

FAKTOR- FAKTOR YANG MEMPENGARUHI MONITORING REAL-TIME PM2.5 DAN CO2 DI AREA TERMINAL BANDAR UDARA: LOW-COST SENSOR, INTERNET OF THINGS (IOT) DAN PENGUKURAN POLUTAN UDARA

**M.Alamsyah , Made Putra Darsana, Direstu Amalia, Yeti Komalasari, M.
Rafli Fazal**

Politeknik Penerbangan Palembang Jl. Adi Sucipto No.3012, Palembang 30961

E-mail correspondence : syah95165@gmail.com

Abstrak

Polusi udara merupakan ancaman serius bagi kesehatan manusia, terutama di area publik seperti terminal bandar udara. Tingkat PM2.5 dan CO2 semakin meningkat akibat aktivitas padat dan emisi kendaraan. Fenomena ini diperparah oleh ventilasi udara yang buruk, pergerakan pesawat konstan, peningkatan jumlah penumpang, penggunaan bahan bakar fosil, serta aktivitas konstruksi dan kendaraan penumpang yang tidak terkontrol. Artikel ini mengulas faktor-faktor yang mempengaruhi monitoring real-time PM2.5 dan CO2 di terminal bandar udara, dengan fokus pada penggunaan low-cost sensor dan teknologi Internet of Things (IoT) serta teknik pengukuran polutan udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa low-cost sensor dapat memberikan hasil monitoring yang signifikan, meskipun memerlukan kalibrasi tepat untuk memastikan akurasi optimal. Implementasi teknologi IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor dalam satu jaringan yang terhubung, meningkatkan efisiensi dalam pengumpulan dan analisis data. Pengukuran polutan udara secara real-time sangat penting untuk menjaga kualitas udara di area terminal, berdampak positif terhadap kesehatan dan kenyamanan pengunjung serta staf bandara. Pada artikel ini diketahui bahwa penggunaan low-cost sensor dan teknologi IoT dapat meningkatkan keandalan dan responsivitas sistem monitoring kualitas udara. Hasil tinjauan literatur ini menegaskan bahwa: 1) Low-cost sensor signifikan dalam monitoring real-time PM2.5 dan CO2; 2) IoT signifikan dalam monitoring real-time PM2.5 dan CO2; dan 3) Pengukuran polutan udara PM2.5 dan CO2 signifikan dalam monitoring real-time di area terminal bandar udara.

Kata Kunci : *Monitoring real- time, Low- Cost Sensor, Internet of Things, PM2.5, CO2*

Abstract

Air pollution poses a serious threat to human health, especially in public areas such as airport terminals. Levels of PM2.5 and CO2 are increasing due to heavy activities and vehicle emissions. This phenomenon is exacerbated by poor air ventilation, constant aircraft movement, an increase in the number of passengers, the use of fossil fuels, and uncontrolled construction and passenger vehicle activities. This article reviews the factors that influence the real-time monitoring of PM2.5

and CO₂ at airport terminals, focusing on the use of low-cost sensors and Internet of Things (IoT) technology, as well as air pollutant measurement techniques. The research results indicate that low-cost sensors can provide significant monitoring results, although proper calibration is required to ensure optimal accuracy. The implementation of IoT technology allows for the integration of various sensors into a connected network, increasing efficiency in data collection and analysis. Real-time air pollutant measurements are essential for maintaining air quality in terminal areas, positively impacting the health and comfort of airport visitors and staff. This article concludes that the use of low-cost sensors and IoT technology can enhance the reliability and responsiveness of air quality monitoring systems. The literature review findings affirm that: 1) Low-cost sensors are significant for real-time monitoring of PM_{2.5} and CO₂; 2) IoT is significant for real-time monitoring of PM_{2.5} and CO₂; and 3) Real-time measurement of PM_{2.5} and CO₂ air pollutants is significant for monitoring at airport terminal areas.

Keywords: *Monitoring real-time, Low-Cost Sensor, Internet of Things, PM_{2.5}, CO₂*

PENDAHULUAN

Polusi udara dapat menaikkan risiko yang menyebabkan berbagai masalah kesehatan, terutama yang berkaitan dengan sistem pernapasan. Paparan polusi udara dari lalu lintas terjadi tanpa disengaja dan berdampak pada manusia dari sejak dalam kandungan hingga usia lanjut. Udara yang tercemar mengandung berbagai zat seperti *Nitrogen Dioxide (NO₂)*, *Sulfur Dioxide (SO₂)*, *Carbon Monoxide (CO)*, *Benzene (C₆H₆)*, *Ozone (O₃)*, *Particulate Matter 10 (PM₁₀)*, *Lead (Pb)*, *Arsenic (As)*, *Cadmium (Cd)*, *Nickel (Ni)*, *Benzopyrene (C₂₀H₁₂)*, dan *Particulate Matter 2.5 (PM_{2.5})* yang dapat mempengaruhi kesehatan paru-paru. Polusi udara terjadi akibat limbah yang dihasilkan dari aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhannya, baik di sektor produksi maupun transportasi. Pertumbuhan populasi manusia mengakibatkan peningkatan jumlah limbah yang mencemari udara, sehingga konsentrasi zat pencemar meningkat dan berkaitan dengan bertambahnya jumlah orang yang mengalami masalah kesehatan dan penyakit akibat polusi udara.

Health Parameter Guide							
PM2.5	PM10	AQI	CO2(ppm)	Status	HCHO(mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	Displayed Contents
0.0-12.0	0-54	0-50	0-700	Good	0-0.1	0-0.5	Safe
12.1-35.4	55-154	51-100	701-1000	Moderate	> 0.1	> 0.5	Unsafe
35.5-55.4	155-254	101-150	1001-1500	Unhealthy for Sensitive Groups			
55.5-150.4	255-354	151-200	1501-2500	Unhealthy			
150.5-250.4	355-424	201-300	2501-5000	Very Unhealthy			
≥250.5	≥425	≥301	≥5001	Hazardous			

Gambar 1. Parameter Kesehatan Udara

Kualitas udara di area publik seperti bandara merupakan faktor krusial yang mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan para pengunjung serta staf bandara. Bandara Sultan Mahmud Badarudin 2, sebagai salah satu pintu gerbang utama di Palembang, memiliki volume lalu lintas udara yang tinggi, baik dari penerbangan domestik maupun internasional. Dengan meningkatnya aktivitas di bandara, emisi polutan seperti PM2.5 dan CO2 juga mengalami peningkatan. PM2.5 dikenal sebagai partikel polutan yang dapat masuk ke dalam sistem pernapasan manusia dan menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti penyakit pernapasan dan kardiovaskular. Sementara itu, CO2 pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan ketidaknyamanan dan masalah kesehatan lainnya. Oleh karena itu, monitoring kualitas udara secara *real-time* di bandara menjadi kebutuhan mendesak untuk memastikan lingkungan yang aman dan sehat bagi semua orang yang berada di area tersebut.

