

Penerapan Sistem Kendali *Fuzzy Logic* pada Alat Penyangrai Kopi Tipe Fluidisasi

(Application of Fuzzy Logic Control System in Fluidized Coffee Roaster)

Arie Nugroho^{*)}, Abdul Waris, Junaedi Muhidong
Program Studi Magister Keteknikan Pertanian Universitas Hasanuddin
^{*)}Email korespondensi: arienbb@pertanian.go.id

ABSTRACT

The fluidized coffee roaster is one of roasters which designed to overcome the weaknesses of the conventional roasting method. The purpose of this research is to develop a fluidization type roaster with a Fuzzy Logic control system. The specification of the roaster are roasting chamber dimensions of 65 mm (diameter) and 75 mm (height), a roasting capacity of 40 grams with a roasting time of 300 seconds. A heater with a power of 1,200 W was used as the source of heating energy. The research method was carried out by first, developed a control program and applied to the roaster. Then, a test of functionality and performance was conducted by using Robusta coffee for a temperature set point of 190°C, 200°C, and 210°C. The performance test of control responses resulted in 6.25°C (2,97%) error steady state for 15 seconds. However, this value remains below the tolerance threshold of 5%. The test of the color quality of coffee roasted at 190°C produced 3 groups of coffee colors, namely light brown-yellow, light brown-half-city, and light brown-cinnamon. In the case of roasting temperature of 200°C, it produced 3 color groups, i.e. light brown-city, light brown-full city, and light brown-full city+. For a roasting temperature of 210°C, there were two types of colors, namely dark brown-Vienna and dark brown-Italian. It can be concluded that a fluidized coffee roaster with a fuzzy logic control system was able to produce roast coffee compatible to the target roast profile according to the National Coffee Association (2002), namely light, medium, and dark.

Keywords: coffee roaster, fluidized, fuzzy logic.

ABSTRAK

Penyangraian kopi beras dapat dilakukan dengan menggunakan metode konvensional dan juga dengan cara mekanis yaitu menggunakan alat penyangrai. Alat penyangrai kopi tipe fluidisasi merupakan salah satu alat penyangrai yang dirancang untuk mengatasi kelemahan pada metode penyangraian secara konvensional. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan alat penyangrai kopi tipe fluidisasi dengan sistem kendali *fuzzy logic*. Alat penyangrai kopi tipe fluidisasi memiliki dimensi ruang penyangrai (diameter = 65 mm, tinggi = 75 mm) kapasitas penyangraian 40 gram dengan waktu penyangraian selama 300 detik dan *heater* dengan daya sebesar 1.200 W sebagai sumber energi pemanas. Metode penelitian yang dilakukan adalah membuat program kendali, menerapkan sistem kendali pada alat penyangrai. Kemudian uji fungsional dan uji kinerja alat penyangrai dengan menggunakan kopi beras robusta untuk 3 kali penyangraian dengan suhu setting point 190°C, 200°C dan 210°C. Uji kinerja alat penyangrai menunjukkan respon alat baik, dengan indikator berupa nilai *error steady state* di atas nilai setting point sebesar 6,25°C (2,97%) selama 15 detik. Namun nilai ini masih di bawah ambang batas toleransi sebesar 5%. Uji mutu warna kopi hasil penyangraian pada penyangraian dengan suhu 190°C menghasilkan 3 kelompok warna kopi : coklat muda-kekuningan, coklat muda-*half city* dan coklat muda-*cinnamon*. Untuk suhu penyangraian 200°C menghasilkan 3 kelompok warna : coklat muda-*city*, coklat muda-*full city* dan coklat muda-*full city*+. Pada suhu

penyangraian 210°C menghasilkan 2 kelompok warna : coklat tua-*Vienna*, coklat tua-*Italian*. Alat penyangrai kopi tipe fluidisasi dengan sistem kendali *fuzzy logic* sudah mampu menghasilkan kopi sangrai sesuai dengan target profil penyangraian menurut *National Coffee Association* (2002) yaitu : *light*, *medium* dan *dark*.

Kata Kunci: Penyangrai kopi, Fluidisasi, *Fuzzy logic*.

PENDAHULUAN

Penyangraian kopi di tingkat petani selama ini masih dilakukan secara tradisional dengan metode penyangraian terbuka menggunakan penyangrai dari wajan tanah liat atau alumunium. Hal ini menyebabkan produk olahannya tidak kompetitif dan hanya bisa terjual untuk pasar lapisan bawah (Mulato, 2002).

Selain menggunakan metode konvensional dilakukan juga penyangraian dengan cara mekanis yaitu menggunakan alat penyangrai. Umumnya alat penyangrai yang digunakan adalah tipe silinder berputar dan tipe fluidisasi.

Beberapa penelitian terdahulu mengenai alat penyangrai tipe fluidisasi dengan sistem kendali diantaranya, pengujian kinerja alat penyangrai tipe fluidisasi dan uji kualitas kopi sangrai (Widodo *et al.*, 2015). Kemudian Safitri meneliti pengaruh suhu dan waktu sangrai terhadap hasil bubuk biji rambutan serupa kopi (Safitri & Amin, 2015). Penelitian ini menggunakan sistem kendali *on-off* pada elemen pemanasnya. Juni melakukan perancangan alat penyangrai otomatis untuk rumah tinggal dengan sistem kendali PID (Juni *et al.*, 2014). Pada penelitian ini digunakan metode sistem kendali PID pada elemen pemanas dan kecepatan putaran kipas.

