Agrointek Volume 17 No 2 Juni 2023: 374-383

p-ISSN: 1907-8056
e-ISSN: 2527-5410

AGROINTEK
Jurnal Teknologi Industri Pertanian

journal homepage: journal.trunojoyo.ac.id/agrointek

Sistem monitoring dan kontrol suhu alat sangrai biji kopi otomatis berbasis mikrokontroler

Ari Rahayuningtyas*, Dadang Dayat Hidayat, Maulana Furqon, Teguh Santoso

Pusat Riset Teknologi Tepat Guna, Badan Riset Dan Inovasi Nasional, Subang, Indonesia

Article history
Diterima:
13 Mei 2022
Diperbaiki:
13 Juni 2022
Disetujui:
16 Juni 2022

Keyword
Automatic;
Bean;
Control;
Monitoring;
Microcontroller;
Temperature

ABSTRACT

The roasting process influences up to 30 per cent of the aroma and taste of coffee. In this process, the coffee beans will undergo many changes ranging from a reduction in water content, weight and size to changes in colour. To be able to get the optimal aroma and taste of coffee, of course, an automation system in the roaster is needed. This study developed a microcontroller-based automatic coffee roaster monitoring system and temperature control. This study aimed to improve the performance of the roaster by substituting manual work with controlling the temperature by setting the flame on the furnace and monitoring in real-time; web/android can access it. The parameters specified in the design process consisted of time and temperature. The design method used was reengineering, which consisted of Listening to Customers, designing and building prototypes, test driving, and Evaluation. Parameter data from temperature sensor measurements could be recorded and displayed on the LCD or android.The test results showed that the average error percentage of the thermocouple was 1.43 per cent, with an average error of 0.7±0.26; these results indicated that the application of an automation system -based on a microcontroller worked properly. *The average value of repeatability temperature every 5 minutes out of ten repeated measurements was 46.7±0.4°C. The performance of the roaster that has been designed was able to reduce the water content maximally by 0.165%/minute. At the same time, the rate of decline in the colour components E*, L*, a*, and b* is 0.754/min, 0.774/min, 0.754/min, 0.774/min, and 0.201/min, respectively.*

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

* Penulis korespondensi
Email : arirahayuningtyas@gmail.com
DOI 10.21107/agrointek.v17i2.14506

PENDAHULUAN

Kopi adalah salah satu komoditi unggulan perkebunan di Indonesia, produksi kopi dari tahun 2018 sampai dengan 2020 mengalami fluktuasi. Pada tahun 2018 produksi kopi sebesar 756,05 ribu ton turun menjadi 752,51 ribu ton pada tahun 2019 atau turun sebesar 0,47%. Tahun 2020 produksi kopi naik menjadi 762,38 ribu ton atau meningkat sebesar 1,31% (Direktorat Statistik Tanaman Pangan, Hortikultura 2020). Tingkat konsumsi kopi di dalam negeri cenderung meningkat seiring berkembangnya bisnis kopi di tanah air (Rasmikayati et al. 2017). Rasa dan aroma pada minuman kopi salah satunya dibentuk melalui proses pascapanen, yaitu penyangraian. Salah satu parameter yang diatur dalam proses penyangraian adalah waktu, suhu, dan juga tingkat warna biji kopi (Bustos-Vanegas et al. 2018). Tiga tahapan penting dalam proses penyangraian adalah tahap pertama, pengeringan/ *drying* merupakan proses ketika air pada area permukaan terevaporasi. Tahap kedua, *flavour and colour development* ditandai dengan perubahan warna pada saat penyangraian sehingga menyebabkan terjadinya pembentukan aroma, rasa, *flavor*, Selain itu ditandai adanya fase *post crack development* munculnya suara letupan yang menentukan kematangan kopi yang akan didapat. Tahap ketiga, *cooling* yaitu sistem sirkulasi dengan cara penghembusan udara ke kopi sangrai (Fadai et al. 2017).

