

Sistem Pemantauan *Real-Time* Berbasis *Internet of Things* pada Transmisi *Free-Space Optics*

1st Mulya Nanda
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
mulyananda05@gmail.com

2nd Rina Pudji Astuti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id

3rd Akhmad Hambali
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ahambali@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Perkembangan kebutuhan akan transmisi data berkecepatan tinggi menuntut sistem komunikasi yang andal, salah satunya adalah teknologi *Free-Space Optics* (FSO). Namun, performa FSO sangat rentan terhadap perubahan kondisi lingkungan seperti hujan dan debu yang menyebabkan atenuasi sinyal secara signifikan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan solusi berupa sistem pemantauan *real-time* berbasis *Internet of Things* (IoT) guna mendeteksi dan menganalisis faktor lingkungan yang memengaruhi kualitas transmisi optik. Metode yang digunakan melibatkan integrasi beberapa sensor lingkungan, termasuk sensor curah hujan dan debu dengan mikrokontroler ESP8266 yang terhubung ke platform web menggunakan layanan Supabase. Data dikumpulkan secara berkala dan dianalisis untuk mengetahui hubungan antara kondisi cuaca dengan nilai redaman sinyal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi fluktuasi kondisi lingkungan secara akurat dan *real-time*, dengan pola atenuasi yang sesuai dengan intensitas hujan dan tingkat polusi udara. Keunggulan sistem ini terletak pada kemampuannya melakukan monitoring otomatis dan integrasi data berbasis *cloud*. Namun demikian, sistem masih memiliki keterbatasan dalam akurasi pengukuran sensor pada kondisi ekstrem serta keterbatasan daya jangkauan jaringan Wi-Fi di area luas.

Kata kunci — IoT, FSO, sensor debu, sensor hujan, atenuasi sinyal

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi yang pesat telah mendorong kebutuhan akan sistem transmisi data yang handal dan efisien, khususnya pada jaringan optik akses seperti *Free-Space Optics* (FSO). Namun, FSO memiliki keterbatasan performa akibat faktor lingkungan seperti hujan, debu, dan kabut yang dapat memicu gangguan tersebut melalui mekanisme hamburan dan penyerapan cahaya[1]. Tantangan ini menimbulkan kebutuhan akan sistem yang mampu memantau kondisi lingkungan secara *real-time* untuk menjaga kestabilan kinerja transmisi.

Sistem *Internet of Things* (IoT) memungkinkan perangkat seperti sensor curah hujan dan debu terhubung dan bertukar data melalui internet tanpa campur tangan manusia secara langsung. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk mengoptimalkan operasional jaringan dan memberikan notifikasi dini terhadap gangguan lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring lingkungan berbasis IoT yang mendukung kestabilan jaringan FSO. Sistem ini dilengkapi dengan sensor yang masing-masing

terintegrasi ke mikrokontroler. Output dari setiap sensor akan dianalisis untuk mengetahui atenuasi akibat dari perubahan kondisi lingkungan, data kemudian dikirimkan ke platform *website* untuk pemantauan data secara *real-time*.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Konsep Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang mengacu pada keterhubungan berbagai perangkat fisik melalui jaringan internet, sehingga perangkat-perangkat tersebut dapat saling bertukar data tanpa interaksi langsung dari manusia. Dalam konteks sistem yang dirancang, IoT berperan penting sebagai penghubung antara sensor-sensor lingkungan dengan sistem monitoring yang bertugas menganalisis atenuasi yang dihasilkan setiap kondisi cuaca perubahan kondisi di sekitar sistem transmisi *Free-Space Optics* (FSO).

