

Implementasi Sistem *Monitoring* Alat Pengering Biji Kopi Berbasis IoT (*Internet of Things*)

Ika Noer Syamsiana^{*a)}, Moh Ari Wahyudi^{a)}, Tresna Umar Syamsuri^{a)}, Nihayatun Nafisah^{a)},
Arwin Datumaya Wahyudi Sumari^{b,c)}

(Received 21 Desember 2023 || Revised 22 Januari 2023 || Accepted 22 Februari 2024)

Abstract: Indonesia holds the third position in global coffee bean supply, with a 3.3% increase in demand in 2021 according to ICO data. In line with ICO Resolution 407, coffee bean quality must be high, indicated by a 12.5% moisture content through drying processes. Mechanical drying is faster than traditional methods, thus becoming the focus of this research. This study implements an IoT-based monitoring system for coffee bean drying equipment. The aim is to create and implement a monitoring system for temperature (0°C - 70°C) and electrical energy consumption (kWh) in coffee bean drying, displayed on the ThingSpeak dashboard. Test results show that the temperature monitoring system using DHT22 sensors at the inlet and outlet of the rotary dryer tube has an average error of 2.1%. The energy monitoring system using PZEM-004T has a 0% energy measurement error. These results indicate a reliable monitoring system that enables remote monitoring via the internet. Furthermore, the study tests manual (on/off) and fuzzy logic control methods to achieve 12% moisture content in coffee beans. The fuzzy logic control method demonstrates better temperature stability and 11.2% cost savings in operational expenses. This research benefits coffee farmers by facilitating efficient monitoring of the bean drying process, and recommends the use of the fuzzy logic control method for stable temperature and lower operational costs.

Keywords: Coffee Bean Dryer, Coffee Bean Drying Methods, Energy Consumption, IoT, Temperature

1. Pendahuluan

Permintaan biji kopi dunia pada tahun 2021 meningkat sebesar 3,3% berdasarkan data dari ICO (International Coffee Organization). Indonesia menduduki peringkat ketiga dunia dalam supply biji kopi setelah india dan brazil [1]. Dalam lingkup domestik kopi menjadi komoditas unggulan setelah kelapa sawit, karet dan kakao dengan jumlah ekspor kopi yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsumsi domestik.

Berdasarkan resolusi ICO 407 perdagangan kopi mutu rendah dilarang sejak tanggal 1 Oktober 2002. Salah satu indikator biji kopi berkualitas baik adalah biji kopi dengan kadar air kurang dari sama dengan 12,5% serta tidak berbau busuk atau berbau kapang [2], biji berbau kapang yaitu bau yang ditimbulkan oleh kapang, atau berbau apek sebagai akibat dari penyimpanan biji kopi berkadar air tinggi yang terlalu lama [3]. Oleh karena itu dilakukan proses pengeringan yang merupakan proses terpenting pengolahan kopi [4] bertujuan untuk mengurangi kadar air biji kopi. Proses pengeringan terdapat dua metode yaitu secara tradisional dengan cara menjemur dibawah sinar matahari dan secara mekanis yaitu menggunakan alat pengering [5].

Metode pengeringan tradisional yaitu biji kopi dikeringkan dengan memanfaatkan sinar matahari. Namun kelemahan dari metode ini adalah cuaca yang sulit diprediksi, berkurangnya kualitas dan pengumpulan biji kopi yang dijemur pada saat hujan memerlukan banyak tenaga kerja, petani kopi juga tidak bisa melakukan pengawasan terhadap suhu serta kadar air biji kopi [6]. Selain itu proses pengeringan biji kopi parchment dengan

penjemuran pada sinar matahari langsung membutuhkan waktu sekitar 7 hari untuk mencapai kadar air 11-12% sedangkan pengeringan mekanis menurunkan waktu pengeringan menjadi 16 sampai 24 jam [7]. Suhu optimal dalam proses pengeringan biji kopi secara mekanis bernilai 50°C. Semakin tinggi suhu pengeringan yang diberikan maka semakin besar pula penurunan kadar air yang terjadi pada biji kopi [8]. Oleh karena itu untuk menjaga kualitas kopi dan memudahkan petani kopi dalam proses pengeringan dibutuhkan alat pengering kopi mekanis dengan sistem monitoring supaya mengetahui suhu pengeringan dan konsumsi energi listrik yang digunakan .

