

Maturity Detection System for Coffee Roasting Process Using Electronic Nose

Sistem Deteksi Tingkat Kematangan Proses Roasting Kopi Menggunakan Electronic Nose

Andika Wahyu Nugroho¹⁾, Jamaaluddin²⁾, Agus Hayatal Falah³⁾, Izza Anshory⁴⁾

^{1,2,3,4)} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: jamaaluddin@umsida.ac.id

Abstract. *The primary factors that influence coffee quality in terms of flavor and aroma are the roasting process, during which coffee beans develop into light roast, medium roast, and dark roast levels. This process causes significant physical and chemical changes in the coffee beans. This study focuses on the development of a real-time monitoring system for roasting temperature and coffee bean roast level using a temperature sensor and gas sensors. Measurements were conducted at five-minute intervals, starting from the green bean stage until the beans reached the dark roast stage. The results indicate that the system successfully identifies roasting levels based on changes in temperature and gas sensor responses. The light roast stage occurred within a temperature range of 179–199°C, the medium roast stage at 200–220°C, and the dark roast stage at 220–230°C. Among the gas sensors tested, the MQ-3 exhibited the most significant response compared to the MQ-9 and MQ-135, making it a more effective indicator of changes in volatile compounds and roasting temperature throughout the roasting process. The combination of temperature and gas sensors effectively supports objective and consistent real-time monitoring of coffee bean roast levels.*

Keywords – roasting coffee; level of maturity; temperature sensor; gas sensor; Arduino UNO

Abstrak. *Faktor utama yang memengaruhi kualitas kopi dari segi cita rasa dan aroma yaitu proses roasting, dimana dalam proses ini biji kopi berubah bentuk dark roast, medium roast, dan light roast. Adanya proses roasting menjadikan biji kopi berubah dari segi kimia dan fisik. Terlaksananya penelitian ini berkaitan dengan pengembangan sistem pemantauan suhu dan tingkat kematangan biji kopi secara real-time menggunakan sensor suhu dan sensor gas. Pengujian dilakukan setiap lima menit sekali mulai dari kondisi green bean hingga dark roast. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi tingkat kematangan roasting berdasarkan perubahan suhu dan respon sensor gas. Tahap light roast berada pada rentang suhu 179–199°C, medium roast pada 200–220°C, dan dark roast pada 220–230°C. Sensor MQ-3 menunjukkan peningkatan nilai yang paling signifikan dibandingkan MQ-9 dan MQ-135, sehingga lebih efektif sebagai indikator perubahan respon sensor dan suhu senyawa volatil selama proses roasting. Kombinasi sensor suhu dan sensor gas mampu mendukung pemantauan tingkat kematangan kopi secara objektif dan konsisten.*

Kata Kunci – pemanggangan kopi; tingkat kematangan; sensor suhu; sensor gas; Arduino UNO

I. PENDAHULUAN

Negara dengan komoditas kopi paling tinggi keempat menurut data *International Coffee Organization* (ICO) yaitu Indonesia, dimana jumlah permintaan globalnya terus meningkat[1]. Sementara negara dengan komoditas kopi tertinggi pertama, kedua, dan ketiga ditempati oleh Brazil, Vietnam, dan Kolombia[2].

Kualitas kopi dipengaruhi oleh proses roasting yang berperan krusial dalam membentuk cita rasa dan aroma kopi[3]. Proses roasting biji kopi menjadikan kopi berubah bentuk dark roast, medium roast, dan light roast. Adanya proses roasting menjadikan biji kopi berubah dari segi kimia dan fisik [4]. Secara kimia aspek yang memengaruhi cita rasa dan aroma kopi yaitu temperature [5]. Light roast umumnya berada pada suhu 180–200°C, medium roast 200–220°C, sedangkan dark roast diatas 220°C dengan warna biji semakin gelap[6].

Seiring perkembangan teknologi sensor gas dan mikrokontroler memungkinkan dibuatnya sistem deteksi tingkat kematangan secara otomatis dan objektif[7]. Pada penelitian sebelumnya hanya berfokus pada pengendalian suhu dan waktu selama proses roasting[8]. Pendekatan ini masih kurang optimal karena belum mempertimbangkan indikator lainnya, seperti tingkat kematangan selama proses roasting.

