

# PENYANGRAI BIJI KOPI OTOMATIS UNTUK RUMAH TANGGA BERBASIS MIKROKONTROLER MENGGUNAKAN METODE PID *AUTO TUNING*

**Fandy Sandica F.<sup>1</sup>, Ir. Purwanto, MT.<sup>2</sup>, Muhammad Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, <sup>2</sup>Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia  
Email: Fandisandika.fs@gmail.com.<sup>1</sup>, purwanto@ub.ac.id.<sup>2</sup>, muh\_aziz@ub.ac.id.<sup>2</sup>

## Abstrak

*Coffee roasting (penyangraian) merupakan salah satu proses terpenting dalam pengolahan biji kopi. Sehingga dibutuhkan sebuah mesin coffee roaster otomatis yang mampu menunjang proses home roasting. Pada dasarnya coffee roaster ini adalah sebuah alat pemanas yang suhunya diatur dan proses pemanasannya menggunakan hot air yang dihasilkan oleh elemen pemanas elektrik dan ditiup oleh sebuah kipas angin dibawahnya.. Metode PID dipilih sebagai metode kontrol agar sistem memiliki respon yang optimal berdasarkan karakteristik beban yang diatur. Lalu untuk menentukan hasil parameter kontroler PID ini menggunakan metode osilasi Ziegler-Nichols. Metode ini dipilih karena dapat mempersingkat waktu pencarian parameter karena menggunakan rumus-rumus sederhana dan proses trial and error hanya pada pencarian parameter Kp. Hasil parameter kontroler PID diperoleh nilai Kp= 73,8 , Ki= 53,67 dan Kd= 25,36. Dengan nilai Kp, Ki dan Kd tersebut sistem dapat berjalan dengan baik dengan mempertahankan suhu mendekati setpoint.*

**Kata kunci:** *Penyangrai biji kopi, PID, Metode osilasi Ziegler-Nichols*

## I. PENDAHULUAN

Minuman kopi adalah salah satu minuman yang populer yang pernah ada dalam sejarah peradaban umat manusia. Pada awalnya, kopi dikonsumsi karena dipercaya bahwa kandungan kafein di dalamnya merupakan zat *psikoaktif* yang dapat mengusir rasa kantuk untuk sementara. Sejalan dengan perkembangan pola konsumsi manusia, minuman kopi tak lagi sekedar untuk kebutuhan konsumsi, melainkan telah bertransformasi menjadi bagian dari gaya hidup. Salah satu proses terpenting dalam pengolahan biji kopi dikenal dengan nama *coffee roasting*. Proses ini membuat sifat fisik dan kimia

dari *green bean* (biji kopi mentah olahan) berubah. [Kenneth, Davids.2003]

Sehingga, latar belakang tersebut yang mendasari penulis untuk merancang sebuah mesin *coffee roaster* otomatis berbasis mikrokontroler yang dapat menunjang proses *home roasting*. Sistem yang akan dibuat ini terdiri atas beberapa bagian, antara lain adalah sensor suhu yang berfungsi merubah besaran fisis berupa panas menjadi besaran elektrik, mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengontrol, elemen pemanas, motor dc, dan LCD display sebagai penampil. Dimana diharapkan, alat ini mampu melakukan proses *roasting* yang dapat

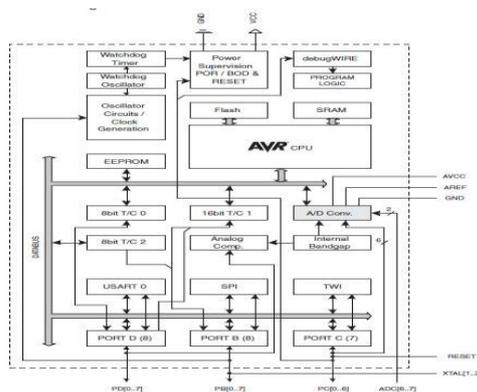
menghasilkan *roasted coffee* dengan kualitas unggul.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Penyusunan skripsi ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif yang diwujudkan dalam bentuk *prototype*, yaitu perencanaan dan perealisasi alat agar dapat menampilkan kinerja sesuai dengan yang direncanakan. Data dan spesifikasi komponen yang digunakan dalam perencanaan merupakan data sekunder yang diambil dari buku data komponen elektronika, diantara komponen yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

