

**ANALISIS PENGUKURAN *TIME OF FLIGHT* LIDAR MELALUI STUDI  
EKSPERIMEN DENGAN VARIASI JARAK DAN OBJEK**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**JIHANATUL FAJRIYAH**  
NIM. 200604110059



**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2025**

**ANALISIS PENGUKURAN *TIME OF FLIGHT* LIDAR MELALUI STUDI  
EKSPERIMEN DENGAN VARIASI JARAK DAN OBJEK**

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada:  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:  
JIHANATUL FAJRIYAH  
NIM. 200604110059**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2025**

## HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS PENGUKURAN *TIME OF FLIGHT* LIDAR MELALUI STUDI  
EKSPERIMEN DENGAN VARIASI JARAK DAN OBJEK

SKRIPSI

Oleh:  
Jihanatul Fajriyah  
NIM. 200604110059

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Pada tanggal, 24 Juni 2025

Pembimbing I

Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si.  
NIP. 19870215 202321 2 031

Pembimbing II

Dr. Agus Mulyono, M.Kes  
NIP. 19750808 199003 1 003

Mengetahui  
Program Studi



Agus Mulyono, M.Si.  
NIP. 19740730 200312 1 002

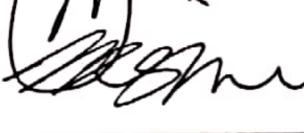
## HALAMAN PENGESAHAN

### ANALISIS PENGUKURAN *TIME OF FLIGHT* LIDAR MELALUI STUDI EKSPERIMEN DENGAN VARIASI JARAK DAN OBJEK

#### SKRIPSI

Oleh:  
Jihanatul Fajriyah  
NIM. 200604110059

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji  
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Pada Tanggal, 24 Juni 2025

Penguji Utama :	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Ketua Penguji :	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Sekretaris Penguji :	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si</u> NIP. 19870215 202321 2 031	
Anggota Penguji :	<u>Dr. Agus Mulyono, M.Kes</u> NIP. 19750808 19903 1 003	

Mengesahkan,  
Dekan Program Studi  
  
Imam Tazi, M.Si  
NIP. 198740730 200312 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : JIHANATUL FAJRIYAH

NIM : 200604110059

Jurusan : FISIKA

Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI

Judul Penelitian : Analisis Pengukuran *Time Of Flight* Lidar Melalui Studi Eksperimen Dengan Variasi Jarak Dan Objek

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 24 Juni 2025

Yang Membuat Pernyataan

  
Jihanatul Fajriyah

NIM. 200604110059

## **MOTTO**

“Apabila yang ada di depan membuatmu takut, dan yang dibelakang membuatmu luka. Lihatlah keatas, sungguh Allah tak pernah gagal menolong mu”

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur panjatkan kehadirat Allah Swt. atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, yang telah memberikan kekuatan serta kemudahan hingga skripsi ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad saw. keluarga, sahabat, dan seluruh pengikutnya hingga akhir zaman. Dengan penuh cinta dan rasa terima kasih yang mendalam, skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Perempuan terhebat dalam hidupku, sekaligus tempat paling tenang untuk pulang dan satu-satunya yang tetap percaya, bahkan saat aku sendiri ragu. Terima kasih atas segala dukungan dan doa yang tak pernah habis. Karya sederhana ini, hanyalah sebagian kecil dari rasa terima kasihku yang tak terucap.
2. Papah, cinta pertamaku. Doa-doa diammu yang mungkin tak pernah kudengar, tapi selalu menyertai setiap langkahku. Terima kasih atas dukungan dan keyakinanmu bahwa gadis kecilmu ini bisa melewati semuanya dengan baik.
3. Kedua kakaku, kakak ipar, dan ponakan-ponakan tercinta, terima kasih atas doa, dukungan, dan keceriaan yang selalu menyemangati.
4. Teman seperjuanganku Afiya Nirmala Puteri, Nabilla Diana, Via Vironi dan Naula Fahimatur Rosyidah, yang selalu bersamai serta membantu dalam kerumitan dalam menyusun skripsi penulis. Terima kasih sudah menjadi teman yang baik, yang selalu memberikan motivasi, arahan, semangat dan doa disaat penulis merasa kesulitan dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga

Allah membalas segala kebaikan kalian dan selalu mempermudah langkah perjuangan kalian.