Teknologi electronic nose bekerja menyerupai sistem penciuman manusia dengan menggunakan kumpulan sensor gas untuk mendeteksi senyawa volatil pada biji kopi[9]. Dalam penelitian ini dikembangkan sistem monitoring

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

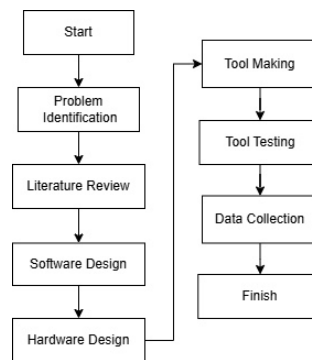
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

berbasis Arduino UNO yang dilengkapi sensor gas MQ-3, MQ-9, MQ-135 dan sensor termokopel. Sistem ini memungkinkan pemantauan suhu dan tingkat kematangan biji kopi pada saat roasting kopi secara real time. MQ-3 mendeteksi senyawa alkohol, MQ-135 menangkap senyawa VOC seperti amonia dan benzema, MQ-9 mendeteksi gas hasil pembakaran seperti karbon monoksida dan metana, serta termokopel untuk memantau suhu pada proses roasting kopi[10][11]. Sehingga mendukung efisiensi proses roasting kopi untuk menentukan tingkat kematangan.

II. METODE

Penelitian yang dilaksanakan mengimplementasikan metode penelitian R&D (Research and Development). Research and Development yaitu tahapan penelitian yang ditujukan untuk mengembangkan atau merancang atau memperbaiki produk menjadi produk baru[12].

A. Diagram Alur Pelaksanaan



Gambar 1. Diagram Alur Pelaksanaan

Pada Gambar 1 menunjukkan blok diagram dengan identifikasi masalah untuk menentukan fokus kajian, kemudian dilanjutkan dengan studi literatur guna mengkaji teori serta penelitian terdahulu sebagai dasar perancangan sistem, pemilihan metode, dan analisis hasil. Berdasarkan kajian tersebut, dilakukan tahap perancangan alat yang mencakup pemilihan serta perancangan perangkat keras dan perangkat lunak sistem monitoring. Selanjutnya, pada tahap pembuatan alat, sistem direalisasikan menggunakan sensor gas MQ-3, MQ-9, MQ-135, sensor termokopel, mikrokontroler Arduino UNO, serta LCD untuk menampilkan hasil data. Alat yang telah dirakit kemudian melalui tahap pengujian untuk memastikan seluruh komponen dan sistem bekerja sesuai fungsinya. Tahap akhir adalah pengambilan dan analisis data yang dilakukan berdasarkan hasil pemantauan kinerja alat selama pengujian.

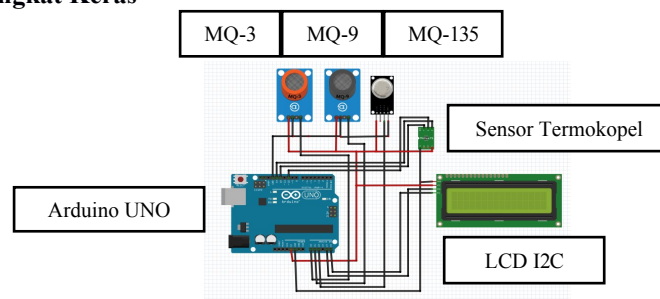
B. Perangkat Lunak

penyusunan program yang berfungsi untuk mengendalikan serta mengoperasikan sistem monitoring kejernihan minyak jelantah berbasis IoT. Adapun *software* yang diimplementasikan dalam merancang sistem ini yakni:

a. Arduino IDE

Arduino IDE berfungsi sebagai alat pengembangan, pemrograman, dan pengujian sistem mikrokontroler, sehingga sangat penting dalam pembuatan alat. Dalam pengujian ini Arduino digunakan untuk memantau output sensor pada serial monitor.

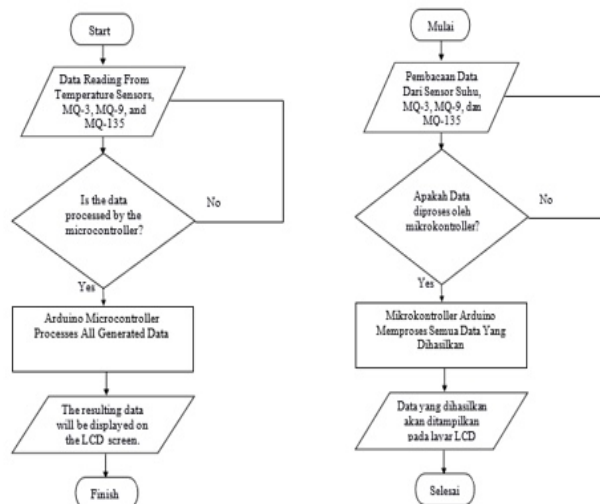
C. Desain Perangkat Keras



Gambar 2. Desain Perangkat Keras

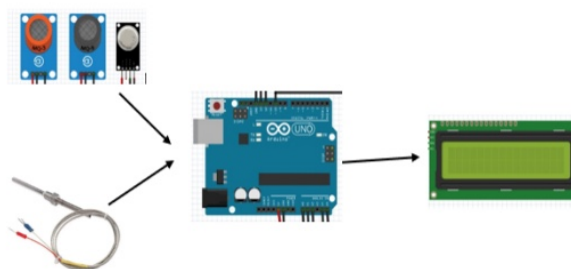
Gambar 2. Menunjukkan perancangan wiring alat yang dibuat menggunakan mikrokontroler Arduino UNO, dimana sensor gas MQ-3, MQ-9, MQ-135 dan sensor termokopel terhubung ke pin analog Arduino UNO (A0, A2, A1, D12, D10, dan D13) untuk memantau suhu dan pembacaan gas, sedangkan LCD I2C terhubung ke pin A4 untuk SDA dan A5 untuk SCL, dengan beberapa sensor menggunakan sumber daya VCC (5 V) dan ground yang sama dari Arduino UNO.

