



Analisis kualitas udara menggunakan *internet of things* di pintu perlintasan kereta api

Evy Kusumaningrum¹, Heru Bagus Hermawan², Sumarsono³, Dedy Hariyadi^{*4}

Email: ¹ evy@ity.ac.id, ² heru.bagus.h@ity.ac.id, ³ sumarsono@ity.ac.id, ⁴ dedy@unjaya.ac.id

Institut Teknologi Yogyakarta^{1,2,3}
Universitas Jenderal Achmad Yani Yogyakarta⁴

Diterima: 15 November 2023 | Direvisi: - | Disetujui: 28 Desember 2023
©2020 Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Muhammadiyah Riau, Indonesia

Abstrak

Keterbatasan jumlah sensor kualitas udara menyebabkan penyajian informasi Indeks Kualitas Udara tidak optimal. Pada prinsipnya pemasangan sensor Indeks Kualitas Udara dapat memberikan masukan dalam kebijakan pengendalian dan pengawasan kualitas udara pada suatu wilayah. Namun, beberapa tempat yang berpotensi menjadi wisata lokal atau tempat berkumpul seperti pada sekitar daerah perlintasan kereta api tidak terpasang sensor kualitas udara. Kecepatan angin pada saat kereta api melintas dapat menyebabkan debu berhamburan. Oleh sebab itu perlu dilakukan kajian lebih lanjut terkait kualitas udara di sekitar perlintasan kereta api di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta berbasis *Internet of Things*. Dalam penelitian ini sensor yang terpasang difungsikan untuk memantau kualitas udara pada 3 lokasi yang memiliki karakteristik berbeda-beda sehingga data yang dihasilkan juga berbeda-beda. Berdasarkan sensor PM25 kualitas udara berkategori Baik 50% dan Sedang 50%, sedangkan sensor PM10 berkategori Baik 80% dan Sedang 30%. Sensor *Internet of Things* yang dibangun pada penelitian ini masih belum teintegrasi pencatatannya antara kecepatan angin dan kualitas udara.

Kata kunci: Indeks Kualitas Udara, Sensor, Perlintasan Kereta Api, *Internet of Things*

Air quality analysis using internet of things at railroad crossings

Abstract

The limited number of air quality sensors causes the presentation of Air Quality Index information to be not optimal. In principle, the installation of Air Quality Index sensors can provide input in air quality control and monitoring policies in an area. However, some places that have the potential to become local tourism or gathering places such as around the railroad crossing area do not have air quality sensors installed. Wind speed when trains pass can cause dust to scatter. Therefore, it is necessary to conduct further studies related to air quality around railroad crossings. Therefore, this research proposes to analyze and monitor air quality around railroad crossings in the Special Region of Yogyakarta based on the *Internet of Things*. In this study, the installed sensors functioned to monitor air quality at 3 locations that have different characteristics so that the data generated is also different. Based on the PM25 sensor, the air quality is categorized as Good 50% and Moderate 50%, while the PM10 sensor is categorized as Good 80% and Moderate 30%. The *Internet of Things* sensor built in this study is still not integrated in its recording between wind speed and air quality.

Keywords: Air Quality Index, Sensors, Railway Crossings, *Internet of Things*

1. PENDAHULUAN

Pemerintah telah berupaya dalam pengendalian pencemaran udara melalui Peraturan Presiden No. 41 Tahun 1999 dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan melalui Peraturan Menteri No. P.14/MENLHK/SETJEN/ KUM.1/7/2020 yang mengatur Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Langkah nyata dari kedua peraturan tersebut dibangun stasiun pemantauan kualitas udara di seluruh Indonesia. Namun, pemasangan stasiun pemantauan kualitas udara tidak merata pada setiap provinsi sehingga belum bisa menyajikan informasi dan kondisi kualitas udara pada suatu lokasi. Sebagai contoh di Daerah Istimewa Yogyakarta hanya terdapat 1 stasiun saja [1]. Berdasarkan pengamatan di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta terdapat

beberapa perlintasan pintu kereta api yang dijadikan wisata lokal. Namun, hal ini perlu ada kajian lebih lanjut terkait kualitas udara saat kereta api melintas. Maka pada penelitian ini diusulkan analisis kualitas udara pada perlintasan kereta api yang dijadikan wisata lokal terutama pada saat kereta api melintas.

