

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Selama dua dekade terakhir, telah terjadi perubahan kualitas udara di Indonesia, dari salah satu negara paling bersih menjadi salah satu dari dua puluh negara paling berpolusi (Subagiyo, 2021). Perubahan ini kemudian mempengaruhi lingkungan, sumber daya alam, dan juga menurunnya kualitas udara. Tanpa disadari kita menghirup polusi udara berbahaya bagi tubuh ketika bepergian. Salah satu partikel udara yang kita hirup disebut PM10 dan PM2.5. Nama partikel ini mungkin jarang terdengar di telinga, namun istilah ini sering muncul di artikel sains dan kesehatan. Apabila terhirup ke dalam tubuh, PM2.5 dapat berpenetrasi ke dalam saluran pernapasan bawah serta dapat melewati aliran darah manusia (Arba, 2022). Akibatnya, Udara yang tercemar oleh partikel partikel ini dapat mengakibatkan berbagai gangguan kesehatan seperti Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA), iritasi mata, batuk, riak, sesak napas hingga kasus terparah berupa kematian (Wahab, W., *et al.*, 2024).

Selain efek terhadap kesehatan yang buruk, paparan dari partikulat dapat mengganggu visibilitas, mempengaruhi proses ekosistem, menyebabkan kerusakan struktur tanah dan bangunan, serta menyumbang emisi yang besar (Wardoyo, A. Y. P., 2016). Menanggapi hal tersebut, Pemerintah Indonesia secara gencar mengejar target *Net Zero Emission* sebagai upaya untuk menurunkan konsentrasi polutan udara, termasuk partikel PM2.5 yang berbahaya bagi kesehatan. *Net Zero Emission* (NZE) ini merupakan komitmen untuk menyeimbangkan emisi karbon yang dihasilkan dengan serapan karbon yang bertujuan mencapai nol emisi bersih (Wiharto, I., 2023). PM2.5 sendiri merupakan partikel udara dengan diameter kurang dari 2.5 mikrometer yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, industri, dan kebakaran hutan (Salsabila, P. H., 2023). Salah satu cara untuk menurunkan PM2.5 adalah dengan transisi ke energi bersih dan meningkatkan efisiensi energi. Maka dari itu, salah satu tindakan yang diambil oleh Indonesia untuk mencapai NZE tahun 2060 adalah dengan mengurangi ketergantungan energi fosil dan beralih menuju energi baru terbarukan dalam upaya untuk memenuhi kebutuhan energi nasional. (Hermawan, 2024).

Pada tahun 2020, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mengeluarkan Peraturan Menteri LHK No. 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), menggantikan Keputusan Menteri LH No. 45 Tahun 1997. Peraturan baru ini mencantumkan 7 parameter ISPU, yakni PM10, PM2.5, NO₂, SO₂, CO, O₃, dan HC, dengan penambahan PM2.5 dan HC karena risiko besar terhadap kesehatan manusia. (KLHK, 2020).

ISPU berfungsi sebagai sistem informasi kualitas udara ambien yang ditujukan untuk masyarakat serta sebagai peringatan dini di wilayah rawan kebakaran hutan (Wahyu, B. P., 2024). Sistem ini bertujuan memberikan informasi yang seragam dan menjadi acuan bagi pemerintah pusat dan daerah dalam upaya pengendalian pencemaran udara. ISPU menggambarkan kualitas udara ambien di lokasi tertentu, berdasarkan dampaknya pada kesehatan, nilai estetika, dan makhluk hidup lainnya. Rentang 1-50 dikategorikan "Baik" tanpa dampak negatif, 51-100 "Sedang" (masih aman), 101-200 "Tidak Sehat" merugikan kesehatan, 201-300 "Sangat Tidak Sehat" meningkatkan risiko kesehatan, dan di atas 301 "Berbahaya" membahayakan kesehatan manusia. (KLHK, 2020).

Penilaian ISPU khusus untuk partikel PM_{2.5} didasarkan pada konsentrasi partikel di udara. Rentang konsentrasi 0-15.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dikategorikan sebagai "Baik", yang artinya tidak memiliki dampak buruk bagi kesehatan. Sementara itu, 15.6-55.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ termasuk dalam kategori "Sedang"; meskipun masih aman, nilai ini dapat memengaruhi kelompok yang lebih rentan. Konsentrasi 55.5-150.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, keadaan ini dianggap "Tidak Sehat", karena dapat mulai mengganggu kesehatan, terutama bagi individu yang sensitif. Untuk konsentrasi 150.5-250.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, statusnya digolongkan sebagai "Sangat Tidak Sehat", yang menyimpan risiko serius bagi semua orang. Sedangkan konsentrasi di atas 250.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dinyatakan "Berbahaya", dengan potensi risiko kesehatan yang akut dan dapat mengancam jiwa. (KLHK, 2020).