Untuk sistem kendali *fuzzy logic* pada alat penyangrai kopi tipe fluidisasi belum dilakukan. Dari permasalahan di atas maka dalam penelitian ini akan dirancang sistem kendali *fuzzy logic* pada alat penyangrai kopi tipe fluidisasi.

Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan alat penyangrai kopi tipe fluidisasi dengan sistem kendali *fuzzy logic*.

Kegunaan penelitian ini antara lain: sebagai informasi bagi prosesor kopi untuk

menghasilkan kopi sangrai dengan derajat penyangraian *light*, *medium* dan *dark*, serta dapat menjadi model bagi perancang alat penyangrai kopi tipe fluidisasi.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

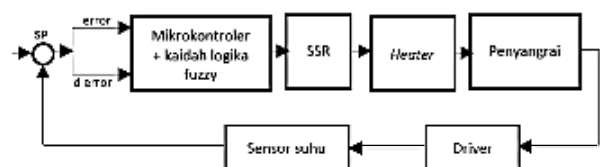
Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: penyangrai kopi tipe fluidisasi, mikrokontroler *Atmega Uno*, *thermocouple type K*, *driver thermocouple max 6675*, silinder akrilik, LCD, *solid state relay*, catu daya 12 V, kWh meter, program *Arduino IDE*, program *Matlab*, oven, *colorimeter*, timbangan digital *US Solid* (tingkat akurasi 0,001 gram), kamera, laptop.

Bahan

Bahan uji yang digunakan untuk penelitian ini adalah kopi beras robusta asal kabupaten Gowa yang diproses melalui pengolahan kering (natural).

Prosedur Penelitian

1. Perancangan Fungsional Sistem Kendali
Pada penelitian ini, sistem kendali yang dirancang terdiri dari 2 input dan 1 output (MISO). Input terbagi menjadi error dan delta error. Untuk output adalah PWM daya heater.



Gambar 1. Sistem Kendali Pada Perangkat Keras

2. Perancangan Struktural Sistem Kendali
Struktur sistem kendali terdiri dari: *driver thermocouple max 6675*, mikrokontroler *Arduino Uno*, LCD, *solid state relay*, catu daya

12 V dan kipas pendingin. Struktur sistem kendali kemudian diletakkan di dalam kotak kontrol.

3. Perancangan Software Fuzzy

a. Pendefinisian Input-output

Pada sistem kendali *fuzzy logic* alat penyangrai kopi, didesain sistem kendali *fuzzy* dengan 2 masukan dan 1 keluaran. Sistem masukan tersebut yaitu nilai suhu yang terbagi menjadi nilai *error* dan *delta error* berdasarkan setting point sedangkan keluaran dari sistem yaitu nilai PWM daya pemanas yang dikendalikan oleh sistem *fuzzy logic*.

b. Menentukan semesta pembicaraan dan nilainya.

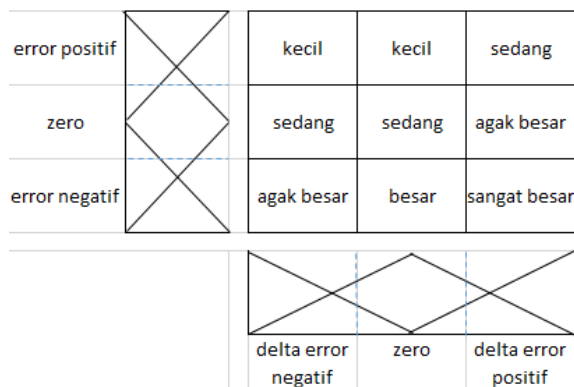
Semesta pembicaraan pada input-1 (nilai *error*) dan input-2 (nilai *delta error*) menggunakan range sebesar -2 sampai +2.

c. Mendefinisikan fungsi dan jumlah keanggotaan serta mendefinisikan himpunan *fuzzy* input-output.

Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah bentuk segitiga dan fungsi singleton.

d. Penyusunan kaidah pembicaraan.

Hasil penyusunan kaidah sistem 2 masukan dan 1 keluaran adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Matriks Kendali Fuzzy

e. Penerapan kendali *fuzzy*

Penerapan kendali *fuzzy* dilakukan oleh mikrokontroler *Arduino Uno* yang digunakan pada alat penyangrai kopi tipe fluidisasi. Mikrokontroler dirangkai dengan catu daya, *thermocouple* tipe K, *driver thermocouple max 6675*, display LCD, dan *solid state relay* membentuk satu sistem kendali pada alat penyangrai kopi tipe fluidisasi.

Input dan output *fuzzy* dirancang menggunakan bahasa *processing* dengan

bantuan program *Arduino IDE*. Kemudian program yang telah dibuat di-*compile* lalu diupload kedalam mikrokontroler dalam bentuk file ino.

f. Tuning

Proses *tuning* adalah menyesuaikan fungsi keanggotaan *fuzzy* ke dalam kaidah-kaidah kontrol. *Tuning* akan dilakukan secara *offline* menggunakan bantuan program *MATLAB*.