### A. Atmega328

ATmega328 adalah mikrokontroler CMOS 8-bit daya-rendah berbasis arsitektur RISC yang ditingkatkan dengan 8 kbytes In-system Self-programmable memori program Flash, 1 kilobytes EEPROM dan 2 kilobyte SRAM internal. Mikrokontroler ini dibuat menggunakan teknologi high-density nonvolatile memory milik Atmel. Gambar Arsitektur Mikrokontroler ATmega328 ditunjukkan dalam Gambar 1



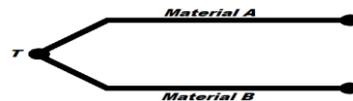
Gambar 1 Arsitektur ATmega328

[Sumber: Atmel, 2009: 2]

### B. Thermocouple

*Thermocouple* adalah sensor suhu yang terdiri dari 2 material yang berbeda. Seperti yang terlihat dalam Gambar 2 dimana 2 buah material yang berbeda

disambung pada kedua ujungnya. Persambungan dari kedua material yang berbeda pada thermocouple biasa disebut dengan junction, dimana junction dalam Gambar 2.4 hanya satu yaitu T. Jika ujung – ujung yang lain dari kedua material yang berbeda tersebut dengan voltmeter, maka akan terdeteksi adanya beda potensial.. Terdapat beberapa macam *thermocouple*, seperti dalam Tabel 1



Gambar 2 Single Junction Thermocouple

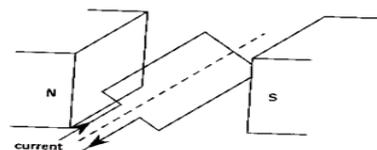
Tabel 1 Tipe – tipe Thermocouple

Type	Bahan/Material	Kisaran Suhu
K	Chromel/Alumel	-200 s/d 1250
J	Iron/Constantan	0 s/d 750
T	Copper/Constantan	-200 s/d 350
E	Chromel/Constantan	-200 s/d 900
S	Platinum/Platinum 10% Rhodium	0 s/d 1450
R	Platinum/Platinum 13% Rhodium	0 s/d 1450

Sumber: Diefenderfer & Halton, 1994 : 480

### C. Motor dc

Motor DC atau motor arus searah adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik arus searah menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanik, yang tenaga gerak tersebut berupa putaran dari rotor.



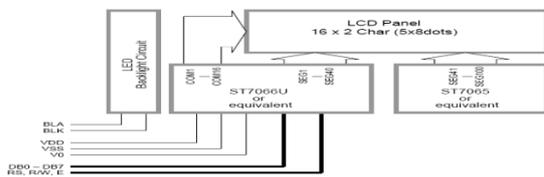
Gambar 3 Prinsip Kerja Motor DC

[Sumber : Malvino, Albert, Paul. 1996]

Apabila sebuah belitan terletak dalam medan magnet yang homogen, arah gerakan ditunjukkan dalam Gambar 3, karena kedua sisi lilitan mempunyai arus yang arahnya berlawanan

#### D. LCD (Liquid Crystal Display)

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk menampilkan karakter baik berupa karakter angka, huruf, atau karakter lainnya, sehingga tampilan tersebut dapat dilihat secara visual. Untuk blok diagram LCD ditunjukkan dalam Gambar 4



