

Implementasi Sistem Auto-Tracking Berbasis Visi Komputer untuk Stabilitas Komunikasi Free-Space Optics

1st Andi Muh Syahfwan A
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

andiian@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Rina Pudji Astuti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id

3rd Ahmad Hambali
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ahambali@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Tantangan utama teknologi *Free-Space Optics* (FSO) adalah kerentanannya terhadap gangguan fisik yang dapat memutuskan komunikasi akibat terjadinya pergeseran sehingga FSO tidak berada pada kondisi *Line of Sight* (LoS). Sebagai solusi, penelitian ini mengusulkan sebuah purwarupa sistem *auto-tracking* untuk menjaga stabilitas *Free-Space Optics* (FSO) agar tetap *Line of Sight* (LoS) secara otomatis. Metode yang digunakan adalah pengembangan purwarupa berbasis visi komputer yang mengintegrasikan kamera sebagai sensor visual, mikrokontroler Arduino UNO sebagai pengolah data, dan motor servo sebagai aktuator penggerak arah. Algoritma pelacakan dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman *Python* dan pustaka *OpenCV* untuk mendeteksi serta mengikuti pergerakan target. Sistem ini mampu menjaga presisi arah dalam rentang gerak 0°–180°, serta menunjukkan performa yang responsif dan akurat dalam mempertahankan *Line of Sight* (LoS). Hasil penelitian ini membuktikan bahwa sistem pelacakan otomatis merupakan solusi yang layak untuk meningkatkan keandalan dan menjaga kualitas transmisi jaringan *Free-Space Optics* (FSO) di lingkungan yang dinamis.

Kata kunci— *auto-tracking*, *free-space optics*, visi komputer, stabilitas tautan, *OpenCV*, *Arduino*

I. PENDAHULUAN

Teknologi *Free-Space Optics* (FSO) menggunakan propagasi cahaya di ruang bebas sebagai media transmisi, yang menawarkan alternatif transmisi data berkecepatan tinggi tanpa ketergantungan pada infrastruktur kabel fisik. Namun, keandalan sistem FSO sangat bergantung pada kondisi jalur transmisi yang stabil dan tidak terhalang, atau *Line of Sight* (LoS), antara perangkat pemancar dan penerima. Salah satu tantangan utama dalam implementasi FSO adalah menjaga agar arah pancaran laser tetap presisi menuju penerima, terutama di lingkungan luar ruang yang dinamis. Faktor eksternal seperti getaran akibat angin, ketidakstabilan struktur menara, atau gangguan mekanis lainnya dapat menyebabkan pergeseran arah yang sangat kecil sekalipun, yang berpotensi memutuskan tautan komunikasi sepenuhnya. Kegagalan dalam menjaga LoS ini menjadi masalah krusial yang dapat menurunkan performa dan keandalan jaringan secara signifikan. Oleh karena itu, diperlukan sebuah solusi cerdas yang mampu merespons perubahan posisi secara adaptif dan otomatis. Tujuan dari

penelitian ini adalah merancang, membangun, dan menguji sebuah purwarupa sistem *auto-tracking* yang mampu menjaga arah pancaran FSO agar selalu dalam kondisi LoS terhadap penerima. Sistem ini dikembangkan untuk secara otomatis menyesuaikan kembali posisi pemancar ketika terjadi pergeseran arah akibat gangguan eksternal, sehingga kualitas transmisi dapat terjaga secara optimal.

II. KAJIAN TEORI

A. FREE-SPACE OPTICS

Free-Space Optics FSO adalah teknologi komunikasi optik nirkabel yang mentransmisikan data melalui atmosfer [1]. Kinerjanya sangat bergantung pada terjaganya kondisi LoS yang presisi antara pemancar (Tx) dan penerima (Rx) .

B. ARDUINO UNO

Arduino UNO adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328P yang banyak digunakan dalam prototipe dan aplikasi pendidikan. Arduino UNO efektif digunakan dalam kontrol kecepatan dan arah *motor* DC, menunjukkan fleksibilitasnya dalam aplikasi kontrol *motor* [2]

C. SERVO MG90S

Motor servo MG90S adalah *servo* mikro dengan roda gigi logam yang menawarkan kontrol posisi presisi. Meskipun tidak ada jurnal spesifik yang membahas MG90S hingga tahun 2020, *servo* ini umum digunakan dalam aplikasi robotika dan prototipe karena ukurannya yang kecil dan torsi yang cukup untuk tugas-tugas ringan. Spesifikasi minimum untuk *servo* MG90S meliputi kecepatan operasi sekitar 0.10 detik/60 derajat (pada 4.8V), roda gigi logam untuk ketahanan, dan ukuran ringkas yang cocok untuk aplikasi mikro.

D. ALGORITMA PYTHON

Python adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang bersifat umum (*general-purpose*) dan dijalankan secara interpreted. Bahasa ini dikembangkan oleh Guido van Rossum. *Python* merupakan bahasa sumber terbuka (*open-source*), sehingga kode sumbernya dapat diakses dan digunakan di bawah lisensi GNU *General Public License* (GPL). *Python* memudahkan proses pemrograman, baik untuk skala kecil maupun besar, dengan menyediakan

berbagai konstruksi yang intuitif. Filosofi desainnya menekankan pada keterbacaan kode yang efisien, salah satunya dengan penggunaan *whitespace* yang signifikan[3].