B. Sensor dan Fungsinya

a) Mikrokontroler (ESP8266)

ESP8266 adalah modul Wi-Fi hemat biaya yang digunakan dalam berbagai aplikasi IoT. Modul ini mendukung protokol komunikasi seperti MQTT dan dapat digunakan dalam jaringan mesh tanpa memerlukan router tambahan. Sebuah studi menunjukkan bahwa ESP8266 dapat digunakan untuk membangun jaringan mesh yang efisien untuk pemantauan lingkungan secara *real-time* [2].

b) Sensor Debu (GPY1010AU0F)

Sensor ini digunakan dalam sistem yang dirancang untuk memantau kualitas udara dengan mengukur partikel seperti PM2.5 dan PM10 [3]. Sensor digunakan untuk mengukur pengaruh debu terhadap penurunan daya transmisi, digunakan parameter densitas debu yang diperoleh dari sensor debu. Nilai ini kemudian digunakan dalam perhitungan *attenuation loss* akibat partikel, dengan menggunakan rumus berikut [4]:

$$\beta = 3.91 \times \left(\frac{\lambda}{550}\right)^{-q} \times \text{dust density} \quad (1)$$

Dimana β adalah koefisien redaman hamburan dinyatakan dalam satuan dB/km, λ adalah panjang gelombang sinyal dalam satuan nanometer (nm), q adalah indeks visibilitas atmosfer yang ditentukan berdasarkan kondisi atmosfer sekitar. Nilai q ini bervariasi tergantung pada kondisi

atmosfer. Berikut adalah keterangan untuk mengetahui nilai q berdasarkan kondisi atmosfer [5]:

- 1.6, for > 50 Km
- 1.3, for $6 - 50$ Km
- 0.5, for < 6 km

c) Sensor Curah Hujan (Tipping Bucket)

Sensor ini menggunakan Hall Effect untuk mendeteksi perubahan medan magnet yang dihasilkan oleh pergerakan mekanis, seperti dalam ombrometer. Sensor berbasis Hall Effect seperti A3114 dapat digunakan untuk mendeteksi getaran dan pergerakan, menjadikannya cocok untuk aplikasi pengukuran curah hujan [6]. Untuk mengetahui intensitas hujan dari data yang diperoleh oleh sensor, digunakan perhitungan berdasarkan jumlah tipping yang terjadi selama interval waktu satu menit. Curah hujan total dihitung dengan mengalikan jumlah tipping dengan nilai curah hujan per tipping (0,7 mm). Kemudian guna mendapatkan intensitas hujan dalam milimeter per jam (mm/jam) digunakan persamaan :

$$\text{Rain Intensity} = \frac{\text{Curah Hujan (mm)}}{\text{Interval Waktu}} \times 60 \quad (2)$$

III. METODE

A. Identifikasi Kebutuhan Sistem

Dilakukan melalui studi literatur untuk menentukan parameter lingkungan yang relevan terhadap gangguan FSO. Fokus penelitian adalah perancangan sistem pemantauan kondisi lingkungan yang dapat mendukung kestabilan transmisi jaringan FSO melalui pendeteksian gangguan cuaca dan partikel atmosfer secara *real-time*.

B. Pengembangan dan Integrasi Perangkat Keras dan Lunak

Instalasi sensor dilakukan pada prototipe pemancar FSO dengan menempatkan sensor curah hujan dan debu di titik strategis untuk memantau kondisi lingkungan sekitar. Output data dari setiap pembacaan sensor dikirim melalui mikrokontroler (ESP8266) ke server berbasis *website*.

C. Simulasi dan Analisis

Metode analisis yang digunakan adalah metode deskriptif kuantitatif. Data sensor yang terekam dievaluasi berdasarkan perubahan nilai parameter terhadap waktu kemudian disesaukain dengan parameter atenuasi kondisi lingkungan.