4. Pengujian alat penyangrai

a. Uji fungsional

Uji fungsional bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem kendali yang dihasilkan dengan cara membandingkan hasil sistem kendali dengan kriteria yang ditetapkan. Uji fungsional yang dilakukan adalah uji respon dinamik kontrol. Uji respon dinamik kontrol dilakukan untuk melihat respon sistem kontrol pada alat penyangrai kopi tipe fluidisasi.

b. Uji kinerja

Tujuan dari uji kinerja adalah untuk mengetahui apakah alat mampu menyangrai kopi beras dengan kriteria keberhasilan sebagai berikut: lama penyangraian berkisar 5-10 menit, kadar air kopi sangrai berkisar maksimal 4%, warna kopi sangrai harus dapat diklasifikasikan ke dalam *light*, *medium* atau *dark roast*.

c. Metode pengujian

Langkah pada uji respon *transien* dan respon *steady state* alat tanpa bahan: menyiapkan alat, mengatur *setting point* suhu penyangraian sebesar 190°C, merekam data waktu (detik), suhu penyangraian (°C) dan daya alat selama proses penyangraian berlangsung, menentukan hubungan antara suhu dan waktu, memplotkan data suhu, waktu dan daya ke dalam grafik, mengamati terjadinya *settling time*, *overshoot*, *error steady state*.

Sebelum dilakukan uji kinerja maka dilakukan uji pendahuluan terlebih dahulu untuk menentukan kapasitas dan waktu penyangraian yang akan dilakukan pada uji kinerja. Berikut alur uji pendahuluan: mengukur kadar air kopi beras sebelum disangrai, menyiapkan kopi beras sebanyak 100 gram, menghidupkan *axial fan* kemudian memasukan kopi beras tiap 10

gram, proses penambahan dihentikan setelah kopi beras tidak bisa bergerak lagi dalam ruang penyangrai. Kopi beras ditimbang, beratnya dikurangi 10 gram kemudian dijadikan kapasitas alat penyangrai.

Langkah uji pendahuluan untuk menentukan waktu penyangraian : mengatur setting point suhu penyangraian sebesar 190°C, alat penyangrai dihidupkan, memasukkan kopi beras ke dalam ruang penyangrai dengan jumlah sebanyak hasil pengujian langkah ke-4, merekam data waktu (detik), suhu penyangraian (°C) dan daya pemanas selama proses penyangraian berlangsung, menghentikan penyangraian ketika seluruh kopi beras telah mengalami *first crack*, lama penyangraian yang diperlukan untuk menyangrai kopi beras dengan suhu 190°C sampai tercapai *first crack* adalah waktu yang akan digunakan dalam uji kinerja.

Berikut ini merupakan alur pengujian kinerja: mengukur kadar air kopi beras sebelum disangrai, menyiapkan kopi beras sesuai dengan kapasitas yang diperoleh pada uji pendahuluan, mengatur *setting point* suhu penyangraian sesuai *setting point* (Sp) ke-1 yaitu sebesar 190°C, memasukkan kopi beras ke dalam ruang penyangrai setelah alat dihidupkan, merekam data waktu, suhu penyangraian dan daya pemanas selama proses penyangraian berlangsung, mengambil sampel biji kopi sebanyak 3 gram setiap 60 detik, menghentikan penyangraian ketika sudah sesuai dengan waktu yang didapatkan dari uji pendahuluan, menghitung kadar air dan uji warna kopi hasil penyangraian dari sampel di atas, mengulang langkah 1-8 untuk setting point ke-2 sebesar 200°C dan ke-3 sebesar 210°C.

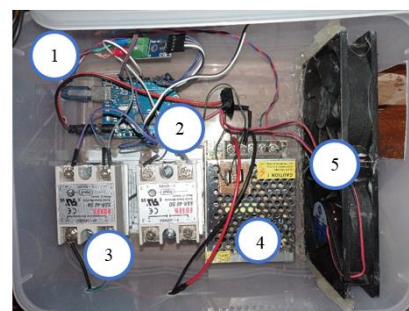
HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Alat Penyangrai

Alat penyangrai kopi tipe *fluidisasi* yang dibuat terdiri dari ruang penyangrai, ruang pemanas, *heater*, *axial fan* dan kotak pengontrol.