Beberapa penelitian terkait alat sangrai kopi telah dikembangkan, dari mulai menggunakan sistem manual sampai dengan otomatis. Pemanas yang digunakan juga beragam dari yang menggunkan bahan bakar LPG sampai dengan *heater*. Penelitian Wibowo et al. (2018) telah berhasil merancang bangun alat sangrai biji kopi manual menggunakan kolektor surya sebagai bahan bakarnya, yang dilengkapi dengan isolasi termal untuk mengurangi kehilangan panas dan meningkatkan efisiensi pemanggang, alat ini sangat cocok diaplikasikan pada daerah terpencil dan ketersedian LPG terbatas. Penelitian (Radi et al. 2019)(Sasongko and Rivai 2018)); (Thoriq et al. 2020)(Kurniawan 2018) telah berhasil merancang bangun alat sangrai biji kopi dilengkapi dengan sistem pengaturan suhu dan berbahan bakar LPG. Pemanfaatan *heater* sebagai pemanas untuk alat sangrai telah diaplikasikan sesuai dengan penelitian (Daywin et al. 2020; Prabowo et al. 2020; Nazura et al. 2022), pada penelitian tersebut alat sangrai biji kopi dilengkapi dengan sistem pengaturan suhu dan menggunakan *heater* sebagai pemanas pada saat penyangraian. Penelitian (Nazura et al. 2022); (Tampubolon et al. 2020); (Arda 2019) telah berhasil merancang bangun alat sangrai biji kopi dengan *heater* sebagai pemanasnya, sistem dilengkapi dengan sistem pengaturan suhu berbasis mikrokontroler, informasi suhu dapat ditampilkan pada LCD. Adapun penelitian yang sedang dikembangkan ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, yaitu alat sangrai biji kopi dilengkapi pengaturan secara otomatis pada suhu, nyala api tungku pembakar, data parameter suhu setiap 3 detik terekam pada *MicroSD Card* dan dapat diakses secara *real time* melalui laman, melalui aplikasi berbasis Android dan melalui LCD yang terpasang pada perangkat. Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu mengontrol suhu dengan mengatur nyala api pada *burner*/tungku dan memonitoring suhu tersebut sehingga dapat dilihat secara *real time* melalui situs web, melalui aplikasi berbasis Android dan melalui LCD sehingga memudahkan operator dalam melakukan penyangraian.

METODE

Spesifikasi alat yang dirancang bangun

Alat sangrai yang telah dirancang bangun terbuat dari bahan stainless steel, dengan dimensi 130 cm x 97 cm x 136 cm, memiliki kapasitas 2 kg/proses, berbahan bakar LPG dengan konsumsi gas 0,3 kg/jam.

Metode yang digunakan

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun peralatan yang terdiri dari sistem mekanik dan sistem elektrik. Rancang bangun sistem elektrik terdiri dari: 1). Sistem pengaturan suhu ruang sangrai, terdiri dari sensor termokopel tipe K; 2). Mikrokontroler Arduino Mega. sebagai pemroses data; 3). *Exhaust fan*; 4). *Blower;* 5). NodemCu ESP8266 untuk menyambungkan internet dengan *wifi* lokal melalui IP yang terpasang, aplikasi yang digunakan adalah *browser* yang terdapat pada sistem Android. 6). LCD; 7.) *Power supply*; 8). Perangkat lunak untuk pemograman adalah Arduino IDE; 9). *MicroSD Card* untuk menrekam data.

Rancang bangun sistem mekanik terdiri dari: 1). Corong masukan bahan/ *hopper*; 2). Saluran udara; 3). Ruang Sangrai; 4). tungku pembakar; 5). Lampu penerang sampel; 6). Wadah

penampung biji kopi yang telah tersangrai; 7). Saluran pengeluaran biji kopi. Tahapan dari kegiatan penelitian ini meliputi tahapan yaitu *Listen to Costumer* (pengumpulan kriteria desain), *Design and Build Prototype* (perancangan dan pembangunan prototipe), dan *Test Drives and Evaluation* (uji coba dan evaluasi).

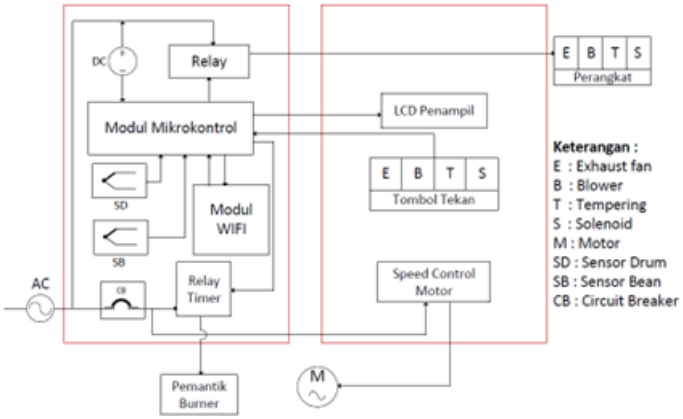
Bahan yang digunakan untuk proses sangrai adalah biji kopi jenis Arabika yang diperoleh dari daerah Subang. Sedangkan alat pendukung adalah *stopwatch*, Chromameter untuk analisa warna dan oven (Memmert) untuk analisa kadar air.