Sistem monitoring yang dianggap revolusi teknologi berikutnya ialah Internet of Things (IoT). IoT adalah proses menghubungkan komputer ke internet melalui penggunaan sensor dan jaringan [9] yang diharapkan mampu memudahkan petani kopi dalam proses pengeringan biji kopi. Beberapa penelitian telah dilakukan terkait sistem monitoring yaitu monitoring parkir pintar [10], rumah pintar [11] dan di industri [12]. Penelitian penting tentang sistem monitoring pada pengolahan kopi telah dilakukan. Smart Coffee Roaster [13] mampu dengan tepat mengukur parameter secara akurat ditampilkan pada smartphone atau laptop melalui Bluetooth dan menghasilkan cita rasa kopi sesuai preferensi. Alat pengering biji kopi berbasis IoT [14], dalam penelitian tersebut menggunakan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan di dalam alat pengering kemudian diproses oleh NodeMCU ESP8266 dan ditampilkan pada aplikasi kodular melalui media IoT. Selain itu, IoT membantu sistem smart grid dalam menjalankan berbagai fungsi jaringan selama tahapan generasi, transmisi, distribusi, dan penggunaan energi dengan mengintegrasikan perangkat IoT [15].

Berdasarkan penelitian yang sudah ada maka penting untuk alat pengering biji kopi memiliki sistem monitoring suhu dan konsumsi energi listrik dari alat pengering tersebut supaya petani mengetahui suhu dan biaya yang digunakan dalam

*Korespondensi : ikanoersyamsiana@polinema.ac.id

a) Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta no.9, Kota Malang, Indonesia
b) Magister Terapan Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta no.9, Kota Malang, Indonesia
c) Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Jl. Janti Blok - R Lanud Adisutjipto Yogyakarta

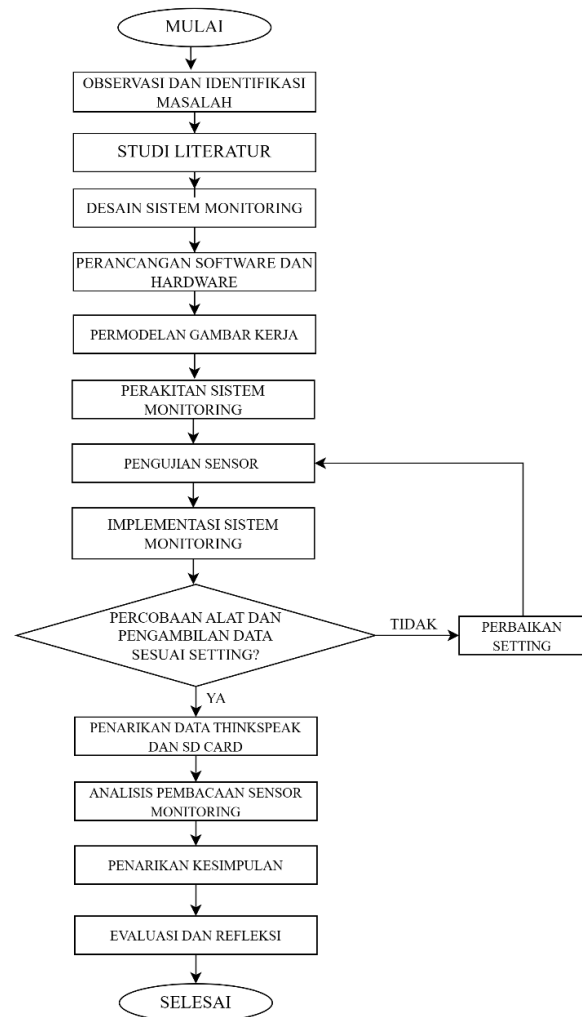
pengoperasiannya. Berdasarkan latar belakang tersebut dalam penelitian ini akan membahas tentang implementasi sistem monitoring pada alat pengering biji kopi menggunakan DHT22 sebagai sensor suhu dan PZEM-004T untuk monitoring konsumsi energi listrik (kWh). Hasil pembacaan akan diproses oleh microcontroller ESP32 melalui jaringan internet ditampilkan pada dashboard ThingSpeak dengan judul penelitian “Implementasi Sistem Monitoring Alat Pengering Biji Kopi Berbasis IoT (Internet of Things)”.