D. Flowchart

**Gambar 3.** Flowchart

Proses dimulai dengan menyalakan sistem. Pada tahap ini, mikrokontroler Arduino UNO akan menjalankan instruksi awal yang telah diprogram di Arduino IDE. Kemudian proses inisialisasi sensor gas dan sensor suhu, jika sudah berfungsi sensor akan membaca parameter gas yang terpantau secara real time dan memunculkan pada LCD I2C.

E. Perancangan Alat

**Gambar 4.** Perancangan Alat

Gambar 4. merepresentasikan arsitektur sistem deteksi tingkat kematangan proses roasting kopi menggunakan electronic nose, di mana sensor gas dan sensor suhu membaca parameter gas dan suhu pada proses roasting. Data sensor diproses oleh mikrokontroler Arduino UNO dan dikirimkan pada LCD untuk ditampilkan secara real-time[13][14].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan di Labolatorium Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Pengujian sensor dilakukan dengan mengamati perubahan gas dan suhu selama proses roasting kopi menggunakan biji kopi mentah sebagai

sempel. Pengambilan data dilakukan dengan interval waktu setiap lima menit sekali selama proses roasting kopi, yang dimana sistem akan merekam nilai keluaran sensor gas dan suhu kemudian disimpan untuk dianalisis. Proses pengujian dilakukan hingga mencapai tiga tingkat kematangan yaitu *light roast*, *medium roast*, dan *dark roast*. Data yang diperoleh akan dianalisis untuk mengidentifikasi pola perubahan gas dan suhu pada setiap tingkat kematangan serta mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi dan mengklasifikasi tingkat kematangan kopi.

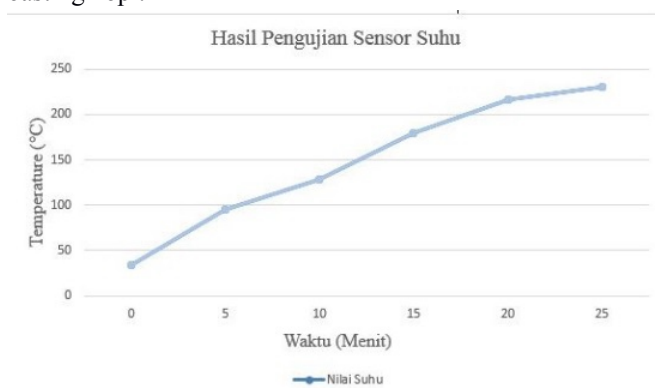
A. Pengujian Sensor Suhu Pada Proses Roasting

Pada tabel ini menyajikan hasil pengujian sensor suhu menggunakan sensor termokopel tipe-k yang dipasang pada ruang pemanggangan untuk memantau perubahan suhu selama proses roasting kopi dengan interval waktu lima menit sekali mulai dari kondisi awal hingga mencapai tingkat kematangan dark roast.

TABEL 1. HASIL PENGUJIAN SENSOR SUHU

Waktu (Menit)	Nilai Sensor Suhu	Tingkat Kematangan
0	34.4°C	Green Bean
5	95.6°C	Green Bean
10	129.2°C	Green Bean
15	179.5°C	Light Roast
20	217.7°C	Medium Roast
25	230.3°C	Dark Roast

Pada Tabel 1, nilai suhu mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu pada saat proses roasting kopi. Kenaikan suhu menandakan proses roasting kopi berlangsung dengan baik dan menjadi parameter utama dalam menentukan tingkat kematangan kopi. Pada tahap awal (*green bean*) suhu masih berada dibawah 150°C sehingga perubahan suhu yang terjadi didominasi oleh proses penguapan kadar air dari dalam biji kopi. Ketika suhu mencapai 179,5°C biji kopi mulai memasuki tingkat *light roast*, tahap ini mulai terbentuk berbagai senyawa volatil yang memunculkan aroma kopi dan menyebabkan perubahan warna menjadi cokelat muda[15]. Selanjutnya pada suhu 217,7°C kopi memasuki tahap *medium roast*, yang ditandai dengan perubahan warna biji kopi menjadi cokelat tua dan menghasilkan aroma yang lebih kompleks. Kemudian pada akhir proses pemanggangan suhu mencapai 230,3°C yang menandakan kondisi *dark roast*, tahap ini ditandai dengan terjadinya perubahan warna biji kopi dari cokelat tua menjadi hitam. Sensor termokopel mampu memantau perubahan suhu secara stabil dan memiliki respon yang sesuai dengan karakteristik proses roasting kopi.