Gambar 4 Diagram Blok LCD LMB162A

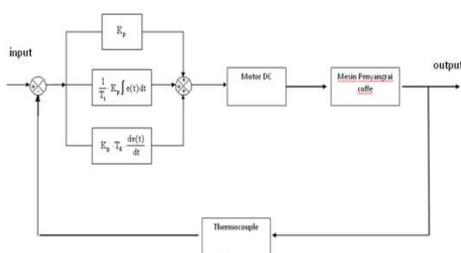
[Sumber: Topway, 2004: 2]

Secara umum langkah-langkah yang dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
2. Perancangan dan perealisasiian alat
3. Pengujian Alat

### III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

#### A. Blok Diagram Sistem



Gambar 5 Diagram Blok Sistem

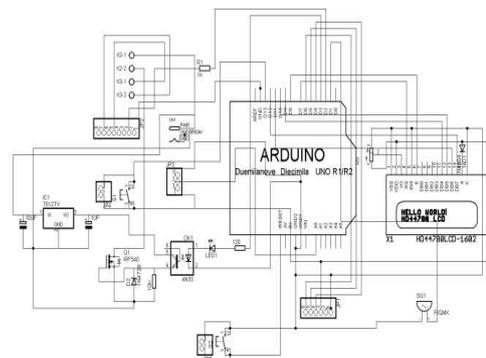
Gambar 5 menunjukkan diagram blok sistem secara keseluruhan. Prinsip kerja

sistem ini adalah Proses dimulai ketika pertama kali alat dinyalakan, LCD display akan menampilkan pesan selamat datang dan menunggu pengguna untuk menekan tombol. Selanjutnya setelah tombol ditekan, kipas angin akan menyala tetapi tidak dengan elemen pemanasnya. Lalu, pengguna perlu untuk mengatur kecepatan motor kipas angin melalui sebuah potensio meter dan tidak lama kemudian biji kopi akan terlihat mulai bergerak. Ketika tombol ditekan lagi, yang terjadi ialah elemen pemanas akan menyala dan proses roasting telah dimulai.

#### B. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras alat ini terbagi menjadi beberapa bagian, antara lain:

- 1) Perancangan driver pengontrol kecepatan putaran kipas angin.
- 2) Perancangan antarmuka sensor suhu *thermocouple*
- 3) Perancangan sistem minimum mikrokontroller ATMEGA 328
- 4) Perancangan antarmuka LCD *display*.
- 5) Perancangan rangkaian untuk tombol

