

Mesin Pemanggang Biji Kopi dengan Suhu Terkendali Menggunakan Arduino Due

Irwan Juniar Sasongko, Muhammad Rivai

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

E-mail: muhammad_rivai@ee.its.ac.id

Abstrak—Indonesia merupakan Negara yang menghasilkan produk berupa biji kopi baik mentah maupun dalam kemasan. Produk ini merupakan salah satu komoditas unggulan bagi pendapatan nasional Negara Indonesia. Banyak teknologi pemanggangan biji kopi yang telah dibuat, namun kebanyakan memanfaatkan energi listrik sebagai sumber pemanas sehingga meningkatkan biaya operasional. Pada penelitian ini telah dibuat mesin pemanggang biji kopi dengan suhu terkendali menggunakan arduino due. Mesin pemanggang didesain seperti oven yang memiliki 2 lapisan bagian dalam dan luar. Peralatan ini memanfaatkan kompor gas portable sebagai alat pemanas pemanggang kopi dan menggunakan sensor suhu RTD (Resistance Temperature Detector). Sensor suhu akan memberikan feedback pada sistem kontrol proportional yang akan menggerakkan motor servo sebagai pengatur besar kecilnya nyala api yang digunakan pada proses pemanggangan biji kopi. Mikrokontroler dipilih menggunakan arduino due karena memiliki kecepatan akses data yang cepat. Devais ini merupakan mikrokontroler ARM (Advanced RISC Machine) dengan keunggulan memiliki performa yang baik dan juga efisiensi daya dengan tegangan kerja mikrokontroler ARM sebesar 3.3Volt. Terdapat beberapa kecocokan nilai histogram RGB (Red Green Blue) dari hasil penyangraian biji kopi dengan kopi yang telah disangrai oleh seorang ahli. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa tingkat kematangan biji kopi dapat ditentukan berdasarkan suhu akhir dari biji kopi 235°C untuk tingkat kematangan medium roast, dan 240°C untuk tingkat kematangan dark roast.

Kata Kunci — Arduino Due, Kompor gas, Pemanggang biji kopi, Sensor Suhu RTD.

I. PENDAHULUAN

NEGARA Indonesia merupakan salah satu negara yang menghasilkan produk berupa biji kopi. Biji kopi yang dihasilkan baik mentah maupun dalam kemasan merupakan salah satu komoditas unggulan bagi pendapatan nasional negara Indonesia. Pada tahun 2015, ekspor dibagian perkebunan Negara Indonesia mencapai hingga US\$23.93 milyar. Tingkat ekspor biji kopi Negara Indonesia mencapai 502.201 ton atau setara dengan US\$ 1.197.735. Untuk import biji kopi hanya diangka 12.462 ton atau setara dengan nilai US\$ 31.492. Pada tahun 2016 ekspor biji kopi mencapai 267.058 ton atau setara dengan US\$ 650.216. Import biji kopi hanya mencapai angka 23.902 ton atau setara dengan nilai US\$ 45.117 [1].

Sektor perkebunan terluas penghasil biji kopi yang pertama adalah pulau Sumatera memiliki tingkat luas lahan sebesar 777.533 Ha dengan jumlah produksi mencapai 433.812 ton per-tahun. Pada urutan ke-dua ialah pulau Jawa memiliki luas lahan sebesar 143.603 Ha dengan produksi biji kopi 74.744 ton per-tahun.



Gambar 1. Tanaman kopi.

Diurutan ke-tiga dari nusa tenggara memiliki luas lahan sebesar 113.448 Ha dengan produksi biji kopi 43.195 ton per-tahun. Penghasil terbesar ke-empat dari Sulawesi memiliki luas lahan sebesar 112.618 Ha dengan produksi biji kopi sebesar 41.053 ton per-tahun. Sisanya dari pulau Kalimantan dan Maluku beserta papua [1]. Gambar 1 merupakan contoh tanaman kopi. Indonesia menghasilkan 93% kopi robusta dan 7% kopi arabika. Dinilai dari minat dan harga, kopi arabika lebih mahal dan juga banyak diminati. Pengolahan yang lebih baik pasca panen dapat menaikkan harga beli terhadap para petani di Indonesia [2].