Listen to Costumer

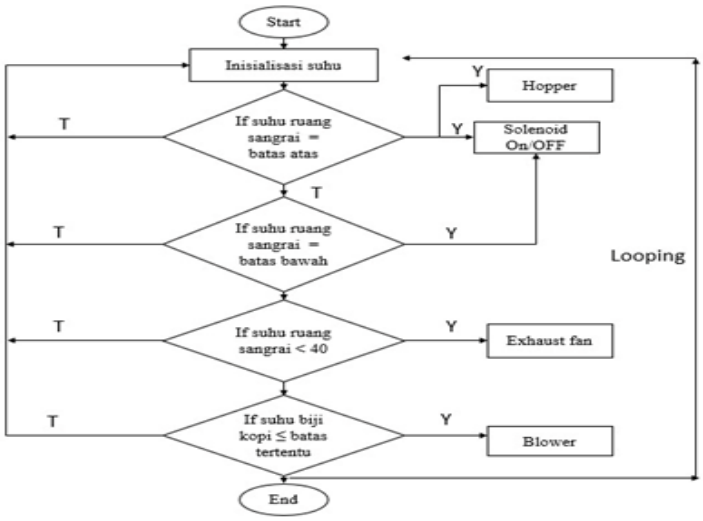
Dilakukan penggalian informasi terhadap pengguna alat sangrai biji kopi terkait permasalahan yang ditemui pada saat pengoperasian alat sangrai baik melalui studi literatur maupun dengan wawancara langsung. Selanjutnya dilakukan penyusunan dan penyiapan kebutuhan sistem yang akan dibangun. Pada tahap ini ditemukan adanya kendala yang dialami oleh para penyangrai yaitu pengaturan suhu dan nyala api/ pemanas pada saat penyangraian masih manual dan menggunaan perkiraan. Sehingga perlu dirancang bangun sistem monitoring dan pengontrol suhu dan nyala api melalui pemanfaatan konektivitas internet dengan menggunakan mikrokontroler Arduino berbasis web/android.

Design and Build Prototype

Tahap ini dilakukan setelah perumusan masalah dan penyusunan alternatif solusi selesai dilakukan. Solusi yang ingin dibangun adalah mengembangkan sistem monitoring dan kontrol suhu dan nyala api pada tungku pembakar. Sketsa konsep pengaturan suhu dan nyala api tungku pembakar dapat ditampilkan sesuai Gambar 1.

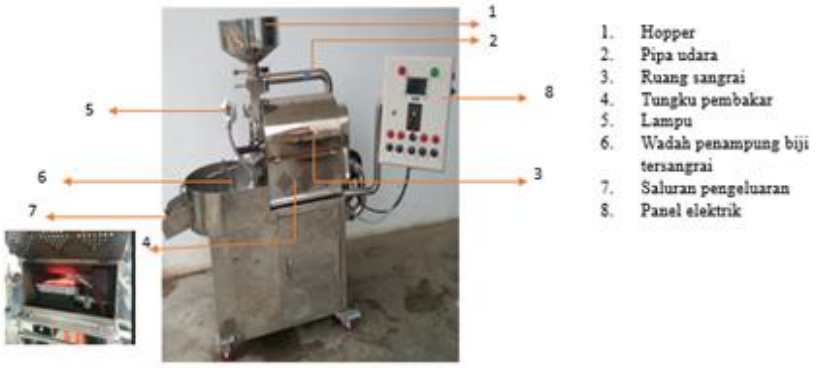


Gambar 1 Sketsa konsep pengaturan suhu dan nyala api tungku pembakar



Gambar 2 Diagram blok sistem sensor suhu pada alat sangrai

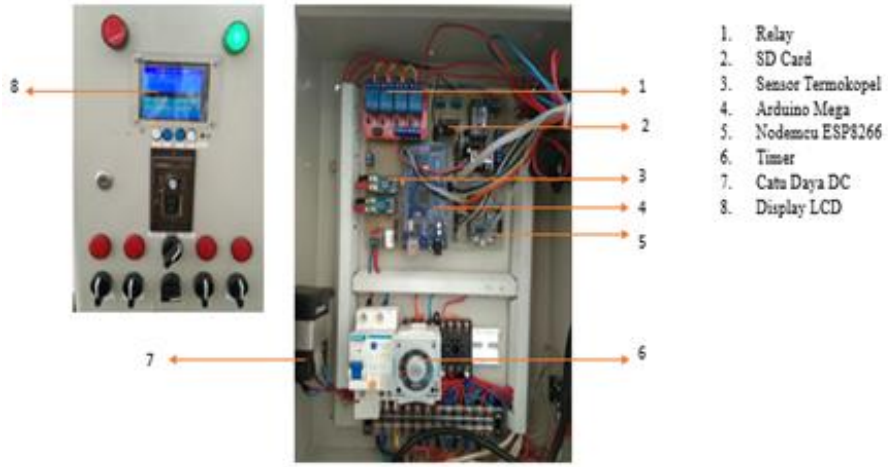
Gambar 3 Diagram alir komunikasi perangkat dengan wifi



