



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

## **Analisis Kinerja Sistem LiDAR (*Light Detection and Ranging*) dalam Pengukuran Jarak dengan Pendekatan Simulasi: Evaluasi Ketepatan dan Keandalan Pengukuran**

### *Analysis of LiDAR (Light Detection and Ranging) System Performance in Distance Measurement using Simulation Approach: Evaluation of Measurement Accuracy and Reliability*

Afiyah Nikmah<sup>1</sup>, Riski Ramadani<sup>1</sup>, Dzulkifli<sup>1</sup>, Muhimmatul Khoiro<sup>1</sup>, Rohim Aminullah Firdaus<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

\*Corresponding Author: [rohinfirdaus@unesa.ac.id](mailto:rohinfirdaus@unesa.ac.id)

#### *Artikel Penelitian*

##### **Article History:**

Received: 23 April 2024

Revised: 26 April 2024

Accepted: 3 May 2024

##### **Kata Kunci:**

LiDAR;

Evaluasi Ketepatan;

Pengukuran Jarak

##### **Keywords:**

LiDAR;

Accuracy Evaluation;

Distance Measurement

DOI: [10.56338/jks.v7i5.5250](https://doi.org/10.56338/jks.v7i5.5250)

#### **ABSTRAK**

Studi ini menyajikan analisis kinerja sistem LiDAR dalam pengukuran jarak dengan memanfaatkan pendekatan berbasis simulasi. Sistem LiDAR banyak digunakan dalam berbagai bidang karena kemampuannya untuk mengukur jarak secara akurat. Namun, menilai akurasi dan keandalan pengukuran LiDAR dalam berbagai kondisi sangat penting untuk memastikan efektivitasnya dalam aplikasi praktis. Dalam penelitian ini, sebuah kerangka kerja simulasi dikembangkan untuk meniru operasi sistem LiDAR dan menghasilkan pengukuran jarak dengan mempertimbangkan faktor lingkungan dan *noise* pengukuran. Pengukuran yang disimulasikan kemudian dianalisis untuk mengevaluasi akurasi dan keandalan sistem LiDAR dalam pengukuran jarak. Melalui analisis perbandingan dan evaluasi statistik, wawasan tentang kinerja sistem LiDAR diperoleh, yang menyoroti kelebihan dan keterbatasannya. Temuan dari penelitian ini memberikan kontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang teknologi LiDAR dan memberikan panduan untuk mengoptimalkan kinerjanya dalam aplikasi berbagai bidang. Penelitian ini menegaskan pentingnya penilaian berbasis simulasi dalam menilai kemampuan sistem LiDAR dan memberikan informasi bagi proses pengambilan keputusan dalam berbagai bidang yang bergantung pada pengukuran jarak yang akurat.

#### **ABSTRACT**

*This study presents an analysis of LiDAR system performance in distance measurement utilizing a simulation-based approach. LiDAR systems are widely used in various fields due to their ability to accurately measure distances. However, assessing the accuracy and reliability of LiDAR measurements under different conditions is essential for ensuring their effectiveness in practical applications. In this research, a simulation framework is developed to mimic the operation of LiDAR systems and generate distance measurements considering environmental factors and measurement noise. The simulated measurements are then analyzed to evaluate the accuracy and reliability of the LiDAR system in distance measurement. Through comparative analysis and statistical evaluation, insights into the performance of the LiDAR system are gained, highlighting its strengths and limitations. The findings of this study contribute to a better understanding of LiDAR technology and provide valuable guidance for optimizing its performance in real-world scenarios. This research underscores the importance of simulation-based assessments in assessing the capabilities of LiDAR systems and informs decision-making processes in various fields reliant on accurate distance measurements.*

## PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, teknologi *Light Detection and Ranging* (LiDAR) telah diaplikasikan di berbagai aspek kehidupan sehari-hari (Churnside & Shaw, 2020). LiDAR menggunakan sumber cahaya yang ditembakkan ke suatu target yang kemudian dipantulkan kembali ke fotodetektor (Naseem, et al., 2021) (Fikri & Rivai, 2020). Teknologi LiDAR banyak digunakan di berbagai bidang teknik instrumentasi dan memiliki aplikasi luas di bidang navigasi robot (Zhao, et al., 2019), survey lingkungan laut (Crouch, 2018. ), dan pemetaan (Davidovic, Hofbauer, Schneider-Hornstein, & Zimmermann, 2011). Teknologi LiDAR yang kontinu dapat digunakan untuk penentuan jarak objek target dengan metode *time of flight* (ToF). Metode ToF memiliki karakteristik deteksi jarak jauh, sistem deteksi yang sederhana dan efisiensi tinggi (Yang, Tang, & Xu, 2020), serta efektivitas biaya (Hanto, et al., 2023).