Teknologi pemanggangan biji kopi saat ini menggunakan pemanas dengan energi listrik. Pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi pada kompor gas *portable* sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk memanggang biji kopi sehingga tidak lagi tergantung pada sumber daya listrik [2]. Dengan adanya kendali suhu, maka sistem ini diharapkan dapat menghasilkan kematangan biji kopi yang lebih merata dengan kualitas yang konsisten.

II. DASAR TEORI

A. Biji Kopi (Coffee Bean)

Biji kopi pertama kali dikenal dan mulai dikonsumsi pada abad ke-9 di Ethiopia yang berlanjut ke Mesir dan juga Yaman. Pada abad ke-15 menyebar di daerah Armenia, Persia, Turki, dan Afrika utara. Tanaman kopi yang dikembangkan di Indonesia memiliki dua jenis yaitu biji kopi arabika dan biji kopi robusta. Biji kopi arabika adalah tanaman kopi yang berasal dari Ethiopia. Tanaman kopi arabika tumbuh pada ketinggian 700 hingga 1700 mdpl. Jenis kopi arabika merupakan yang paling banyak dicari oleh para penggemar minuman kopi karena rasanya yang dianggap paling enak. Biji kopi robusta adalah keturunan dari beberapa tanaman kopi yang ada. Tanaman kopi robusta tumbuh pada ketinggian 700 mdpl.

B. Tingkat Kematangan Kopi

Tingkat kematangan biji kopi mempengaruhi karakter rasa dari minuman kopi terdapat macam-macam tingkat kematangan kopi yaitu *light roast*, *medium roast*, *dark roast* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

Pada tingkat kematangan *light roast*, rasa yang dihasilkan oleh minuman kopi cenderung asam. Aroma khas kopi yang dihasilkan pada tingkat kematangan ini kurang terasa. Tingkat kematangan *light roast* merupakan tingkat kematangan paling awal dengan ciri-ciri biji kopi mulai berubah warna coklat terang. Karena proses pemanggangan yang tidak terlalu lama, tingkat kematangan *light roast* juga dikategorikan dengan tingkat kematangan *half city*, *cinnamon*. Pada kondisi *light roast*, minyak yang dihasilkan kopi belum terlihat dan biji kopi memiliki karakter kering. Suhu pemanggangan biji kopi dengan kematangan *light roast* berada pada kisaran 180°C hingga 205°C. Kematangan dengan tingkat *light roast* ditandai dengan terjadinya retakan pertama pada biji kopi [3].

Pada tingkat kematangan *medium roast*, rasa yang dihasilkan cenderung manis. Aroma pemanggangan kopi tercium sangat tajam. Pada tingkat kematangan *medium roast* ini sama dengan *light roast* biji kopi masih belum terlihat berminyak. Warna biji kopi mulai cenderung coklat gelap.

Pada kematangan *medium roast* juga dikategorikan sebagai kematangan *full city*, *full city+*, *Vienna full city++*. Kematangan *medium roast* berkisar pada suhu 210°C hingga 230°C setelah retakan pertama dan sebelum retakan kedua terjadi. Pada tingkat kematangan ini, kandungan cafein pada biji kopi lebih rendah dibandingkan kematangan tingkat *light roast*. Kematangan pada tingkat inilah yang banyak digunakan.

Pada tingkat paling matang adalah *dark roast* atau juga bisa dikategorikan kematangan dengan tingkat *french*, *nearly black*. Biji kopi mulai berminyak dan warna biji kopi cenderung hitam. Rasa yang dihasilkan cenderung pahit. Kematangan pada tingkat ini berkisar pada suhu sekitar 240°C dengan ditandai retakan kedua yang terjadi pada biji kopi.

Kategori tingkat kematangan biji kopi tidak hanya terdiri dari tiga level kematangan. Jika dirincikan kembali pada tingkat kematangan *light roast*, *medium roast* dan *dark roast*. Pada tingkat kematangan *light roast* tergolong dalam kategori kematangan *half city*, *cinnamon*. Untuk *medium roast* tergolong dalam kematangan *city*, *full city*, *full city+*. Sedangkan untuk *dark roast* dikategorikan kedalam kematangan *Vienna*, *full city++* [4], ditunjukkan pada Tabel 1. Dari data tersebut, *first crack* pada saat proses pemanggangan kopi terjadi ketika suhu mencapai 200°C hingga 210°C dan berakhir pada suhu 225°C. Sedangkan *second crack* terjadi saat suhu telah mencapai 235°C hingga 240°C dan berakhir pada saat suhu telah mencapai 245°C.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Jenis pemanggangan kopi: (a) *Light roast*, (b) *Medium roast*, dan (c) *Dark roast*.