Gambar 4 Prototipe alat sangrai biji kopi

Sketsa pada gambar 1 terdiri dari komponen yang digunakan dalam pembuatan prototip alat sangrai biji kopi, terdiri dari Mikrokontroler Arduino Mega untuk memproses data, sensor suhu termokopel tipe K, *relay* sebagai saklar elektromagnetik untuk mematikan dan menyalakan tombol E (*exhaust fan*), tombol B (*blower*), tombol T (*tempering*), dan tombol S (solenoid), modul Nodemcu. Kebutuhan komponen lainnya yaitu *power supply*, *display* LCD, *SD card*, jaringan internet dan perangkat Android. Pada Gambar 2 akan dijelaskan diagram blok mengenai cara kerja sistem.

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa, mikrokontroler menerima masukan data dari sensor suhu ketika suhu ruang sangrai = suhu batas atas yang ditentukan maka katup pada *hopper* membuka dan mematikan solenoid/mematikan nyala api, Ketika suhu ruang sangrai = suhu batas bawah yang ditentukan maka secara otomatis *solenoid*/ nyala api akan mati, kemudian jika suhu ruang sangrai < 40°C maka *exhaust fan* akan menyala, jika suhu biji kopi ≤ batas tertentu maka *blower* akan menyala. Mikrokontroler melakukan pemrosesan dan perhitungan persamaan secara otomatis, data disimpan di *SD card* setiap 30 detik dan akan ditampilkan pada LCD. Selain itu data dapat diakses melalui web/android. Untuk dapat mengakses data diperlukan Wi-Fi, Ethernet, atau modul ESP8266 yang merupakan SoC (*System on Chip*) dengan stack protocol TCP/IP yang telah terintegrasi, sehingga mudah diakses menggunakan mikrokontroler melalui komunikasi serial. Modul ESP8266 dapat berfungsi sebagai *host* maupun sebagai modul transfer data dalam jaringan Wi-Fi. Proses update data pada web dilakukan secara langsung menggunakan perangkat komputer/ *smartphone* yang dapat dijelaskan pada gambar 3.



Gambar 5 Prototipe sistem elektrik

Hasil pengembangan prototipe sistem monitoring dan pengontrol suhu pada alat sangrai disajikan pada Gambar 4.

Gambar 4 adalah perwujudan prototipe alat sangrai biji kopi yang terdiri dari sistem mekanik dan elektrik, untuk panel elektrik yang ditunjukkan oleh No 8 pada Gambar 4 terinci pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa sistem terdiri dari panel kontrol berisi rangkaian elektrik untuk pengontrolan sensor suhu, mikrokontroler Arduino Mega, NodeMCU ESP8266, relay untuk menggerakkan tombol *exhaust fan*, tombol *blower*, tombol *tempering* dan tombol solenoid, penyimpan data (*sd card*) dan *power supply*.

Test drives and evaluation

Uji coba dilakukan terhadap sensor suhu termokopel untuk mengetahui tingkat akurasi dan presisinya; karakteristik pembacaan sensor suhu termokopel; kemampuan *Mic*ro*SD Card* dalam menyimpan data dan mengirimkan data pada web/android.

Karakteristik statis suatu alat ukur adalah karakteristik yang harus diperhatikan apabila alat tersebut digunakan untuk mengukur suatu kondisi yang tidak berubah karena waktu atau hanya berubah secara lambat laun (Nugraha and Ramadhan 2018). Pada penelitian ini uji karakteristik statik dilakukan terhadap sensor suhu termokopel tipe K. Uji yang dilakukan meliputi akurasi, *repeatability* atau pengulangan dan presisi. Nilai presisi sensor merupakan nilai deviasi pembacaan sensor terhadap nilai sebenarnya diperoleh dari Persamaan 1.

$$\sigma = \sqrt{v} = \sqrt{\frac{d1^2 + d2^2 + \cdots \ldots dn^2}{n-1}} \quad (1)$$

Dimana, σ adalah deviasi, v adalah varian, d adalah selisih antara pembacaan sensor dengan nilai rata-rata, dan n adalah jumlah sampel.