Pemanfaatan LiDAR sebagai sensor pengukuran jarak, diperlukan penelitian mengenai variasi pengukuran jarak, resolusi dan akurasi dengan memperhatikan faktor kebisingan (Jiang, Zhu, & Jiang, 2023). Kebisingan pada sistem LiDAR dapat disebabkan oleh superposisi berbagai kebisingan, yang dapat dibagi menjadi kebisingan internal perangkat dan kebisingan eksternal sesuai dengan sumber kebisingannya (Andre, Stefan, & Roman, 2021). Kebisingan latar belakang pada sisi penerima mencakup sinyal yang disinari atau dipantulkan ke detektor dari sumber radiasi yang tidak diinginkan seperti matahari dan sumber cahaya buatan. Dalam deteksi fotolistrik siang hari, kebisingan latar belakang eksternal biasanya jauh lebih besar daripada kebisingan perangkat internal sistem, sumber radiasi utamanya adalah matahari, dan energi terkonsentrasi pada spektrum tampak dan inframerah (Guo, Li, & Chen, 2009), (Ahmad, et al., 2022).

Terdapat beberapa penelitian relevan terkait pemanfaatan teknologi LiDAR. Penelitian tersebut diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh (Hanto, et al., 2023) menggunakan metode LiDAR sistem ToF dengan sumber cahaya untuk mengetahui jarak jangkauan dari 2 meter hingga 55 meter. Laser dioda yang digunakan adalah cahaya tampak dengan panjang gelombang 632 nm. Penelitian ini melakukan eksperimen secara langsung dan belum terdapat perhitungan untuk nilai *error*. Penelitian lainnya juga dilakukan (Zhang, et al., 2023) menggunakan metode LiDAR dengan system PhMCW (*Phase Modulated Continuous Wave*). Sumber cahaya laser yang digunakan 1550 nm dan dengan jarak target yang divariasi pada 5 meter sampai 50 meter. Metode ini memiliki perbedaan dengan penelitian yang sedang dilaksanakan yaitu belum ada pembahasan detail terkait tingkat akurasi dan nilai *error* pada sistem. Sistem optik LiDAR harus dirancang secara optimal, agar menghasilkan intensitas sinyal terukur yang tinggi sehingga dapat meningkatkan akurasi pembacaan jarak pengukuran. Maka dari itu, untuk memvalidasi kinerja pengukuran jarak dengan akurasi dan presisi tinggi dari system LiDAR yang diusulkan, perlu dilakukan simulasi dalam berbagai jarak untuk mengetahui nilai *error* dan akurasi dari sistem LiDAR yang akan digunakan.

## METODE

### Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi kinerja sistem LiDAR dalam mengukur jarak. Pendekatan eksperimental memungkinkan untuk kontrol yang lebih baik terhadap variabel-variabel yang mempengaruhi pengukuran, sehingga memungkinkan evaluasi yang lebih akurat terhadap kinerja sistem. Data pengukuran jarak diperoleh melalui simulasi menggunakan *software* Python yang mengimplementasikan algoritma pengukuran LiDAR. Penelitian ini dirancang untuk menyelidiki kinerja sistem LiDAR dalam mengukur jarak dengan menggunakan pendekatan simulasi yang terkontrol. Simulasi dilakukan melalui pengembangan skrip komputer yang mengimplementasikan algoritma pengukuran LiDAR.