Setiap kendaraan bermotor termasuk kereta api menghasilkan polutan. Penelitian di Bali pada tahun 2020 tentang kualitas udara dengan hasil bahwa kendaraan bermotor berkontribusi terhadap polusi udara sekitar 70%. Untuk mendukung penelitian ini, tahap awal adalah melakukan studi literatur terkait penelitian kualitas udara di Indonesia. Penelitian tersebut yang dilakukan berupa studi literatur yang bersumber pada data dari Dinas Kehutanan Dan Lingkungan Hidup Provinsi Bali [2]. Di Provinsi DKI Jakarta melalui Dinas Lingkungan Hidup memantau kualitas udara dengan pemasangan sensor untuk mengetahui kadar NO₂ (Nitrogen Dioksida), SO₂ (Sulfur Dioksida), O₃ (Ozon), CO (Karbon Monoksida) dan PM₁₀. Berdasarkan pemantauan dari 2014 – 2018 Provinsi DKI Jakarta masih tergolong dibawah Nilai Ambang Batas (NAB). Namun, berdasarkan sensor PM₁₀ sempat terjadi kenaikan yang disebabkan karena perkembangan industri. Maka solusi dari Provinsi DKI Jakarta untuk mengurangi kenaikan mengimplementasi standar mesin Uni-Eropa IV-V dari Uni-Eropa II, ISS (*Idling Stop System*) pada bus Transjakarta [3]. Pada tahun 2022 di Kabupaten Jember dilakukan penelitian tentang penurunan indeks kualitas udara dalam rangka menuju program kabupaten sehat. Penelitian yang dilakukan dari Universitas Jember mengukur Sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NO₂), Oksidan (O₃), Debu (TSP), Hidrogen Sulfida (H₂S), Amoniak (NH₃), Timah Hitam (Pb), Hidrokarbon (HC), dan kebisingan. Berdasarkan penelitian tersebut terdapat beberapa titik di Kabupaten Jember melebihi Baku Mutu Lingkungan yang bersumber pada kendaraan bermotor. Pada penelitian tersebut mengusulkan untuk mengurangi tingkat kualitas udara yang tinggi dengan melakukan pengaturan kepadatan lalu lintas kendaraan bermotor [4].

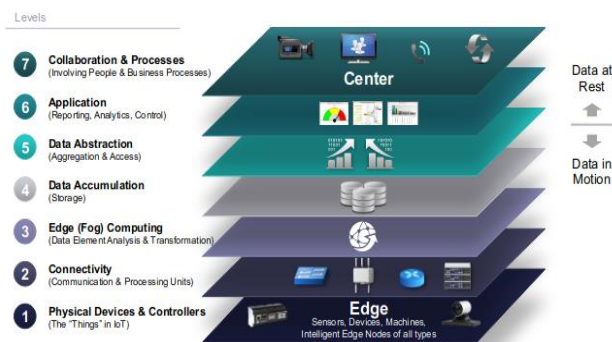
Pada penelitian yang dilakukan di Kota Surabaya bahwa pemasangan sensor kualitas udara mempermudah pemantauan dan pengendalian polusi udara. Berdasarkan penelitian tahun 2021 tersebut, sensor terpasang di tiga daerah, yaitu: Wonorejo, Kebonsari dan Tandes. Informasi yang diterima dari ketiga sensor tersebut diolah pada pusat pengolahan data Kota Surabaya. Pengolahan informasi kualitas udara terbagi menjadi 2 bagian, yaitu sensor yang dikembangkan sendiri oleh Pemerintah Kota Surabaya dan sensor yang dipasang oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Pemantau kualitas udara dari ketiga sensor menunjukkan rata-rata masih dibawah Nilai Ambang Bawah pencemaran udara [5].

Berdasarkan penelitian diatas bahwa pemantauan indeks kualitas udara menjadi sangat penting untuk pengendalian kualitas udara di suatu lokasi. Namun, pada penelitian terdahulu belum menyebutkan obyek penelitian pada pintu perlintasan kereta api. Selain itu teknologi *Internet of Things* juga belum dikembangkan untuk pemantauan kualitas udara, maka pada penelitian ini diusulkan pemantauan dan analisis kualitas udara di pintu perlintasan kereta api.