Studi dari *Asian Regional Air Pollution Research Network (AIRPET)* pada tahun 2001-2004 menunjukkan bahwa di wilayah Palembang, rata-rata harian konsentrasi massa PM2.5 selama musim kemarau adalah sekitar $\pm 53 \mu\text{g m}^{-3}$. Pada musim hujan, udara lebih bersih dengan rata-rata harian konsentrasi PM2.5 sebesar $\pm 38 \mu\text{g m}^{-3}$. Studi terbaru oleh (Santoso dkk., 2014) yang dilakukan antara tahun

2005-2012 menemukan bahwa rata-rata tahunan konsentrasi massa PM_{2.5} adalah sekitar $\pm 22 \mu\text{g m}^{-3}$, yang melebihi batas standar kualitas udara nasional Indonesia untuk PM_{2.5} yang sebesar $15 \mu\text{g m}^{-3}$ per tahun. Sumber utama polusi jarak jauh umumnya berasal dari aktivitas biogenik atau dari daerah lain di sekitar lokasi terpaparnya polusi, diidentifikasi melalui tingginya kandungan amonium sulfat yang berasal dari transportasi laut, amonium nitrat dari pertanian, dan garam laut di udara. Proses ini juga dipengaruhi oleh kondisi iklim dan meteorologi di kawasan Sumatera Selatan. Urbanisasi yang meningkat, industrialisasi, dan populasi berlebih adalah beberapa penyebab utama degradasi lingkungan dan polusi.

Penggunaan alat ukur konsentrasi PM_{2.5} dan CO₂ sangat penting untuk memastikan akurasi data yang diperoleh. Alat seperti *Tapered Element Oscillating Microbalance* (TEOM, Model 1400a) untuk PM_{2.5} dan *carbon dioxide gas analyzer* (Model 410i, Thermo Fisher Scientific, Inc.) untuk CO₂ sering digunakan dalam pemantauan lingkungan. Namun, instrumen-instrumen ini memiliki biaya yang tinggi sehingga tidak dapat digunakan untuk pemantauan kualitas udara secara luas. Untuk mengatasi masalah ini, penggunaan *low-cost sensor* menjadi solusi yang layak dan mendesak sebagai alat sekunder yang dapat diterapkan pada skala yang lebih besar.

Penelitian mengenai perangkat untuk melakukan pemantauan kondisi udara sudah banyak dilakukan sebelumnya. Seperti penelitian yang dilakukan oleh (Hidayat & Sari, 2021), dimana mereka mengembangkan suatu perangkat untuk melakukan pemantauan kondisi suhu dan kelembaban udara menggunakan sensor DHT11. Pada penelitian ini teknologi yang dikembangkan hanya terbatas pada monitoring kondisi suhu dan kelembaban udara pada suatu ruangan, dan hanya mencakup ruangan dengan luas terbatas. Selanjutnya ada penelitian yang dilakukan oleh (Abdurrohman, 2023) yang juga hampir sama dengan penelitian sebelumnya yang mengembangkan teknologi untuk pemantauan suhu dan

kelembaban udara. Pada penelitian ini perangkat yang dikembangkan berbasis webserver dan pengecekan hasil pemantauan dapat dilakukan via *bluetooth*. Namun pada proses dilapangan peneliti menyebutkan bahwa perangkat mereka sering terjadi error saat di operasikan.

Penggunaan teknologi IoT dalam monitoring kualitas udara telah terbukti efektif dan efisien dalam memberikan data *real-time* dan akurat. Sensor-sensor berbasis IoT yang murah dan mudah diakses kini dapat digunakan untuk memantau parameter lingkungan seperti PM2.5 dan CO2. Dengan integrasi IoT, data dari sensor-sensor ini dapat dikumpulkan, dianalisis, dan ditampilkan secara langsung melalui platform digital, memudahkan pengelola bandara dalam mengambil tindakan cepat dan tepat bila diperlukan. Implementasi sistem monitoring berbasis IoT juga memungkinkan pengelolaan bandara yang lebih responsif dan proaktif dalam menjaga kualitas udara, serta meningkatkan kenyamanan dan keselamatan para pengunjung.

Desain perangkat monitoring *real-time* untuk PM2.5 dan CO2 dengan *low-cost sensor* berbasis IoT di Bandara seperti Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang bertujuan tidak hanya untuk memantau kualitas udara, tetapi juga untuk menyediakan solusi praktis yang dapat diterapkan di lokasi lain. Dengan menggunakan sensor yang terjangkau, proyek ini diharapkan menjadi model yang ekonomis dan efisien bagi bandara lain yang ingin memperbaiki kualitas udara di sekitarnya. Selain itu, data yang dikumpulkan dari sistem ini dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian lebih lanjut mengenai dampak polusi udara terhadap kesehatan manusia dan sebagai panduan dalam pengambilan kebijakan lingkungan yang lebih baik di masa depan.

Penelitian ini bertujuan mengkaji literatur tentang pemantauan *real-time* PM2.5 dan CO2, dengan fokus pada penggunaan *low-cost sensor*, IoT, dan teknik pengukuran polutan udara. Diharapkan hasil kajian ini dapat berfungsi sebagai landasan teoritis yang kuat dan relevan, serta mendukung penelitian lanjutan.

Penelitian ini akan mengumpulkan informasi tentang teknologi pemantauan polusi udara dan metode pengukuran polutan, sehingga dapat memberikan kontribusi pada pemahaman teori yang ada dan menawarkan wawasan baru untuk aplikasi praktis di bidang lingkungan dan kesehatan publik.

METODE

Metode penulisan artikel ilmiah ini adalah dengan metode kualitatif dan kajian pustaka (*library research* (Sugiono, 2017). Mengkaji teori dan hubungan atau pengaruh antar variabel dari buku-buku dan jurnal baik secara *offline* di perpustakaan dan secara *online* yang bersumber dari *Mendeley*, *Scholar Google* dan media *online* lainnya. Dalam penelitian kualitatif, kajian pustaka harus digunakan secara konsisten dengan asumsi- asumsi metodologis. Artinya harus digunakan secara induktif sehingga tidak mengarahkan pertanyaan-pertanyaan yang diajukan oleh peneliti. Salah satu alasan utama untuk melakukan penelitian kualitatif yaitu bahwa penelitian tersebut bersifat eksploratif, (Nana & Elin, 2018).