Algoritma ini mensimulasikan proses pengiriman pulsa laser dari LiDAR ke target, serta penerimaan kembali pulsa yang dipantulkan, dengan memperhitungkan faktor-faktor lingkungan yang

memengaruhi perjalanan cahaya, seperti refraksi, dispersi, dan pantulan. Selain itu, untuk memperhitungkan ketidakpastian dan gangguan dalam pengukuran, *noise* ditambahkan ke hasil simulasi dengan menggunakan faktor *noise* yang dapat disesuaikan. Faktor *noise* ini memungkinkan untuk mensimulasikan variasi yang mungkin terjadi dalam kondisi lingkungan yang berbeda, seperti cuaca, pencahayaan, atau keberadaan objek penghalang.

### Pengumpulan Data

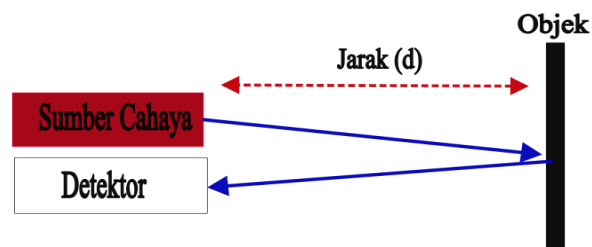
Pengumpulan data dilakukan dengan menjalankan skrip simulasi untuk menghasilkan sejumlah pengukuran jarak dalam kondisi yang berbeda, yang kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem LiDAR. Variabel utama dalam penelitian ini adalah jarak yang diukur oleh sistem LiDAR, sementara variabel tambahan termasuk faktor *noise* yang ditambahkan ke pengukuran dan faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi proses pengukuran. Pengukuran jarak yang diperoleh dari simulasi kemudian dievaluasi menggunakan metode statistik yang tepat untuk menghitung *error* absolut dan *error* relatif dari hasil pengukuran. *Error* absolut dihitung sebagai selisih antara nilai pengukuran dengan nilai sebenarnya, sementara *error* relatif dihitung sebagai persentase dari *error* absolut dibagi dengan nilai sebenarnya.

### Metode Penelitian

Metode *Time of Flight* didasarkan pada prinsip modulasi sederhana, yakni jarak ditentukan dengan mengalikan kecepatan cahaya dalam suatu medium dengan waktu yang dibutuhkan pulsa cahaya untuk menempuh jarak ke target. Karena kecepatan cahaya konstan, maka jarak ke objek berbanding lurus dengan waktu yang ditempuh (Royo & Ballesta-Garcia, 2019).

$$d = \frac{c \times t}{2} \quad (1)$$

Di mana  $d$  merupakan jarak terukur,  $t$  adalah waktu tempuh cahaya yang diukur oleh LiDAR dengan *noise*, dan  $c$  merupakan kecepatan cahaya di ruang bebas. ( $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ). Gambar 1 menunjukkan desain skematis prinsip kerja dari sensor LiDAR.



**Gambar 1.** Prinsip Kerja dari Sensor LiDAR

Dalam perhitungan, seringkali terdapat kesalahan atau *error* absolut dan relatif. Untuk perhitungan nilai *error* absolut dapat diketahui melalui selisih nilai antara nilai sebenarnya dengan nilai pengukuran. Maka konteks dalam artikel ini, adalah jarak referensi dan jarak terukur:

$$Error\ absolut = jarak\ referensi - jarak\ terukur \tag{2}$$

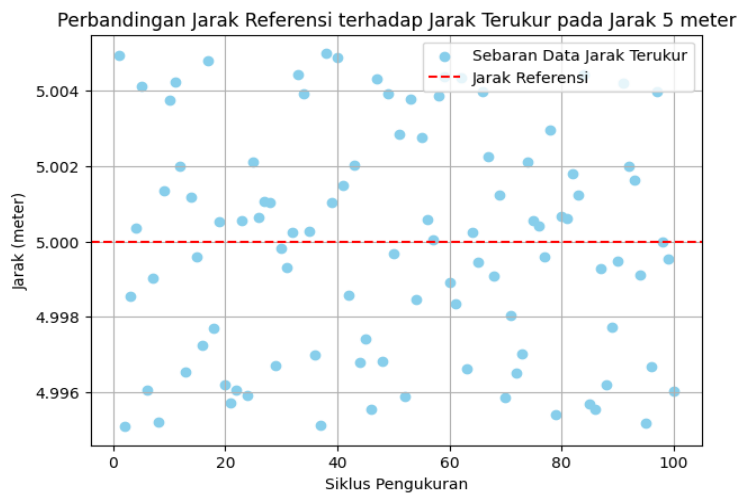
Kemudian, untuk *error* relatif dapat dihitung menggunakan:

$$Error\ relatif = \left| \frac{jarak\ terukur - jarak\ referensi}{jarak\ referensi} \right| \times 100\% \tag{3}$$