Tabel 1. Spesifikasi Alat Penyangrai

No	Kategori	Dimensi (mm)	Bahan
1	Ruang penyangrai	65 (d) x 75 (t)	Akrilik
2	Ruang pemanas	65 (d) x 50 (t)	Alumunium
3	<i>Heater</i>	1.200 W (daya)	Kawat nikelin
4	<i>Axial fan</i>	60(diameter)	plastik

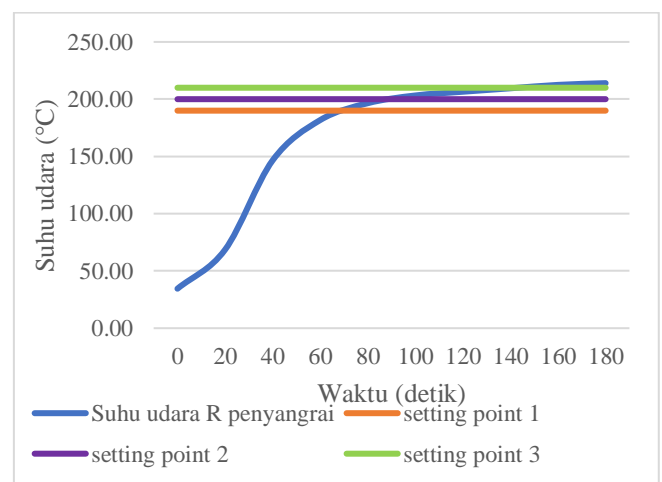


Keterangan :
 1.Driver max 6675
 2.Mikrokontroler Arduino Uno
 3.Solid state relay
 4.Catu daya 12 V
 5.Kipas pendingin

Gambar 3. Kotak kontrol

1. Uji Gain

Uji ini dilakukan untuk melihat apakah daya heater pada alat penyangrai dapat melampaui suhu *set point* yang akan diterapkan. Adapun hasil uji gain adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Uji gain

Pada uji gain terlihat bahwa alat penyangrai dapat mencapai suhu 214°C dalam waktu 180 detik. Hal ini berarti daya pada *heater* alat penyangrai cukup besar sehingga dapat digunakan untuk penerapan sistem kendali. Untuk *setting point* pertama sebesar

190°C dapat dicapai oleh alat dalam waktu 59 detik. Kemudian *setting point* kedua sebesar 200°C dapat dicapai dalam waktu 67 detik dan *setting point* ketiga sebesar 210°C dicapai dalam waktu 79 detik.

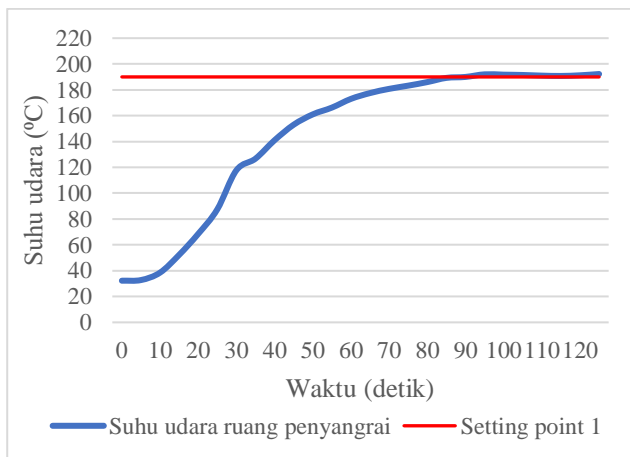
2. Program Kontrol

Pada perancangan awal kaidah kontrol dengan nilai PWM awal didapatkan suhu udara ruang penyangrai belum mampu mencapai *setting point* yang diharapkan. Hal ini disebabkan nilai PWM yang dihasilkan sistem kontrol belum cukup besar. Sehingga daya yang dihasilkan oleh *heater* belum cukup besar untuk mampu memanaskan udara dengan suhu sesuai *setting point* yang diharapkan.

Untuk mengatasi hal tersebut maka dilakukan *tuning* menggunakan program MATLAB. Proses *tuning* kaidah *fuzzy* yang dilakukan juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziah *et al* (2018).

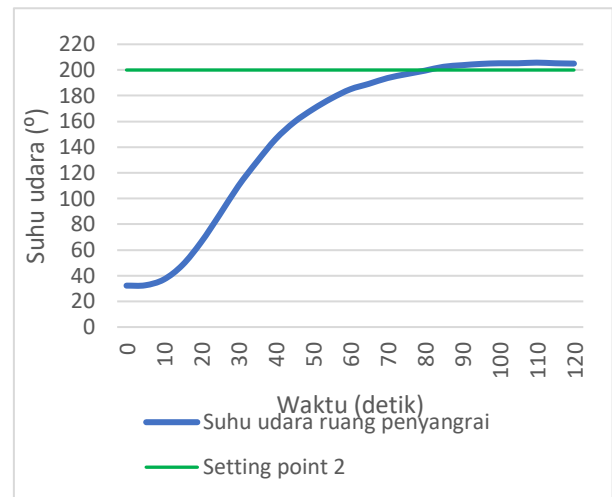
3. Uji fungsional

Uji fungsional dilakukan tanpa menggunakan bahan (kopi beras). Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah alat berfungsi sesuai fungsionalnya dan sudah sesuai dengan kriteria yang diharapkan. Berikut hasil uji fungsional yang menyatakan hubungan waktu (detik) dan suhu (°C):