C. Teknik Pemanggangan Biji Kopi

Pemanggangan merupakan kunci penting proses produksi kopi. Faktor pemanggangan biji kopi yang tepat adalah dari suhu dan lama proses pemanggangan. Jenis biji kopi yang berbeda akan ikut mempengaruhi tingkat kematangan pada proses pemanggangan. Terlalu lama melakukan pemanggangan terhadap biji kopi akan berdampak timbulnya rasa pahit yang berlebihan [5].

Tidak ada aturan resmi mengenai cara pemanggangan biji kopi, setiap *roaster* memiliki cara sendiri-sendiri dalam memanggang biji kopi. Namun terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan saat proses memanggang. Suhu menjadi salah satu faktor penentu tingkat kematangan. Untuk lebih akurat para *roaster* juga melakukan penginderaan aroma dan juga melihat warna secara manual saat proses pemanggangan [6][7][8].

D. Arduino Due

Arduino due digunakan sebagai perangkat yang memproses data yang dihasilkan sensor. Arduino due yang digunakan mengaplikasikan mikrokontroler AT91SAM3X8E ARM Cortex-M3 32-Bit. Kelebihan arduino due dibandingkan dengan arduino yang lain adalah kecepatan *clock* mencapai 84MHz. Arduino due dibekali dengan 54 pin *input / output* dengan 12 pin diantaranya mampu digunakan sebagai PWM (*Pulse Width Modulation*) dan 12 analog *input* dengan 2 DAC (*Digital Analog Converter*).

Tersedia 12 pin analog *input* diantaranya adalah pin A0 hingga A11. Pin tersebut terhubung dengan ADC (*Analog Digital Converter*) yang terdapat didalam mikrokontroler. Kisaran tegangan input yang disarankan mulai dari 7-12 Volt. Dengan menggunakan pin *output* PWM, arduino due digunakan sebagai pengendali putaran motor servo sebagai buka tutup katup gas pada kompor *portable*. Pin out PWM ini terletak pada pin 2 hingga pin 13.

Tabel 1.
Tingkat kematangan biji kopi

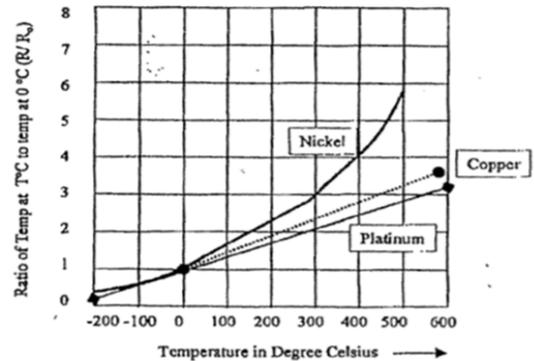
Style of Roast	Roasted Bean Colour	Bean Surface	Approx. Temp of Bean at End of Roasting	Acidity	Aroma	Sweetness	Body	Cracks during Roasting
Half City		Dry	195 C	Very High	Medium	Low	Thin	Just before 1 st Crack
Cinnamon on City		Dry	200 C	High	Strong	Low	Thin to Full	Start of 1 st Crack
City		Dry	210 C	Medium	Very Strong	Medium to Strong	Full	Middle of 1 st Crack
Full City		Dry	225 C	Medium	Very Strong	Medium to Strong	Very Full	End of 1 st Crack
Full City +		Dry to tiny patches of oil	230 C	Medium to Low	Strong	Medium to Strong	Very Full	Between 1 st and 2 nd Crack
Vienna or Full City ++		Shiny Surface	235 C	Low	Medium to Strong	Medium to Strong	Full	Start of 2 nd Crack
Italian		Shiny Surface	240 C	Very Low	Weak	Low	Thin	2 nd Crack
French		Shiny Surface	245 C	Very Low	Weak to Almost Burnt Aroma	Very Low to None	Very Thin	End of 2 nd Crack
Nearly Black		Totally Shiny	250 C	Very Very Low	Burnt Aroma	None	Extremely Thin	2 nd Crack has totally ended, risk of fire

