

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Free Space Optic (FSO) merupakan teknologi komunikasi optik nirkabel yang menggunakan cahaya sebagai media transmisi data melalui udara. Teknologi ini menawarkan kecepatan tinggi, bandwidth lebar, serta biaya operasional yang lebih ekonomis dibandingkan kabel serat optik. FSO menjadi solusi potensial bagi kebutuhan komunikasi modern, terutama di wilayah yang sulit dijangkau oleh infrastruktur kabel.

Namun, performa sistem FSO sangat dipengaruhi oleh kondisi atmosfer. Kabut, hujan, debu, dan turbulensi udara (*scintillation*) dapat mengakibatkan pelemahan sinyal dan fluktuasi daya terima, yang berdampak pada peningkatan *Bit Error Rate* (BER). Parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas transmisi dalam sistem ini adalah *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dan *Q-factor*. Semakin tinggi nilai SNR dan *Q-factor*, semakin rendah nilai BER yang menunjukkan transmisi data yang andal.

Permasalahan utama muncul ketika sistem harus beroperasi dalam kondisi cuaca yang dinamis dan tidak menentu. Perhitungan konvensional menggunakan model teoretis memiliki keterbatasan dalam menangani variabilitas lingkungan yang kompleks dan bersifat *non-linear*. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih adaptif dan cerdas.

Salah satu solusi efektif adalah penerapan *machine learning* (ML). Dengan kemampuan dalam mengenali pola dari data historis atau simulasi, ML mampu memodelkan hubungan kompleks antara parameter cuaca dengan performa sistem optik seperti BER, SNR, dan *Q-factor*. Algoritma seperti *Random Forest* memungkinkan prediksi cepat dan akurat tanpa perlu merumuskan ulang hubungan matematis antar variabel. Dengan demikian, ML memberikan fleksibilitas, efisiensi, dan adaptabilitas dalam mengoptimalkan kinerja sistem FSO secara real-time di berbagai kondisi cuaca.

1.2 Analisis Masalah

Masalah utama yang memengaruhi kinerja FSO pada sisi pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*) adalah penurunan kualitas daya sinyal optik atau *loss* sepanjang jalur transmisi. Penurunan ini terjadi karena daya yang dipancarkan oleh *transmitter* melemah saat merambat melalui atmosfer, sehingga sinyal yang diterima oleh *receiver* menjadi sangat lemah atau bahkan tidak terdeteksi. Hal ini berdampak pada peningkatan BER, yang merupakan salah satu parameter utama dalam mengukur kualitas sistem komunikasi optik dan mengakibatkan berbagai aspek. Berikut adalah rincian dari aspek-aspek tersebut.

1.2.1 Aspek Lingkungan

Faktor lingkungan seperti kabut, hujan, dan debu berpengaruh signifikan terhadap kualitas sinyal optik yang ditransmisikan. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas sinyal, seperti peningkatan *bit error rate* dan penurunan *Q-factor* [1][2]. Selain itu, turbulensi atmosfer menyebabkan *scintillation* yang berkurang, sehingga mengurangi kualitas sinyal yang diterima [3][4]. Kinerja sistem FSO sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, yang dapat mengurangi jangkauan dan keandalan komunikasi [5]. Polusi dan debu di udara juga dapat mengganggu kualitas sinyal FSO, meskipun pengaruh ini sering kali kurang diperhatikan dalam penelitian [4].

1.2.2 Aspek Teknologi

Salah satu permasalahan utama pada sistem FSO adalah belum tersedianya mekanisme adaptasi otomatis terhadap gangguan atmosfer yang menyebabkan penurunan kualitas sinyal. Sistem FSO pada umumnya menggunakan pengaturan tetap (*fixed*) untuk parameter transmisi seperti daya pancar, jenis modulasi, dan konfigurasi jarak, tanpa adanya penyesuaian *real-time* terhadap perubahan kondisi lingkungan. Hal ini menyebabkan sistem menjadi kurang responsif terhadap penurunan performa kanal akibat fenomena atmosfer seperti kabut, hujan, dan turbulensi udara [6].

1.2.3 Aspek Ekonomi

Studi menyarankan penggunaan Spatial Diversity dengan selection combining, yaitu pemanfaatan beberapa jalur FSO dan memilih sinyal terbaik untuk menjaga koneksi saat cuaca buruk [7]. Teknik lain seperti Double-MIMO juga dapat meningkatkan jarak dan keandalan sinyal [8]. Namun, dari sisi ekonomi, meskipun kedua teknik ini efektif, keduanya memerlukan biaya tambahan, sehingga menjadi pertimbangan penting dalam implementasi sistem FSO.