KAJIAN TEORI

Monitoring *Real-time*

Monitoring *real-time* adalah proses pemantauan berkelanjutan terhadap suatu sistem atau proses untuk mendapatkan data dan informasi secara langsung dan terus-menerus (Rasmila dkk., 2024). Teknologi ini digunakan dalam berbagai bidang, termasuk kesehatan, industri, transportasi, dan telekomunikasi, untuk meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan pengambilan keputusan (Salamah dkk., 2022). Monitoring *real-time* mengacu pada kemampuan sistem untuk mengumpulkan, memproses, dan menganalisis data secara langsung saat data tersebut dihasilkan (Pamungkas & Wirawan, 2015). Ini berbeda dengan pemantauan tradisional yang mungkin melibatkan jeda waktu antara

pengumpulan data dan analisisnya (Halim dkk., 2019). Sistem monitoring *real-time* biasanya menggunakan sensor, perangkat lunak, dan jaringan komunikasi untuk menyediakan data yang akurat dan terkini (Kristianto dkk., 2023). Sensor merupakan komponen krusial dalam sistem pemantauan waktu nyata yang mengukur berbagai parameter fisik seperti suhu, tekanan, kecepatan, dan kelembapan (Prihatini dkk., 2021). Data yang dikumpulkan oleh sensor dikirim ke sistem pengolah data untuk dianalisis. Integrasi sensor dan perangkat keras canggih memungkinkan pengumpulan data yang akurat dan tepat waktu, yang esensial untuk pengambilan keputusan yang efektif dalam berbagai aplikasi industri. Perangkat lunak dalam sistem pemantauan waktu nyata memainkan peran penting dalam menganalisis data yang diterima dari sensor (Suryana & Aziz, 2018). Algoritma analitik digunakan untuk mendeteksi pola, anomali, dan tren dalam data tersebut, memungkinkan deteksi abnormalitas secara langsung dan respon cepat terhadap potensi masalah. Untuk memastikan data dapat ditransfer secara waktu nyata, diperlukan jaringan komunikasi yang andal dan cepat. Teknologi seperti 5G dan *Internet of Things* (IoT) telah meningkatkan kemampuan komunikasi dalam sistem pemantauan waktu nyata, memastikan transmisi data yang lancar dan kinerja sistem yang optimal (Chy dkk., 2022). Pemantauan waktu nyata telah diadopsi dalam berbagai industri untuk meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi waktu henti, dan meningkatkan keselamatan (Listianto dkk., 2019). Sebagai contoh, dalam industri kesehatan, pemantauan waktu nyata digunakan untuk memantau kondisi pasien secara kontinu, meningkatkan perawatan pasien melalui observasi berkelanjutan dan intervensi segera (Rosadi dkk., 2020). Dimensi atau indikator penerapan monitoring *real-time* adalah sensor, *software*, pengumpulan dan pemrosesan data serta akurasi data.

Low- Cost Sensor

Low- Cost Sensor adalah jenis sensor yang dirancang untuk memberikan data dengan akurasi dan fungsionalitas yang memadai, namun dengan biaya yang relatif rendah (Fatkhurrahman dkk., 2019). Penggunaan sensor jenis ini memungkinkan penerapan teknologi sensor dalam berbagai aplikasi yang sebelumnya tidak terjangkau karena biaya yang tinggi (Parinduri dkk., 2018). *Low- Cost Sensor* umumnya menggunakan komponen yang lebih murah dan teknologi yang disederhanakan dibandingkan dengan sensor premium (R. Pratama & Kunci, 2019). Meskipun murah, sensor ini sering kali mampu menyediakan data yang cukup akurat untuk aplikasi tertentu (Nurikhvani & Mupita, 2022). Teknologi yang digunakan dalam *low- cost sensor* sering kali melibatkan metode pembuatan yang efisien dan material yang lebih murah (Metz dkk., 2021). Misalnya, sensor berbasis semikonduktor atau teknologi cetak dapat mengurangi biaya produksi secara signifikan (Budi Kusumo dkk., 2020).

Low- Cost Sensor seringkali menghadapi tantangan dalam hal akurasi dan keandalan dibandingkan dengan sensor yang lebih mahal (Johnson & Adams, 2018). Oleh karena itu, aplikasi *low- cost sensor* sering kali dirancang untuk lingkungan atau penggunaan di mana beberapa level ketidakakuratan dapat ditoleransi (Suryana & Aziz, 2018). "Desain *Real-Time Monitoring* Berbasis *Wireless Sensor Network* Upaya Mitigasi Bencana Erupsi Gunungapi" (Pamungkas & Wirawan, 2015). Penggunaan *Low- Cost Sensor* telah meluas ke berbagai bidang, termasuk monitoring lingkungan, kesehatan, dan sistem otomasi rumah (Tirta & Wiryadinata, 2016). Dalam monitoring lingkungan, sensor ini digunakan untuk mengukur parameter seperti kualitas udara dan suhu dengan biaya yang lebih terjangkau (Kumar & Singh, 2021). "*The deployment of low-cost environmental sensors has enabled extensive monitoring of air quality and other environmental parameters, providing valuable data for research and policy-making*" (Lee & Lee, 2019). Secara keseluruhan, *low- cost sensor* menawarkan solusi yang ekonomis dan skalabel

berbagai sensor untuk analisis kinerja dan pemeliharaan prediktif untuk menyelesaikan tugas yang kompleks (Soedjarwanto, 2021).

IoT merupakan bagian dari kemajuan teknologi yang berpotensi meningkatkan kualitas hidup melalui sensor cerdas dan perangkat pintar yang terhubung dengan internet (Rahmadhani & Widya Arum, 2022). IoT bertugas untuk menghubungkan dunia fisik dengan dunia informasi, mengolah data yang diperoleh dari perangkat elektronik melalui antarmuka yang menghubungkan pengguna dan perangkat tersebut. Sensor bertugas mengumpulkan data fisik mentah dari situasi real-time dan mengubahnya menjadi format yang dapat dimengerti oleh mesin sehingga data tersebut dapat ditransfer dalam berbagai format (Thing) (Rahmadhani & Widya Arum, 2022).