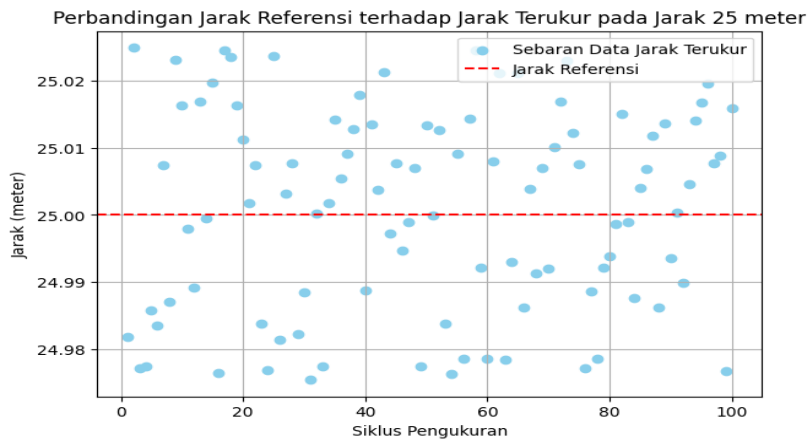
**HASIL DAN DISKUSI**

**Tabel 1.** Tabel perhitungan nilai *error*

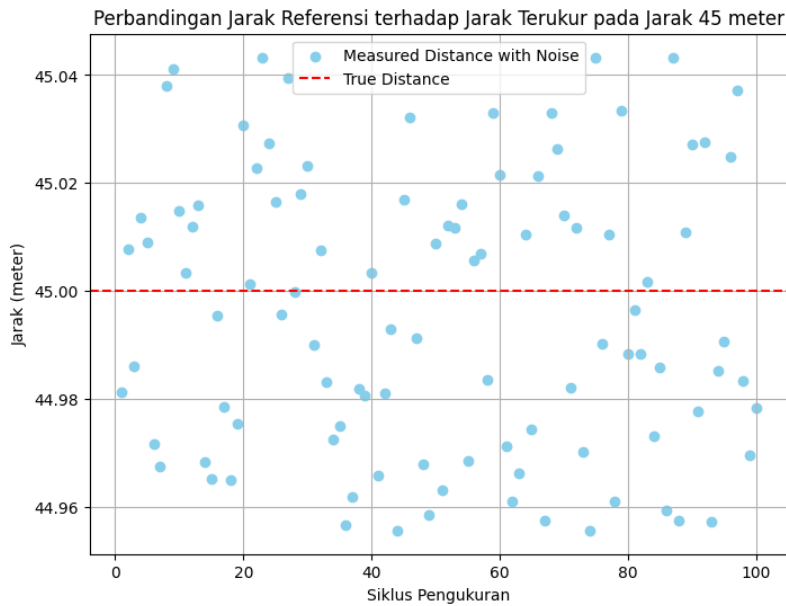
Jarak (m)	Rata – Rata (m)	Error Absolut (m)	Error Relatif (%)
5	5.002	0.002	0.043
25	25.013	0.012	0,048
45	45.025	0.023	0,052
65	65.035	0.031	0,055