2. METODE PENELITIAN

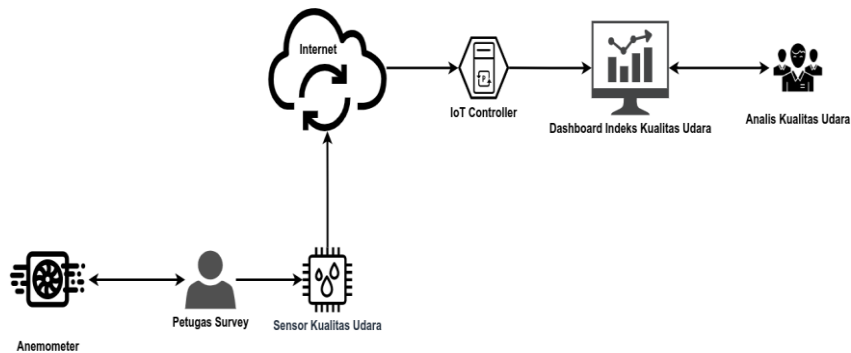
Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yaitu melakukan pengujian hipotesis terkait kualitas udara di pintu perlintasan kereta api di wilayah Yogyakarta. Beberapa lokasi pintu perlintasan dimanfaatkan sebagai wisata lokal atau wisata dalam skala kecil. Hal ini perlu dilakukan pengujian kualitas udara dengan melakukan survey lapangan dan perancangan alat pengukur kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT). Dengan menggunakan teknologi IoT pengumpulan data akan lebih mudah dalam pemantauan sekaligus proses analisisnya [6], [7]. *Internet of Things* (IoT) merupakan teknologi terkini yang memiliki berbagai macam pemecahan solusi dengan pemasangan sensor dan analisis penggunaannya [8], [9]. Cisco, sebuah perusahaan bergerak bidang jaringan komputer mengusulkan pemodelan IoT dalam 7 lapisan teknologi. Adapun lapisan pertama sampai ke tujuh diantaranya: *Physical Devices & Controllers*, *Connectivity*, *Edge Computing*, *Data Accumulation*, *Data Abstraction*, *Application*, dan *Collaboration & Processes*, seperti pada gambar [10].

Berdasarkan lapisan pemodelan IoT maka pada penelitian ini dibangun topologi sistem pemantauan kualitas udara yang dikombinasikan dengan pemantauan secara visual untuk mendapatkan sampel data kualitas udara di pintu perlintasan kereta api. Topologi menggunakan 2 sensor yang dicatat secara otomatis menggunakan pengembangan sensor kualitas udara dan pencatatan secara manual kecepatan aliran udara menggunakan anemometer oleh petugas survey. Informasi yang dicatat oleh sensor kualitas udara dikirimkan melalui internet yang selanjutnya dicatat oleh *IoT Controller* untuk diolah. Informasi dari petugas survey berupa kecepatan aliran udara akan diintegrasikan dengan informasi kualitas udara yang sudah dikirimkan ke *IoT Controller* pada sistem *dashboard* untuk disajikan dan divisualisasi. Informasi yang tersaji dan divisualisasi akan mempermudah analisis kualitas udara atau pengambil kebijakan [11].



Gambar 1. Lapisan Pemodelan *Internet of Things*

Adapun topologi pengembangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Topologi Sistem Pemantauan Kualitas Udara

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan topologi sistem pemantauan kualitas udara diperlintasan kereta api seperti pada gambar 2 bahwa sensor yang digunakan adalah anemometer dan sensor nova PM. Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan dan arah angin. Alat ini bekerja dengan menggunakan baling-baling yang berputar untuk menghitung kecepatan angin dalam satu detik [12]. Contoh penggunaan anemometer di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) untuk mendeteksi kecepatan angin dan mengklasifikasikannya [13]. Selain itu anemometer juga dapat digunakan dalam sistem peringatan dini bencana alam, seperti angin puting beliung, untuk membantu masyarakat mengantisipasi dan menghadapi kondisi cuaca ekstrem [14]. Pada penelitian ini anemometer ditempatkan di sekitar perlintasan kereta api dengan jarak kurang lebih 2 meter dari rel kereta api, seperti pada Gambar 3. Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin saat kereta api melintas berdasarkan putaran baling-baling.