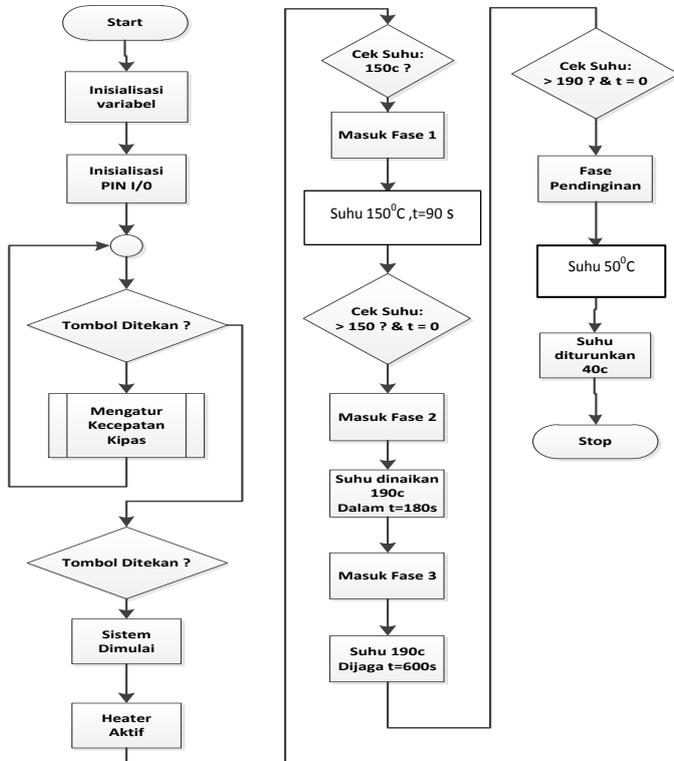


Gambar 6 Rangkaian keseluruhan Sistem Penyangrai Biji Kopi Otomatis

#### C. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang akan dirancang berupa *firmware* yang dituliskan melalui bootloader yang sebelumnya telah di *upload* ke dalam mikrokontroler ATmega328. Firmware tersebut selanjutnya akan mengolah data dan mengontrol sistem. Perancangan program disusun menggunakan compiler *Arduino*

IDE 0022. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C++



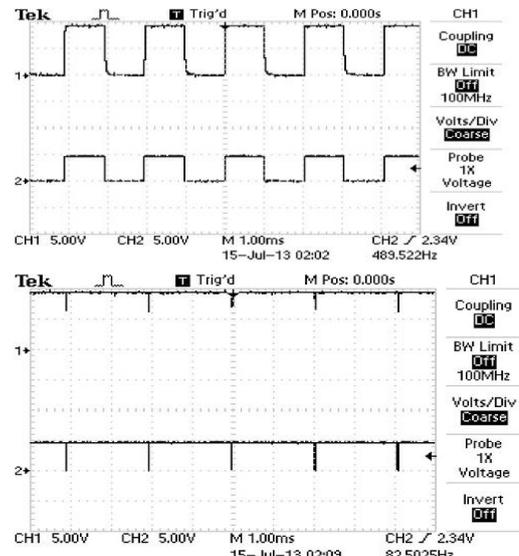
Gambar 7 Diagram alir program utama penyangrai biji kopi Otomatis

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan per blok untuk dapat mengetahui permasalahan di tiap blok agar proses *troubleshooting* lebih mudah dilakukan

##### A. Pengujian Speed Control Motor DC

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian driver motor yang telah dirancang mampu mendrive sinyal PWM (Pulse width Modulation) keluaran dari mikrokontroler, serta mengetahui perubahan lebar pulsa PWM berupa *duty cycle* berdasarkan perubahan bit, sehingga dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor kipas angin. Sinyal *duty cycle* PWM ditunjukkan dalam gambar 8 dan 9



Gambar 9 Keluaran PWM 90%

Tabel 2 Hasil Pengujian PWM Dan Tegangan Pemicuan Mosfet

Presentase Duty Cycle	Nilai Bit	Tegangan (V)	Error
10%	25	0.999	0.001
20%	51	1.929	0.071
30%	76	2.833	0.167
40%	102	3.798	0.202
50%	127	4.74	0.26
60%	153	5.72	0.28
70%	178	6.68	0.32
80%	204	7.68	0.32
90%	229	8.63	0.37
100%	255	9.48	0.52

Dari tabel 2 dapat dilihat hubungan antara prosentase duty cycle, nilai bit dan tegangan pemicuan FET. Perubahan duty cycle dan bit keluaran memberikan perubahan terhadap tegangan pemicuan FET. Simpangan error maksimal terjadi

pada pemecuan 10V yaitu sebesar 5,2%. Dengan demikian proses pengaturan kecepatan motor kipas angin dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan

### B. Pengujian Sensor Suhu

Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sensor suhu *thermocouple* yang dihubungkan dengan IC AD595 sehingga keluaran yang dihasilkan dapat sesuai dengan karakteristik pada *datasheet* dan memiliki nilai yang *actual*. Hasil pengujian output IC AD595 tertera dalam tabel 3

Tabel 3 Hasil Pengujian Output IC AD595

Suhu Thermocouple (°C)	Output IC AD595 (mV)	Bit ADC
25	250	51
30	300	61
40	401	82
50	503	102
60	605	123
80	810	164
100	1015	205
120	1219	246
140	1420	286
160	1620	327
180	1817	368
200	2015	409
220	2213	450
240	2413	491
260	2614	532
280	2817	573