2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kontrol Gedung AK Politeknik Negeri Malang dan Laboratorium Konversi Energi Jurusan Magister Terapan Teknik Elektro. Penelitian dilakukan pada bulan September 2022 hingga November 2023. Objek penelitian adalah kopi Robusta Gunung Kawi yang dikeringkan menggunakan alat pengering otomatis dengan pengatur suhu dan dimonitoring secara IoT.

2.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian monitoring pada alat pengering biji kopi berbasis IoT, terdapat beberapa tahapan pada Gambar 2. 1. Tahapan tersebut dimulai dari observasi dan identifikasi masalah serta diakhiri dengan evaluasi dan refleksi.



GAMBAR 2. 1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Proses dimulai dengan observasi dan identifikasi masalah sebagai langkah awal dalam perancangan sistem monitoring. Masalah yang diangkat adalah kesulitan petani dalam mengawasi dan memonitoring proses pengeringan biji kopi yang sedang berlangsung. Setelah mendapatkan masalah yang urgensi, tahapan selanjutnya adalah studi literatur mengenai system monitoring yang diimplementasikan pada berbagai alat. Selanjutnya, setelah mendapatkan kerangka awal yang sesuai dengan kebutuhan maka dilakukan desain desain sistem monitoring yang mencakup perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Setelah itu, dilakukan permodelan gambar kerja untuk memberikan gambaran visual mengenai sistem yang akan dibuat.

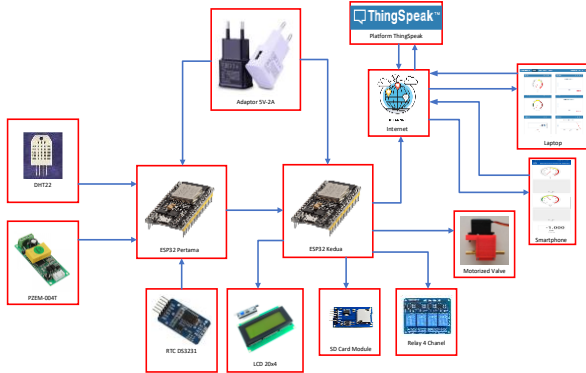
Setelah semua tahap desain dan perancangan selesai, dilakukan perakitan sistem monitoring dengan menyusun perangkat keras dan mengimplementasikan software yang telah dibuat pada perangkat keras. Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik dan sesuai spesifikasi. Implementasi sistem monitoring dilanjutkan dengan percobaan dan pengambilan data sesuai dengan *setting* yang telah dilakukan.

Pengambilan data dilakukan melalui platform ThingSpeak secara online dan SD card secara offline untuk dilakukan

perbandingan waktu pengambilan data secara offline dan online. Selanjutnya data yang diperoleh dilakukan analisis apakah terdapat delay antara pengambilan data secara online dan offline dan prosentase error antara kedua cara tersebut. Langkah terakhir adalah evaluasi dan refleksi dimana keseluruhan proses dievaluasi untuk memastikan bahwa tujuan awal telah tercapai.

2.2 Block Diagram Sistem Monitoring

Sistem monitoring yang dibuat menggunakan beberapa komponen yang terdiri dari dua buah ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor sebagai input dan output berupa LCD.