Pada penelitian ini digunakan biji kopi jenis Arabika sebanyak 3 kg sebagai bahan uji coba, uji performa pada proses penyangraian dengan memperhatikan perubahan kadar air dan warna yang terjadi pada saat penyangraian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji coba karakteristik statik sensor suhu termokopel dengan pengambilan data sebanyak 10 kali, Analisa yang dilakukan meliputi akurasi, *repeatability* atau pengulangan dan presisi. Hasil penyangraian dapat diuji kadar air dan warna yang dihasilkan.

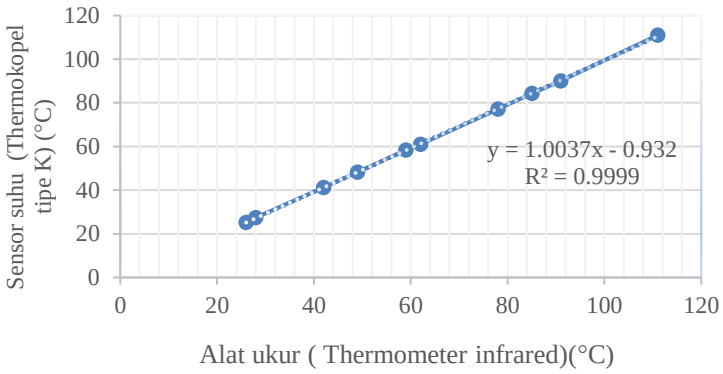
Akurasi sensor suhu

Akurasi sensor suhu diperoleh dengan membandingkan hasil pembacaan sensor suhu termokopel tipe K dengan alat ukur standar yaitu Termometer Laser Inframerah 59 MAX (Fluke, Singapore) dengan akurasi pembacaan ± 2 (°C), dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa pembacaan sensor memiliki perbedaan nilai pembacaan jika dibandingkan dengan alat ukur standar. Besarnya nilai rata-rata persentase error pada pengukuran suhu sebesar 1.43%. Besarnya galat sensor rata-rata adalah 0,7 (°C) dengan deviasi sebesar 0,26 sehingga untuk meningkatkan akurasi diperlukan koreksi terhadap perbedaan pembacaan nilai tersebut.

Tabel 1 Perbandingan pembacaan sensor suhu dengan alat ukur terstandar

No	Sensor suhu (°C) (Thermokopel tipe K)	Thermometer Infrared (°C) (Flux 59 Max)	Galat (°C)
1	26	25.2	0.8
2	28	27.4	0.6
3	42	41.2	0.8
4	49	48.3	0.7
5	59	58.4	0.6
6	62	61	1
7	78	77.2	0.8
8	85	84.3	0.7
9	91	90	1
10	111	111	0
	Rata-rata galat		0.7
	Standart deviasi		0.268328



Gambar 6 Perbandingan nilai sensor suhu termokopel tipe K dengan thermometer digital

Koreksi dibuat dengan mengkorelasikan antara pembacaan sensor dengan nilai suhu sebenarnya. Menurut (Islam and Mukhopadhyay 2019) banyak sensor menunjukkan respon *non-liniearity*-nya dengan parameter-parameter pengukuran yang berbeda-beda. Beberapa sensor menunjukkan hasil yang *linier* pada *range* tertentu. Gambar 6 menunjukkan hasil korelasi pembacaan sensor suhu termokopel dengan alat ukur standar yaitu termometer digital.Dari Gambar 6 terdapat perbedaan hasil pembacaan pengukuran antara sensor dan alat ukur standar, selisih tersebut kemudian dibandingkan untuk mendapatkan persamaan koreksi kalibrasi. Berdasarkan hasil perhitungan, persamaan koreksi $y = 1{,}0037x - 0{,}932$ dapat digunakan untuk mengkalibrasi pengukuran sensor suhu dengan nilai $R^2 = 0.9999$.

Repeatability / pengulangan sensor suhu termokopel.

Pengambilan sampel data dilakukan sebanyak 10 kali, data diambil setiap 5 menit dengan perolehan data seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil pembacaan pengulangan sensor suhu termokopel untuk menentukan tingkat presisi sensor

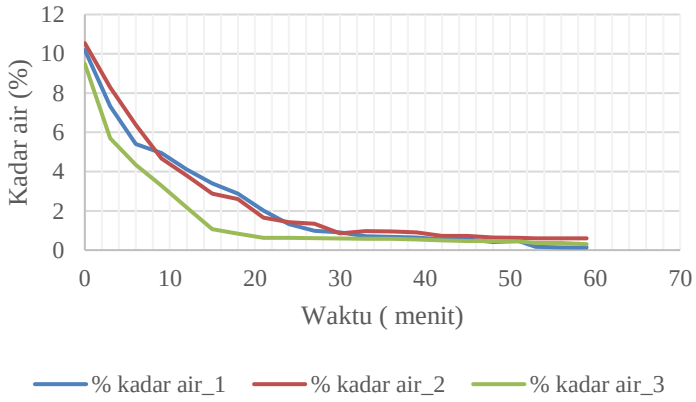
No	Pembacaan sensor suhu(°C)
1	46
2	46
3	46
4	47
5	47
6	47
7	47
8	47
9	47
10	47
Rata-rata	46.7
Standart deviasi	0.4