Gambar 3. Peletakan Anemometer dan Sensor Nova PM

Peletakan anemometer dan sensor Nova PM berdekatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sensor kualitas udara dalam penelitian ini adalah Nova PM SDS011, sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi partikel PM2.5 dan PM10 dalam udara. Sensor ini bekerja dengan menggunakan prinsip pemancaran cahaya dan deteksi pantulan cahaya untuk menghitung jumlah partikel di udara [15]. Kelebihan dari sensor Nova PM SDS011 adalah kemampuannya untuk memberikan hasil pengukuran yang akurat dan konsisten, serta memiliki respon waktu yang cepat dalam mendeteksi perubahan konsentrasi partikel. Selain itu, sensor ini juga memiliki ukuran yang kompak dan dapat diintegrasikan dengan mudah ke dalam sistem pemantauan udara. Sensor Nova PM SDS011 telah diuji dan dibandingkan dengan sensor referensi Fidas 200S, dan hasilnya menunjukkan bahwa sensor Nova PM SDS011 mampu mengikuti tren dan pola perubahan konsentrasi partikel dengan baik [16], [17].

Sensor Nova PM SDS011 dihubungkan ke sebuah platform pengendali sensor melalui internet, yaitu Blynk melalui perangkat ESP32 yang terprogram khusus untuk mencatat data untuk dikirimkan melalui internet [18], [19]. Perangkat ESP32 terhubung ke jaringan internet melalui jaringan nirkabel 2.4GHz (Wi-Fi), pada penelitian ini menggunakan Mi-Fi [20]. Pada platform Blynk informasi yang dikirimkan dari sensor Nova PM SDS011 tertampil dalam sebuah dashboard pada aplikasi ponsel cerdas Android, sedangkan data yang tercatat disimpan pada layanan *Software as a Service* dari Google, yaitu Google Sheet [21], [22]. Adapun contoh kode dari ESP32 yang mencatat partikel udara dari sensor Nova PM SDS011 yang dikirimkan ke platform Blynk seperti dibawah ini. Sedangkan alur pencatatan informasi partikel udara dari sensor Nova PM SDS011 ke platform Blynk seperti tampak pada gambar 4.

Kode Program

```
BlynkTimer timer;
SDS011 my_sds;
GSheet32 Sheet("Token");
```

```
void readdata(){
```

```

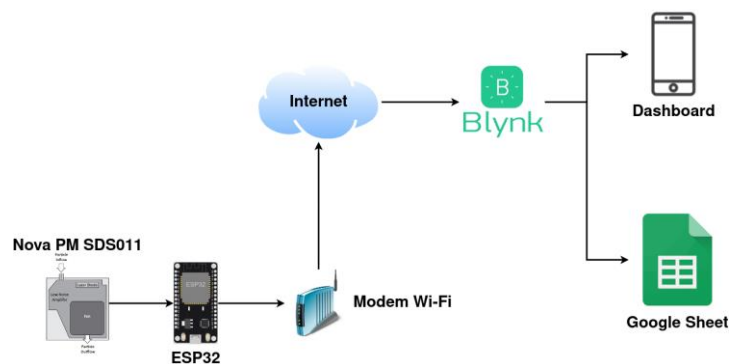
error = my_sds.read(&p25, &p10);
if (!error) {
  if (p25>250.4){
    stat25 = "BERBAHAYA";
  }
  else if (p25>=150.5){
    stat25 = "SANGAT_TIDAK_SEHAT";
  }
  else if (p25>=55.5){
    stat25 = "TIDAK_SEHAT";
  }
  else if (p25>=15.6){
    stat25 = "SEDANG";
  }
  else{
    stat25 = "BAIK";
  }

  Serial.println("P2.5: " + String(p25) + "(" + stat25 + ")");

  if (p10>420.0){
    stat10 = "BERBAHAYA";
  }
  else if (p10>=351.0){
    stat10 = "SANGAT_TIDAK_SEHAT";
  }
  else if (p10>=151.0){
    stat10 = "TIDAK_SEHAT";
  }
  else if (p10>=51.0){
    stat10 = "SEDANG";
  }
  else{
    stat10 = "BAIK";
  }

  Serial.println("P10: " + String(p10) + "(" + stat25 + ")");
}
}