GAMBAR 2. 2 BLOCK DIAGRAM SISTEM MONITORING

Sensor yang digunakan yaitu sensor suhu yaitu DHT22 sebagai pendeteksi suhu di dalam tabung pengering dengan spesifikasi yang dapat mendeteksi besaran kelembapan udara antara 0-100% dengan akurasi ±2% dan suhu antara -40° sampai ± 80°C dengan akurasi ±0,2°C. Sensor PZEM-004T sebagai sensor tegangan dan arus sehingga dapat memprediksi daya dan energi yang digunakan pada proses pengeringan dengan spesifikasi tegangan diantara 80V-260V dan arus 0A-100A. Selain itu, terdapat pula komponen bernama RTC DS3231 sebagai modul yang dapat membaca waktu dan SD Card modul yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan data pada SD Card. Motorized valve merupakan komponen yang diatur prosentase bukaannya sehingga suhu dapat diatur sesuai set point dan Relay yang digunakan untuk motor 1 fasa, blower, dan ignition coil. Sumber tegangan utama mikrokontroler adalah adaptor dengan kapasitas tegangan 5-volt dan arus 2 ampere. Selain itu, mikrokontroler ESP32 harus terhubung dengan internet agar dapat mengirim data ke ThinkSpeak sebagai dashboard tampilan yang digunakan dan deprogram menggunakan aplikasi Arduino IDE [16]

2.3 Perhitungan Kapasitas Data Logger

Penyimpanan yang digunakan untuk menyimpan data seperti data suhu, waktu, tegangan, arus, daya, energi dan prosentase valve pada pengering biji kopi secara offline adalah data logger menggunakan SD Card. Besar kapasitas SD Card yang digunakan untuk menyimpan data sebesar 2 Giga Byte dengan perhitungan seperti pada persamaan (2-1).

$$D = \frac{T}{(n \times (\frac{91}{10}) + 18) \times 24 \times 60 \times 60} \times m \tag{2-1}$$

$$T = \frac{D \times (7 \times (\frac{91}{10}) + 18) \times 24 \times 60 \times 60}{20}$$

Dimana:

D = Estimasi hari (hari)

n = Jumlah Parameter

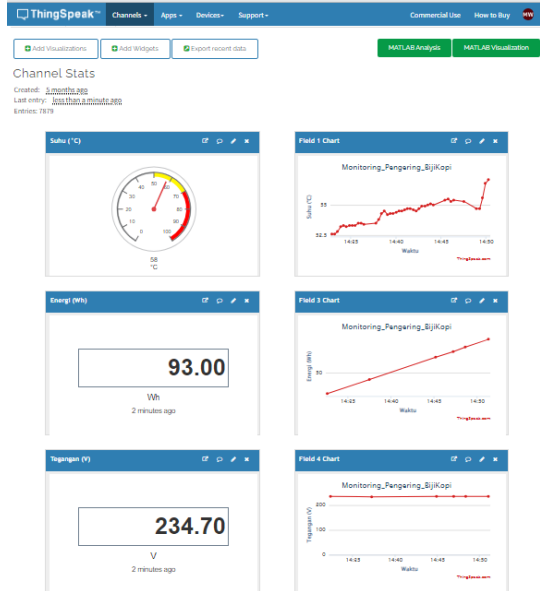
m = Waktu pengambilan data (detik)

T = Total kapasitas SD card (byte)

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, kapasitas SD card yang dipilih sebesar 2 Giga Byte dan dapat digunakan untuk menyimpan data selama kurang lebih 15 tahun.

2.4 Desain Sistem Monitoring

Desain system monitoring IoT menggunakan platform platform ThingSpeak yang menyediakan real-time monitoring [17]. Dashboard platform tersebut dapat diakses menggunakan Laptop/PC dan Smartphone. Terdapat 8 komponen widget yang ditampilkan dalam platform yaitu 2 buah grafik suhu berbentuk diagram garis dan diagram lingkaran. Nilai suhu didapat dari suhu rata-rata dua sensor suhu yang terleak di bagian inlet dan outlet pada alat pengering. Selain itu, komponen widget lainnya adalah nilai arus, tegangan dan energi yang ditampilkan dalam bentuk grafik garis dan besaran angka. Tampilan dashboard IoT ditunjukkan pada



(A)



(B)
GAMBAR 2. 3 TAMPILAN DASHBOARD IOT (A) PADA LAPTOP/PC (B) PADA SMARTPHONE

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini akan diuraikan mengenai data dari hasil pengujian yaitu hasil pengujian akurasi sensor dan hasil perbandingan data online menggunakan platform *Thinspeak* dan offline menggunakan SD card. Pengujian akurasi sensor terdiri daei pengujian sensor suhu (DHT22) dan sensor PZEM-004t.