III. METODE

Metodologi pengembangan purwarupa untuk menguji fungsionalitas sistem *auto-tracking*. Sistem ini terdiri dari perangkat keras berupa dua motor servo (sumbu X dan Y) yang terhubung ke pin 9 dan 10 pada *Arduino UNO*, serta sebuah kamera yang terhubung ke laptop. Perangkat lunak dikembangkan dalam dua bagian: skrip *Python* dengan pustaka *OpenCV* untuk mendeteksi target berwarna hijau secara visual, dan skrip *Arduino* untuk menerima perintah sudut melalui komunikasi serial dan menggerakkan servo dengan sinyal PWM.

Proses pengujian fungsionalitas dilakukan dengan menggerakkan posisi target secara manual untuk mengevaluasi responsivitas, akurasi, dan latensi sistem. Selain itu, diuji pula fitur *timeout*, di mana sistem akan secara otomatis mengembalikan posisi servo ke titik awal jika target visual hilang dari jangkauan kamera selama lebih dari 1,5 detik.

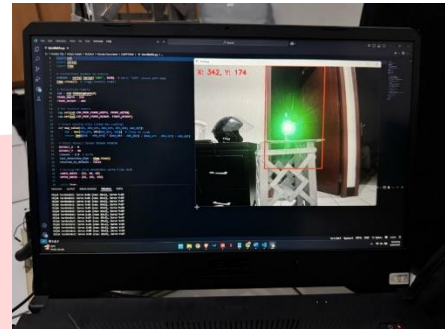
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa purwarupa sistem *auto-tracking* berhasil dikembangkan dan beroperasi sesuai dengan spesifikasi rancangan. Sistem ini mampu menjaga stabilitas tautan optik melalui pelacakan target secara akurat dan responsif.

Berdasarkan hasil pengujian, mekanisme pelacakan otomatis berbasis pemrosesan citra menunjukkan performa yang sangat baik. Algoritma deteksi warna yang diimplementasikan menggunakan pustaka *OpenCV* pada bahasa pemrograman *Python* terbukti efektif dalam mengidentifikasi serta menentukan koordinat target penerima secara real-time. Koordinat yang diperoleh berhasil dikirimkan ke mikrokontroler *Arduino UNO* dengan latensi yang rendah, kemudian diterjemahkan menjadi pergerakan presisi oleh motor servo pada sumbu horizontal (X) dan vertikal (Y). Motor servo tersebut mampu menyesuaikan arah pemancar laser mengikuti pergerakan target dengan rentang sudut operasional 0° hingga 180°, sesuai dengan spesifikasi perangkat keras yang digunakan.

Keberhasilan ini secara langsung menunjukkan bahwa stabilitas Line of Sight (LoS) pada sistem komunikasi Free Space Optics (FSO) dapat dipertahankan secara dinamis. Kualitas transmisi cahaya tetap terjaga meskipun terjadi pergeseran posisi target akibat simulasi gangguan fisik atau lingkungan. Selain itu, fitur sistem untuk kembali ke posisi default saat target tidak terdeteksi juga berfungsi dengan baik, memastikan kesiapan sistem untuk melakukan pelacakan ulang secara otomatis.

Capaian tersebut menguatkan peran teknologi *auto-tracking* sebagai solusi praktis dalam meningkatkan keandalan sistem komunikasi FSO, terutama pada lingkungan dengan tingkat ketidakstabilan posisi tinggi. Untuk pengembangan ke depan, sistem ini dapat diintegrasikan dengan model berbasis machine learning guna memprediksi pergerakan target ataupun membedakan antara target dan objek pengganggu lainnya dalam skenario lingkungan kompleks, sehingga akurasi dan ketahanan pelacakan dapat lebih ditingkatkan.



GAMBAR 1
(HASIL UJI AUTO-TRACKING)

V. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa purwarupa sistem *auto-tracking* berbasis visi komputer telah berhasil diimplementasikan. Sistem yang mengintegrasikan *Python* dengan pustaka *OpenCV*, *Arduino UNO*, dan motor servo ini terbukti mampu menjaga stabilitas komunikasi pada teknologi Free-Space Optics secara efektif. Dengan kemampuan mendeteksi dan mengikuti pergerakan target secara real-time, sistem secara otomatis mengoreksi setiap pergeseran arah yang disebabkan oleh gangguan fisik, sehingga memastikan kondisi Line of Sight antara pemancar dan penerima tetap terjaga. Hasil ini mengonfirmasi bahwa sistem *auto-tracking* merupakan komponen krusial dan solusi yang sangat layak untuk meningkatkan keandalan serta performa jaringan FSO, terutama ketika diimplementasikan di lingkungan nyata yang dinamis dan tidak dapat diprediksi.

REFERENSI

- [1] S. Mittal, "Extension of Fiber Connectivity to End User by Free Space Optics in Optical Fiber Communication," *2023 3rd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON)*, Ravet, India, pp. 1–7, 2023, doi: 10.1109/ASIANCON58793.2023.10270007.
- [2] Hordofa, T.H., & Liu, J. (2025). Speed and Direction Control of DC Motor Using *Arduino UNO Microcontroller*. *Open Access Library Journal*, 12(3), e13007.
- [3] N . Thaker and A. Shukla, "Python as Multi Paradigm Programming Language," *International Journal of Computer Applications*, vol. 177, no. 31, pp. 38–42, Jan. 2020.