```



Gambar 4 Pencatatan Partikel Udara

Lokasi pemantauan kualitas udara dilakukan di tiga tempat yang berbeda dengan berbagai kondisi diantaranya: perlintasan kereta api yang tertutup permanen dan terletak di bawah jembatan layang (X), perlintasan kereta api yang buka-tutup dekat dengan pemukiman warga (Y), dan perlintasan kereta api yang dekat dengan stasiun dan di bawah jembatan layang (Z). Pemantauan dilakukan selama kurang lebih 2-3 jam setiap lokasi. Data yang tersimpan dan diolah menggunakan Google Sheet dengan formula rata-sata dari masing-masing sensor seperti PM2.5, PM10, dan kecepatan angin (meter/detik) menggunakan rumus 1 .

$$\Delta F = -2,3 \times 10^6 x F^2 \frac{\Delta M}{A} \quad (1)$$

Data yang telah diolah selanjutnya dikategorikan sesuai dengan ketentuan yang sesuai dengan Permen Lingkungan Hidup dan Kehutanan tentang Indeks Standar Pencemar Udara. Adapun kategorinya untuk PM2.5 adalah Baik (B) kadarnya 0-15.5 µgr/m³ , Sedang (S) kadarnya 15.6-55.4 µgr/m³ , Tidak Sehat (TS) kadarnya 55.5-150.4 µgr/m³ , Sangat Tidak Sehat (STS) kadarnya 150.5-250.4 µgr/m³ , dan Bahaya (BHY) kadarnya lebih dari 250.4 µgr/m³. Sedangkan untuk kategori pada PM10 adalah Baik (B) kadarnya 0-50 µgr/m³ , Sedang (S) kadarnya 51-150 µgr/m³ , Tidak Sehat (TS) kadarnya 151-350µgr/m³ , Sangat Tidak Sehat (STS) kadarnya 351-420 µgr/m³ , dan Bahaya (BHY) kadarnya lebih dari 420 µgr/m³

Tabel 1 menunjukkan hasil analisis dari data-data sensor yang dikumpulkan. Hasil analisis kualitas udara dari sensor PM2.5 menunjukkan 50% dalam kondisi Sedang dan 50% Baik, sedangkan dari sensor PM10 menunjukkan 20% dalam kondisi Sedang

dan 80% Baik. Beberapa hasil pantauan kecepatan angin memiliki pengaruh terhadap hasil pencatatan sensor PM2.5 maupun PM10, seperti pada lokasi X saat kereta api melintas tercatat kecepatan angin sekitar 2.06 meter/detik menunjukkan kualitas udara Sedang baik PM2.5 dan PM10. Namun, di lokasi yang sama saat kecepatan angin 2.63 meter/detik kualitas udara yang tercatat Baik. Perbedaan pencatatan ini dipengaruhi oleh proses pencatatan sensor yang belum terintegrasi dengan baik antara data anemometer dan Nova PM SDS011.

Tabel 1. Hasil Analisis Pantauan Kualitas Udara

Hari	Lokasi	PM2.5	Keterangan	PM10	Keterangan	Kecepatan Angin
1	X	35.02	Sedang	92.36	Sedang	1.51
2	X	24.73	Sedang	78.34	Sedang	2.06
3	Z	30.78	Sedang	69.32	Sedang	1.1
4	X	15.29	Baik	38.21	Baik	2.63
5	Y	20.03	Sedang	39.06	Baik	1.29
6	Y	12.14	Baik	49.72	Baik	1.41
7	X	9.12	Baik	24.96	Baik	1.86
8	Y	13.01	Baik	29.58	Baik	1.07
9	X	16.89	Baik	39.89	Baik	1.50
10	X	25.03	Baik	37.13	Baik	1.35