E. Sensor RTD PT100

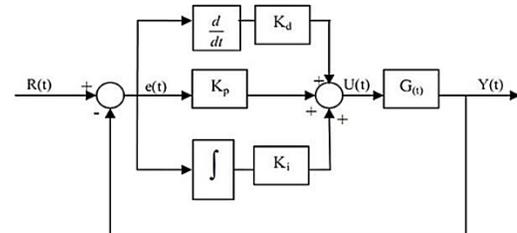
RTD (*Resistive Temperature Detector*) PT100 merupakan sensor suhu dengan akurasi sekitar 0.39°C, ditunjukkan pada pada tabel 2. Pengaplikasian sensor ini digunakan untuk mendeteksi perubahan suhu yang dikonversikan dalam bentuk hambatan. Penggunaan sensor RTD dengan jenis PT100 ini menggunakan bahan platinum dengan nilai hambatan sebesar 100Ω pada suhu 0°C. Semakin tinggi suhu yang diterima oleh sensor maka semakin besar nilai hambatan yang akan dihasilkan. Sensor ini tergolong sensor pasif dikarenakan untuk menggunakannya dibutuhkan tegangan masukan dari luar. Sensor ini dapat digunakan pada suhu -200°C hingga 650°C [10]. Kenaikan resistansi bahan sensor akan berbanding lurus dengan kenaikan suhunya, ditunjukkan pada Gambar 3

Tabel 2.
Parameter perbedaan deteksi bahan RTD

Material	Temp. Coeff.	Min. Range	Max. Range	Melting Point
Platinum	0.39	-260°C	1100°C	1773°C
Copper	0.39	0°C	180°C	1083°C
Nikkel	0.62	-220°C	300°C	1455°C
Tungsten	0.42	-200°C	1000°C	3380°C



Gambar 3. Grafik perbandingan bahan RTD.



Gambar 4. Blok diagram kontrol PID.

F. Motor Servo

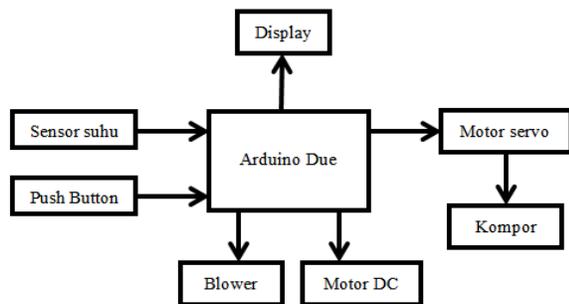
Motor merupakan motor dengan sistem *closed loop* [11]. Motor servo dibekali rangkaian yang digunakan sebagai feedback motor servo. Karena dilengkapi dengan *gear box* maka torsi yang dihasilkan motor servo bervariasi tergantung jenis dan model yang digunakan. Motor servo yang digunakan mempunyai torsi sebesar 9.40Kg-cm. Motor servo ini digunakan untuk memutar besar katup gas pada kompor.

G. Kontrol PID

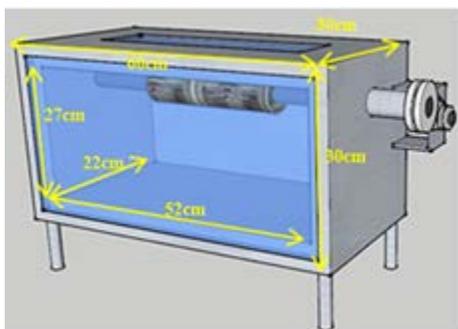
PID merupakan kontrol yang paling umum digunakan dalam merancang sebuah sistem kendali pada suatu *plant* untuk mencapai perilaku yang diinginkan, ditunjukkan pada gambar 4. Kontrol PID ini dapat digunakan sendiri-sendiri maupun secara keseluruhan. Kontrol yang cocok digunakan secara individu adalah kontrol *Propotional* (P) [12] atau dengan menggabungkan dua jenis kontrol yaitu *Proportional* dengan *integral* (PI) atau dengan menggunakannya secara keseluruhan (PID) [12]-[16].PERANCANGAN SISTEM

H. Diagram Blok Sistem

Secara keseluruhan diagram fungsional sistem dapat dilihat pada gambar 5. *Push button* digunakan sebagai pemilihan tingkat kematangan. Kompor akan menyala dan motor DC sebagai pemutar wadah biji kopi akan berputar. Perubahan suhu yang terjadi akan dibaca oleh port ADC Arduino Due. Nilai tegangan yang telah dibaca oleh Arduino due akan dikonversi dalam besaran suhu. Suhu yang dihasilkan oleh mesin pemanggang akan dibandingkan dengan nilai set point yang telah ditentukan dalam program. Jika sensor suhu telah mencapai *set point* yang telah ditentukan maka proses telah selesai.