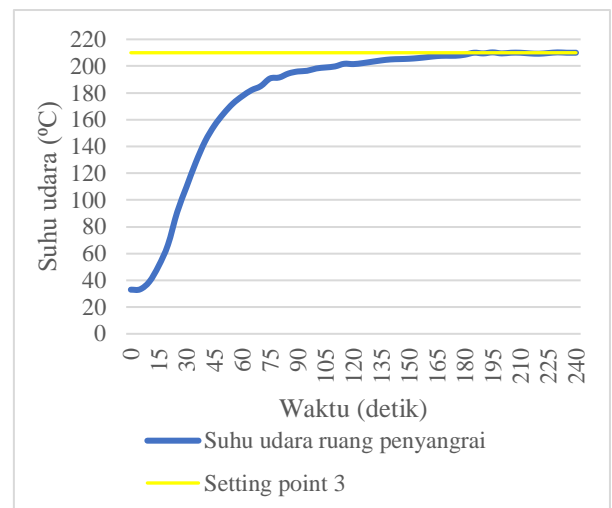
Gambar 5. Respon dinamik kontrol pada setting point 190°C

Pada pengujian fungsional dengan suhu *setting point* 190°C terlihat alat mampu mencapai suhu *setting point* dalam waktu 89 detik. Terjadi *error steady state* sebesar 2,5°C di atas nilai *setting point*.



Gambar 6. Respon dinamik kontrol pada setting point 200°C

Pada pengujian fungsional dengan suhu *setting point* 200°C terlihat alat mampu mencapai suhu *setting point* dalam waktu 81 detik. Terjadi *error steady state* sebesar 5,75°C di atas nilai *setting point*.



Gambar 7. Respon dinamik kontrol pada setting point 210°C

Pada pengujian fungsional dengan suhu *setting point* 200°C terlihat alat mampu mencapai suhu *setting point* dalam waktu 185 detik. Terjadi *error steady state* sebesar 0,5°C di atas nilai *setting point*.

Hasil pengukuran suhu pada uji fungsional terlihat suhu udara ruang penyangrai mampu mencapai semua *setting point* yang diujikan. Pada semua *setting point* yang diujikan terlihat alat penyangrai mampu merespon dengan baik sistem kontrol. Hal ini berarti sistem dalam alat penyangrai mampu bekerja sesuai dengan kriteria yang diharapkan.

Terjadi *error steady state* di atas nilai *setting point* untuk ketiga pengujian respon dinamik namun nilainya masih di bawah ambang batas yaitu maksimal sebesar 5% dari nilai *setting point* (Ogata, 1995). Hal ini menunjukkan bahwa kaidah kontrol *fuzzy* sesuai target yang diharapkan yaitu mampu mengendalikan suhu udara ruang penyangrai.

Tabel 2. Nilai *error steady state* pada uji fungsional

No	Error steady state (%)	Ambang batas (%)	Setting point
1	1,3	5	190°C
2	2,9	5	200°C
3	0,2	5	210°C

4. Uji Kinerja

Pada uji fungsional alat penyangrai tipe fluidisasi sudah mampu berfungsi sesuai kriteria yang diharapkan, sehingga tahapan pengujian bisa dilanjutkan ke tahap uji kinerja.

Karena alat penyangrai sudah mampu berfungsi sesuai fungsionalnya maka perlu ditentukan kapasitas penyangraian dan waktu penyangraian yang akan digunakan dalam uji kinerja.

Kapasitas penyangraian berhubungan dengan kecepatan udara di ruang penyangraian.

Tabel 3. Hasil uji pendahuluan kapasitas penyangraian

No	Berat (g)	Pergerakan biji kopi
1	10	Terangkat dan berputar sangat kencang oleh hembusan kipas
2	20	Terangkat dan berputar kencang oleh hembusan kipas
3	30	Terangkat dan berputar normal oleh hembusan kipas
4	40	Terangkat dan berputar normal oleh hembusan kipas
5	50	Terangkat dan berputar sangat pelan oleh hembusan kipas

Dari hasil uji di atas ditentukan kapasitas penyangraian sebesar 40 gram karena biji kopi beras masih mampu berputar oleh udara yang dihembuskan *axial fan*.

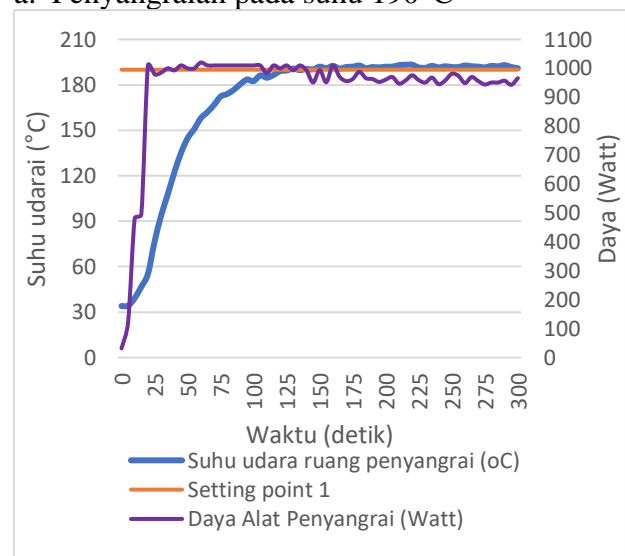
Kemudian lama penyangraian yang akan dilakukan dalam uji kinerja juga ditentukan dengan melakukan uji pendahuluan.