4. KESIMPULAN

Terbatasnya sensor kualitas udara yang terpasang di wilayah Yogyakarta maka tidak dapat menyajikan informasi kualitas udara secara komprehensif. Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kualitas udara pada perlintasan kereta api yang sering dijadikan wisata lokal oleh warga sekitar untuk menikmati pemandangan kereta api melintas perlu dilakukan kajian terkait kualitas udara. Berdasarkan pengamatan dan analisis indeks kualitas udara pada sekitar perlintasan kereta api menunjukkan dengan kategori Sedang berdasarkan untuk PM2.5 50% dan PM10 30% sedangkan kategori Baik berdasarkan sensor PM2.5 50% dan PM10 80%. Walaupun masih berkategori Baik ataupun Sedang tetap perlu diwaspadai debu saat kereta api melintas. Hal ini terdapat kekurangan pada sensor yang digunakan, yaitu belum terdapat integrasi pencatatan data antara kecepatan angin dan kualitas udara. Maka harapannya pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan perancangan ulang sensor yang terintegrasi. Sehingga dapat diimplementasikan sensor kecepatan angin dan kualitas udara terintegrasi dalam 1 pencatatan untuk mempermudah analisis.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih peneliti ucapkan kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM), Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, yang telah memberikan dukungan kepada tim peneliti melalui hibah penelitian pada skema Penelitian Dosen Pemula (PDP). Penelitian ini diajukan sesuai dengan Surat Kontrak 0423.20/LL5-INT/AL.04/2023 dengan pelaksanaan mono tahun pada tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Hariyadi, E. Kusumaningrum, S. Sumarsono, F. Fazlurrahman, and B. Setiyadi, "Analisis Kualitas Udara Berbasis Dashboard Menggunakan ELK Stack," *JIKO J. Inform. Dan Komput.*, vol. 7, no. 1, p. 46, Feb. 2023, doi: 10.26798/jiko.v7i1.685.
- [2] N. P. Decy Arwini, "Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kualitas Udara di Provinsi Bali," *J. Ilm. Vastuwidya*, vol. 2, no. 2, pp. 20–30, Jun. 2020, doi: 10.47532/jiv.v2i2.86.
- [3] P. Agista, N. Gusdini, and M. Maharani, "Analisis Kualitas Udara dengan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan Sebaran Kadar Polutannya di Provinsi DKI Jakarta," *Sustain. Environ. Optim. Ind. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 39–57, Sep. 2020, doi: 10.36441/seoi.v2i2.491.
- [4] Khoiron and A. D. Moelyaningrum, "Analisis Kualitas Udara Ambien di Kabupaten Jember Sebagai Salah Satu Indikator Kota Sehat," *Bul. Poltanesa*, vol. 23, no. 1, pp. 134–139, Jun. 2022, doi: 10.51967/tanesa.v23i1.1084.
- [5] T. V. Damayanti and R. E. Handriyono, "Monitoring Kualitas Udara Ambien Melalui Stasiun Pemantau Kualitas Udara Wonorejo, Kebonsari Dan Tandes Kota Surabaya," *ENVITATS Environ. Eng. J. ITATS*, vol. 2, no. 1, pp. 11–18, Mar. 2022, doi: 10.31284/j.envitats.2022.v2i1.2897.
- [6] A. C. Hugo, R. Hidayat, and L. Nurpulaela, "Implementasi Internet Of Things Sebagai Monitoring Suhu Pada Pemanggang Otomatis Berbasis Arduino UNO," *Electro Luceat*, vol. 6, no. 2, pp. 334–345, Nov. 2020, doi: 10.32531/jelekn.v6i2.278.
- [7] D. Muallfah, G. H. Sandi, and E. Fuad, "Sistem Monitoring pH dan Kelembaban Tanah pada Tanaman Kacang Tanah Berbasis IoT (Internet of Things)," 2023.