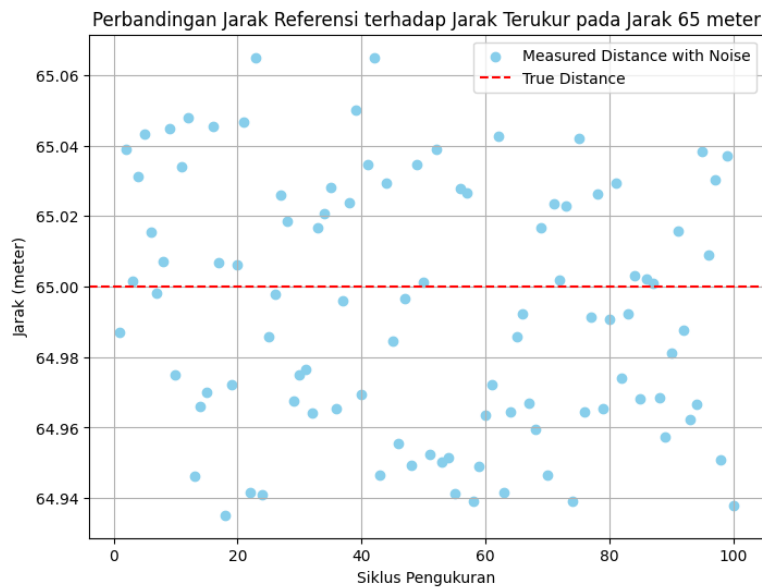
**Gambar 2.** Sebaran Data Perbandingan Jarak Referensi terhadap Jarak Terukur pada Jarak 5 meter.



**Gambar 3.** Sebaran Data Perbandingan Perbandingan Jarak Referensi terhadap Jarak Terukur pada Jarak 25 meter.



**Gambar 4.** Sebaran Data Perbandingan Perbandingan Jarak Referensi terhadap Jarak Terukur pada Jarak 45 meter.



**Gambar 5.** Sebaran Data Perbandingan Perbandingan Jarak Referensi terhadap Jarak Terukur pada Jarak 65 meter.

Dalam pembahasan hasil penelitian, terdapat beberapa temuan yang diperoleh dari evaluasi kinerja

sistem LiDAR dalam mengukur jarak, serta menganalisis signifikansinya dalam konteks aplikasi praktis. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengevaluasi seberapa akurat sistem LiDAR dalam memberikan pengukuran jarak, dengan fokus pada analisis error absolut dan error relatif yang dihasilkan. Penelitian ini penting karena kontribusinya dalam memahami kemampuan dan keterbatasan teknologi LiDAR dalam aplikasi dunia nyata, yang dapat menjadi dasar untuk pengembangan teknologi yang lebih baik di masa depan.

Pada Gambar 2; Gambar 3; Gambar 4; dan Gambar 5 menunjukkan sebaran data perbandingan perbandingan jarak referensi terhadap jarak terukur pada jarak 5 m; 25 m; 45 m; dan 65 m yang diambil dalam 100 kali siklus pengukuran untuk mengevaluasi konsistensi sistem LiDAR dalam hal penentuan jarak. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem LiDAR mampu membaca dengan akurat terkait pengukuran jarak. Sebaran data yang ditampilkan dalam grafik memberikan gambaran visual tentang variasi pengukuran yang diperoleh dari sistem LiDAR. Dari grafik tersebut, maka dapat diketahui seberapa dekat pengukuran rata-rata dengan nilai sebenarnya, serta seberapa seragam distribusi pengukuran di sekitar nilai rata-rata. Sebaran data pengukuran juga menunjukkan konsistensi dalam kinerja sistem, yang merupakan hal yang penting dalam memastikan keandalan pengukuran dalam berbagai kondisi lingkungan. Temuan ini konsisten dengan literatur yang ada, yang menyoroti kemampuan sistem LiDAR dalam memberikan pengukuran yang akurat dalam berbagai aplikasi. Dalam analisis kinerja sistem LiDAR, data yang diperoleh dari pengukuran jarak menawarkan wawasan mendalam tentang kemampuan sistem dalam memberikan hasil yang akurat. Dari hasil pengukuran yang dilakukan pada berbagai titik jarak, terlihat bahwa sistem LiDAR mampu menghasilkan nilai rata-rata pengukuran yang relatif dekat dengan nilai sebenarnya. Hal ini menandakan bahwa sistem memiliki kemampuan untuk memberikan hasil yang konsisten dan dapat diandalkan dalam berbagai kondisi lingkungan.