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Sensor Suhu Pada Proses Roasting

Berdasarkan Gambar 5, grafik menunjukkan suhu meningkat secara bertahap dari kondisi awal hingga mencapai dark roast. Grafik menunjukkan bahwa sensor termokopel mampu memantau perubahan suhu selama proses roasting kopi.

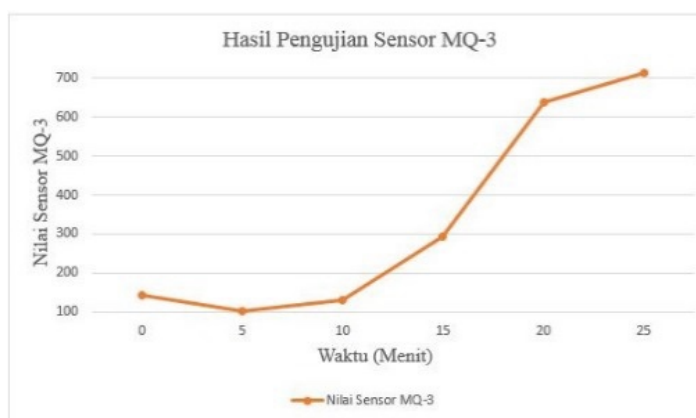
B. Pengujian Sensor MQ-3 Pada Proses Roasting

Pada tabel ini menyajikan hasil pengujian sensor MQ-3 pada saat proses roasting kopi dengan interval waktu lima menit untuk mengetahui perubahan nilai sensor terhadap tingkat kematangan roasting kopi.

TABEL 2. HASIL PENGUJIAN SENSOR MQ-3

Waktu (Menit)	Sensor MQ-3	Tingkat Kematangan
0	142	Green Bean
5	102	Green Bean
10	129	Green Bean
15	295	Light Roast
20	639	Medium Roast
25	715	Dark Roast

Nilai sensor MQ-3 mengalami perubahan selama proses roasting kopi berlangsung. Pada tahap awal (*green bean*), nilai sensor berada pada rentang 102-142. Kondisi ini menunjukkan bahwa adanya pembentukan senyawa volatil tetapi sangat rendah karena biji kopi masih didominasi oleh proses penguapan kadar air. Pada saat tingkat kematangan kopi mencapai *light roast* meningkatnya konsentrasi uap alkohol dan senyawa organik volatil yang lebih besar dari kondisi awal menyebabkan nilai sensor meningkat menjadi 295. Pada tingkat kematangan *medium roast* senyawa organik berlangsung semakin intensif sehingga pembentukan senyawa volatil meningkat secara signifikan sehingga nilai sensor menjadi 639. Kenaikan tersebut menandakan bahwa konsentrasi uap alkohol dan senyawa volatil yang terdeteksi semakin tinggi seiring meningkatnya suhu pemanggangan. Pada tingkat kematangan *dark roast* suhu mencapai lebih dari 220°C yang menghasilkan lebih banyak gas dan senyawa volatil sehingga nilai sensor mendapatkan nilai tertinggi yaitu 715. Respon tersebut menandakan adanya peningkatan uap alkohol dan senyawa organik volatil yang dilepaskan akibat dekomposisi senyawa penyusun biji kopi pada suhu tinggi selama proses pemanggangan[16]. Semakin tinggi tingkat kematangan, semakin besar nilai keluaran MQ-3.



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Sensor MQ-3

Berdasarkan Gambar 6, grafik menunjukkan adanya peningkatan pada nilai sensor MQ-3 seiring bertambahnya waktu roasting. Nilai sensor relatif rendah pada kondisi *Green Bean*, kemudian meningkat pada kondisi *Light Roast*, dan mengalami kenaikan yang cukup signifikan pada tahap *Medium Roast* hingga *Dark Roast*. Pola perubahan ini menunjukkan bahwa sensor mampu membaca dan membantu untuk identifikasi tingkat kematangan kopi.