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa didapatkan nilai rata-rata hasil pembacaan sensor dengan 10 kali pengulangan setiap 5 menit adalah 46.7 (°C) dengan nilai deviasi 0.4. Ini menunjukan sensor telah memiliki tingkat stabilitas dan presisi tinggi yang ditunjukan dengan nilai deviasi yang kecil.

Kadar air

Penyangraian merupakan tahap yang sangat penting dalam pembentukan rasa dan aroma kopi. Kopi yang disangrai akan mengalami kehilangan berat pada proses penguapan kadar air yang berada dalam biji kopi. Selama proses penyangraian, biji kopi mengalami perubahan fisik salah satunya yaitu kadar air. Perubahan ini berupa penurunan kadar air biji kopi yang terjadi karena adanya perpindahan panas dari ruang sangrai ke bahan. Pada uji performa alat, digunakan kopi jenis Arabika, penyangraian dilakukan sebanyak 3 kali ulangan, dengan jumlah kopi 1 kg setiap prosesnya, lama waktu penyangraian 59 menit untuk setiap proses. Suhu ruang sangrai diatur sekitar 175°C. Data diambil setiap 3 menit. Perubahan kadar air selama proses sangrai dapat dilihat pada Gambar 7.

Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa alat sangrai yang telah dirancang bangun mampu menurunkan kadar air secara maksimal. Pada percobaan 1,2 dan 3 terlihat bahwa grafik % kadar 1, 2 dan 3 menunjukkan kadar air awal biji kopi 10.19%, 10.54% dan 9.49% selama 59 menit terjadi penurunan kadar air menjadi 0.13%, 0.6% dan 0.3%. Semakin rendah kadar air suatu produk akan memperpanjang daya simpan. Berdasarkan penelitian (Agustina et al. 2019) perlakuan penyangraian biji kopi arabika pada suhu 210°C dan lama penyangraian 15 menit menghasilkan kadar air akhir kopi arabika sebesar 0,25%. Berdasarkan (Pamungkas et al. 2021) pada suhu 200°C dengan lama penyangraian 10 menit diperoleh kadar air 1,34%. Semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu penyangraian maka akan semakin tinggi penurunan kadar air biji kopi.



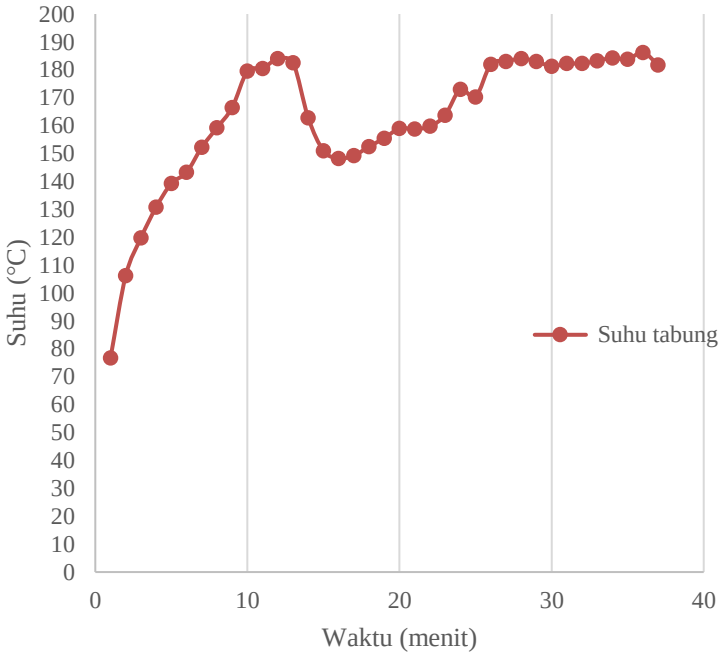
Gambar 7 Perubahan kadar air selama proses penyangraian