Pada Tabel 1 menunjukkan data jarak dan nilai *error* relatif serta *error* absolut yang diperoleh dari hasil pengukuran. Dengan nilai *error* relatif yang relatif stabil di setiap titik data, sistem LiDAR juga terbukti konsisten dalam kinerjanya. Konsistensi ini adalah faktor krusial dalam menjaga kepercayaan pengguna terhadap sistem, terutama dalam aplikasi yang memerlukan pengukuran yang akurat dan andal. Meskipun demikian, meskipun nilai *error* absolut dan relatif yang tercatat relatif kecil, sistem LiDAR diharapkan mampu untuk terus-menerus meningkatkan tingkat akurasi dan merupakan prioritas utama dalam sistem ini. Dalam menghadapi aplikasi yang semakin kompleks dan menuntut, seperti navigasi kendaraan otonom dan pemetaan lingkungan, peningkatan tingkat akurasi menjadi kunci dalam memenuhi kebutuhan pengguna. Dengan fokus pada pengembangan teknologi dan proses perbaikan yang berkelanjutan, sistem LiDAR dapat terus meningkatkan kinerjanya dalam menghasilkan pengukuran jarak yang akurat dan dapat diandalkan. Hal ini akan membuka potensi penerapan yang lebih luas dan mendalam dalam berbagai bidang, serta memberikan kontribusi signifikan dalam kemajuan teknologi dan inovasi.

Namun demikian, beberapa temuan mungkin tidak terduga, seperti variasi yang lebih besar dalam pengukuran pada jarak yang semakin jauh, yang memungkinkan untuk diselidiki lebih lanjut dalam penelitian mendatang. Implikasi manajerial dari hasil penelitian ini sangat relevan dalam konteks pengembangan dan implementasi sistem LiDAR dalam berbagai aplikasi, seperti navigasi kendaraan otonom dan pemetaan lingkungan. Keandalan dan akurasi pengukuran adalah faktor kunci dalam kesuksesan praktis dari teknologi LiDAR ini. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal fokus pada pengukuran jarak dalam kondisi tertentu, serta potensi faktor lingkungan atau teknis yang memengaruhi validitas eksternal hasil penelitian. Untuk penelitian yang akan datang, peneliti melihat peluang untuk mengeksplorasi lebih lanjut tentang faktor-faktor yang memengaruhi akurasi pengukuran, serta untuk mengembangkan strategi untuk mengatasi keterbatasan yang diidentifikasi dalam penelitian ini. Penelitian lanjutan juga dapat memperluas cakupan aplikasi sistem LiDAR untuk memahami potensi dan tantangannya dalam berbagai konteks penggunaan.



## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem LiDAR mampu memberikan pengukuran jarak dengan tingkat akurasi yang tinggi, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai error absolut dan relatif yang rendah. Sebaran data pengukuran juga menunjukkan konsistensi dalam kinerja sistem. Untuk peneliti tingkat lanjut, disarankan untuk menjelajahi lebih lanjut tentang faktor-faktor yang memengaruhi akurasi pengukuran, serta untuk mengembangkan strategi untuk mengatasi keterbatasan yang diidentifikasi. Bagi pembaca umum, penelitian ini menggarisbawahi pentingnya keandalan dan akurasi dalam pengembangan dan implementasi teknologi LiDAR dalam berbagai aplikasi praktis, seperti navigasi kendaraan otonom dan pemetaan lingkungan.