Namun diperlukan pengujian thermocouple untuk kalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai suhu keluaran sensor *thermocouple* dengan modul sensor suhu PT-100 karena diasumsikan bahwa modul sensor suhu PT-100 memiliki pembacaan yang terlebih akurat. Hasil pengujian sensor suhu thermocouple ditunjukkan dalam Tabel 4

Tabel 4 Hasil Pembandingan Sensor Dengan Modul PT-100

No	Suhu thermometer	Sensor suhu Thermocouple Pengukuran ke-			Suhu Rata - rata thermocouple	Error rata-rata
		I	II	III		
1	26	26	26	26	26.00	0.00
2	30	30	30	31	30.33	0.33
3	35	36	35	35	35.33	0.33
4	44	44	45	44	44.33	0.33
5	57	56	57	57	56.67	0.33
6	62	62	63	62	62.33	0.33
7	72	72	73	72	72.33	0.33
8	100	101	100	100	100.33	0.33
9	105	106	105	105	105.33	0.33
10	109	109	109	109	109.00	0.00
<b>Jumlah Error</b>						2.64
<b>Rata - rata Error</b>						0.26

Kalibrasi dilakukan sebanyak 10 kali dengan cara menaikkan nilai suhu secara bertahap. Dimana proses pengukuran sensor thermocouple dengan modul PT-100 dilakukan secara bersamaan. Dari Tabel III dapat diketahui bahwa hasil pengujian menunjukkan jumlah error nya adalah 2,64 dan rata – rata nilai errornya sebesar 0,26. Dengan nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor thermocouple layak digunakan

### C. Pengujian Modul LCD

Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis keberhasilan LCD menampilkan string sesuai dengan karakter yang dikirimkan dari compiler menuju mikrokontroler.

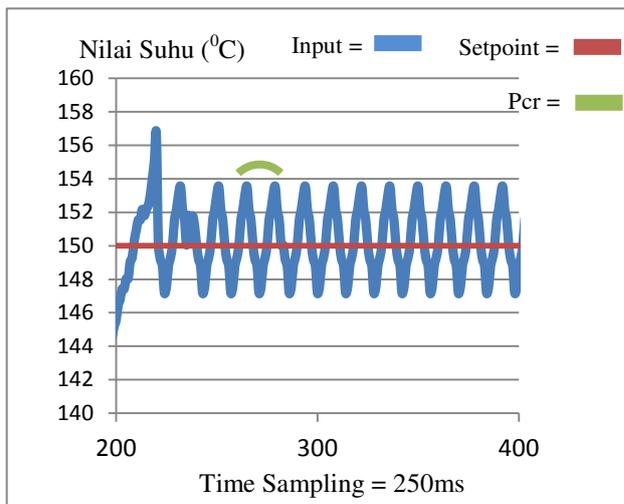


Gambar 10 Pengujian Modul LCD

Dalam gambar 10 dapat diamati bahwa LCD dapat menampilkan karakter “*Pengujian LCD*”. Custom karakter animasi *space invader* juga dapat ditampilkan dengan baik oleh LCD. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa LCD dapat bekerja dengan baik, begitu pula dengan program penampil karakter pada LCD telah sesuai dengan yang diharapkan.

#### D. Pengujian Tuning Kontroler PID

Pada pengujian ini penulis melakukan tuning PID yang menggunakan metode osilasi *Ziegler-Nichols* dimulai dengan memberikan nilai 0 pada parameter  $T_i$  dan  $T_d$ . Sedangkan nilai  $K_p$  dinaikkan sedikit demi sedikit hingga didapatkan grafik yang berosilasi berkesinambungan. Dalam pengujian yang dilakukan didapatkan nilai  $K_p$  sebesar 123 seperti yang ditunjukkan oleh gambar 11



