



Perancangan Sistem Pemantauan dan Pengendalian Debu Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Parameter Kelembaban Lingkungan Menggunakan Sensor DHT11

Heruman¹, Tata Sutabri²

Universitas Bina Darma ^{1,2}

e-mail: heruman032@gmail.com

Abstract

Increasing industrial activities and high traffic density contribute to a significant rise in dust levels in the surrounding environment, which can have negative impacts on human health and overall environmental quality. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based dust monitoring and control system by considering environmental humidity parameters. The system employs an ESP8266/ESP32 microcontroller as the main data processing unit, a dust sensor to detect the concentration of airborne particulate matter, and a DHT11 sensor to measure air temperature and humidity. The collected data are transmitted in real time to an IoT platform via the internet, enabling remote monitoring. In addition, the system is equipped with actuators such as fans or water sprayers that operate automatically to control dust levels based on predefined threshold values. Experimental results indicate that the proposed system is capable of accurately monitoring environmental conditions and responsively controlling dust levels in accordance with changes in ambient humidity.

Keywords: Internet of Things, Dust Monitoring, Humidity, DHT11, ESP8266.

Abstrak

Aktivitas industri yang semakin meningkat serta tingginya kepadatan lalu lintas berkontribusi terhadap peningkatan kadar debu di lingkungan sekitar, yang dapat berdampak negatif terhadap kesehatan manusia dan kualitas lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan serta pengendalian debu berbasis Internet of Things (IoT) dengan mempertimbangkan parameter kelembaban lingkungan. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP8266/ESP32 sebagai pusat pengolahan data, sensor debu untuk mendeteksi konsentrasi partikel debu di udara, serta sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara. Data hasil pengukuran dikirimkan secara real-time ke platform IoT melalui jaringan internet sehingga memungkinkan pemantauan jarak jauh. Selain itu, sistem dilengkapi dengan aktuator berupa kipas atau penyemprot air yang bekerja secara otomatis untuk mengendalikan debu berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memantau kondisi lingkungan secara akurat dan melakukan pengendalian debu secara responsif sesuai dengan perubahan kelembaban udara di lingkungan sekitar.

Kata Kunci: Internet of Things, Pemantauan Debu, Kelembaban, DHT11, ESP8266.

PENDAHULUAN

Kualitas udara merupakan salah satu aspek lingkungan yang memiliki peran sangat penting dalam menunjang kesehatan manusia, kenyamanan hidup, serta keberlanjutan ekosistem. Udara yang bersih dan bebas dari pencemar akan memberikan dampak positif terhadap aktivitas sehari-hari, sedangkan udara yang tercemar dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan dan lingkungan. Salah satu bentuk pencemaran udara yang paling umum adalah keberadaan debu atau partikel tersuspensi di udara. Debu umumnya berasal dari aktivitas industri, proyek pembangunan, pembakaran bahan bakar fosil, serta emisi kendaraan bermotor yang jumlahnya terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan urbanisasi. Kondisi ini menyebabkan peningkatan konsentrasi partikel debu di udara, terutama di kawasan perkotaan dan industri, sehingga kualitas udara menjadi semakin menurun.

Paparan debu dalam jangka waktu yang panjang dapat memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia, khususnya pada sistem pernapasan. Partikel debu berukuran kecil dapat masuk ke saluran pernapasan dan paru-paru, menyebabkan iritasi, infeksi, asma, bronkitis, serta penyakit paru-paru kronis. Selain itu, kualitas udara yang buruk juga dapat menurunkan produktivitas kerja, mengganggu kenyamanan hidup, dan meningkatkan biaya kesehatan masyarakat. Organisasi Kesehatan Dunia menyatakan bahwa pencemaran udara merupakan salah satu faktor risiko utama terhadap berbagai penyakit pernapasan dan kardiovaskular (World Health Organization, 2006). Oleh karena itu, pemantauan dan pengendalian kadar debu di udara menjadi hal yang sangat penting untuk menjaga kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Pemantauan kualitas udara secara konvensional umumnya masih mengandalkan stasiun pemantauan tetap dengan biaya instalasi dan perawatan yang relatif tinggi. Selain itu, jumlah stasiun pemantauan yang terbatas menyebabkan data kualitas udara tidak dapat mewakili kondisi lingkungan secara menyeluruh dan berkelanjutan. Informasi yang diperoleh sering kali tidak tersedia secara real-time, sehingga respons terhadap kondisi pencemaran menjadi kurang optimal. Keterbatasan ini mendorong perlunya pengembangan sistem pemantauan kualitas udara yang lebih fleksibel, efisien, dan mampu memberikan data secara langsung serta mudah diakses. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan solusi yang menjanjikan dalam bidang pemantauan lingkungan. IoT merupakan konsep yang mengintegrasikan berbagai objek fisik yang dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan konektivitas jaringan untuk mengumpulkan serta bertukar data melalui internet (Ashton, 2009). Dengan memanfaatkan IoT, sistem pemantauan kualitas udara dapat dirancang untuk bekerja secara otomatis, kontinu, dan real-time. Data yang diperoleh dari sensor dapat langsung dikirimkan ke server atau platform IoT dan ditampilkan melalui