Gambar 5. Diagram Fungsional Sistem.



Gambar 6. Desain mesin pemanggang.

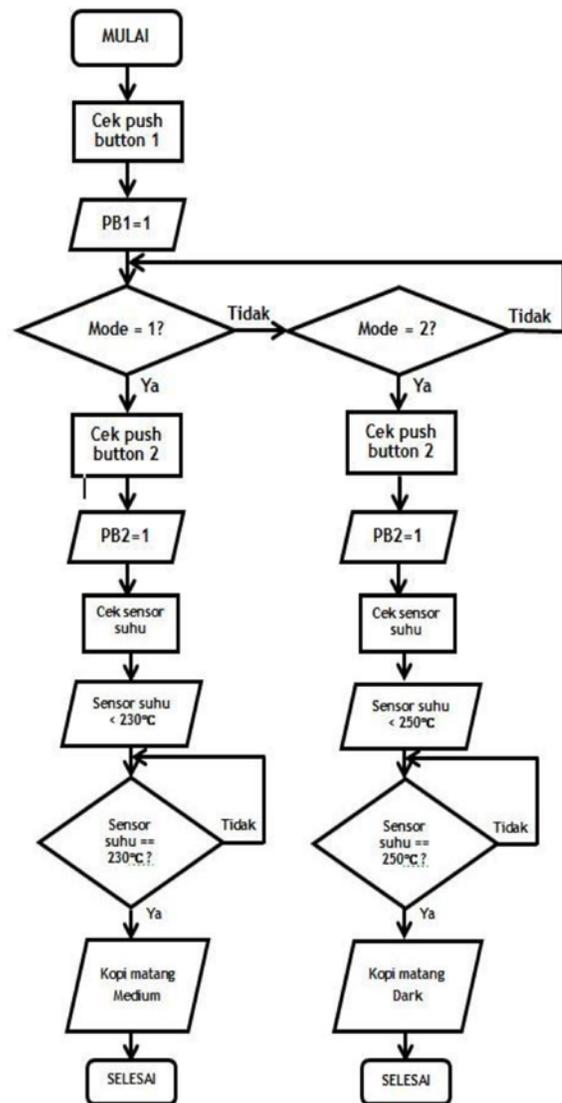
I. Perancangan platform

Pemanggang didesain menyerupai oven seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Wadah biji kopi terletak dalam

dengan poros terhubung motor DC. Dimensi pemanggang memiliki ukuran dibagian luar 60cm×30cm×30cm sedangkan untuk ukuran bagian dalamnya yaitu 52cm×27cm×22cm. Sensor RTD diletakkan didalam poros sehingga masuk kedalam wadah biji kopi.

J. Perancangan Software

Perancangan *software* dilakukan untuk menentukan algoritma kematangan pemanggangan biji kopi, baik dalam tingkatan *medium roast* maupun *dark roast*. Perancangan *software* juga dirancang untuk pembacaan sensor RTD PT100 pada mikrokontroler. *Flowchart* program pada mikrokontroler Arduino Due ditunjukkan pada gambar 7. Sebelum memulai pemanggangan, terdapat pilihan menu 2 mode pemanggangan, yaitu mode pemanggangan *medium roast* dan *dark roast*. Setelah memilih mode pemanggangan maka selanjutnya adalah eksekusi algoritma program. Kematangan *medium roast* dibedakan dengan penentuan *setpoint* suhu yaitu 235°C, sedangkan untuk *dark roast* yaitu pada 240°C. Apabila set point suhu telah dicapai maka proses telah selesai.



Gambar 7. Flowchart program sistem.

III. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil rancangan mesin pemanggang biji kopi dapat dilihat pada gambar 8. Beberapa pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja dari alat yang sudah dibuat.

A. Pengujian sensor suhu

Pada pengujian sensor suhu RTD PT100 dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian pengkondisi sinyal akan dikonversi kedalam nilai ADC Arduino Due. Pengambilan nilai tegangan output dilakukan setiap kenaikan suhu sebesar 5°C. Hasil pengukuran sensor suhu ini ditunjukkan pada Gambar 9.