C. Pengujian Sensor MQ-9 Pada Proses Roasting

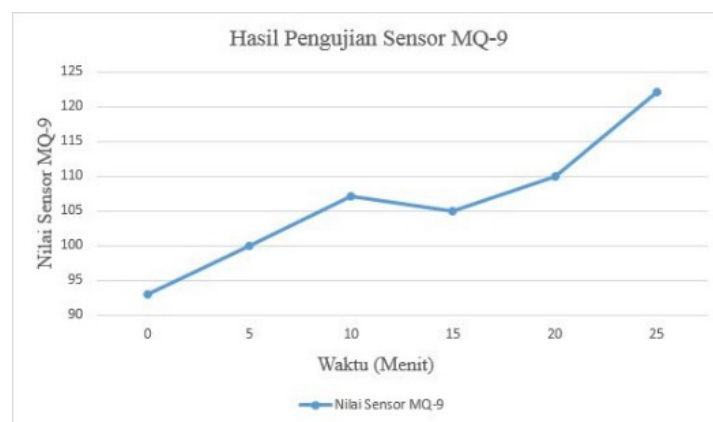
Pada tabel ini menyajikan hasil pengujian sensor MQ-9 selama proses roasting kopi untuk mengetahui perubahan nilai sensor terhadap tingkat kematangan roasting kopi.

TABEL 3. HASIL PENGUJIAN SENSOR MQ-9

Waktu (Menit)	Sensor MQ-9	Tingkat Kematangan
0	93	Green Bean

5	100	Green Bean
10	107	Green Bean
15	105	Light Roast
20	110	Medium Roast
25	122	Dark Roast

Pada Tabel 3, nilai sensor MQ-9 menunjukkan perubahan selama proses roasting kopi. Pada kondisi awal nilai sensor berada pada kisaran 93-107. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembakaran belum menghasilkan gas karbon monoksida yang terlalu besar karena sebagian besar energi panas masih digunakan untuk menguapkan kadar air yang terdapat didalam biji kopi sehingga proses dekomposisi senyawa organik belum berlangsung secara intensif. Memasuki tingkatan *light roast* sensor tercatat 105, kondisi ini menandakan mulai adanya terbentuknya gas hasil pembakaran akibat meningkatnya suhu pemangangan. Kemudian pada tingkatan *medium roast* suhu yang mencapai lebih dari 200°C menyebabkan dekomposisi senyawa organik lebih aktif, meningkatkan pembentukan karbon monoksida sehingga nilai sensor meningkat sebesar 110. Selanjutnya tingkatan *dark roast* menghasilkan gas pembakaran dalam jumlah lebih besar sehingga nilai sensor meningkat sebesar 122. Nilai sensor MQ-9 meningkat seiring bertambahnya tingkat kematangan roasting kopi. Meskipun kenaikan nilai sensor tidak terlalu besar, sensor MQ-9 dapat digunakan sebagai parameter pendukung dalam proses identifikasi tingkat kematangan kopi, karena sensor MQ-9 menunjukkan perbedaan nilai pada tahap roasting. Sensor MQ-9 digunakan untuk mendeteksi gas karbon monoksida (CO), metana (CH₄), dan beberapa gas hasil pembakaran lainnya yang dihasilkan pada proses pemangangan[17][18].



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Sensor MQ-9

Berdasarkan Gambar 7, grafik menunjukkan peningkatan nilai sensor MQ-9 dari kondisi awal Green Bean hingga Dark Roast. Nilai relatif stabil pada awal roasting, kemudian meningkat secara bertahap seiring bertambahnya tingkat kematangan kopi.

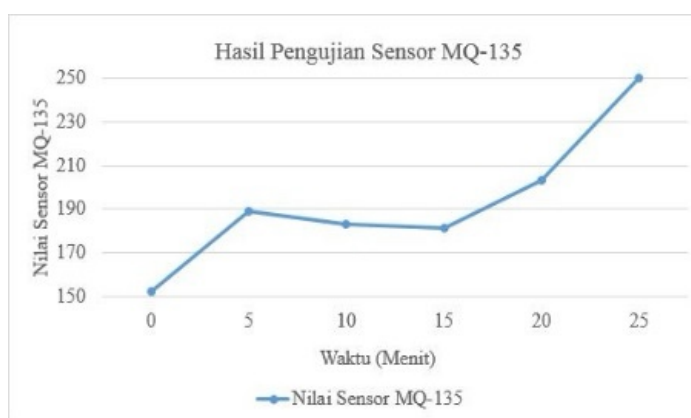
D. Pengujian Sensor MQ-135 Pada Proses Roasting

Pada tabel ini menyajikan hasil pengujian sensor MQ-135 pada proses roasting kopi dengan interval waktu setiap lima menit sekali untuk mengetahui perubahan nilai sensor MQ-135 dari kondisi Green Bean hingga Dark Roast.