Tabel 3 Warna biji kopi Arabika

Menit ke	Warna			
	dL*	da*	db*	dE*
3	68.943	3.315	21.996	72.442
6	58.597	10.216	27.834	65.671
9	46.413	15.905	27.933	56.457
12	43.926	14.592	28.519	54.367
15	34.812	12.809	20.788	42.251
18	32.568	11.647	18.224	39.095
21	31.027	10.886	16.152	36.634
24	30.654	12.785	18.934	36.529
27	27.906	10.753	13.959	33.004
30	26.758	11.44	13.61	32.126
33	25.759	11.363	11.993	30.602
36	24.114	11.118	10.814	28.671
39	24.042	10.959	10.446	28.412
42	24.653	10.727	10.184	28.75
45	23.292	11.721	10.149	27.981

Tabel 4 Pengaturan suhu ruang sangrai terhadap tungku pembakar

No	Pengaturan suhu ruang (°C)	Tungku pembakar	
		Nyala	Mati
1	Batas atas = 185°C		v
2	Batas atas = 180°C		v
3	Batas bawah = 165 °C	v	
4	Batas bawah = 160 °C	v	
5	Batas bawah = 155 °C	v	



Gambar 8 Hasil perekaman data pada sistem monitoring alat sangrai

Warna

Intensitas warna kopi diukur menggunakan Chromameter Minolta CR-400. Alat ini menggunakan sistem CIE L*, a*, dan b*. Nilai L* menunjukkan kecerahan warna putih antara 0 sampai +100, a* menunjukkan warna kemerahan antara 0 sampai +60 dan warna kehijauan antara 0 sampai -60, b* menunjukkan warna kekuningan antara 0 sampai +60 dan warna kebiruan antara 0 sampai -60. Hasil analisis intensitas warna kopi Arabika dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, analisis intensitas warna biji kopi data diambil setiap 3 menit dengan jumlah data sebanyak 15 kali. Diperoleh nilai L* memiliki kisaran 68.943–23.292 , yang berarti bahwa biji kopi semakin tidak cerah bahkan berwarna hitam. Nilai kecerahan biji kopi mentah adalah 68,943 setelah mengalami proses pemanasan hingga suhu 175°C dalam waktu 59 menit mengalami penurunan hingga 23,292. Selama waktu pemanasan telah terjadi pemasakan pada lapisan biji kopi yang menyebabkan lapisan biji kopi menghitam. Sedangkan nilai a berkisar 10,231 – 3,315 yang berarti berwarna semakin hijau memudar dan nilai b yang berkisar antara 21,996 – 9,711 menunjukan warna kuning memudar.

Uji coba pengaturan suhu ruang sangrai teradap mati/ nyala tungku pembakar

Uji coba dilakukan sebanyak 5 kali dengan pengaturan, ketika sensor suhu ruang sangrai sama dengan suhu batas atas yang ditentukan maka akan mematikan solenoid/mematikan nyala api, dan ketika suhu ruang sangrai sama dengan suhu batas bawah yang ditentukan maka secara otomatis solenoid/ nyala api akan mati. Data dapat dilihat pada tabel 4.

Kinerja sistem monitoring dan kontrol suhu pada alat sangrai

Pada ruang sangrai terdapat sensor suhu termokopel tipe K yang berfungsi untuk

mendeteksi suhu ruang sangrai, suhu diatur 175^0 C, biji kopi siap sangrai dengan suhu ruang 28°C diletakkan pada *hopper*. Kinerja sistem pada pengujian ditunjukan dengan hasil perekaman data selama proses penyangraian. Hasil perekaman data disajikan pada Gambar 8.

Dari gambar 8 terlihat bahwa saat suhu ruang sangrai mencapai 175^0 C pada menit ke-9 solenoid akan membuka dan biji kopi yang ada pada *hopper* akan masuk ke dalam ruang sangrai, pada saat biji kopi masuk ke ruang sangrai suhu akan turun sekitar 140^0C pada menit ke-12. Hal ini karena terjadi perpindahan panas antara ruang sangrai dengan biji kopi. Suhu akan mulai naik dan stabil pada menit ke-20 yaitu sekitar 150^0 C, pada menit ke-26 suhu naik dan stabil mendekati 175^0 C sampai proses penyangraian selesai. *Screenshoot* tampilan monitoring suhu melalui android disajikan pada Gambar 9.

Gambar 9 Tampilan sistem monitoring pada Androi

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dikembangkan monitoring dan pengontrol suhu pada alat sangrai otomatis berbasis mikrokontroler. Sistem mampu meningkatkan unjuk kerja alat sangrai sehingga efisiensi, efektifitas dan kinerja dari alat sangrai menjadi lebih baik. Parameter suhu dapat dimonitoring secara *real time* melalui web/ android sehingga lebih memudahkan operator dalam melakukan penyangraian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada Rumah Program 3 Pusat Riset Teknologi Tepat Guna BRIN yang telah memberikan pendanaan pada penelitian ini dan tim yang terlibat (Pak Doddy, Pak Dadang Gandara, Pak Taufik Yudhi) dan seluruh pihak yang telah mendukung kelancaran kegiatan dan penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, R., D. Nurba, W. Antono, and R. Septian. 2019. Pengaruh Suhu dan Lama Penyangraian Terhadap Sifat Fisika-Kimia Kopi Arabika dan Kopi Robusta. *Prosiding Seminar Nasional, Inovasi Teknologi Untuk Masyarakat* 1(69):5–24.