IoT telah menjadi topik penting di dunia internet, di mana diprediksi bahwa miliaran objek fisik akan dilengkapi dengan berbagai sensor yang terhubung ke internet melalui jaringan dan teknologi pendukung seperti sensor tertanam, identifikasi frekuensi radio (RFID), jaringan sensor nirkabel, layanan waktu nyata, dan layanan web. IoT pada dasarnya merupakan sistem siber-fisik atau jaringan dari jaringan. Dengan banyaknya objek dan sensor/aktuator yang terhubung ke internet, akan dihasilkan aliran data yang besar, yang dalam beberapa kasus berupa data waktu nyata. Dari semua aktivitas dalam IoT, yang paling penting adalah mengumpulkan data mentah dengan efisien, namun yang lebih penting lagi adalah menganalisis dan mengolah data mentah tersebut menjadi informasi yang lebih bernilai.

Keamanan meningkat melalui pemantauan sensor secara terus-menerus dan memungkinkan tindakan korektif otomatis terhadap ancaman. Fleksibilitas perangkat IoT memungkinkan pembaruan dan pemrograman ulang melalui jaringan sehingga mereka cepat beradaptasi dengan perubahan operasional (Bunahri, 2023). Integrasi IoT membawa perubahan signifikan di berbagai industri, meningkatkan efisiensi, keamanan dan fleksibilitas operasional (Danuri, 2019).

Dimensi atau indikator IoT adalah konektivitas (*connectivity*), perangkat, data dan lingkungan.

Pengukuran Polutan Udara PM 2.5 dan CO2

Pengukuran polutan udara seperti PM2.5 dan CO2 sangat penting untuk memahami kualitas udara dan dampaknya terhadap kesehatan manusia serta lingkungan (Wellid dkk., 2024). PM2.5 dan CO2 adalah dua polutan yang berbeda, namun keduanya memiliki dampak signifikan pada kualitas udara dan kesehatan masyarakat (Rosa dkk., 2020). PM2.5 adalah partikel udara yang memiliki diameter kurang dari 2.5 mikrometer (μm) (Hakim & Susanto, 2020). Karena ukurannya yang kecil, PM2.5 dapat masuk jauh ke dalam sistem pernapasan dan mencapai alveoli di paru-paru (Bahri dkk., 2021). PM2.5 memiliki kemampuan untuk menembus jauh ke dalam paru-paru dan bahkan masuk ke dalam aliran darah, yang dapat menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan (Salurante, 2023). Partikel ini dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk pembakaran bahan bakar fosil, kebakaran hutan, dan emisi kendaraan (Anggara Trisna Nugraha & Priyambodo, 2020).

Pengukuran PM2.5 dilakukan menggunakan berbagai metode, termasuk penggunaan filter udara, spektroskopi massa, dan sensor optik (Mappa & Rumalutur, 2018). Metode filter udara melibatkan penangkapan partikel pada filter yang kemudian dianalisis di laboratorium (Hakim & Susanto, 2020). Sensor optik semakin sering digunakan untuk pemantauan PM2.5 secara *real-time* karena kemampuannya untuk menyediakan data kontinu dengan perawatan yang relatif rendah. Metode spektroskopi massa dan sensor optik memungkinkan pengukuran *real-time* dengan akurasi yang tinggi (Yusuf & Karno, 2024). CO2 adalah gas rumah kaca utama yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim (R. Pratama & Kunci, 2019). Selain dampak lingkungan, peningkatan konsentrasi CO2 di dalam ruangan dapat mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan manusia

(Anggara Trisna Nugraha & Priyambodo, 2020). Tingginya kadar CO₂ di dalam ruangan dapat menyebabkan gejala seperti sakit kepala, pusing, dan penurunan fungsi (A. Pratama dkk., 2022). Pengukuran CO₂ biasanya dilakukan menggunakan sensor inframerah yang mendeteksi penyerapan cahaya oleh molekul CO₂ pada panjang gelombang tertentu (Parinduri dkk., 2018). Sensor inframerah banyak digunakan untuk pengukuran CO₂ karena akurasi dan keandalannya dalam mendeteksi konsentrasi CO₂ (Parinduri dkk., 2018). Sensor ini mampu memberikan data *real-time* mengenai konsentrasi CO₂ di udara (Rosa dkk., 2020).

Paparan PM_{2.5} telah dikaitkan dengan berbagai masalah kesehatan, termasuk penyakit pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan kematian prematur (Purbakawaca & Fauzan, 2022). Paparan jangka panjang terhadap PM_{2.5} terkait dengan peningkatan risiko penyakit pernapasan kronis dan kondisi kardiovaskular (Salurante, 2023). Sementara itu, CO₂ tidak beracun pada konsentrasi rendah, namun peningkatan level CO₂ di dalam ruangan dapat menyebabkan penurunan kualitas udara dalam ruangan dan berdampak negatif pada kesehatan penghuni (Zhang, 2022). Pengukuran dan pemantauan konsentrasi PM_{2.5} dan CO₂ sangat penting dalam upaya mitigasi dampak negatif dari polusi udara (R. Pratama & Kunci, 2019). Dengan menggunakan teknologi sensor modern, data *real-time* mengenai kualitas udara dapat diperoleh, memungkinkan tindakan cepat dan efektif untuk mengurangi paparan polutan (Parinduri dkk., 2018). Pengukuran PM_{2.5} dan CO₂ adalah aspek krusial dalam pengelolaan kualitas udara dan perlindungan kesehatan publik. Dengan memahami dan memantau konsentrasi kedua polutan ini, langkah-langkah mitigasi yang tepat dapat diambil untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap kesehatan dan lingkungan.