TABEL 4. HASIL PENGUJIAN SENSOR MQ-135

Waktu (Menit)	Sensor MQ-135	Tingkat Kematangan
0	152	Green Bean
5	189	Green Bean
10	183	Green Bean
15	181	Light Roast
20	203	Medium Roast
25	250	Dark Roast

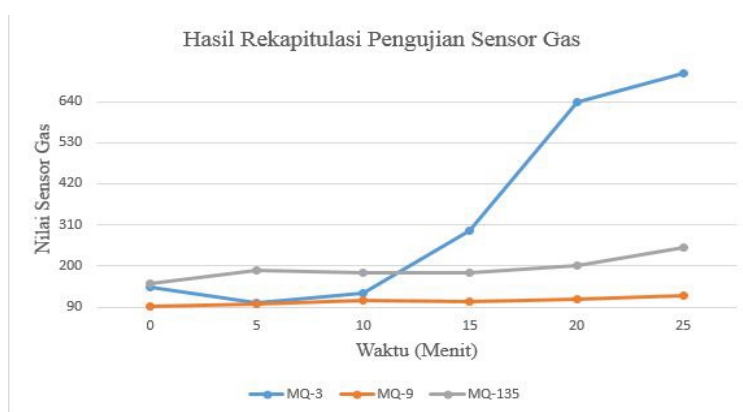
Pada Tabel 4, nilai sensor MQ-135 mengalami perubahan selama proses roasting kopi berlangsung. Pada kondisi Green Bean nilai sensor menunjukkan pada kisaran 152-189, ketika tingkatan menjadi Light Roast nilai sensor tercatat 181, pada tingkatan Medium Roast nilai sensor meningkat menjadi 203, kemudian pada kondisi Dark Roast nilai sensor kembali meningkat dan tercatat sebesar 250. Peningkatan nilai sensor terjadi karena semakin tingginya suhu pemanggangan yang menyebabkan perubahan karakteristik gas yang dihasilkan selama proses roasting. Sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi senyawa volatil, amonia, benzena, karbon dioksida, dan gas organik lainnya pada saat proses pemanggangan berlangsung[19]. Pada tahap awal proses pemanggangan nilai sensor berada pada kisaran 152-189 dikarenakan senyawa volatil masih relatif rendah karena suhu pemanggangan belum cukup tinggi untuk memicu reaksi kimia secara optimal. Memasuki tahap *light roast* nilai sensor pada kisaran 181 dikarenakan bahwa pembentukan VOC mulai terjadi namun belum dominan. Ketika tahap *medium roast* respon sensor mengalami kenaikan menjadi sekitar 203 yang disebabkan oleh semakin banyak senyawa organik volatil yang terbentuk. Pada kondisi *dark roast* nilai sensor mencapai 250. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan senyawa volatil berlangsung lebih intensif akibat suhu pemanggangan tinggi yang menghasilkan aroma kopi lebih kuat.

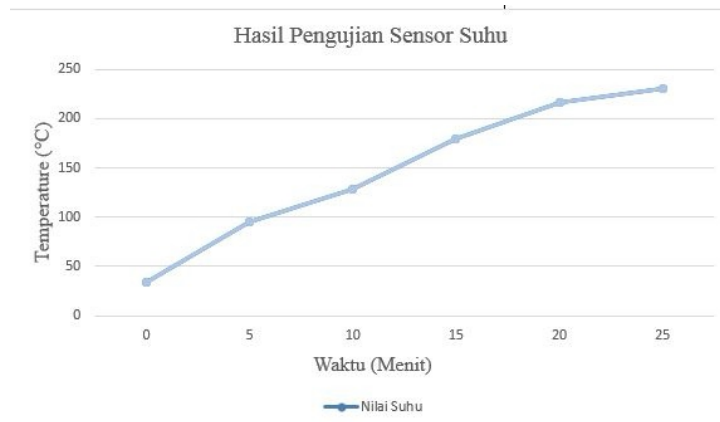


Gambar 8. Garfik Hasil Pengujian Sensor MQ-135

Berdasarkan Gambar 8, grafik menunjukkan adanya peningkatan selama proses roasting berlangsung. Pada tahap Green Bean hingga Light Roast perubahan nilai sensor masih relatif kecil. Namun ketika memasuki tahap Medium roast hingga Dark Roast, nilai sensor mengalami peningkatan yang lebih signifikan.

E. Grafik Hasil Rekapitulasi





Gambar 9. Grafik Rekapitulasi

Grafik tersebut menunjukkan perubahan sensor suhu, MQ-3, MQ-9 dan MQ-135 selama proses roasting kopi dengan interval waktu pengujian. Nilai suhu mengalami peningkatan dari 34°C pada kondisi Green Bean hingga mencapai sekitar 220°C pada kondisi Dark Roast. Sensor MQ-3 menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan dari nilai 142 menjadi 715 seiring bertambahnya tingkat kematangan. Sensor MQ-9 mengalami peningkatan yang cukup stabil dari 93 menjadi 122, sedangkan MQ-135 meningkat dari 152 menjadi 250. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan tingkat kematangan proses roasting kopi dari Green Bean, Light Roast, Medium Roast, hingga Dark Roast berdasarkan perubahan nilai sensor dan suhu.

F. Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem deteksi tingkat kematangan proses roasting kopi dapat mengidentifikasi dengan baik pada saat proses pemanggangan berlangsung. Hal ini ditunjukkan pada adanya perubahan nilai sensor suhu dan gas yang mengikuti perkembangan tingkat kematangan kopi dari kondisi Green Bean hingga Dark Roast. Nilai sensor suhu dan gas masih relatif rendah pada tahap Green Bean, seiring bertambahnya waktu roasting, nilai suhu meningkat dan diikuti oleh perubahan respon sensor gas yang mendeteksi senyawa volatil pada hasil proses pembakaran[20].

Pada tahap Light Roast nilai suhu mencapai 179,5°C dengan nilai MQ-3 sebesar 295, MQ-9 sebesar 105, dan MQ-135 sebesar 181. Selanjutnya tahap Medium Roast nilai suhu mencapai 217,7°C diikuti dengan kenaikan nilai MQ-3 sebesar 639, MQ-9 sebesar 110, dan MQ-135 sebesar 203. Kemudian pada tahap Dark Roast nilai suhu mencapai 230,3°C, nilai MQ-3 menjadi 715, MQ-9 menjadi 122, dan MQ-135 menjadi 250. Berdasarkan hasil pengujian, sistem dapat mengidentifikasi tingkat kematangan dari kondisi awal Green Bean, Light Roast, Medium Roast, dan Dark Roast.

Berdasarkan hasil tersebut, sensor MQ-3 memberikan nilai yang paling signifikan dibandingkan sensor lainnya, sedangkan MQ-9 dan MQ-135 menunjukkan peningkatan yang bertahap. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *electronic nose* yang dirancang dapat membantu memantau dan membantu membedakan tingkat kematangan roasting kopi mulai dari *Green Bean*, *Light Roast*, *Medium Roast*, hingga *Dark Roast* secara konsisten.

VII. SIMPULAN

Sistem deteksi tingkat kematangan proses roasting kopi berbasis *electronic nose* berhasil mengintegrasikan sensor suhu termokopel tipe-k, serta sensor gas MQ-3, MQ-9, dan MQ-135 untuk melakukan pemantauan proses roasting kopi secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan sistem dapat merespon dengan baik terhadap perubahan tingkat kematangan pada proses pemanggangan dan berhasil mengidentifikasi empat tingkat kematangan, yaitu *green bean*, *light roast*, *medium roast*, dan *dark roast* berdasarkan kombinasi nilai sensor dan suhu. Pada tahap *light roast* berada pada rentang suhu 179 - 199°C dengan nilai MQ-3 sebesar 250 - 350, nilai MQ-9 sebesar 90 - 110, dan MQ-135 sebesar 150 - 190. Tahap *medium roast* nilai suhu berada pada 220 - 220°C dengan nilai MQ-3 sebesar 500 - 650, MQ-9 sebesar 110 - 120, dan MQ-135 sebesar 190 - 220. Kemudian tahap *dark roast* nilai pada suhu sebesar 220 - 230°C dengan nilai MQ-3 sebesar 650 - 750, MQ-9 sebesar 120 - 130, dan MQ-135 sebesar 220 - 260. Sensor MQ-3 memberikan perubahan yang paling signifikan dibandingkan sensor lainnya, sementara itu sensor MQ-9 dan MQ-

135 meningkat secara stabil. Berdasarkan kombinasi data sensor suhu dan sensor gas, sistem mampu mengidentifikasi tingkat kematangan kopi menjadi *light roast*, *medium roast*, dan *dark roast* secara real-time.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terselenggaranya penelitian ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan penghargaan kepada Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sidoarjo atas penyediaan fasilitas penelitian. Apresiasi juga diberikan kepada dosen pembimbing serta seluruh pihak yang telah meluangkan waktu untuk memberikan saran dan bantuan selama proses penelitian hingga penyusunan naskah ini selesai.

