhasilan pembacaan suhu oleh sensor Termokopel.

Hasil pengujian sensor seperti diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel IV
Pengujian Sensor Termokopel Tipe K

Set Point (°C)	Sensor Termokopel (°C)	Thermostart (°C)	Ralat (°C)
0	30	31,5	1,5
40	40	42,1	2,1
50	50	51,2	1,2
60	60	62,3	2,3
70	70	71,2	1,2
80	80	81,2	2,2
90	90	92,1	2,2
100	100	100,1	0,1
Nilai alat Tertinggi :			2,3

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisis di atas dapat diambil kesimpulan:

1. Pada mode pilihan minuman kopi, alat tidak dapat bekerja apabila level air dan susu berada di bawah level 20 %.
2. Percobaan tuning PID terbaik dengan nilai parameter $K_p = 350$, $K_i = 7,2$ dan $K_d = 1,0$, diperoleh hasil respon sistem yang sudah mencapai *Stady State* dengan *rise time* selama 2,21 menit dan *overshoot* dari hasil sistem adalah rendah.

3. Mesin kopi ini dapat mengontrol suhu sesuai dengan rancangan untuk mendapatkan varian yang berbeda.

REFERENSI

- [1] Yuliandri, M.T. (2015, November 14). Temperatur Ideal dalam Menyeduh Kopi. Diakses dari <https://ottencoffee.co.id/majalah/temperatur-ideal-dalam-menyeduh-kopi> pada 24 Februari 2022.
- [2] A'laa, & Zumaro, A.A.. (2021). *Perancangan Sistem Three Element Control Pada Steam Drum Menggunakan Controller PID Berbasis Neural Network di PG. Modjopangoong*. Undergraduate (S1) thesis, Universitas Muhammadiyah Malang.
- [3] Arifin, F. (2022). PID Controller. Diakses dari <https://adoc.pub/controller-fatchul-arifin.html> pada 24 Februari 2022.
- [4] Masdakaty, Y. (2016, Juli 19). Selengkapnya Tentang Proses Pembuatan Espresso. Diakses dari <https://ottencoffee.co.id/majalah/selengkapnya-tentang-proses-pembuatan-espresso> pada 24 Februari 2022.
- [5] Ferratti Ferro. (2022). Ferratti Ferro FCM4656. Diakses dari <https://ferratti-ferro.com/product/ferratti-ferro-fcm4656/> pada 24 Februari 2022.
- [6] Ajifahreza. (2019, April 24). Pengertian Arduino Mega2560. Diakses dari <https://www.ajifahreza.com/2019/04/pengertian-arduino-mega2560.html> pada 24 Februari 2022.
- [7] WikiElektronika.com. (2022, Februari 16). Mengenal Sensor Ultrasonik dan Cara Kerjanya. Diakses dari <https://wikielektronika.com/pengertian-dan-cara-kerja-sensor-ultrasonik/> pada 24 Februari 2022.