Berikut merupakan penelitian terdahulu yang telah di lakukan peneliti sebelumnya dan relevan dengan topik yang kami angkat dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1 Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Author (Tahun)	Hasil Riset Terdahulu	Persamaan	Perbedaan
1	Penggunaan <i>Low-Cost Sensor</i> (x1) untuk Pemantauan Kualitas Udara (y) di Perkotaan (Purbakawaca & Fauzan, 2022)	Artikel ini membahas penggunaan sensor berbiaya rendah (x1) untuk pemantauan kualitas (y) udara di lingkungan perkotaan, termasuk PM2.5 dan CO2.	Jurnal membahas penggunaan sensor berbiaya rendah (x1) sebagai solusi untuk pemantauan kualitas udara (y) yang ekonomis dan luas.	Peneliti lebih menekankan pada penggunaan sensor murah dan teknologi IoT sebagai solusi yang praktis dan ekonomis.
2	Implementasi Metode Fuzzy Logic Untuk Sistem Pengukuran Kualitas Udara (y) Di Kota Medan Berbasis <i>Internet of Things</i> (Iot) (x2) (Prayudha dkk., 2018)	Artikel ini membahas implementasi sistem pemantauan polusi udara secara real-time (y) dengan menggunakan sensor murah (x1) dan teknologi IoT (x2).	Penggunaan teknologi IoT (x2) untuk mengumpulkan, menganalisis, dan menampilkan data secara real-time.	Jurnal yang diberikan lebih deskriptif dalam menjelaskan latar belakang dan dampak polusi udara secara umum.
3	Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis <i>Internet of Things</i> (x2) pada area Industri (Hakim & Susanto, 2020)	Penelitian ini mengeksplorasi pengembangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis (y) IoT (x2) di area industri, dengan fokus pada polutan PM2.5 dan CO2 (x3).	Penggunaan teknologi modern seperti <i>low-cost</i> sensor (x1) dan IoT (x2) untuk pemantauan real-time (y).	Jurnal yang diberikan lebih luas dalam menjelaskan berbagai sumber polusi, baik dari emisi lokal maupun jarak jauh, serta pengaruh faktor iklim dan meteorologi.
4	Evaluasi Kinerja Sensor Kualitas Udara Berbiaya Rendah (x1) untuk Pemantauan PM2.5 dan CO2 (y) di Kota Bandung	Penelitian ini mengevaluasi kinerja sensor kualitas udara berbiaya rendah (x1) dalam pemantauan PM2.5 dan CO2(x3) di Kota Bandung	Jurnal membahas pentingnya pemantauan kualitas udara (y), terutama polutan seperti PM2.5 dan CO2 serta penggunaan sensor berbiaya rendah (x1) sebagai solusi untuk pemantauan kualitas	Jurnal yang diberikan lebih umum membahas polusi udara di berbagai kota besar di Indonesia dan tidak terbatas pada satu lokasi spesifik.

	(Wellid dkk., 2024)		udara yang ekonomis dan luas.	
.5	Pemantauan Kualitas Udara Real-Time (y) di Area Perkotaan Menggunakan Teknologi IoT (x2) (Octaviano dkk., 2022)	Artikel ini membahas penggunaan teknologi IoT (x2) untuk pemantauan kualitas udara real-time (y) di area perkotaan, dengan fokus pada PM2.5 dan CO2 (x3).	Penerapan teknologi pemantauan kualitas udara (y) di lokasi tertentu seperti area perkotaan, industri, dan bandara.	Peneliti lebih fokus pada sumber polusi dari aktivitas manusia di sekitar lokasi studi, seperti lalu lintas dan aktivitas industri di sekitar bandara atau kota
6	Pengembangan Sistem Pemantauan Kualitas Udara (y) Berbasis IoT (x2) di Kawasan Bandara (Thoriq Maulana dkk., 2015)	Penelitian ini mengeksplorasi pengembangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT (y) di kawasan bandara, termasuk pengukuran PM2.5 dan CO2 (x3).	jurnal membahas pentingnya pemantauan kualitas udara (y), terutama polutan seperti PM2.5 dan CO2 dari pemantauan kualitas udara di bandara atau kota tertentu	Jurnal yang diberikan mencakup berbagai polutan seperti NOx, SOx, CO, benzene, ozon, PM10, dan logam berat, selain PM2.5 dan CO2

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Kajian teori dan penelitian terdahulu yang relevan maka pembahasan artikel *literature review ini* dalam konsentrasi Monitoring *Real-Time* PM2.5 dan CO2 di Area Terminal Bandar Udara adalah sebagai berikut:

Pengaruh *low-cost sensor* terhadap monitoring *real-time*

Penggunaan *low-cost sensor* memberikan dampak signifikan terhadap hasil monitoring *real-time* kualitas udara di area terminal bandara. Meskipun sensor tersebut memiliki harga yang lebih terjangkau dibandingkan dengan sensor-sensor modern yang canggih (*high-end*), mereka tetap mampu memberikan data yang akurat dan reliabel mengenai konsentrasi PM2.5 dan CO2, asalkan dilakukan kalibrasi yang tepat dan pemeliharaan rutin. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Thoriq Maulana dkk., 2015), ditemukan bahwa dengan kalibrasi yang baik, *low-cost sensor* dapat berfungsi secara efektif untuk memantau kualitas udara di berbagai lingkungan, termasuk bandara. Penggunaan sensor-sensor ini memungkinkan peningkatan jumlah titik pengukuran dengan biaya yang lebih

rendah, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang distribusi polutan di area terminal. Hal ini sangat penting karena data yang lebih banyak dan lebih tersebar dapat membantu dalam membuat keputusan yang lebih informatif dan strategis untuk manajemen kualitas udara di bandara.

Selain itu, *low-cost sensor* memungkinkan implementasi monitoring yang lebih luas tanpa memerlukan investasi besar. Ini sangat penting untuk bandara yang mungkin memiliki anggaran terbatas untuk pengadaan peralatan canggih. Sensor tersebut relatif mudah dioperasikan dan dipasang, yang berarti staf bandara tidak perlu pelatihan ekstensif untuk memanfaatkannya. Namun, tantangan yang dihadapi termasuk kemungkinan variasi dalam akurasi sensor biaya rendah akibat kondisi lingkungan yang ekstrem atau gangguan mekanis, sehingga kalibrasi dan pemeliharaan yang konsisten untuk menjaga kualitas data.

Pengaruh *Internet of Things (IoT)* terhadap monitoring kualitas udara

Implementasi teknologi *Internet of Things (IoT)* dalam sistem monitoring kualitas udara di bandara memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap hasil monitoring *real-time*. Teknologi *IoT* memungkinkan integrasi berbagai sensor dan perangkat monitoring dalam satu jaringan yang terhubung, sehingga data yang dikumpulkan dapat diproses dan dianalisis secara simultan dan *real-time*. Selain itu, *IoT* juga memungkinkan pengiriman data secara otomatis ke platform cloud, yang memudahkan akses dan analisis data dari berbagai lokasi secara *real-time*. Studi oleh (Purbakawaca & Fauzan, 2022), menunjukkan bahwa penerapan *IoT* dalam sistem monitoring udara tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam pengumpulan dan pengolahan data, tetapi juga memungkinkan respons yang lebih cepat terhadap perubahan konsentrasi polutan di lingkungan. Dengan demikian, *IoT* berkontribusi besar terhadap peningkatan keandalan dan responsivitas hasil monitoring *real-time* PM2.5 dan CO2 di area terminal bandara,

yang pada akhirnya dapat membantu dalam mitigasi risiko dan peningkatan kualitas udara di lingkungan tersebut.