TABEL 1
Parameter Cuaca

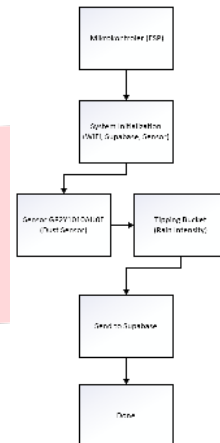
Kondisi Cuaca	Atenuasi
Cerah	0,23 dB/km
Hujan Ringan	6,28 dB/km
Hujan Sedang	9,65 dB/km
Hujan Berat	19,27 dB/km
Kabut Tipis	0,55 dB/km
Kondisi Cuaca	Atenuasi
Kabut Tebal	2,37 dB/km
Polusi	15,5 dB/km

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan sistem, diperoleh dua parameter lingkungan yang paling berpengaruh terhadap performa transmisi FSO, yaitu curah hujan dan konsentrasi debu. Selanjutnya fokus utama analisis pada penelitian ini adalah mengkaji pengaruh atenuasi yang ditimbulkan oleh dua kondisi tersebut terhadap performa transmisi cahaya pada sistem FSO.

A. Desain Sistem

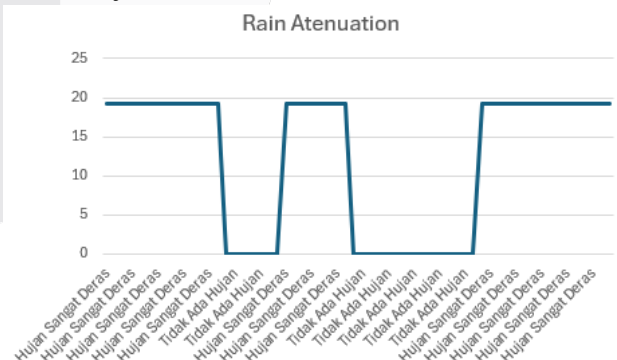
GAMBAR 1
Blok Sistem IoT



Gambar di atas menjelaskan alur sistematis dari proses pemantauan lingkungan yang diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP8266. Proses diawali dengan inisialisasi sistem yang mencakup pengaktifan koneksi Wi-Fi, integrasi dengan Supabase sebagai layanan basis data, serta inisialisasi sensor-sensor yang digunakan. Setelah sistem berhasil dilakukan inisialisasi, data lingkungan mulai dikumpulkan dari dua jenis sensor GP2Y1010AU0F untuk konsentrasi partikel debu dan sensor tipping bucket untuk intensitas hujan untuk pencatatan intensitas curah hujan. Seluruh data dari sensor-sensor ini kemudian dikirimkan ke Supabase dan divisualisasikan pada *website*.

B. Hasil Simulasi dan Analisis

a) Sensor Hujan

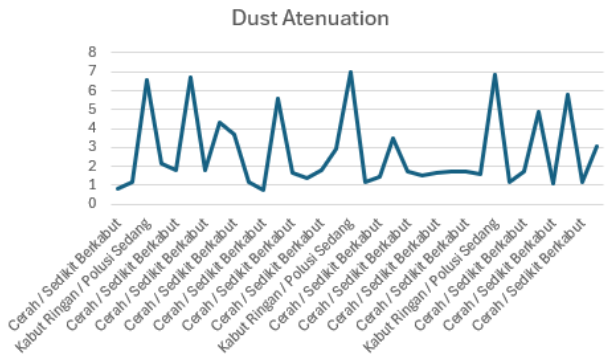


GAMBAR 1
Gambar Pengukuran Sensor Hujan

Grafik data sensor menunjukkan tren perubahan nilai redaman atau atenuasi sinyal akibat kondisi hujan selama proses pengujian. Dalam grafik tersebut terlihat bahwa ketika terjadi hujan sangat deras, nilai redaman sinyal mencapai angka yang tinggi, yaitu sekitar 20 dB.