antarmuka web atau aplikasi mobile, sehingga memudahkan pemantauan dari jarak jauh (Atzori et al., 2010). Selain itu, IoT juga memungkinkan integrasi antara sistem pemantauan dan sistem kontrol, sehingga tindakan pengendalian dapat dilakukan secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan.

Salah satu faktor lingkungan yang memengaruhi konsentrasi debu di udara adalah kelembaban. Kelembaban udara berperan dalam proses penyebaran, penggumpalan, dan pengendapan partikel debu. Pada kondisi kelembaban tinggi, partikel debu cenderung menyerap uap air, menjadi lebih berat, dan mengendap ke permukaan sehingga konsentrasi debu di udara berkurang. Sebaliknya, pada kondisi kelembaban rendah, partikel debu lebih mudah tersebar dan bertahan lebih lama di udara. Oleh karena itu, pengukuran kelembaban udara menjadi parameter penting dalam sistem pemantauan dan pengendalian debu.

Sensor DHT11 merupakan salah satu sensor yang umum digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara dalam sistem berbasis IoT. Sensor ini memiliki keunggulan berupa harga yang relatif murah, konsumsi daya yang rendah, serta kemudahan integrasi dengan berbagai mikrokontroler. Meskipun tingkat akurasi tidak setinggi sensor kelas industri, DHT11 tetap banyak digunakan dalam penelitian dan aplikasi pemantauan lingkungan skala kecil hingga menengah (Agarwal & Gupta, 2019). Penggunaan sensor ini memungkinkan sistem untuk menganalisis hubungan antara kelembaban udara dan konsentrasi debu secara efektif.

Selain sensor kelembaban, sistem pemantauan kualitas udara juga memerlukan sensor debu untuk mendeteksi konsentrasi partikel di udara. Sensor debu umumnya bekerja berdasarkan prinsip optik, yaitu dengan memanfaatkan cahaya inframerah dan fotodiode. Partikel debu yang melewati ruang sensor akan memantulkan cahaya inframerah, dan pantulan tersebut diterjemahkan menjadi sinyal listrik yang menunjukkan tingkat konsentrasi debu (Wang et al., 2018). Sensor debu banyak digunakan karena memiliki ukuran yang kecil, respons yang cepat, dan mudah diintegrasikan dengan sistem berbasis mikrokontroler.

Mikrokontroler ESP8266 dan ESP32 merupakan perangkat yang sangat populer dalam pengembangan sistem IoT. Kedua mikrokontroler ini telah dilengkapi dengan modul Wi-Fi terintegrasi, sehingga memungkinkan koneksi langsung ke jaringan internet tanpa memerlukan perangkat tambahan. Selain itu, ESP8266 dan ESP32 memiliki kemampuan pemrosesan yang cukup baik, konsumsi daya yang rendah, serta kompatibilitas yang luas dengan berbagai sensor dan aktuator. Dalam sistem pemantauan lingkungan, mikrokontroler ini berfungsi sebagai pusat pengolahan data sensor dan pengirim data ke platform IoT (Kolban, 2018). Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan

untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan serta pengendalian debu berbasis Internet of Things (IoT) dengan mempertimbangkan parameter kelembaban lingkungan. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memantau konsentrasi debu, suhu, dan kelembaban udara secara real-time, serta melakukan pengendalian debu secara otomatis melalui aktuator seperti kipas atau penyemprot air.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Metode ini dilakukan dengan merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem pemantauan serta pengendalian debu berbasis IoT. Pengujian dilakukan pada berbagai kondisi lingkungan dengan variasi tingkat kelembaban udara untuk menganalisis pengaruhnya terhadap konsentrasi debu. Sistem terdiri dari sensor debu dan sensor DHT11 sebagai input, mikrokontroler ESP8266/ESP32 sebagai pusat pemrosesan data, jaringan internet sebagai media transmisi, serta platform IoT sebagai media pemantauan data. Selain itu, sistem dilengkapi dengan aktuator berupa kipas DC atau penyemprot air yang berfungsi untuk mengendalikan debu secara otomatis ketika nilai konsentrasi debu melebihi ambang batas yang telah ditentukan.

Perangkat lunak yang digunakan dalam sistem ini meliputi Arduino IDE sebagai lingkungan pemrograman mikrokontroler, serta platform IoT seperti ThingSpeak atau Blynk untuk menampilkan data hasil pengukuran secara real-time. Data yang diperoleh dari sensor diproses oleh mikrokontroler dan dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi ke platform IoT. Sistem kemudian membandingkan nilai konsentrasi debu dengan ambang batas yang telah ditetapkan. Apabila nilai debu melebihi ambang batas, maka aktuator akan diaktifkan untuk mengurangi konsentrasi debu, dan akan dinonaktifkan kembali ketika kondisi lingkungan telah kembali normal. Pengujian dilakukan dengan membandingkan data sensor pada kondisi lingkungan yang berbeda untuk melihat respons sistem terhadap perubahan kadar debu dan kelembaban.

PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Sensor DHT11

Pengujian sensor DHT11 dilakukan untuk mengetahui performa pembacaan suhu dan kelembaban lingkungan. Data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1
Hasil Pengujian Sensor DHT11

No	Waktu Pengujian	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
1	08.00	28	65
2	10.00	30	60

No	Waktu Pengujian	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
3	12.00	32	55
4	14.00	33	50

Sumber: Data diolah, 2025

Hasil Pengujian Sensor Debu

Pengujian sensor debu dilakukan pada kondisi lingkungan yang berbeda. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2
Hasil Pengujian Sensor Debu

No	Kelembaban (%)	Konsentrasi Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Status Aktuator
1	65	120	OFF
2	60	180	OFF
3	55	260	ON
4	50	320	ON

Sumber: Data diolah, 2025

Analisis Hasil

Pembahasan Hasil Pengujian Sensor DHT11

Pengujian sensor DHT11 dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sensor dalam membaca suhu dan kelembaban udara sebagai parameter pendukung dalam sistem pemantauan dan pengendalian debu berbasis Internet of Things (IoT). Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 1, terlihat bahwa sensor DHT11 mampu merekam perubahan suhu dan kelembaban secara bertahap sesuai dengan waktu pengujian. Pada pukul 08.00, suhu tercatat sebesar 28 °C dengan kelembaban 65%, kemudian suhu meningkat secara bertahap hingga mencapai 33 °C pada pukul 14.00, sementara kelembaban menurun hingga 50%. Pola perubahan ini merupakan karakteristik umum kondisi lingkungan harian, khususnya di area terbuka, di mana peningkatan intensitas radiasi matahari menyebabkan suhu meningkat dan kelembaban udara menurun (Ahrens, 2012).

Konsistensi perubahan nilai suhu dan kelembaban yang terbaca menunjukkan bahwa sensor DHT11 mampu merespons dinamika lingkungan dengan baik. Meskipun sensor ini memiliki resolusi dan akurasi yang lebih rendah dibandingkan sensor profesional, hasil pengujian membuktikan bahwa performanya cukup memadai untuk aplikasi pemantauan lingkungan berbasis IoT yang bersifat ekonomis dan non-industri berat. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Agarwal dan Gupta (2019), yang menyatakan bahwa sensor DHT11 dapat digunakan secara efektif dalam sistem pemantauan lingkungan selama batas toleransi kesalahan masih dapat diterima.