3.1 Hasil Pengujian Akurasi Sensor

Pengujian akurasi sensor dilakukan untuk mengetahui akurasi serta keandalan sensor DHT22 dan modul PZEM-004T sebelum implementasi. Dalam pengujiannya menggunakan alat ukur standar sebagai referensi, sehingga diperoleh deviasi error pengukuran menggunakan persamaan (3-1) [18].

$$e = \left| \frac{n_p - n_r}{n_r} \right| \times 100\% \tag{3-1}$$

Dengan:

e = prosentase error (%)

n_r = nilai referensi

n_p = nilai pengukuran

a. Pengujian Sensor DHT22

Pengujian sensor suhu DHT22 menggunakan *thermocouple* sebagai referensi pengukuran. Pengukuran dilakukan dalam tiga keadaan suhu yaitu ketika suhu normal menggunakan suhu ruangan, suhu dingin menggunakan es batu dan suhu panas menggunakan api. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 3. 1.

TABEL 3. 1 HASIL PENGUJIAN SENSOR SUHU

No	Kondisi	Deviasi Error (%)
1	Suhu Normal	0,38
2	Suhu Dingin	4,76

No	Kondisi	Deviasi Error (%)
3	Suhu Panas	1,02

Sensor DHT22 memiliki akurasi lebih sensitive daripada thermocouple karena spesifikasi sensor DHT22 sebesar 0,2% dengan Tingkat resolusi pengukuran 0,1°C sedangkan thermocouple memiliki nilai akurasi lebih rendah yaitu 2,5% dengan tingkat resolusi 1°C. Berdasarkan hasil pengukuran ketika kondisi suhu normal dihasilkan error pengukuran 0,38%, suhu dingin 4,76% dan suhu panas 1,02%. Rata-rata error sebesar 2,1% atau setara dengan 0.021°C sesuai dengan spesifikasi sehingga bisa dikatakan sensor DHT22 yang digunakan pada alat pengering sudah andal.

b. Pengujian Sensor PZEM 004-t

Pengujian PZEM 004-t dilakukan untuk mengkalibrasi apakah sensor tersebut telah sesuai dengan standar yang ditetapkan. Pada pengujian PZEM-004T, nilai referensi yang digunakan adalah *multi-meter* dan *clamp-meter* sebagai acuan pengukuran tegangan dan arus. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk memastikan keandalan modul sensor PZEM-004T.

TABEL 3. 2 PENGUKURAN TEGANGAN ANTARA SENSOR DAN MULTIMETER

Parameter	Error (%)
Tegangan tanpa beban (V)	0,64
Tegangan beban total (V)	0,6
Arus	16,5%

Sensor PZEM-004t memiliki spesifikasi akurasi pengukuran 0,5% pada pengukuran tegangan, arus, frekuensi, energi dan daya aktif. Sedangkan memiliki spesifikasi akurasi 1% pada pengukuran power factor. Rata-rata error pengukuran tegangan yaitu 0,61%, artinya masih masuk kedalam standar menurut [19] dalam standar IEC No. 13B-23. Berdasarkan hasil error pada Tabel 3. 2, sensor PZEM 004-t dapat dikatakan andal.

3.2 Hasil Perbandingan Data Online dan Offline

Pengambilan data dilakukan dalam 2 metode yaitu metode online menggunakan platform *Thinkspeak* dan metode offline menggunakan SD card. Pada pengambilan data online, data dapat diunduh langsung dari platform dalam bentuk excel sedangkan hasil pengambilan data pada SD card dalam bentuk csv kemudian di export ke dalam bentuk excel.

TABEL 3. 3 PENGAMBILAN DATA DARI PLATFORM THINKSPEAK

DATA THINKSPEAK				
Waktu	Energy	Tegangan	Arus	Suhu
15:32:27				58,8
15:32:47				58,3
15:33:06				59,1
15:33:21				
15:33:37			1,12	
15:33:52		234,4		
15:34:08	27			
15:34:24				59,6
15:34:43				60,0
15:35:03				60,2
15:35:18				

15:35:34			1,12	
15:35:50		234,4		
15:36:06	34			

Pada Tabel 3. 3 menunjukkan sampel data online, data tersebut diambil kurang lebih 4 menit dari jam 15:32:27 hingga 15:36:06 dan setiap pengambilan data hanya terdapat satu komponen yang terbaca. Komponen yang paling banyak diambil adalah data suhu dikarenakan suhu merupakan komponen krusial yang harus menyesuaikan dengan set point dan merupakan data input untuk control yang berjalan. Banyaknya data suhu yang diambil kurang lebih 20 data dalam 5 menit dan dilanjutkan data arus, tegangan, dan energy setelah itu kembali lagi mengambil data suhu sebanyak 20 kali. Begitu seterusnya hingga proses pengeringan selesai.