Keuntungan lain dari penerapan *IoT* dalam monitoring kualitas udara adalah kemampuannya untuk memberikan analitik prediktif. Menurut *time* (Saputra & Papatungan, 2022), dengan memanfaatkan data historis dan algoritma pembelajaran mesin, sistem *IoT* dapat memprediksi tren polusi udara dan memberikan peringatan dini sebelum kondisi memburuk. Ini memungkinkan pengelola bandara untuk mengambil tindakan preventif lebih awal, seperti meningkatkan ventilasi atau mengurangi sumber emisi. Selain itu, integrasi *IoT* juga memungkinkan kolaborasi yang lebih baik antara berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, lembaga lingkungan, dan masyarakat, melalui berbagi data dan hasil analisis secara transparan.

Pengaruh pengukuran polutan udara PM2.5 dan CO2 terhadap monitoring kualitas udara

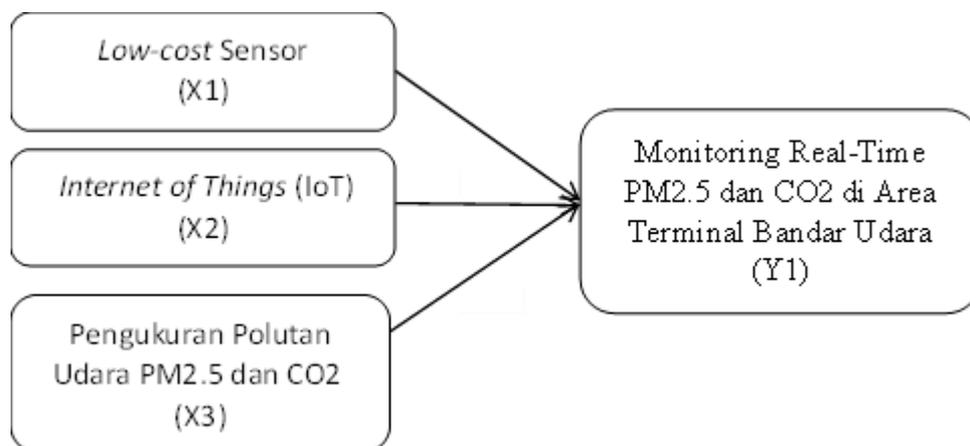
Metode dan frekuensi pengukuran polutan udara seperti PM2.5 dan CO2 memainkan peran yang sangat penting dalam menentukan hasil monitoring real-time di bandara. Teknik pengambilan sampel yang tepat dan interval pengukuran yang konsisten sangat penting untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan representatif dan mencerminkan kondisi aktual di lapangan. Penelitian yang dilakukan oleh (Parinduri dkk., 2018) menekankan pentingnya penggunaan metode pengukuran yang tepat untuk mendapatkan data yang akurat dan reliabel mengenai konsentrasi polutan udara. Frekuensi pengukuran yang tinggi, seperti pengukuran setiap beberapa menit, memungkinkan deteksi dini terhadap peningkatan konsentrasi polutan, yang sangat penting untuk menjaga kualitas udara di area terminal bandara. Dengan demikian, metode pengukuran yang baik dan frekuensi pengukuran yang tepat berkontribusi langsung terhadap keandalan hasil monitoring real-time kualitas udara, yang pada gilirannya dapat membantu

dalam mengambil tindakan yang cepat dan tepat untuk mengendalikan polusi udara.

Selain itu, variasi temporal dan spasial dalam konsentrasi polutan memerlukan pemantauan yang kontinu dan mendetail. Metode pengukuran yang mencakup berbagai titik lokasi dan waktu dapat memberikan gambaran yang lebih lengkap mengenai dinamika polusi udara di terminal bandara. Penggunaan alat analisis data canggih yang dapat mengolah dan menyajikan data secara visual dalam peta kualitas udara juga dapat membantu pengelola bandara dalam memahami dan mengatasi sumber polusi dengan lebih efektif. Dengan adanya data yang terperinci dan akurat, pengelola dapat merancang strategi mitigasi polusi yang lebih tepat sasaran, misalnya dengan mengatur ulang alur lalu lintas udara atau menerapkan teknologi filter udara yang lebih efisien.

Kerangka Konseptual

Berdasarkan rumusan masalah, kajian teori, penelitian terdahulu yang relevan dan pembahasan pengaruh antar variabel, maka di perolah rerangka berfikir artikel ini seperti di bawah ini.



Gambar 1
Kerangka Konseptual

Berdasarkan gambar *conceptual framework* di atas, *low-cost sensor*, *internet of things (IoT)* dan pengukuran polutan udara berpengaruh terhadap monitoring *real-time* PM2.5 dan CO2 di area terminal bandar udara. Selain dari tiga variabel eksogen ini yang memengaruhi Monitoring Real-Time PM2.5 dan CO2 di Area Terminal Bandar Udara, masih banyak variabel lain yang mempengaruhinya diantaranya adalah:

- a) Lokasi pengukuran: (Thoriq Maulana dkk., 2015), (Octaviano dkk., 2022), (Wellid dkk., 2024), (Hakim & Susanto, 2020), (Prayudha dkk., 2018).
- b) Parameter lingkungan: (Purbakawaca & Fauzan, 2022), (Octaviano dkk., 2022).
- c) Frekuensi pengambilan data: (Octaviano dkk., 2022), dan (Thoriq Maulana dkk., 2015).
- d) Intensitas pengunjung: (Prayudha dkk., 2018), (Octaviano dkk., 2022), dan (Prayudha dkk., 2018).

PENUTUP

Kesimpulan

Studi ini mengkaji pengaruh penggunaan *low-cost sensors*, teknologi IoT, dan metode pengukuran polutan udara terhadap monitoring *real-time* kualitas udara di area terminal bandara. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :

- a. Penggunaan *low-cost sensors* terbukti memberikan dampak signifikan terhadap monitoring *real-time* kualitas udara. Sensor-sensor ini mampu memberikan data akurat dan reliabel mengenai konsentrasi PM2.5 dan CO2, asalkan dilakukan kalibrasi yang tepat dan pemeliharaan rutin. Selain itu, *low-cost sensors* memungkinkan peningkatan jumlah titik pengukuran dengan biaya yang lebih rendah, memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang distribusi polutan di area terminal bandara. Namun, tantangan utama yang

dihadapi adalah variasi akurasi sensor akibat kondisi lingkungan yang ekstrem atau gangguan mekanis, yang menekankan pentingnya kalibrasi dan pemeliharaan konsisten.