Gambar 11 Grafik Respon Sistem Dengan Nilai  $K_p=123$

Pada gambar 6 dengan menggunakan nilai  $K_p=123$  terlihat bahwa respon sudah mengalami osilasi berkesinambungan mulai detik ke 65. Sehingga dari grafik diatas dapat dihitung nilai  $K_{cr}$  dan  $P_{cr}$  yaitu,

$$\square K_{cr} = 123$$

$$\square P_{cr} = (307-296) \times \text{Time Sampling} = 11 \times 0,25 \text{ s} = 2,75 \text{ s}$$

$$\square K_p = 0,6 \times K_{cr} = 0,6 \times 123 = 73,8$$

$$\square T_i = 0,5 \times P_{cr} = 0,5 \times 2,75 \text{ s} = 1,375 \text{ s}$$

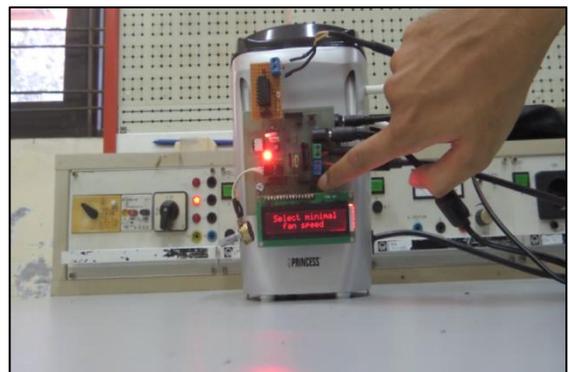
$$\square T_d = 0,125 \times P_{cr} = 0,125 \times 2,75 \text{ s} = 0,34375 \text{ s}$$

$$\square K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{73,8}{1,375} = 53,672727$$

$$\square K_d = K_p \times T_d = 73,8 \times 0,34375 = 25,36875$$

#### E. Pengujian Sistem Keseluruhan

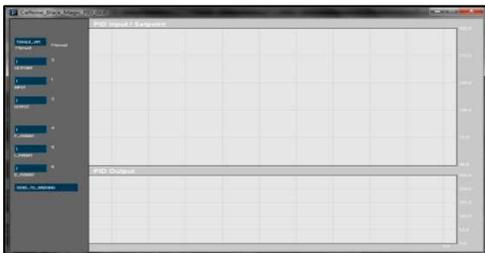
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem yang telah didesain mampu melakukan proses *coffee roasting* sesuai dengan kaidah yang telah ditentukan sebelumnya. Pengujian dilakukan secara bertahap sesuai prosedur kerja sistem yang telah dirancang. Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan tahap demi tahap sesuai dengan prosedur kerja sistem. Langkah pertama yaitu menghidupkan sistem, LCD display akan menampilkan pesan selamat datang dan menunggu pengguna untuk menekan tombol seperti dalam gambar 12 dibawah ini



Gambar 12 Tampilan LCD ketika sistem start-up

Selanjutnya, muncul tampilan untuk pengguna agar mengatur kecepatan kipas minimum melalui potensiometer. Pada pengujian kali ini kecepatan minimum di set pada kecepatan 34 – 35 %. Kemudian

tampilan GUI perlu diaktifkan untuk memantau grafik yang terjadi dan parameter – parameter PID yang ada ketika proses *roasting*. Adapun tampilan GUI ditunjukkan dalam gambar 13



Gambar 13 Tampilan GUI

Ketika tombol ditekan lagi, yang terjadi ialah elemen pemanas akan menyala dan proses *roasting* telah dimulai. Sehingga tampilan dalam LCD akan berubah dan tampilan GUI akan mulai menggambar grafik input, output dan setpoint yang terjadi selama proses *roasting*. Perubahan tampilan LCD ditunjukkan dalam gambar 14. LCD display akan menampilkan parameter – parameter yang dibutuhkan dalam proses *roasting*



Gambar 14 Perubahan tampilan LCD

Pada pengujian ini, *greenbean* dimasukan pada fase 0. Di akhir fase ini, kopi yang disangrai melalui tahap *yellowing*. Ini merupakan fase awal dimana terjadi proses *endothermic* (penyerapan panas) yang membuat *green bean* secara perlahan mengering, warna berubah menjadi kuning muda dan kulit ari mulai

terlepas. Proses *yellowing* pada biji kopi ditunjukkan dalam gambar 15.