Tabel 4. Hasil uji pendahuluan lama penyangraian

No	Suhu Setting Point (°C)	Waktu First Crack (detik)
1	190	285
2	200	215
3	210	190

Dari hasil uji pendahuluan di atas ditentukan lama penyangraian yang akan dilakukan pada uji kinerja adalah 300 detik. Hal ini berdasarkan *National Coffee Association* (2002) yang menyatakan bahwa kopi sangrai *light, medium* dan *dark* minimal harus sudah mengalami *first crack*.

a. Penyangraian pada suhu 190°C

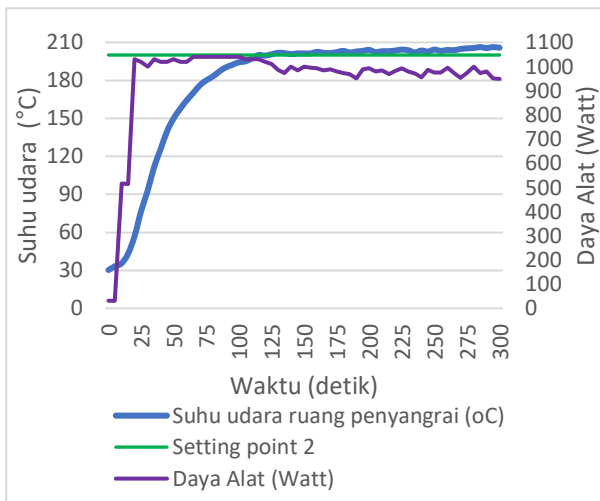


Gambar 8. Uji kinerja pada suhu 190°C

Pada penyangraian dengan *setting point* 190°C tidak terjadi *over shoot* serta *settling time* dapat dicapai dalam waktu 140 detik. Selain itu terjadi nilai *error steady state* sebesar 3,25°C.

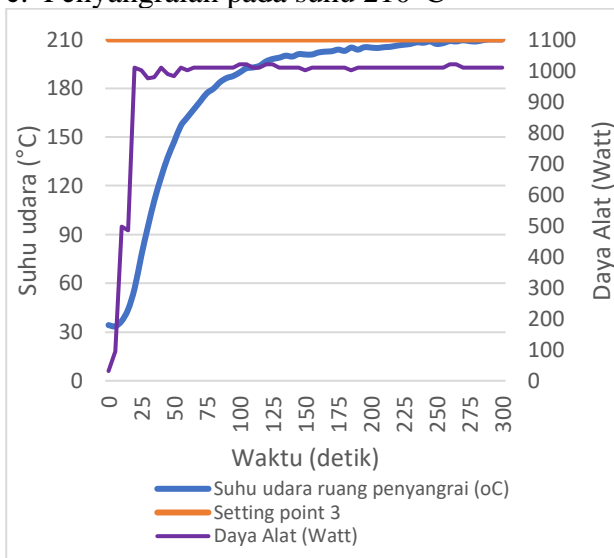
b. Penyangraian pada suhu 200°C

Pada penyangraian dengan *setting point* 200°C tidak terjadi *over shoot* serta *settling time* dapat dicapai dalam waktu 115 detik. Selain itu terjadi nilai *error steady state* sebesar 6,25°C.



Gambar 9. Uji kinerja pada suhu 200°C

c. Penyangraian pada suhu 210°C



Gambar 10. Uji kinerja pada suhu 210°C

Pada penyangraian dengan *setting point* 210°C tidak terjadi *over shoot* dan *error steady state*. Untuk *settling time* dapat dicapai dalam waktu 210 detik.

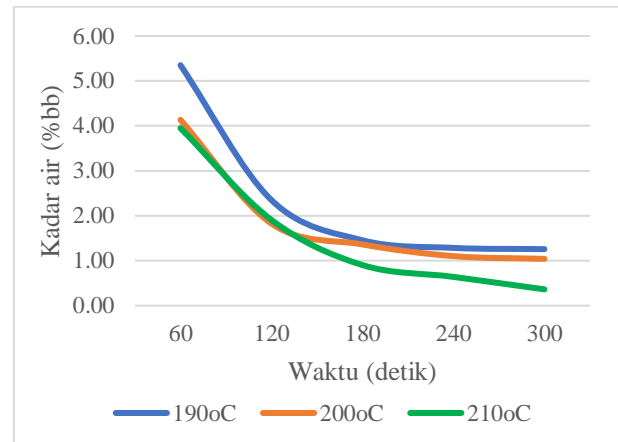
Tabel 5. Nilai *error steady state* pada uji kinerja

No	Setting point (°C)	Settling time (detik)	Error steady state (%)	Ambang batas (%)
1	190	140	1,7	5
2	200	115	3,1	5
3	210	210	0	5

Dari hasil uji kinerja, terlihat bahwa *settling time* pada suhu penyangraian 200°C di bawah *settling time* suhu penyangraian 190°C. Hal ini disebabkan oleh proses *tunning* yang kurang optimal.

5. Kadar air

Kadar air kopi hasil penyangraian alat tipe fluidisasi harus sesuai dengan syarat mutu kadar air pada SNI 01-2907-2008 yaitu maksimal 4%.