Tabel 1. 1 Analisis Perbandingan Solusi Penelitian Sebelumnya

Aspek	<i>Spatial Diversity-Based FSO Links under Adverse Weather Conditions</i> [7]	<i>Performance Analysis of Double-MIMO FSO System under Atmospheric Turbulence</i> [8]	<i>Using Machine Learning Algorithms for Accurate Received Optical Power Prediction of an FSO Link</i> [2]
Kelebihan	1. Meningkatkan keandalan dan kapasitas dengan <i>Spatial Diversity</i> dan OAM <i>Multiplexing</i>	1. Meningkatkan kinerja FSO dengan teknik DMIMO.	1. Menggunakan algoritma <i>machine learning</i> untuk prediksi performa FSO yang lebih akurat di lingkungan maritim.
	2. Mampu mencapai kecepatan transmisi data 40 Gbps dalam kondisi cuaca kabut ringan hingga berat	2. Memperbaiki kualitas sinyal di bawah turbulensi atmosferik dengan <i>Gamma-Gamma model</i> .	2. Algoritma ANN memiliki R^2 hingga 0.94867, memberikan prediksi yang sangat baik.
	3. Teknik <i>spatial diversity</i> secara signifikan mengurangi BER pada jarak transmisi yang jauh	3. Menggunakan <i>OptiSystem</i> untuk berbagai kondisi cuaca (<i>clear, haze, fog</i>).	3. Menganalisis parameter lingkungan maritim secara <i>real-time</i> .
Kekurangan	1. Studi ini sepenuhnya berbasis simulasi, tanpa eksperimen praktis untuk memvalidasi hasil di kondisi nyata.	1. Simulasi pada <i>OptiSystem</i> memiliki kompleksitas tinggi karena melibatkan banyak komponen.	1. Jarak propagasi FSO yang pendek, hanya sekitar 35 meter di atas permukaan laut.
	2. Dalam kondisi debu berat, jarak transmisi hanya mencapai 48 meter	2. Model atmosfer yang digunakan masih terbatas pada kondisi umum sehingga belum menggambarkan variasi cuaca ekstrem secara menyeluruh.	2. Penelitian terbatas pada prediksi daya optik yang diterima, tidak membahas performa sistem secara keseluruhan.
	3. Membutuhkan peralatan khusus untuk <i>multiplexing</i> dan <i>demultiplexing</i> OAM <i>beams</i>	3. Hanya membahas parameter dasar yaitu <i>Q-factor</i> dan <i>signal power</i> , tanpa mempertimbangkan aspek kualitas layanan secara menyeluruh.	3. Model ANN yang digunakan cukup kompleks meskipun R^2 tinggi, nilai RMSE masih relatif besar dibanding model lain yang diuji.

1.3 Analisis Solusi Penelitian Sebelumnya

Berikut adalah analisis solusi dari berbagai metode yang digunakan dalam menyelesaikan tantangan penerapan FSO pada berbagai kondisi atmosfer yang terjadi. Analisis solusi yang diberikan akan meninjau rincian keunggulan serta kekurangan yang ditawarkan dalam penelitian sebelumnya, yang ditampilkan pada Tabel 1.1.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk meningkatkan kinerja sistem komunikasi FSO dalam memprediksi Bit Error Rate (BER) dengan menggunakan metode Machine Learning. Metode ini mampu menganalisis data cuaca yang memengaruhi performa FSO, sehingga dapat memberikan hasil prediksi yang lebih akurat. Berdasarkan prediksi tersebut, sistem FSO dapat melakukan penyesuaian terhadap perubahan kondisi lingkungan. Dengan demikian, komunikasi dapat tetap berjalan dengan baik meskipun terjadi gangguan cuaca, serta menjadi solusi yang lebih efisien dibandingkan penambahan perangkat yang memerlukan biaya tinggi.

1.5 Batasan Tugas Akhir

Agar pembahasan dalam Tugas Akhir ini lebih terarah dan fokus, maka ruang lingkup penelitiannya dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Penelitian hanya difokuskan pada sistem komunikasi *Free Space Optics* (FSO) satu arah (*point-to-point*) pada jalur horizontal.
2. Parameter utama yang diamati dalam penelitian ini meliputi *Bit Error Rate* (BER), visibilitas dan klasifikasi kondisi cuaca. Ketiga parameter ini berperan penting dalam menilai dan memprediksi kualitas sistem komunikasi FSO, yang sangat dipengaruhi oleh kondisi atmosfer.
3. Prediksi BER, visibilitas dan klasifikasi kondisi cuaca dilakukan menggunakan algoritma *Machine Learning*, dengan cakupan model terbatas pada algoritma yaitu *Random Forest*.
4. *Dataset* yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data cuaca yang bersifat *time-series* dan tersedia secara publik, serta data performa sistem FSO yang diperoleh dari hasil simulasi menggunakan *OptiSystem*.
5. Pengolahan data dan pelatihan model dilakukan menggunakan *Python* di *Google Colab*, tanpa implementasi langsung atau pengujian *real-time* pada perangkat fisik FSO. Model dievaluasi menggunakan metrik regresi yaitu MAE, MSE, RMSE dan R^2 , sedangkan klasifikasi yaitu *Accuracy*, *Precision*, *Recall* dan *F1-Score*, serta dioptimasi dengan *Optuna*.
6. *Website* hanya digunakan untuk simulasi, sebagai alat bantu prediksi komunikasi FSO berbasis input manual, bukan pemantauan *real-time* dari perangkat fisik.
7. Akses terhadap fitur penting seperti hasil prediksi, rekomendasi, dan riwayat interaksi hanya untuk pengguna yang telah terautentikasi melalui sistem keamanan JWT (JSON Web Token).
8. Performa website dievaluasi menggunakan metrik *Google Lighthouse*, dengan beberapa metrik yang diamati FCP, LCP, dan skor *Performance*, SEO, serta *Accessibility*.
9. Daya pancar (*Transmit power*) dan jarak jangkauan (*link range*) pada sistem komunikasi FSO dibatasi dalam rentang daya 0 hingga 30 dBm dan jarak 0,5 hingga 5 km, disesuaikan dengan standar regulasi untuk mencerminkan kondisi realistis sistem komunikasi FSO di lingkungan terbuka.