Gambar 15 Perubahan warna *greenbean* akibat fase *yellowing*

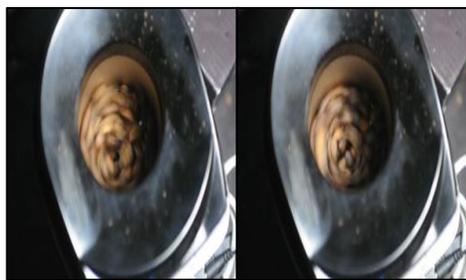
Selanjutnya, sistem memasuki fase 1 dimana nilai *setpoint* di set pada suhu 150° C dan suhu dijaga tetap dalam kurun waktu 90 detik. Pada akhir dari fase ini, kopi yang tersangrai melalui tahap *steam*, dimana air yang terkandung dalam biji kopi mulai menguap. Proses *steam* atau penguapan pada biji kopi ditunjukkan dalam gambar 16 a.



(a) Gambar 16  
a. Fase *steam*  
b. Fase *light brown stage*

Lalu, ketika waktu penghitung mundur telah selesai menghitung selama 90 detik, maka sistem akan beralih menuju fase selanjutnya yaitu fase kedua. Pada fase ini suhu akan dinaikan secara bertahap dari 150° C menuju 190° C dalam durasi waktu 210 detik. Pada akhir dari fase ini, kopi yang tersangrai melalui fase *light brown stage*, Proses pada fase *light brown stage* ditunjukkan dalam gambar 16 b. Selanjutnya, ketika suhu telah mencapai 190° C dan waktu penghitung mundur telah berakhir, maka sistem akan menuju fase selanjutnya yaitu fase ke-3.

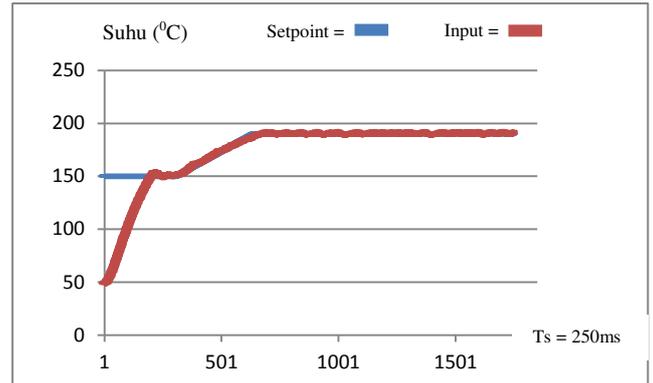
Pada fase ini setpoint akan diatur pada suhu  $190^{\circ}\text{C}$  dan dijaga selama 600 detik. Pada pertengahan dari fase ini, kopi yang tersangrai melalui fase brown stage, dimana warna dari biji kopi terlihat berwarna coklat tua seperti dalam gambar 17a. Keetika fase ketiga akan berakhir, kopi yang tersangrai melalui tahap *first crack*, dimana tercium bau harum dari biji kopi. Segera setelah itu akan terdengar suara retakan pertama.. Fase ini ditunjukkan dalam gambar 17 b