TABEL 3. 4 PENGAMBILAN DATA DARI SD CARD

DATA SD CARD				
Waktu	Energy	Tegangan	Arus	Suhu
15:31:27	20	233,1	1,11	58,8
15:31:48	22	233,2	1,11	58,3
15:32:05	23	234,3	1,12	59,1
15:32:26	24	234,3	1,12	59,6
15:32:47	26	234,4	1,12	60,2
15:33:05	27	234,4	1,12	59,3
15:33:26	28	234,4	1,12	59,6
15:33:43	29	234,4	1,12	60
15:34:04	30	234,4	1,12	60,2
15:34:22	31	234,4	1,12	60,2
15:34:43	33	234,4	1,12	59,9
15:35:04	34	234,4	1,12	60,4

Sedangkan pada Tabel 3. 4 merupakan table pengambilan data dari SD Card. Pada table tersebut data diambil dari jam 15:31:27 hingga 15:35:04 yang artinya pengambilan data pada SD card lebih cepat dibandingkan pengambilan data pada platform Thinkspeak dengan selisih waktu 60 detik atau terjadi delay. Hal tersebut disebabkan karena untuk mengirim data ke *Thinkspeak* membutuhkan proses yang lebih berat dibandingkan penyimpanan data secara offline menggunakan SD card. Selain itu, data yang didapatkan dari SD card tidak terdapat kekosongan atau kehilangan data karena pengambilan data diambil secara terus menerus dan tidak bergantian seperti pada platform *Thinkspeak*. Meskipun demikian, pengambilan data melalui platform *Thinkspeak* tetap menjadi solusi yang praktis ketika pengguna membutuhkan pengambilan data secara cepat dan tanpa harus menunggu operasi alat selesai.

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian dan analisis terhadap sistem *monitoring* suhu, energi, tegangan, arus, dan daya pada alat pengering biji kopi berbasis IoT. Sistem *monitoring* suhu menggunakan DHT22 pada *inlet* dan *outlet* tabung *rotary dryer*, dengan hasil pengujian awal menghasilkan rata-rata error 2,1% setara dengan 0.021°C sesuai dengan spesifikasi dan bisa dikatakan DHT22 andal. Sistem *monitoring* energi menggunakan PZEM-004T yang mengukur energi dengan rata-rata error

pengukuran energi 0%, tegangan bernilai 0,61% sesuai dengan standar namun untuk arus bernilai 16,5% disebabkan oleh perbedaan spesifikasi alat ukur. Sistem ini dapat memantau suhu dan parameter energi dari jarak jauh melalui internet dengan interval pengiriman data setiap 2 menit. Delay pengambilan data pada SD card dan platform Thinkspeak selama 60 detik serta pengambilan data online dapat diambil tanpa harus menunggu operasi alat selesai.