Arda, A. L. 2019. Rancang Bangun Smart Coffee Roasters Berbasis Mikrokontroller. *Jurnal It* 10(1):73–82.

Bustos-Vanegas, J. D., P. C. Corrêa, M. A. Martins, F. M. Baptestini, R. C. Campos, G. H. H. de Oliveira, and E. H. M. Nunes. 2018. Developing predictive models for determining physical properties of coffee beans during the roasting process. *Industrial Crops and Products* 112(December):839–845.

Daywin, F. J., C. O. Doaly, L. Gozali, W. Kosasih, and Guswiyanta. 2020. Improving the quality of coffee shops in jabodetabek area by application and modification of coffee roaster machine capacity 400-600 gram coffee beans using the reverse engineering and engineering design method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1007(1).

Direktorat Statistik Tanaman Pangan, Hortikultura, dan P., editor. 2020. *Statistik Kopi Indonesia*. Badan Pusat Statistik, Jakarta.

Fadai, N. T., J. Melrose, C. P. Please, A. Schulman, and R. A. Van Gorder. 2017. A heat and mass transfer study of coffee bean roasting. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 104:787–799.

Islam, T., and S. C. Mukhopadhyay. 2019. Linearization of the sensors characteristics: A review. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems* 12(1):1–21.

Kurniawan, W. D. W. I. 2018. PENERAPAN MESIN PENYANGRAI KOPI SEMI OTOMATIS Pages 1–6 *Seminar Nasional*

PPM UNESA 2018.

Nazura, Farman, Syafriandi, Dhafie, M. 2022. Desain Mesin Penyangrai Kopi Menggunakan Sumber Elemen Pemanas Listrik (Heater) dan Tenaga Penggerak Motor Listrik. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian* 7:526–534.

Nugraha, A., and M. N. Ramadhan. 2018. *Pengukuran Teknik Dan Instrumentasi*. Universitas Lambung Mangkurat.

Pamungkas, M. T., M. Masrukan, and K. SAR. 2021. PENGARUH SUHU DAN LAMA PENYANGRAIAN (ROASTING) TERHADAP SIFAT FISIK DAN KIMIA PADA SEDUHAN KOPI ARABIKA (Coffea Arabica L.) DARI KABUPATEN GAYO, PROVINSI ACEH. *Agrotech : Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian* 3(2):1–10.

Prabowo, D., U. S. Jati, and W. Jaya. 2020. Rancang Bangun Coffee Roaster Machine Kapasitas 1 Kg dengan Menggunakan Pengatur Suhu dan Waktu Termostat Rex-C 100. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science* 1(1):1–6.

Radi, B. Purwantana, R. P. Alamsyah, and H. D. Prawira. 2019. Design of Portable Coffee Roaster for Home Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 327(1).

Rasmikayati, E., P. Pardian, H. Hapsari, R. M. Ikhsan, and B. R. Saefudin. 2017. Kajian Sikap Dan Perilaku Konsumen Dalam Pembelian Kopi Serta Pendapatnya Terhadap Varian Produk Dan Potensi Kedainya. *MIMBAR AGRIBISNIS: Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis* 3(2):117.

Sasongko, I. J., and M. Rivai. 2018. Mesin Pemanggang Biji Kopi dengan Suhu Terkendali Menggunakan Arduino Due. *Jurnal Teknik ITS* 7(2).

Tampubolon, F., Y. Pratama, and I. G. E. Dirgayussa. 2020. Perancangan, Implementasi Monitoring dan Kontrol Alat Pemanggang Kopi. *Elkha* 12(2):69.

Thoriq, A., W. K. Sugandi, A. Yusuf, and L. H. Imaduddin. 2020. Modifikasi Mesin Roasting Biji Kopi Merek Wiliam Edison Tipe W600I (Studi Kasus Pada Java Sumedang Coffee, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)* 9(4):276.

Wibowo, P. T., A. Sukandi, E. N. Rohmah, P. Studi, T. Konversi, J. T. Mesin, P. N. Jakarta, E. Tube, and S. Collectors. 2018. Rancang Bangun Rokotali (Roaster Kopi Tanpa Listrik) Dengan Evacuated Tube Solar Collectors:28–35.