5. Kepada Sahabat saya Zahra Maghfirani yang sudah membantu memberi dukungan, serta menemani saya baik suka maupun duka dalam perjalanan hidup saya selama kuliah.
6. Terakhir, teruntuk diri saya sendiri. Terima kasih kepada diri saya sendiri Jihanatul Fajriyah yang sudah kuat melewati segala lika-liku yang terjadi. Saya bangga pada diri saya sendiri, mari bekerjasama untuk lebih berkembang lagi menjadi pribadi yang lebih baik dari hari ke hari.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Swt. yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Pengukuran Time of Flight LiDAR Melalui Studi Eksperimen Dengan Variasi Jarak Dan Objek”**. Selawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad saw. yang telah menuntun manusia menuju zaman zakiyyah, yakni Addinul Islam Wal Iman.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si selaku Pembimbing 1 Program Studi Fisika yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan, serta memberikan masukan selama proses mengerjakan skripsi.
5. Bapak Dwi Hanto, Ph.D selaku dosen pembimbing dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Tangerang Selatan yang telah banyak membantu memberikan bimbingan dan masukan selama proses penelitian, juga selama

program MBKM. Beliau dengan sabar membimbing penulis untuk memahami cara kerja penelitian dan analisis data yang benar.

6. Bapak Dr. H. Agus Mulyono S.Pd., M.Kes selaku Pembimbing 2 Program Studi Fisika yang telah membimbing, memberikan motivasi, mengarahkan, serta memberikan masukan selama proses mengerjakan skripsi.
7. Papah dan mamah penulis, serta keluarga besar penulis, yang telah memberikan dukungan, nasihat, dan doa yang tak terbalas.
8. Teman-teman MBKM BRIN angkatan 2020, terima kasih telah memberi warna dalam proses pendidikan saya.
9. Teman-teman seperjuangan Fisika 2020 yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Semua pihak yang telah berpartisipasi, baik secara langsung maupun tidak langsung, telah membantu dan motivasi selama penyusunan skripsi.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Untuk itu, penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi orang lain.

Malang, 24 Juni 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	<b>v</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>
<b>مستخلص البحث</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	8
1.5 Batasan Masalah.....	9
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>10</b>
2.1 LiDAR ( <i>Light Detection and Ranging</i> ).....	10
2.1.1 Modulasi.....	13
2.1.2 Modulasi Amplitudo.....	16
2.1.3 Ambiguity.....	17
2.1.4 Amplifier Mini Circuits ZFL-1000 LN.....	18
2.1.5 Osiloskop.....	20
2.1.6 Photodetector.....	22
2.2 Laser Dioda Controller.....	23
2.2.1 Laser Infrared.....	24
2.3 <i>Time of Flight</i> (ToF).....	26
2.4 LabVIEW (Program Pembaca LiDAR).....	29
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>30</b>
3.1 Jenis Penelitian.....	30
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	30
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	30
3.3.1 Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ).....	30
3.3.2 Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ).....	31
3.4 Desain Penelitian.....	32
3.5 Prosedur Penelitian.....	33
3.5.1 Pengukuran Jarak.....	33