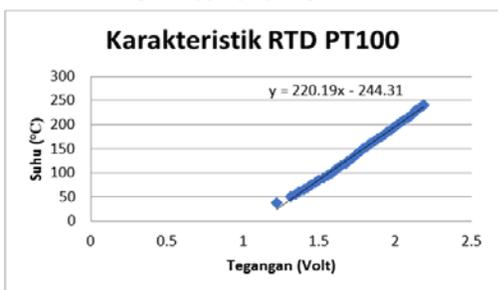
B. Pengujian Motor servo

Pengukuran dan pengujian motor servo ditunjukkan pada tabel 3. Pergerakan motor servo diamati mulai dari 0 – 180°. Pengukuran dan pengujian dilakukan dengan memberi input pada motor servo berupa nilai *duty cycle* yang didapatkan dari persamaan (1).

$$Duty\ cycle = \frac{Th}{T} \times 100\% \tag{1}$$



Gambar 8. Realisasi mesin pemanggang biji kopi.



Gambar 9. Karakteristik sensor suhu.

Tabel 3. Hasil pengujian motor servo.

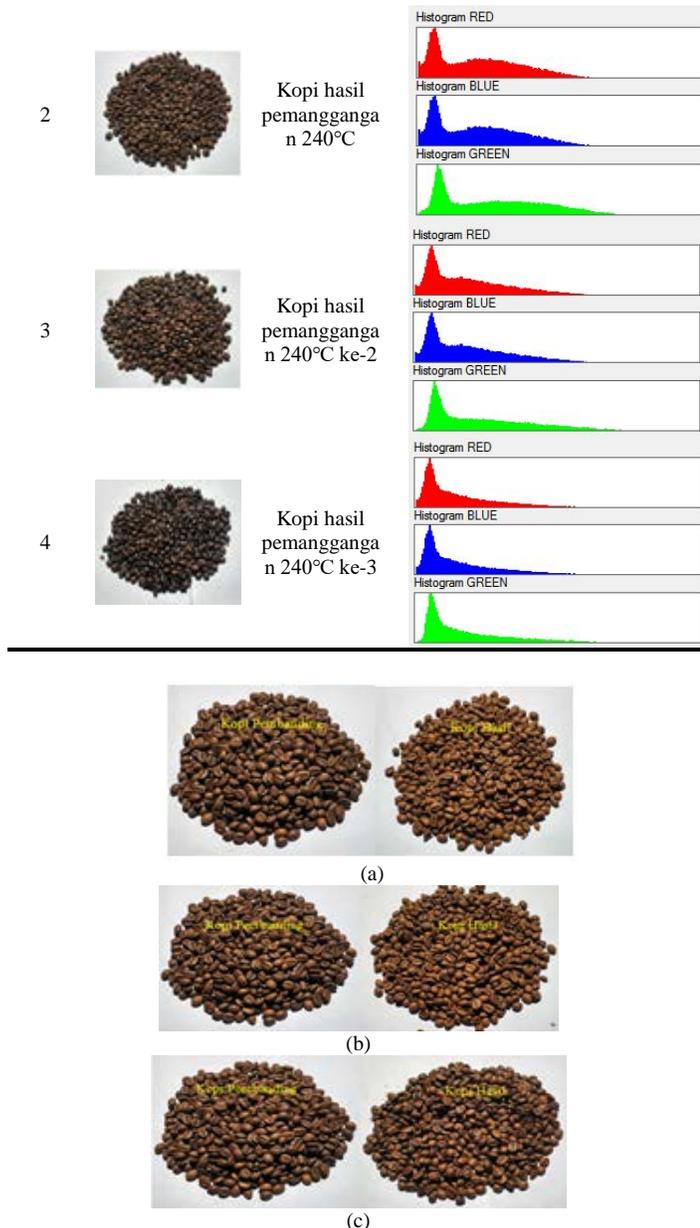
Duty Cycle	Th(ms)	Hasil (derajat)	Teori (derajat)	Error (%)
5	1	0	0	0%
7.5	1.5	90	90	0%
10	2	180	180	0%

Tabel 4.
Hasil perbandingan pemanggaan *medium roast*.