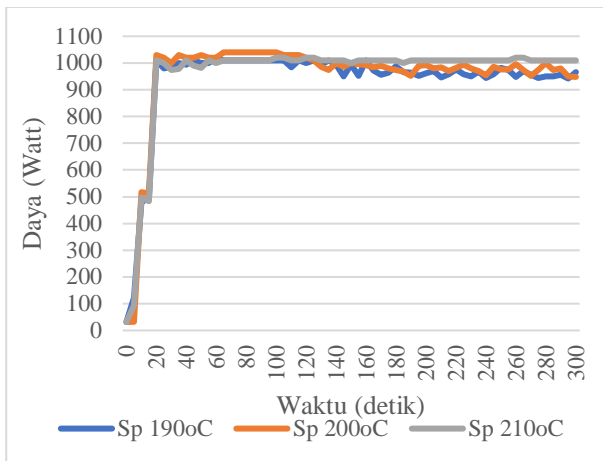
Gambar 11. Kadar air kopi sangrai

Pengukuran kadar air pada penyangraian dengan suhu *setting point* 190°C pada detik 300 (akhir penyangraian) sebesar 1,26 %bb. Suhu *setting point* 200°C sebesar 1,04 %bb, dan suhu *setting point* 210°C sebesar 0,36 %bb. Hal ini menyatakan bahwa semakin tinggi suhu penyangraian maka nilai kadar air akan semakin kecil. Hasil pengukuran ini sejalan dengan penelitian Sutarsi (2016) dan Sari (2018).

Pada grafik terlihat nilai kadar air mengalami penurunan paling besar pada waktu 140 detik pertama. Selanjutnya terlihat penurunan kadar air cenderung kecil dan grafik cenderung melandai. Hal ini sesuai dengan Sivetz yang menyatakan bahwa penyebabnya adalah kecepatan rambat air (difusi) di dalam jaringan sel biji kopi makin menurun karena posisi molekul air terletak makin jauh dari permukaan biji (Sivetz & Desrosier, 1979).

6. Penggunaan energi listrik

Penggunaan total energi listrik untuk proses penyangraian selama 300 detik, pada suhu *setting point* 190°C sebesar 0,08 kWh. Suhu *setting point* 200°C sebesar 0,07 kWh dan suhu *setting point* 210°C sebesar 0,08 kWh. Tidak ada perbedaan besar untuk penggunaan total energi listrik dari ketiga proses penyangraian.



Gambar 12. Penggunaan energi listrik pada saat penyangraian

7. Warna kopi sangrai

Kopi hasil penyangraian dengan menggunakan alat penyangrai tipe fluidisasi dengan sistem kendali *fuzzy logic* harus dapat diklasifikasikan ke dalam profil penyangraian *light*, *medium* dan *dark* sesuai dengan target yang diharapkan.

city+. Sedangkan pada penyangraian pada suhu 210°C menghasilkan kopi sangrai dengan warna coklat tua-*Vienna* dan coklat tua-*Italian*. Sehingga alat penyangrai kopi tipe fluidisasi dengan sistem kendali *fuzzy logic* telah mampu menghasilkan kopi sangrai yang memiliki warna sesuai target (*National Coffee Association* dalam Sari, 2018).

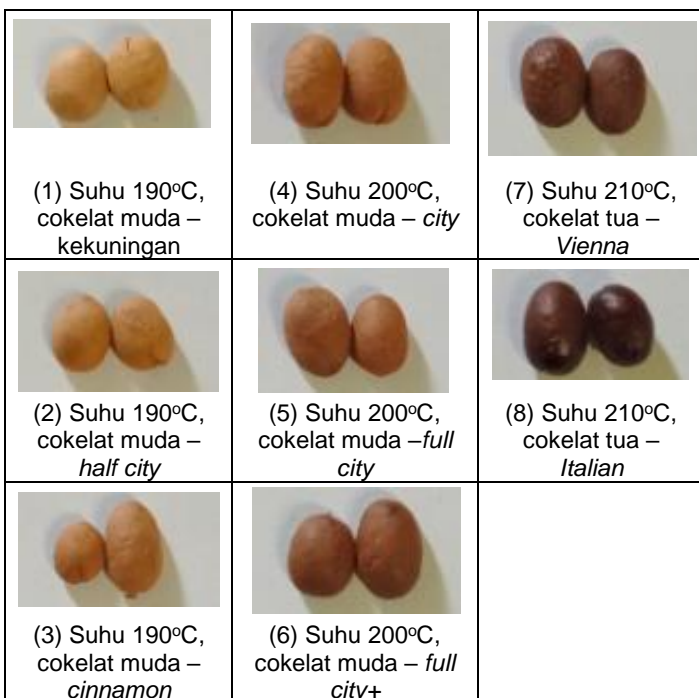
Kopi sangrai dari masing-masing kelompok di atas diukur nilai *L dengan menggunakan colorimeter.