Negara berkembang menghasilkan *partikulat* (PM) lebih banyak dibandingkan negara maju yang disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil untuk kebutuhan industri maupun transportasi (Abulude, 2016). Salah satu Provinsi di Indonesia yang mengalami hal tersebut adalah Provinsi Jambi. Provinsi Jambi merupakan kawasan yang terus berkembang dari tahun ke tahun, meningkatnya sejumlah sarana dan prasarana membuat aktivitas di Provinsi Jambi semakin beragam menimbulkan terjadinya peningkatan emisi yang terbuang ke udara termasuk PM_{2.5} (Mayra Alviani, 2022).

Tingginya tingkat polusi udara, khususnya partikel PM_{2.5}, di kota-kota besar menjadi perhatian serius dalam upaya menjaga kesehatan masyarakat. Hal ini sejalan dengan pendapat (Wardoyo, A. Y. P., 2016) dalam bukunya yang berjudul *Emisi Partikulat Kendaraan Bermotor dan Dampak Kesehatan* yang menyatakan bahwa semakin besar populasi penduduk suatu daerah, maka semakin besar pula kemungkinan kegiatan transportasi, industri, perkantoran, perumahan, dan kegiatan lain yang menyebabkan pencemaran udara terus meningkat.

Di Provinsi Jambi, kualitas udara saat ini diukur melalui tiga lokasi pemantauan, yaitu di kantor BMKG Sultan Thaha-Jambi Aviation Meteorological

Office Station yang berlokasi di Kecamatan Jambi Selatan, di Dinas Lingkungan Hidup Kota Jambi yang berada di Kecamatan Kota Baru, dan di Stasiun Klimatologi BMKG Muaro Jambi yang berlokasi di Muara Bulian, Simpang Sungai Duren, Kec. Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi. Ketiga lokasi pemantauan ini memberikan data penting dalam mengevaluasi konsentrasi PM_{2.5} di udara, mengingat partikel ini memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan pernapasan.

Kualitas udara di Provinsi Jambi terus menunjukkan tren yang memprihatinkan, terutama dari sisi konsentrasi PM_{2.5}. Sejak tahun 2017 hingga 2019, terjadi peningkatan signifikan dalam rata-rata konsentrasi tahunan PM_{2.5}. Berdasarkan data, nilai rata-rata tahun 2017 berada pada angka 13.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, meningkat menjadi 21.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada tahun 2018, dan melonjak tajam hingga 39.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada tahun 2019 (Mayra Alviani, 2022). Kondisi ini telah melampaui baku mutu udara ambien tahunan yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021 sebesar 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Sari, 2021). Lonjakan ini terutama disebabkan oleh meluasnya kebakaran hutan dan lahan, yang berdampak langsung terhadap peningkatan konsentrasi partikel halus di atmosfer (Fauziah, A., et al., 2023).

Memasuki periode 2020 hingga 2023, situasi tidak menunjukkan perbaikan berarti. Kebakaran hutan masih menjadi ancaman serius, dengan lebih dari 335 hektare lahan terbakar hanya dalam kurun waktu Januari hingga September 2023 (Antara News, 2023). Akibatnya, sekitar 25,6 juta orang terpapar asap, dan lebih dari 324 ribu kasus ISPA dilaporkan (Aksara24, 2023). Meski data PM_{2.5} tahunan secara resmi belum tersedia, tingginya intensitas kebakaran dan paparan asap menjadi indikator kuat bahwa ambang batas kualitas udara masih terlampaui. Oleh karena itu, upaya mitigasi dan pengawasan lingkungan harus diperkuat guna menurunkan tingkat polusi udara yang berdampak langsung pada kesehatan masyarakat.

Di tingkat kabupaten, Muaro Jambi menunjukkan pola fluktuatif yang serupa. Data historis pada tahun 2024 dan Januari 2025 mencatat bahwa konsentrasi PM_{2.5} di wilayah ini sangat bervariasi. Pada Januari 2025, kadar PM_{2.5} tercatat antara 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dengan konsentrasi terendah pada 12 Januari pukul 12.14 WIB dan tertinggi pada 22 Januari pukul 12.13 WIB (AQI.in, 2025). Dalam periode 30 hari tersebut, terdapat 12 hari di mana kadar PM_{2.5} melebihi ambang batas harian yang direkomendasikan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), yaitu 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini menunjukkan bahwa lebih dari sepertiga hari dalam bulan tersebut berpotensi menimbulkan dampak kesehatan bagi masyarakat (AQI.in, 2025).