Referensi

- [1] ICO, "Coffee Market Report December 2022," 2022.
- [2] H. Kusumo, "Standar Nasional Indonesia : Biji kopi ; Biji kakao ; dan Rumput laut SNI Biji kopi," *Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*, pp. 1–60, 2017.
- [3] P. Ghosh and N. Venkatachalapathy, "Processing and Drying of Coffee - A review," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 3, no. 12, pp. 784–794, 2014.
- [4] F. O. da Costa, T. F. Alvarenga, T. V. C. de Mesquita, and I. Petri Júnior, "Hybrid drying of pulped arabica coffee cherry beans (*Coffea arabica* L. cv. Catuai) using a hexagonal microwave dryer designed by numerical simulations," *J. Food Process Eng.*, vol. 44, no. 5, 2021, doi: 10.1111/jfpe.13666.
- [5] D. Santoso and S. Egra, "Pengaruh Metode Pengeringan Terhadap Karakteristik dan Sifat Organoleptik Biji Kopi Arabika (*Coffea Arabica*) Dan Biji Kopi Robusta (*Coffea Canephora*)," *Rona Tek. Pertan.*, vol. 11, no. 2, pp. 50–56, 2018.
- [6] W. Dong *et al.*, "Comparative evaluation of the volatile profiles and taste properties of roasted coffee beans as affected by drying method and detected by electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME-GC-MS," *Food Chem.*, vol. 272, pp. 723–731, 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.08.068.
- [7] T. N. Sandeep, B. B. Channabasamma, T. N. Gopinandhan, and J. S. Nagaraja, "The effect of drying temperature on cup quality of coffee subjected to mechanical drying," *J. Plant. Crop.*, vol. 49, no. 1, pp. 35–41, 2021, doi: 10.25081/jpc.2021.v49.i1.7059.
- [8] S. Yuliati *et al.*, "Unjuk Kerja Rotary Dryer Pada Proses Pengeringan Biji Kopi," *J. Kinet.*, vol. 9, no. 03, pp. 38–42, 2018.
- [9] M. Hasan, M. M. Islam, M. I. I. Zarif, and M. M. A. Hashem, "Attack and anomaly detection in IoT sensors in IoT sites using machine learning approaches," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 7, p. 100059, 2019, doi: 10.1016/j.iot.2019.100059.
- [10] T. Lin, H. Rivano, and F. Le Mouel, "A Survey of Smart Parking Solutions," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, no. 12, pp. 3229–3253, 2017. doi: 10.1109/TITS.2017.2685143.
- [11] A. R. Al-Ali, I. A. Zuolkernan, M. Rashid, R. Gupta, and M. Alikarar, "A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 63, no. 4, pp. 426–434, 2017. doi: 10.1109/TCE.2017.015014.
- [12] B. Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Mukherjee, and B. Yin,

-
- "Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 6505–6519, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2783682.
- [13] Y. Xu, J. Shaul, T. Bavar, and L. Tan, "Smart Coffee Roaster Design with Connected Devices," *2022 IEEE Int. Conf. Consum. Electron. ICCE-Asia 2022*, 2018, doi: 10.1109/ICCE.2018.8326177.
- [14] A. Nurbaeti, M. Kusumawardani, and H. Darmono, "Rancang Bangun Alat Pengering Biji Kopi Berbasis Internet Of Things," *J. Jartel J. Jar. Telekomun.*, vol. 11, no. 2, pp. 74–80, 2021, doi: 10.33795/jartel.v11i2.60.
- [15] Y. Saleem, N. Crespi, M. H. Rehmani, and R. Copeland, "Internet of Things-Aided Smart Grid: Technologies, Architectures, Applications, Prototypes, and Future Research Directions," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 62962–63003, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2913984.
- [16] S. Dhingra, R. B. Madda, A. H. Gandomi, R. Patan, and M. Daneshmand, "Internet of things mobile-air pollution monitoring system (IoT-Mobair)," *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 3, pp. 5577–5584, 2019, doi: 10.1109/JIOT.2019.2903821.
- [17] M. Forcan and M. Maksimović, "Cloud-Fog-based approach for Smart Grid monitoring," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 101, no. June, p. 101988, 2020, doi: 10.1016/j.simpat.2019.101988.
- [18] X. Hu, H. Yuan, C. Zou, Z. Li, and L. Zhang, "Co-Estimation of State of Charge and State of Health for Lithium-Ion Batteries Based on Fractional-Order Calculus," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 67, no. 11, pp. 10319–10329, 2018, doi: 10.1109/TVT.2018.2865664.
- [19] R. Hidayat, I. Made, A. Nrratha, I. Bagus, and F. Citarsa, "RANCANG BANGUN SMART kWh METER 3 FASE DENGAN KOMUNIKASI SMS GATEWAY Design Of 3 Phase Smart kWh Meter Using SMS Gateway Communication," vol. 7, no. 2, pp. 140–148, 2020.