- [8] F. Sadikin and S. Kumar, "ZigBee IoT Intrusion Detection System: A Hybrid Approach with Rule-based and Machine Learning Anomaly Detection," in *Proceedings of the 5th International Conference on Internet of Things, Big Data and Security*, SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2020, pp. 57–68. doi: 10.5220/0009342200570068.
- [9] Muhamad Fajar and Adhitia Erfina, "Rancang bangun sistem monitoring curah hujan berbasis internet of things," *J. CoSciTech Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 42–49, May 2023, doi: 10.37859/coscitech.v4i1.4502.
- [10] Cisco Systems, "The Internet of Things References Model," Cisco Systems, 2014.
- [11] A. Hanafi and K. Kharisma, "Pengembangan Sistem Dashboard Administrator Pada Sipp-Mas Jogja Kota," *Respati*, vol. 17, no. 2, Aug. 2022, doi: 10.35842/jtir.v17i2.448.
- [12] G. Gurning, P. Pangaribuan, and K. Afifah, "Sistem Pengendalian Tirai Dan Jendela Otomatis Pada Sebuah Gedung," in *e-Proceeding of Engineering*, in 5, vol. 9. Telkom University, 2022.
- [13] I. B. M. L. Pradirta, I. N. Piarsa, and I. P. A. Dharmaadi, "Sistem Pendeteksi Banjir dan Badai Angin serta Monitoring Cuaca Berbasis Internet of Things," *J. Teknol. Inf. Dan Ilmu Komput.*, vol. 9, no. 5, p. 1037, Oct. 2022, doi: 10.25126/jtiik.2022955983.
- [14] M. L. Mahar, A. R. Al Tahtawi, and S. Sudrajat, "Perancangan dan Realisasi Anemometer Digital untuk Aplikasi Sistem Peringatan Dini," *J. Teknol. Rekayasa*, vol. 2, no. 2, p. 91, Feb. 2018, doi: 10.31544/jtera.v2.i2.2017.91-96.
- [15] H. Myklebust, T. A. Aarhaug, and G. Tranell, "Use of a Distributed Micro-sensor System for Monitoring the Indoor Particulate Matter Concentration in the Atmosphere of Ferroalloy Production Plants," *JOM*, vol. 74, no. 12, pp. 4787–4797, Dec. 2022, doi: 10.1007/s11837-022-05487-7.
- [16] J. He, C.-H. Huang, N. Yuan, E. Austin, E. Seto, and I. Novosselov, "Network of low-cost air quality sensors for monitoring indoor, outdoor, and personal PM2.5 exposure in Seattle during the 2020 wildfire season," *Atmos. Environ.*, vol. 285, p. 119244, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.atmosenv.2022.119244.
- [17] I. Patwardhan, S. Sara, and S. Chaudhari, "Comparative Evaluation of New Low-Cost Particulate Matter Sensors," in *2021 8th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, Rome, Italy: IEEE, Aug. 2021, pp. 192–197. doi: 10.1109/FiCloud49777.2021.00035.
- [18] I. A. Rupiando, R. P. Astutik, and Y. A. Surya, "Perancangan Aplikasi Smart Home Menggunakan ESP32 Berbasis Android," *Power Elektron. J. Orang Elektro*, vol. 12, no. 1, p. 58, Jan. 2023, doi: 10.30591/polektro.v12i1.4722.
- [19] D. Saputra and V. Arinal, "Perancangan Home Automation dalam Mengontrol Lampu dan Kipas Menggunakan Blynk Berbasis NodeMCU," *J. Sos. Teknol.*, vol. 1, no. 7, pp. 597–606, Jul. 2021, doi: 10.36418/jurnalsostech.v1i7.133.
- [20] Muh. A. Arfan, Z. Zainuddin, and R. Rahmania, "Implementasi Router Mikrotik dan Modem Mifi Smartfren sebagai Backup Akses Data dengan Menggunakan Sistem Failover," *Ainet J. Inform.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–20, Aug. 2019, doi: 10.26618/ainet.v1i1.2253.
- [21] F. Shofiyah and Y. Wirani, "Analisis dan Implementasi Dashboard Monitoring Program Link and Match Perguruan Tinggi Berbasis Google Sheet," *J. Inform. Terpadu*, vol. 7, no. 2, pp. 53–61, Sep. 2021, doi: 10.54914/jit.v7i2.351.
- [22] Ade Irma, Nasron, and Martinus Mujur Rose, "Implementasi Aplikasi Berbasis Teknologi IoT pada Perangkat Tracking dan Kendali Kendaraan Bermotor," *J. CoSciTech Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 57–64, Oct. 2020, doi: 10.37859/coscitech.v1i2.2191.