Hubungan terbalik antara suhu dan kelembaban yang teramati juga memperkuat validitas pembacaan sensor. Menurut teori termodinamika

atmosfer, peningkatan suhu udara akan menurunkan kelembaban relatif apabila tidak disertai dengan penambahan uap air (Wallace dan Hobbs, 2006). Dengan demikian, data yang dihasilkan oleh sensor DHT11 dapat dikatakan sesuai dengan kondisi fisik atmosfer yang sebenarnya. Hal ini menunjukkan bahwa sensor DHT11 layak digunakan sebagai sumber data kelembaban dalam sistem kontrol debu berbasis IoT.

Kestabilan data yang dihasilkan oleh sensor DHT11 berperan penting dalam sistem IoT, karena data tersebut digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam sistem kontrol. Ketidakakuratan pembacaan kelembaban dapat menyebabkan kesalahan interpretasi kondisi lingkungan dan berdampak pada efektivitas pengendalian debu. Oleh karena itu, meskipun sensor DHT11 tergolong sensor sederhana, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan data yang cukup andal untuk mendukung tujuan penelitian.

Pembahasan Hasil Pengujian Sensor Debu

Hasil pengujian sensor debu yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan adanya variasi konsentrasi debu pada kondisi kelembaban udara yang berbeda. Pada kelembaban 65%, konsentrasi debu tercatat sebesar $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan sistem kontrol tidak mengaktifkan aktuator. Ketika kelembaban menurun menjadi 60%, konsentrasi debu meningkat menjadi $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, namun masih berada di bawah ambang batas yang telah ditetapkan. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada tingkat kelembaban yang relatif tinggi, partikel debu di udara cenderung lebih sedikit.

Pada kondisi kelembaban 55%, konsentrasi debu meningkat secara signifikan hingga mencapai $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai ini telah melampaui ambang batas konsentrasi debu sebesar $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sehingga sistem kontrol secara otomatis mengaktifkan aktuator. Hal serupa terjadi pada kelembaban 50%, di mana konsentrasi debu mencapai $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan aktuator tetap berada dalam kondisi aktif. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor debu mampu mendeteksi perubahan konsentrasi partikel secara responsif dan sistem kontrol dapat bekerja sesuai dengan perancangan.

Peningkatan konsentrasi debu pada kelembaban rendah dapat dijelaskan melalui mekanisme fisik partikel di atmosfer. Pada kelembaban rendah, partikel debu memiliki ukuran dan massa yang relatif kecil sehingga mudah terdispersi dan bertahan lebih lama di udara (Seinfeld dan Pandis, 2016). Sebaliknya, pada kelembaban tinggi, partikel debu menyerap uap air, mengalami koagulasi, dan lebih cepat mengendap ke permukaan, sehingga konsentrasi debu di udara menurun (Hinds, 1999). Pola ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kelembaban udara merupakan faktor penting dalam distribusi partikel debu di atmosfer (Zhang et al., 2015).

Keberhasilan sensor debu dalam mendeteksi variasi konsentrasi debu menunjukkan bahwa sensor yang digunakan memiliki sensitivitas yang cukup baik untuk aplikasi pemantauan lingkungan. Sensor debu berbasis optik banyak digunakan dalam sistem IoT karena mampu memberikan respons cepat terhadap perubahan kondisi udara dan mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler (Wang et al., 2018). Dengan demikian, sensor debu yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikatakan sesuai untuk mendukung sistem pemantauan dan pengendalian debu secara otomatis.

Analisis Kinerja Sistem Kontrol dan Integrasi IoT

Analisis hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pemantauan dan pengendalian debu berbasis IoT yang dikembangkan mampu bekerja sesuai dengan tujuan perancangan. Sistem kontrol menggunakan ambang batas konsentrasi debu sebesar 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sebagai parameter utama dalam pengambilan keputusan. Ketika konsentrasi debu berada di bawah ambang batas, aktuator berada dalam kondisi nonaktif, sedangkan ketika konsentrasi debu melebihi ambang batas, aktuator akan aktif secara otomatis. Mekanisme ini menunjukkan bahwa sistem kontrol bersifat responsif dan efisien, karena aktuator hanya bekerja ketika diperlukan.