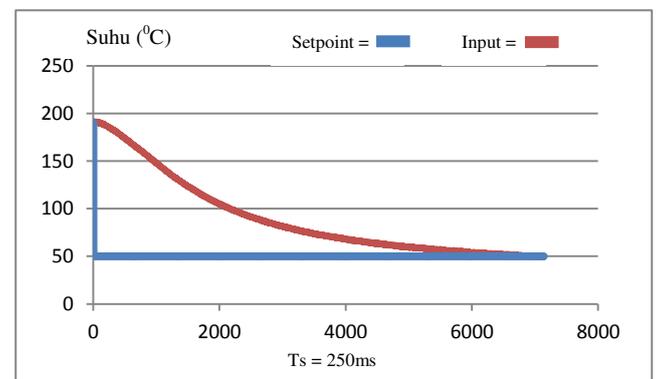
(a) (b)  
 Gambar 17  
 a. Fase brown stage  
 b. Fase first crack

Saat fase 3 berakhir, sistem akan menjalankan fase pendinginan. Pada fase ini setpoint di atur pada  $50^{\circ}\text{C}$ . Fase ini diperuntukan agar biji kopi yang telah disangrai (*roasted coffee*) segera dapat diolah menuju proses selanjutnya, baik proses grinding untuk selanjutnya disajikan maupun proses penyimpanan.

Pada fase-fase yang telah dijelaskan diatas, penulis memakai nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang telah ditemukan menggunakan metode osilasi, diberikan secara berurutan adalah 73,8 53,67 dan 25,36. Dalam gambar 15 terlihat bahwa respon sistem terlihat stabil. Pada fase ini didapatkan nilai *maximum overshoot* ( $M_p$ ) sebesar 2,667 % , nilai *settling time* ( $T_s$ ) sebesar 11,25 detik dan nilai *time to peak* ( $T_p$ ) sebesar 5,25 detik dan *error steady state* rata-rata adalah 0,02132 Pada setpoint diatas  $150^{\circ}\text{C}$ , sistem cenderung sangat stabil dan nilai error cukup kecil.



Gambar 18 Respon Sistem dari Fase Ke-0 sampai Fase Ke-3



Gambar 19 Respon Sistem Pada Fase Pendinginan

## V. KESIMPULAN

1. Agar pemantauan proses roasting dapat berjalan dengan optimal maka diperlukan sensor suhu yang mampu mengukur suhu dalam biji kopi (ketika proses endothermic) bukan suhu ruang pemanasan. Pada perancangan ini digunakan pengukuran suhu ruang dan hasilnya kopi yang telah tersangrai (*roasted coffee*). Selain itu, ruang atau wadah yang digunakan untuk proses pemanasan sebaiknya terbuat dari logam stainless steel agar kopi yang disangrai tidak tercemar bau logam.
2. Sistem kontrol PID yang digunakan dalam sistem berfungsi dalam respons pengaturan kecepatan motor kipas angin di bawah elemen pemanas yang berfungsi untuk membuat hot air. Dimana elemen pemanas memiliki karakteristik berupa suhunya naik secara cepat ketika diaktifkan tetapi

suhunya turun secara lambat ketika dimatikan. Dari hasil pengujian menggunakan metode ziegler-nichols didapatkan nilai parameter dengan nilai kesalahan paling minimum untuk  $K_p$  ,  $K_i$  dan  $K_d$  dengan berturut – turut adalah 73,8 53,67 dan 25,36.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kenneth, Davids.2003. *Home Coffee Roasting, Revised, Updated Edition: Romance and revival*. San Fransisco: St. Martin's Griffin.
- [2] Atmel.2009ATMEGA48P/ATMEGA 168PA/ATMEGA328P, 8-bit AVR with 4/8/16/32K bytes in System Programable Flash.<http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>. diakses tanggal 10 Januari 2014.
- [3] Malvino, Albert, Paul. 1996. *Prinsip-prinsip Elektronika*. alih bahasa Hanafi Gunawan. Jakarta: Erlangga
- [4] Topway. -.*LMB162A LCD Module Manual*.  
<http://www.winstar.com.tw/download.php?ProID=36>, diakses tanggal 21 Desember 2013