Tabel 6. Nilai *L kopi hasil penyangraian

No	Suhu (°C)	Nilai *L (rata-rata)	Nilai *L (standar)	Ket
1	190	57,42	57	very light
2	190	49,41	42 – 56,99	medium light
3	190	46,68	42 – 56,99	medium light
4	200	41,80	37 – 41,99	medium
5	200	38,37	37 – 41,99	medium
6	200	37,41	37 – 41,99	medium
7	210	28,16	20,1 – 28,99	dark
8	210	25,58	20,1 – 28,99	dark

Nilai *L terlihat semakin kecil ketika suhu penyangraian semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena nilai *L merupakan indeks warna putih – hitam yang terukur. Semakin hitam warna kopi sangrai maka semakin kecil pula nilai *L. Hal ini sudah sesuai dengan penelitian yang dilakukan Sutarsi *et al.* (2016), Purnamayanti *et al.* (2017) dan Sari (2018).

Kemudian nilai *L hasil pengukuran diklasifikasikan dengan nilai *L standar untuk menentukan profil dari kopi hasil penyangraian dengan alat penyangrai tipe fluidisasi. Penyangraian pada suhu 190°C dengan nilai *L terukur sebesar 46,68 – 57,42 termasuk ke dalam profil sangrai *medium light*. Penyangraian pada suhu 200°C dengan nilai *L terukur sebesar 37,41 – 41,80 termasuk ke dalam profil sangrai *medium*. Penyangraian pada suhu 210°C dengan nilai *L terukur sebesar 25,58 – 28,16 termasuk ke dalam profil sangrai *dark*. Kopi hasil penyangraian dengan alat penyangrai tipe fluidisasi sudah dapat diklasifikasikan ke dalam profil penyangraian *light*, *medium* dan *dark*, hal ini sejalan dengan hasil penelitian Widodo *et al.* (2015).



Gambar 13. Warna kopi hasil penyangraian

Kopi hasil penyangraian diidentifikasi ke dalam 8 kelompok. Penyangraian pada suhu 190°C menghasilkan kopi sangrai dengan warna coklat muda-kekuningan, coklat muda-*half city* dan coklat muda-*cinnamon*. Penyangraian pada suhu 200°C menghasilkan kopi sangrai dengan warna coklat muda-*city*, coklat muda-*full city* dan coklat muda-*full*

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah dirancang dan diterapkan sistem kendali *fuzzy logic* pada alat penyangrai tipe fluidisasi. Alat penyangrai memiliki kinerja yang baik dengan indikator *settling time* yang pendek yaitu: 140 detik, 115 detik dan 290 detik. Nilai *error steady state* kecil: 3,25°C (1,71%) dan 6,25°C (3,125%). Kedua nilai *error steady state* di atas *setting point* namun nilainya tidak melebihi dari 5%.
2. Alat penyangrai kopi tipe fluidisasi dengan sistem kendali *fuzzy logic* telah mampu untuk menghasilkan kopi sangrai dengan kadar air di bawah 4% bb (SNI:01-2907-2008).
3. Alat penyangrai juga telah mampu menyangrai kopi dengan tingkat penyangraian sesuai target yaitu : *light*, *medium* dan *dark*.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 01-2907-2008 Biji Kopi*: Jakarta.
- Fauziyah, M., Adhisuwignjo, S., Rifai, M., & Dewatama, D. (2018). Based Fuzzy Logic Temperature Control for a Coffee Roaster Machine. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 434, No. 1, p. 012202). IOP Publishing.
- Juni, E. T., Siwindarto, P., & Maulana, E. (2014). Penyangrai Biji Kopi Otomatis Untuk Rumah Tinggal. *Jurnal Mahasiswa TEUB* Vol 2, 1–6.
- Mulato, Sri. (2002). Perancangan dan Pengujian Mesin Sangrai Biji Kopi Tipe Silinder. *Pelita Perkebunan*, 18, 31–45.
- Ogata, K. (1995). *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Purnamayanti, N. P. A., Gunadnya, I. B. P., & Arda, G. (2017). Pengaruh Suhu dan Lama Penyangraian terhadap Karakteristik Fisik dan Mutu Sensori Kopi Arabika (*Coffea arabica* L). *Jurnal*

BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian) Universitas Udayana, 5, 39–48.

- Safitri, A. F., Rusdianasari, R., & Amin, J. M. (2019). Pengaruh suhu dan waktu sangrai terhadap hasil bubuk bramseko pada alat penyangrai biji-bijian fluidisasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 25(2), 43-49.
- Sari, R. Y. (2018). *Pengaruh Suhu dan Lama Penyangraian terhadap Sifat Fisik-Mekanis Biji Kopi Sangrai Robusta*. Institut Pertanian Bogor: Bogor
- Sivetz, M., & Desrosier, N. (1979). *Coffee Technology*. Connecticut.
- Sutarsi, Rhosida, E., & Taruna, I. (2016). Penentuan Tingkat Sangrai Kopi Berdasarkan Sifat Fisik Kimia Menggunakan Mesin Penyangrai Tipe Rotari. *Prosiding Seminar Nasional APTA*, 306–312.
- Widodo, W. E., Atmaji, G., Yohanes, H., & Astuti. (2015). Kinerja Alsin Sangrai Kopi Tipe Fluidisasi dan Uji Kualitas Kopi Sangrai. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 16(2), 117–126.