- b. Implementasi teknologi IoT dalam sistem monitoring kualitas udara juga memberikan pengaruh signifikan terhadap hasil monitoring *real-time*. IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor dan perangkat monitoring dalam satu jaringan yang terhubung, sehingga data dapat diproses dan dianalisis secara simultan dan *real-time*. Teknologi IoT meningkatkan efisiensi dalam pengumpulan dan pengolahan data serta memungkinkan respons cepat terhadap perubahan konsentrasi polutan. Selain itu, IoT menyediakan kemampuan analitik prediktif yang memungkinkan deteksi dini tren polusi udara dan memberikan peringatan dini, sehingga tindakan preventif dapat diambil lebih awal.
- c. Metode pengukuran yang tepat dan frekuensi pengukuran yang tinggi sangat penting untuk memastikan data yang dihasilkan akurat dan representatif. Pengukuran polutan udara seperti PM_{2.5} dan CO₂ secara kontinu memungkinkan deteksi dini peningkatan konsentrasi polutan, yang sangat penting untuk menjaga kualitas udara di area terminal bandara. Variasi temporal dan spasial dalam konsentrasi polutan memerlukan pemantauan yang kontinu dan mendetail untuk memberikan gambaran yang lengkap mengenai dinamika polusi udara di terminal bandara.

Secara keseluruhan, kombinasi penggunaan *low-cost sensors*, teknologi IoT, dan metode pengukuran yang tepat dapat meningkatkan monitoring *real-time* kualitas udara di terminal bandara. Hal ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih informatif dan strategis untuk manajemen kualitas udara, yang pada akhirnya dapat membantu dalam mitigasi risiko dan peningkatan kualitas udara di lingkungan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrachman, Idie, D., Songbes, A. M. H., Arrang, R., Wahyudi, M., & Manuhutu, M. A. (2024). Peran Teknologi dalam Transformasi Pendidikan: Perspektif dari Studi Kepustakaan. *Journal on Education*, 06(02), 11359–11368. <https://doi.org/https://doi.org/10.31004/joe.v6i2.4932>
- Abdurrohman, R. M. (2023). Prototipe Monitoring Suhu Dan Kelembapan Secara Realtime. *Journal ICTEE*, 4(2). <https://doi.org/10.33365/jictee.v4i2.3158>
- Anggara Trisna Nugraha, & Priyambodo, D. (2020). Prototype Hybrid Power Plant of Solar Panel and Vertical Wind Turbine as a Provider of Alternative Electrical Energy at Kenjeran Beach Surabaya. *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics*, 2(3), 108–113. <https://doi.org/10.35882/jeeemi.v2i3.4>
- Bahri, B., Raharjo, M., & Suhartono, S. (2021). Dampak Polusi Udara Dalam Ruangan Pada Kejadian Kasus Pneumonia: Sebuah Review. *LINK*, 17(2), 99–104. <https://doi.org/10.31983/link.v17i2.6833>
- Budi Kusumo, R. A., Sukayat, Y., Heryanto, M. A., & Nur Wiyono, S. (2020). Budidaya Sayuran Dengan Teknik Vertikultur Untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan Rumah Tangga Di Perkotaan. *Dharmakarya*, 9(2), 89–92. <https://doi.org/10.24198/dharmakarya.v9i2.23470>
- Bunahri, R. R. (2023). Analisis Perbandingan Ekonomis Penggunaan Penerangan Jalan Umum Solar Cell dengan Penerangan Jalan Umum Konvensional di Bandar Udara Djalaluddin Gorontalo. *SKY EAST: Education of Aviation Science and Technology*, 1(1), 68–79. <https://doi.org/10.61510/east.v1i1.10>
- Chy, M. K. A., Masum, A. K. M., Sayeed, K. A. M., & Uddin, M. Z. (2022). Delicar: A Smart Deep Learning Based Self Driving Product Delivery Car In Perspective Of Bangladesh. *Sensors*, 22(1). <https://doi.org/10.3390/s22010126>
- Danuri, M. (2019). Development And Transformation Of Digital Technology. *Infokam*, XV(II), 116–123. <https://doi.org/https://doi.org/10.53845/infokam.v15i2.178>
- Fatkurrahman, J. A., Sari, I. R. J., & Pratiwi, N. I. (2019). Verifikasi Sensor Partikulat Sebagai Instrumetasi Pemantauan PM2.5 dan PM10 Berbasis Low Cost Sensor. *Prosiding SNST ke-10*, 82(2016), 25–30.
- Hakim, T. N., & Susanto, Moh. F. (2020). Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Internet of Things. *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar, 1*, 26–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.35313/irwns.v11i1.2056>
- Halim, D. K., Ming, T. C., Song, N. M., & Hartono, D. (2019). Arduino-Based IDE For Embedded Multi-Processor System-On-Chip. *Proceedings of 2019 5th International Conference on New Media Studies, CONMEDIA 2019*, 135–138. <https://doi.org/10.1109/CONMEDIA46929.2019.8981862>

- Hidayat, D., & Sari, I. (2021). Monitoring Suhu Dan Kelembaban Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknologi Dan Ilmu Komputer Prima (JUTIKOMP)*, 4(1). <https://doi.org/10.34012/jutikomp.v4i1.1676>
- Kristianto, A., Chai, C. A., Chainatra, D., Onggie, K., & Alexander, W. J. (2023). Penerapan Smart Greenhouse Untuk Optimalisasi Hasil Pertanian Hidroponik dengan Implementasi IoT dan Machine Learning di Syifa Hidroponik. *ITSCIECE*, 3(2), 225–233. <https://doi.org/10.47709/dst.v3i2.3010>
- Listianto, R. D., Sunardi, S., & Puriyanto, R. D. (2019). Monitoring Tegangan Baterai Lithium Polymer pada Robot Sepak Bola Beroda secara Nirkabel. *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.12928/biste.v1i1.826>
- Mappa, A., & Rumlatur, S. (2018). Analisis Pengembangan Panel Acos (Automatic Change Over Switch) Pada Genset Menggunakan Plc Omron Cp1E-E30Dr-a. *Electro Luceat*, 4(2), 5–14. <https://doi.org/10.32531/jelekn.v4i2.139>
- Metz, I. C., Ellerbroek, J., Mühlhausen, T., Kügler, D., & Hoekstra, J. M. (2021). Analysis of risk-based operational bird strike prevention. *Aerospace*, 8(2), 1–22. <https://doi.org/10.3390/aerospace8020032>
- Nana, D., & Elin, H. (2018). Memilih Metode Penelitian Yang Tepat: Bagi Penelitian Bidang Ilmu Manajemen. *Jurnal Ilmu Manajemen*, 5(1), 288. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2827/jeim.v5i1.1359.g1118>
- Nurikhsani, K. D., & Mupita, J. (2022). Benefits and Effectiveness of Automatic Farmer Pest Repellent. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(3), 243–248. <https://doi.org/10.17509/ajse.v2i3.39477>
- Octaviano, A., Sofiana, S., Agustino, D. O., & Rosyani, P. (2022). Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Internet Of Things. *Media Online*, 3(2), 147–156.
- Pamungkas, J., & Wirawan, W. (2015). Desain Real-Time Monitoring Berbasis Wireless Sensor Network Upaya Mitigasi Bencana Erupsi Gunung Api. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, 4(3). <https://doi.org/10.22146/jnteti.v4i3.160>
- Parinduri, L., Yusmartato, Y., & Parinduri, T. (2018). Kontribusi Konversi Mobil Konvensional ke Mobil Listrik Dalam Penanggulangan Pemanasan Global. *Journal of Electrical Technology*, 3(2), 116–120.
- Pratama, A., Notosudjono, D., Rodiah, A., & C. (2022). Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Listrik Untuk Box Sterilisasi Pada Benda Berbasis Internet Of Things (IoT). *Jurnal Online Mahasiswa (Jom) Bidang Teknik Elektro*, 1, 1–11.
- Pratama, R., & Kunci, K.-K. (2019). Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi. *Cetak) Buletin Utama Teknik*, 14(2), 1410–4520. <https://doi.org/https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/but/article/view/1096/852>