Pendekatan kontrol berbasis ambang batas ini banyak digunakan dalam sistem IoT karena sederhana, mudah diimplementasikan, dan cukup efektif untuk aplikasi lingkungan (Gubbi et al., 2013). Selain itu, penggunaan ambang batas memungkinkan penghematan energi dan memperpanjang umur komponen aktuator, karena sistem tidak bekerja secara terus-menerus. Hasil pengujian membuktikan bahwa sistem mampu membedakan kondisi lingkungan yang aman dan tidak aman berdasarkan nilai konsentrasi debu yang terukur. Integrasi sistem dengan platform IoT memungkinkan data hasil pengukuran suhu, kelembaban, dan konsentrasi debu ditampilkan secara real-time dalam bentuk grafik dan tabel. Penyajian data secara visual memudahkan pengguna dalam memantau kondisi lingkungan dan mengidentifikasi tren perubahan kualitas udara. Kemampuan pemantauan real-time merupakan salah satu keunggulan utama IoT dibandingkan sistem pemantauan konvensional, karena memungkinkan respons yang lebih cepat terhadap kondisi lingkungan yang berpotensi berbahaya (Atzori et al., 2010).

Pengaruh kelembaban terhadap konsentrasi debu yang teramati dalam penelitian ini menegaskan pentingnya memasukkan parameter kelembaban dalam sistem kontrol debu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kelembaban yang lebih tinggi, konsentrasi debu cenderung lebih rendah, sedangkan pada kelembaban rendah, konsentrasi debu meningkat secara signifikan. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kim et al. (2014), yang menyatakan bahwa kelembaban udara memiliki korelasi negatif terhadap konsentrasi partikel debu di udara ambien.

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantauan, tetapi juga sebagai sistem kontrol adaptif yang mempertimbangkan kondisi lingkungan secara menyeluruh. Penggunaan sensor DHT11 sebagai sumber data kelembaban dan sensor debu sebagai indikator utama kualitas udara terbukti mampu mendukung kinerja sistem kontrol debu secara otomatis. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem berbasis IoT memiliki potensi besar untuk diterapkan sebagai solusi pemantauan dan pengendalian kualitas udara yang efisien, terjangkau, dan mudah diimplementasikan di berbagai lingkungan, khususnya di kawasan industri dan pemukiman padat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan dan pengendalian debu berbasis Internet of Things (IoT) dengan parameter kelembaban menggunakan sensor DHT11 berhasil diimplementasikan dan berfungsi dengan baik. Sistem ini mampu memantau kondisi lingkungan secara real-time, mendeteksi perubahan konsentrasi debu, serta mengaktifkan aktuator secara otomatis ketika nilai debu melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan adanya pengaruh kelembaban terhadap konsentrasi debu, di mana debu cenderung meningkat pada kelembaban rendah. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dinilai efektif sebagai solusi pemantauan dan pengendalian debu, serta masih berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan penggunaan sensor yang lebih akurat dan integrasi aplikasi mobile guna meningkatkan kemudahan pemantauan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, A. and Gupta, S. (2019) 'IoT-based smart environmental monitoring system', *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8(4), pp. 1-5.
- Ahrens, C.D. (2012) *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. 10th edn. Belmont: Brooks/Cole.
- Ashton, K. (2009). That "Internet of Things" thing. *RFID Journal*, 22(7), 97-114.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. and Palaniswami, M. (2013) 'Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions', *Future Generation Computer Systems*, 29(7), pp. 1645-1660.
- Hinds, W.C. (1999) *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*. 2nd edn. New York: Wiley.
- Kim, K.H., Kabir, E. and Kabir, S. (2014) 'A review on the human health impact

- of airborne particulate matter', *Environment International*, 74, pp. 136–143.
- Kolban, N. (2018). *ESP32 Technical Reference Manual*. Espressif Systems.
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change* (3rd ed.). Wiley.
- Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N. (2016) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. 3rd edn. Hoboken: Wiley.
- Wallace, J.M. and Hobbs, P.V. (2006) *Atmospheric Science: An Introductory Survey*. 2nd edn. Amsterdam: Elsevier.
- Wang, Y., Li, J., & Jing, H. (2018). Air quality monitoring using optical dust sensors. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(5), 1–10.
- World Health Organization. (2006). *Air quality guidelines: Global update 2005*. WHO Press..
- Zhang, R., Jing, J., Tao, J. and Hsu, S.C. (2015) 'Chemical characterization and source apportionment of PM_{2.5} in Beijing', *Atmospheric Environment*, 107, pp. 252–262.