## KETERBATASAN

Meskipun penelitian ini memberikan wawasan yang berharga tentang kinerja sistem LiDAR dalam mengukur jarak, beberapa keterbatasan perlu diakui untuk mengevaluasi secara kritis hasil dan kesimpulan yang diberikan. Pertama, keterbatasan utama penelitian ini adalah fokus pada pengukuran jarak dalam kondisi lingkungan yang mungkin tidak mencakup semua situasi yang mungkin dihadapi dalam penggunaan praktis. Variasi lingkungan yang tidak terwakili dalam penelitian ini dapat memengaruhi validitas eksternal hasil penelitian dan mengurangi generalitas temuan. Kedua, penggunaan metode yang terbatas dalam evaluasi kinerja sistem LiDAR dapat mempengaruhi kompleksitas analisis dan interpretasi hasil. Penelitian lanjutan dengan pendekatan metodologi yang lebih luas dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang kemampuan sistem LiDAR dalam berbagai konteks penggunaan. Selain itu, keterbatasan dalam mempertimbangkan faktor-faktor eksternal yang dapat memengaruhi akurasi pengukuran, seperti cuaca atau pencahayaan lingkungan, juga dapat membatasi generalisasi hasil penelitian ini dalam situasi praktis. Oleh karena itu, penting untuk diingat bahwa hasil dan kesimpulan dari penelitian ini harus dipahami dalam konteks keterbatasan yang ada. Evaluasi kritis terhadap metode, pengukuran, dan interpretasi hasil penelitian adalah penting untuk memahami dampaknya dalam membuat kesimpulan yang akurat dan relevan. Penelitian lanjutan yang memperluas cakupan metodologi dan mempertimbangkan faktor-faktor eksternal yang lebih luas dapat membantu mengatasi keterbatasan ini dan meningkatkan validitas dan generalisabilitas hasil penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Z., Wang, P.-S., Naseem, Huang, Y. C., Chang, Y. C., Chang, Y.-C., . . . Shi, J.-W. (2022). Avalanche photodiodes with multiple multiplication layers for coherent detection. *Scientific Reports*, 12, 16541.
- Andre, B., Stefan, H., & Roman, B. (2021). Analytical Evaluation of Signal-to-noise Ratios for Avalanche- and Single-photon Avalanche Diodes. *Sensors*, 2887.
- Churnside, J., & Shaw, J. (2020). "LiDAR remote sensing of the aquatic environment: Invited. *Applied Optics*, C92.
- Crouch, S. (2018. ). "Advantages of 3D Imaging Coherent lidar for autonomous Driving Applications," . in *Proceeding 19th Coherent Laser Radar Conference*,. Okinawa, Japan, .
- Davidovic, M., Hofbauer, M., Schneider-Hornstein, K., & Zimmermann, H. (2011). High Dynamic Range Background Light Suppression TOF Distance Measurement Sensor in 180nm CMOS. *IEEE SENSORS Proceedings*. 359-362.
- Fikri, M., & Rivai, M. (2020). Sistem Penghingar Halangan dengan Metode LiDAR pada Unmanned Surface Vehicle. *Jurnal Teknik ITS*.
- Guo, W., Li, P., & Chen, H. (2009). Interference from Scattered Sunlight on Photodetector Posed in Different Angles. *Detection and Control*, 41-45.

- Hanto, D., Pratomo, H., Rianaris, A., Setiono, A., Sartika, Syahadi, M., . . . Kurniawan, E. (2023). Time of Flight Lidar Employing Dual-Modulation Frequencies Switching for Optimizing Unambiguous Range Extension and High Resolution. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 72.
- Jiang, Y., Zhu, J., & Jiang, C. (2023). Adaptive Suppression Method of LiDAR Background Noise Based on Threshold Detection. *Applied Sciences*, 3772.
- Naseem, Ahmad, Z., Liao, Y., Chao, R., Wang, P., Lee, Y., . . . Shi, J. (2021). Avalanche Photodiodes with Dual Multiplication Layers for High-Speed and Wide Dynamic Range Performances. *Photonics*, 8(4).
- Royo, S., & Ballesta-Garcia, M. (2019). An Overview of Lidar Imaging Systems for Autonomous Vehicles. *Applied Sciences*, 4093.
- Yang, B., Tang, W., & Xu, S. (2020). Real-time and High-precision Ranging Method for Large Dynamic Range of Imaging LiDAR. *Infrared and Laser Engineering*, 118-123.
- Zhang, M., Wang, Y., Hu, Q., Zhao, S., Liang, L., Chen, Y., . . . Wang, L. (2023). Phase-Modulated Continuous-Wave Coherent Ranging Method and Anti-Interference Evaluation. *applied sciences*.
- Zhao, H., Naseem, Jones, A., Chao, R., Ahmad, Z., Campbell, J., & Shi, J. W. (2019). High-Speed Avalanche Photodiodes With Wide Dynamic Range Performance. *Journal of Lightwave Technology*, 37, 5945-5951.