Sebaliknya, ketika kondisi cuaca tidak ada hujan, nilai redaman turun drastis hingga mendekati 0 dB. Pola ini terus berulang mengikuti perubahan kondisi cuaca, menunjukkan bahwa sensor atau sistem pengukuran mampu mendeteksi dan merekam perubahan redaman dan responsif terhadap intensitas hujan.

b) Sensor Debu



GAMBAR 2
Hasil pengukuran Sensor Debu

Grafik data sensor menunjukkan tren perubahan nilai redaman sinyal (attenuation) akibat kondisi atmosfer berdebu atau berkabut selama proses pengujian. Terlihat bahwa ketika kondisi cuaca mengalami kabut ringan atau tingkat polusi sedang, nilai redaman sinyal cenderung meningkat dan mencapai angka yang cukup tinggi, yaitu sekitar 7 dB. Sebaliknya, saat kondisi cuaca cerah atau hanya sedikit berkabut, nilai redaman menurun secara signifikan hingga mendekati 1 dB. Pola fluktuasi ini terus berulang seiring perubahan kondisi lingkungan, menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi dan merekam perubahan intensitas partikel di udara secara responsif.

TABEL 2
Realisasi Sistem IoT

No	Sensor	Parameter Keluaran	Analisis
1	Sensor Curah Hujan (Tipping Bucket)	Intensitas hujan (mm/jam), redaman (dB/km)	Akurat mendeteksi hujan, mampu klasifikasi
2	Sensor Debu (GP2Y1010AU0F)	Dust density (mg/m³), klasifikasi redaman	Output fluktuatif & responsif

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan implementasi sistem, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan lingkungan berbasis Internet of Things (IoT) yang dikembangkan mampu

memantau kondisi cuaca secara real-time dan memberikan data yang akurat terhadap parameter yang memengaruhi performa transmisi FSO. Sistem ini berhasil mengintegrasikan sensor suhu, kelembapan, debu, dan curah hujan ke dalam sebuah platform monitoring berbasis web menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan layanan Supabase. Hasil pengujian menunjukkan bahwa intensitas hujan dan konsentrasi debu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai atenuasi sinyal optik, di mana nilai redaman meningkat secara nyata pada kondisi hujan lebat maupun saat polusi udara tinggi. Dengan demikian, sistem yang dirancang terbukti responsif dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan dan mampu memberikan informasi penting untuk menjaga kestabilan kinerja transmisi FSO.

REFERENSI

[1] H. Y. Ahmed, M. Zeghid, A. N. Khan, dan S. A. Abd El-Mottaleb, "Fuzzy Logic-Based Performance Enhancement of FSO Systems Under Adverse Weather Conditions," *Photonics*, vol. 12, no. 5, Art. no. 495, May 2025.

[2] L. Santos, T. Costa, J. M. L. P. Caldeira, and V. N. G. J. Soares, "Performance assessment of ESP8266 wireless mesh networks," *Information*, vol. 13, no. 5, p. 210, Apr. 2022, doi: 10.3390/info13050210.

[3] A. Hartono, D. I. Widodo, S. T. H. Putri, R. Zainul, M. Abdullah, A. Zikri, and I. A. Laghari, "Development of an integrated air quality monitoring system for temperature, humidity, CO, and PM10 measurement," *Asian Journal of Green Chemistry*, vol. 8, no. 3, pp. 319–335, 2024, doi: 10.48309/ajgc.2024.445430.1481.

[4] T. Subekti, A. F. Isnawati, and D. Zulherman, "Optimization Free-Space Optics (FSO) Design with Kim Model Using Space Diversity," *Jurnal Infotel*, vol. 11, no. 3, pp. 93–98, Aug. 2019, doi: 10.20895/infotel.v11i3.444.

[5] A. A. Anis, C. B. M. Rashidi, A. K. Rahman, S. A. Aljunid, and N. Ali, "Analysis of the effect of BER and *Q-Factor* on Free-Space Optical communication system using diverse wavelength technique," in *EPJ Website of Conferences*, vol. 162, p. 01024, 2017, doi: 10.1051/epjconf/201716201024.

[6] M. G. Lawrence, "The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air: A Simple Conversion and Applications," *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 86, no. 2, pp. 225–233, Feb. 2005, doi: 10.1175/BAMS-86-2-225