REFERENSI

- [1] I. Noer Syamsiana, M. A. Wahyudi, T. U. Syamsuri, N. Nafisah, and A. D. W. Sumari, "Implementasi Sistem Monitoring Alat Pengering Biji Kopi Berbasis IoT (Internet of Things)," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 11, no. 1, pp. 62–67, 2024, doi: 10.33795/elposys.v11i1.4964.
- [2] R. Jhonny and H. Raharjo, "Potensial Ekspor Komoditas Kopi Dari Indonesia Ke Malaysia Dan Singapura," vol. 2, no. 2, 2023.
- [3] Ardian Pangestu, "Pengaruh Waktu Roasting Terhadap Kualitas Sensori Kopi Robusta Kecamatan Pulosari Kabupaten Pematang," *J. Cent. Publ.*, vol. 3, no. 1, pp. 67–75, 2025, doi: 10.60145/jcp.v3i1.283.
- [4] I. Alfiantama, M. I. Kresnawan, and A. P. Handoko, "Klasifikasi Tingkat Roasting Biji Kopi Dengan Metode CNN," *Pros. Semin. Nas. Teknol. Dan Sains Tahun 2024*, vol. 3, pp. 285–290, 2024.
- [5] A. Brilliantina, A. P. Rahayu, I. R. A. Sasmita, F. C. Kusumasari, and P. T. Fadhila, "Uji Sensori Kopi Robusta berdasarkan Variasi Suhu dan Lama Penyangraian (Studi Kasus Perusahaan Umum Daerah Perkebunan Kahyangan Kebun Sumber Wadung)," *Callus J. Agrotechnology Science*, vol. 1, no. 2, pp. 38–44, 2023, doi: 10.47134/callus.v1i2.2026.
- [6] D. M. Sumarta, D. T. Industri, U. T. Bandung, K. Bandung, and M. French, "Penentuan Komponen Utama Mesin Penyangrai Kopi Sebagai Sketsa Awal Perancangan Menggunakan Metode," pp. 347–352, 2024.
- [7] J. Jamaaluddin, "Alat Pendeteksi Dini Kebakaran dan Pemadam Otomatis Dilengkapi dengan Video Streaming Berbasis Internet of Things," *Pros. Semin. Nas. Fortei7*, pp. 645–649, 2021, [Online]. Available: <http://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/30>
- [8] Ahmady, Hafidh. TA: Sistem Kontrol Alat Roasting Biji Kopi Menggunakan Arduino. Diss. Universitas Dinamika, 2020.
- [9] N. Jefuna and R. Erdiansyah, "Hasil Penelitian Hasil Penelitian," *Skripsi*, vol. 3, no. 1, pp. 19–25, 2020, [Online]. Available: <http://www.unhas.ac.id/tahir/BAHAN-KULIAH/00-Fika-data/TESIS LENGKAP dr. Zulfikar T>
- [10] D. B. Magfira, F. Yudianto, T. D. Wulan, T. Herlambang, R. P. N. Budiarti, and A. T. R. Siswanti, "Perancangan IoT Sederhana Untuk Sistem Pendeteksi Kemurnian Kopi Bubuk," *J. Tecnosienza*, vol. 9, no. 1, pp. 86–96, 2024, doi: 10.51158/cykway82.
- [11] B. Sumanto, D. R. Java, W. Wijaya, and J. Hendry, "Seleksi Fitur Terhadap Performa Kinerja Sistem E-Nose untuk Klasifikasi Aroma Kopi Gayo," *MATRIK J. Manajemen, Tek. Inform. dan Rekayasa Komput.*, vol. 21, no. 2, pp. 429–438, 2022, doi: 10.30812/matrik.v21i2.1495.
- [12] F. A. Slamet, *MODEL PENELITIAN PENGEMBANGAN (R n D)*.
- [13] F. Alifuddin, J. Jamaaluddin, and S. D. Ayuni, "IMPLEMENTASI SENSOR INFRARED PENAMPIL KUALITAS OLI KENDARAAN SEPEDA MOTOR BERBASIS ARDUINO UNO," pp. 96–100.
- [14] R. Bangun, A. Alat, P. Asap, and D. Cooker, "Design of Automatic Cooker Hood Using NodeMCU," vol. 8, no. 1, pp. 1–14, 2024.
- [15] A. Falah, U. M. Sidoarjo, M. Rivai, and D. Purwanto, "Implementation of Gas and Sound Sensors on Temperature Control of Coffee Roaster Using Fuzzy Logic Method," no. August, 2019, doi: 10.1109/ISITIA.2019.8937148.
- [16] D. B. Magfira *et al.*, "Electronic Nose for Classifying Civet Coffee and Non-Civet Coffee," vol. 23, no. 3, pp. 323–337, 2023.
- [17] F. S. Ningsih and Q. Ainiyah, "THE EFFECT OF TESTING CHAMBER ON THE RESPONSE PATTERNS OF AN ARRAY OF GAS SENSORS IN SENSING ROBUSTA COFFEE AROMA FROM

- BANGSALSARI AND,” vol. 8, no. 1, pp. 101–113, 2023.
- [18] F. Oil, U. Gas, and S. Through, “JoTP,” vol. 4, no. 2, pp. 150–156, 2022.
- [19] Khairul, Umam Muzakki. "UJI DETEKSI CEPAT VARIETAS KOPI BERDASARKAN AROMA MENGGUNAKAN ELECTRONIC NOSE DENGAN JARINGAN SYARAF TIRUAN MENGGUNAKAN METODE BACKPROPAGATION." (2026).
- [20] N. M. Saraswati, R. A. Murdiantoro, A. Rakhman, and F. H. Arsiandro, “Sistem Monitoring Emisi Polutan Gas menggunakan IoT untuk Industri Pengolahan Teh Tradisional Desa Pandansari Gas Pollutant Emission Monitoring System using IoT for the Traditional Tea Processing Industry in Pandansari Village,” vol. 8275, pp. 11–23, 2026.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.