No	Gambar	Keterangan	Histogram
1		Kopi pembanding <i>medium roast</i>	Histogram RED Histogram BLUE Histogram GREEN
2		Kopi hasil pemanggangan 225°C	Histogram RED Histogram BLUE Histogram GREEN
3		Kopi hasil pemanggangan 230°C	Histogram RED Histogram BLUE Histogram GREEN
4		Kopi hasil pemanggangan 235°C	Histogram RED Histogram BLUE Histogram GREEN
5		Kopi hasil pemanggangan 235°C ke-2	Histogram RED Histogram BLUE Histogram GREEN
6		Kopi hasil pemanggangan 235°C ke-3	Histogram RED Histogram BLUE Histogram GREEN

Tabel 5. Hasil perbandingan pemanggaan *dark roast*.

No	Gambar	Keterangan	Histogram
1		Kopi pembanding <i>dark roast</i>	Histogram RED Histogram BLUE Histogram GREEN



Gambar 10. Hasil pengujian sistem pada tingkat kematangan *medium roast* dengan set point suhu (a) 225°C, (b) 230°C, dan (c) 235°C.

C. Pengujian Sistem keseluruhan

Pada pengujian sistem secara keseluruhan, *set point* dari tingkat kematangan kopi dirubah dan hasil dari pengujian akan dibandingkan dengan kopi pembanding dengan tingkat kematangan *medium roast*. Hasil dari pengujian sistem ditunjukkan pada gambar 10. Hasil citra yang diperoleh dapat dibandingkan dengan metode pemrosesan citra histogram RGB yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5. Untuk pemberian

set point 225°C, hasil pemanggangan jauh lebih cerah dibandingkan pemanggangan dengan pemberian nilai *set point* sebesar 230°C. Untuk set point 230°C warna yang dihasilkan terlihat lebih cerah dari pada proses pemanggangan dengan pemberian nilai *set point* 235°C. Untuk *set point* 235°C, warna biji kopi hasil pemanggangan oleh sistem sama dengan warna biji kopi pembanding.

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat mesin pemanggang biji kopi dengan suhu terkendali menggunakan Arduino Due dengan pemanas kompor gas *portable*. Wadah silinder untuk kopi terletak didalam dengan poros terhubung motor DC yang digunakan sebagai pemutar. Sensor suhu yang digunakan adalah RTD PT100. Hasil citra yang diperoleh dibandingkan dengan metode pemrosesan citra histogram RGB. Hasil pemanggangan biji kopi pada suhu 220°C mempunyai citra yang jauh lebih cerah dibandingkan dengan suhu 230°C. Untuk set point 230°C warna yang dihasilkan terlihat lebih cerah dari pada suhu 235°C. Untuk *set point* 235°C, warna biji kopi hasil pemanggangan oleh sistem sama dengan warna biji kopi pembanding yang telah dinilai oleh seorang ahli.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. J. Perkebunan, "Statistik Perkebunan Indonesia."
- [2] F. Winjaya, M. Rivai, and D. Purwanto, "Identification of Cracking Sound during Coffe Roasting Using Neural Network," in *International Seminar on Intelligent Technology and Its Application Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*, 2017, pp. 291–294.
- [3] B. Lokker, "Coffee Roasts from Light to Dark - Coffee Crossroads," 2013.
- [4] Legaldrugs Coffee, "Understanding the Coffee Roasting – Legaldrugs Coffee."
- [5] Radi, R. Muhammad, and P. M. Hery, "Study on Electronic Nose-Based-Quality Monitoring System for Coffe under Roasting," *J. Circuits, Syst. Comput.*, vol. 25, no. 10, pp. 1650116-1-1650116–19.
- [6] Scott, Sarah, Brooke, and Bobby, "How to Roast Coffee for Beginners."
- [7] S. Kevin, *An Enthusiast's Guide to Selecting, Roasting, and Brewing Exquisite Coffee*. Massachusetts, 2010.
- [8] S. C. A. of America, "Roast for Cupping."
- [9] R. K. Attri, B. K. Sharma, M. A. Shamshi, and V. P. Sharma, "Design Approach to use Platinum RTD Sensor in Snow Temperature Measurements," *J. Instrum. Soc. India*, vol. 4, pp. 275–283, 2015.
- [10] B. Sumantri and A. Wijayanto, "Pengaturan Posisi Motor Servo DC dengan Metode Fuzzy Logic."
- [11] P. D. Wijaya, M. Rivai, T. Tasripan, and T. Tasripan, "Rancang Bangun Mesin Pemotong Styrofoam 3 Axis Menggunakan Hot Cutting Pen dengan Kontrol PID," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. A766-770, Oct. 2017.