- Prayudha, J., Pranata, A., & Al Hafiz, A. (2018). Implementasi Metode Fuzzy Logic Untuk Sistem Pengukuran Kualitas Udara Di Kota Medan Berbasis Internet of Things (Iot). *Jurteksi*, 4(2), 141–148. <https://doi.org/10.33330/jurteksi.v4i2.57>
- Prihatini, E., Latifah Husni, N., Muslimin, S., Murada, N., Ridwan, A., Negeri Sriwijaya, P., Srijaya Negara Bukit Besar Palembang, J., & Teknik Elektro, J. (2021). Pemanfaatan Sensor Jarak dan Sensor Warna pada Proses Penanaman Benih Menggunakan Smart Mini Robot Agriculture. *Teknika*, 15(1), 143–151. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.7327014>
- Purbakawaca, R., & Fauzan, S. A. (2022). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbiaya Rendah Berbasis IoT. *Jurnal Talenta Sipil*, 5(1), 118. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v5i1.104>
- Rahmadhani, V., & Widya Arum. (2022). Literature Review Internet Of Think (Iot): Sensor, Konektifitas Dan Qr Code. *Jurnal Manajemen Pendidikan Dan Ilmu Sosial*, 3(2). <https://doi.org/10.38035/jmpis.v3i2.1120>
- Rasmila, R., Parhan, M. R., Hadinta, N., & Putra, M. S. (2024). Simulasi Sistem Monitoring Kenaikan Level Air pada Area Rawan Banjir Secara Real-Time berbasis Smartphone Android. *Jurnal Pengembangan Sistem Informasi dan Informatika*, 5(2), 1–9. <https://doi.org/10.47747/jpsii.v5i2.1663>
- Rosa, A. A., Simon, B. A., & Lieanto, K. S. (2020). Sistem Pendeteksi Pencemaran Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135. *Ultima Computing: Jurnal Sistem Komputer*, 12(1), 23–28. <https://doi.org/10.31937/sk.v12i1.1611>
- Rosadi, A., Balafif, S., & Novianti, T. (2020). System Control Pest Rice Plant based on Microcontroller Arduino Uno. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 469(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/469/1/012086>
- Salamah, I., Nasron, N., & Azzahra, D. (2022). Teknologi GPS NEO-6 Untuk Tracking Kapal Penumpang Secara Real Time dengan Fitur Tombol Emergency SOS. *Smatika Jurnal*, 12(02), 146–155. <https://doi.org/10.32664/smatika.v12i02.692>
- Salurante, T. (2023). Misional Eklesiologi Budaya Digital: Mengurai Tantangan Gejala Transhumanis Dan Cyborg. *Phronesis: Jurnal Teologi dan Misi*, 6(2), 292–303. <https://doi.org/10.47457/phr.v6i2.422>
- Santoso, M., Lestiani, D. D., Kurniawati, S., Markwitz, A., Trompetter, W. J., Barry, B., & Davy, P. K. (2014). Long Term Airborne Lead Pollution Monitoring In Bandung, Indonesia. *International Journal of PIXE*, 24(03n04). <https://doi.org/10.1142/s0129083514400087>
- Saputra, Z. M. M., & Papatungan, I. V. (2022). Penerapan Internet of Things pada Greenhouse. *Journal of Information System Research (JOSH)*, 3(4), 394–403. <https://doi.org/10.47065/josh.v3i4.1833>

- Soedjarwanto, N. (2021). Prototipe Smart Door Lock Menggunakan Motor Stepper Berbasis Iot (Internet Of Things). *Electrician*, 15(2), 73–82. <https://doi.org/10.23960/elc.v15n2.2167>
- Sugiono. (2017). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Alfabeta CV.
- Suryana, Y., & Aziz, R. (2018). Sistem Pemonitor Detak Jantung Portable Menggunakan Tiga Sensor Elektroda. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains Dan Teknologi*, 4(1), 14. <https://doi.org/10.36722/sst.v4i1.240>
- Thoriq Maulana, M., Hilmi Habibullah, M., Sunandar, Sholihah, N., Ainul Rifqi L. P., M., & Fahrudin, F. (2015). Pengembangan Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis IoT di Kawasan Bandara. *PNBP Politeknik Negeri Ujung Pandang*, 1(201310200311137), 78–79. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26418/positron.v8i1.25470>
- Tirta, I., & Wiryadinata, R. (2016). Signal Conditioning Test for Low-Cost Navigation Sensor. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, 1(1), 30. <https://doi.org/10.36055/setrum.v1i1.471>
- Wellid, I., Simbolon, L. M., Falahuddin, M. A., Nurfitriani, N., Sumeru, K., Bin Sukri, M. F., & Yuningsih, N. (2024). Evaluasi Polusi Udara PM2.5 dan PM10 di Kota Bandung serta Kaitannya dengan Infeksi Saluran Pernafasan Akut. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(2), 128–136. <https://doi.org/10.14710/jkli.23.2.128-136>
- Yusuf, H., & Karno, U. B. (2024). Peran Teknologi Dalam Menunjang Identifikasi Perkasa Dalam Kedokteran Forensik. 3(2), 25–31. <https://doi.org/10.5455/mnj.v1i2.644>
- Zhang, N. (2022). Airports Located Near Wetlands, Rice Fields, And Coastal Areas Are Particularly Vulnerable. Birds Are Attracted To These Environments For Feeding And Nesting, Increasing Their Presence In And Around Airport Vicinities. *The Healing of Enviromental and Cultural Trauma Journal*, 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.22215/etd/2023-15480>