Sementara itu, data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) juga mengonfirmasi adanya fluktuasi tajam selama tahun 2024, Konsentrasi PM_{2.5} tertinggi tercatat pada Oktober 2024 dengan kadar mencapai

134 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan nilai terendah terjadi pada 9 Desember 2024 dengan kadar 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (BMKG, 2025). Pada periode Juli hingga September 2024, kadar PM2.5 mengalami peningkatan, dengan beberapa hari mencatat konsentrasi lebih dari 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Peningkatan ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti pola cuaca dan aktivitas industri di sekitar wilayah tersebut (BMKG, 2025). Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa kualitas udara di Kabupaten Muaro Jambi mengalami variabilitas yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan yang lebih intensif serta upaya mitigasi terhadap sumber pencemaran udara guna menjaga kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan (AQI.in, 2025; BMKG, 2025).

Universitas Jambi memiliki 9 fakultas dengan total 89 program studi yang tersebar di berbagai bidang akademik (Universitas Jambi, 2024). Salah satu fakultas yang berperan signifikan dalam penelitian lingkungan adalah Fakultas Sains dan Teknologi, yang menaungi ribuan mahasiswa (Universitas Jambi, 2024). Dengan aktivitas akademik, praktikum, dan mobilitas tinggi di fakultas ini, terdapat potensi kontribusi terhadap peningkatan polusi udara, terutama partikel halus PM2.5 yang dihasilkan dari aktivitas akademik (Universitas Jambi, 2024).

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menambah lokasi pengukuran PM2.5 di Kabupaten Muaro Jambi, tepatnya di Universitas Jambi, pada Fakultas Sains dan Teknologi di Laboratorium Engineering. Dengan adanya tambahan titik pengukuran ini, diharapkan data yang dihasilkan dapat memperkaya analisis terhadap variasi kualitas udara di wilayah Muaro Jambi dan Provinsi Jambi serta membantu dalam perencanaan kebijakan lingkungan yang lebih efektif.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka dipandang perlu untuk melakukan penelitian mengenai rancang bangun sistem monitoring berbasis IoT yang mampu mendeteksi kadar kualitas udara PM2.5. Oleh karena itu penelitian ini berjudul **“RANCANG BANGUN ALAT MONITORING PARTICULATE MATTER (PM2.5) BERBASIS IOT DAN LORA SEBAGAI INDIKATOR KUALITAS UDARA”**.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun alat monitoring *particulate matter* (PM2.5) berbasis IoT dan LoRa sebagai indikator kualitas udara?
2. Bagaimana kinerja *transfer* data dari satu perangkat ke perangkat lain dengan memanfaatkan kemampuan LoRa agar hasil pengukuran dapat diakumulasikan di satu perangkat pusat?

3. Bagaimana akurasi dan keandalan sensor PMS7003 dan BME280 dalam mengukur nilai kualitas udara sesuai dengan standar kualitas udara yang berlaku?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi agar pembahasan menjadi terarah. Adapun batasan masalah dalam penelitian kali ini sebagai berikut:

1. Rancang bangun alat monitoring *particulate matter* (PM2.5) berbasis IoT dan LoRa sebagai indikator kualitas udara menggunakan mikrokontroler ESP32, LoRa SX1278, sensor PMS7003 dan BME280.
2. Pengiriman data antar node dilakukan menggunakan LoRa, sedangkan teknologi dan metode komunikasi lainnya tidak dibahas dalam penelitian ini.
3. Penelitian ini membatasi penilaian kualitas udara dengan parameter PM2.5 berdasarkan standar yang ditetapkan oleh WHO atau lembaga lingkungan terkait. Hasil pengukuran dari sensor PMS7003 dan BME280 hanya dibandingkan dengan nilai referensi standar dan alat ukur yang setara, tanpa melibatkan alat pengukur kelas laboratorium yang memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun alat monitoring *particulate matter* (PM2.5) berbasis IoT dan LoRa yang memudahkan pengecekan nilai kualitas udara sekitar.
2. Menguji kemampuan *transfer* data dari LoRa yang mengirimkan data dari satu perangkat ke perangkat lain agar hasil pengukuran dapat diakumulasikan di satu perangkat pusat.
3. Menguji efektivitas alat monitoring *particulate matter* (PM2.5) berbasis IoT dan LoRa dan akurasi sensor PMS7003 dan BME280 sebagai pengukur kualitas udara dengan parameter PM2.5, Suhu dan Kelembapan.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan dan dapat digunakan sebagai referensi karya tulis ilmiah.
2. Memberikan solusi tambahan dalam pengembangan alat pemantauan kualitas udara dengan biaya rendah.
3. Menjadikan penelitian ini sebagai referensi untuk mengembangkan alat monitoring kualitas udara lebih lanjut.