3.5.2	Persiapan Alat.....	33
3.5.3	Proses Pengambilan Data.....	36
3.5.4	Proses pengambilan Data dari LabVIEW.....	37
3.6	Metode Pengukuran Akurasi.....	37
3.7	Tabel Pengambilan Data.....	38
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>42</b>
4.1	LabVIEW (Program Pembaca LiDAR).....	42
4.2	Hasil Pengukuran LiDAR.....	43
4.3	Analisis Kinerja LiDAR Berdasarkan Variasi Jarak dan Jenis Material Dengan dan Tanpa Menggunakan Amplifier.....	47
4.3.1	Variasi Jarak.....	47
4.3.2	Variasi Jenis Material.....	50
4.4	Analisis Kinerja LiDAR berdasarkan Kekuatan Sinyal Pantul dan Fase.....	51
4.4.1	Kinerja LiDAR Terhadap Sinyal Pantul.....	51
4.4.2	Analisis Kinerja LiDAR Terhadap Fase.....	55
4.5	Interpretasi dari Perspektif Al-Qur'an.....	58
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>61</b>
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran.....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>62</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>68</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Tabel Pengambilan Data Tanpa Amplifier.....	39
Tabel 3. 2	Tabel Pengambilan Data Menggunakan Amplifier.....	40
Tabel 4. 1	Hasil Pengukuran LiDAR Tanpa Amplifier.....	44
Tabel 4. 2	Hasil Pengukuran LiDAR Menggunakan Amplifier.....	45
Tabel 4. 3	Rata-rata Akurasi LiDAR dalam Mendeteksi Objek Tanpa Amplifier .....	48
Tabel 4. 4	Rata-rata Akurasi LiDAR dalam Mendeteksi Objek Menggunakan Amplifier .....	49
Tabel 4. 5	Jarak Teoritis dengan Jarak yang Diukur oleh LiDAR pada Material Tanpa Amplifier .....	56
Tabel 4. 6	Jarak Teoritis dengan Jarak yang Diukur oleh LiDAR pada Material dengan Amplifier .....	56
Tabel 4. 7	Algoritma Pembacaan Sinyal LiDAR.....	58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Cara kerja LiDAR triangulasi.....	11
Gambar 2. 2	Modulasi FM .....	16
Gambar 2. 3	Ambiguity .....	17
Gambar 2. 4	Amplifier Mini Circuits ZFL-1000LN .....	19
Gambar 2. 5	PicoScope .....	21
Gambar 2. 6	Laser Dioda Controller .....	23
Gambar 2. 7	Panjang Gelombang Cahaya.....	25
Gambar 2. 8	Cara kerja LiDAR ToF .....	27
Gambar 3. 1	Desain Penelitian Tanpa Amplifier .....	32
Gambar 3. 2	Desain Penelitian Menggunakan Amplifier .....	33
Gambar 3. 3	Pengukuran Jarak.....	33
Gambar 3. 4	Diagram Persiapan Alat Tanpa Amplifier.....	34
Gambar 3. 5	Diagram Persiapan Alat Menggunakan Amplifier .....	35
Gambar 4. 1	Hasil Pembacaan LiDAR menggunakan LabVIEW .....	42
Gambar 4. 2	Diagram Batang Rata-rata Akurasi LiDAR dalam Mendeteksi Berbagai Material .....	50
Gambar 4. 3	Sinyal Pantul Tanpa Amplifier (A) Aluminium Foil, (B) Besi, (C) Kardus.....	52
Gambar 4. 4	Sinyal Pantul Dengan Amplifier (A) Aluminium Foil, (B) Besi, (C) Kardus.....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data pada objek Aluminium Foil Tanpa Amplifier.....	69
Lampiran 2. Data Pada Objek Besi Tanpa Amplifier .....	70
Lampiran 3. Data Pada Objek Kardus Tanpa Amplifier.....	71
Lampiran 4. Data Pada Objek Aluminium Foil dengan Amplifier.....	72
Lampiran 5. Data Pada Objek Besi dengan Amplifier.....	73
Lampiran 6. Data Pada Objek Kardus dengan Amplifier .....	74
Lampiran 7. Perhitungan.....	75
Lampiran 8. Dokumentasi.....	77

## ABSTRAK

Fajriyah, Jihanatul. 2025. **Analisis Pengukuran *Time of Flight LiDAR* Melalui Studi Eksperimen Dengan Variasi Jarak Dan Objek**. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si (II) Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes (III) Dwi Hanto, Ph.D.

---

**Kata Kunci:** LiDAR, *Time of Flight*, Amplifier, Variasi jarak, Material Objek, Akurasi Pengukuran.

*Light Detection and Ranging* atau LiDAR merupakan teknologi yang digunakan untuk membantu pengukuran yang lebih presisi di berbagai industri. LiDAR dapat memberikan data yang cepat dan akurat. Prinsip LiDAR adalah mengukur perbedaan waktu antara cahaya yang dipancarkan dan cahaya yang dipantulkan untuk menentukan jarak. Salah satu teknik pengukuran yang digunakan dalam LiDAR adalah Time of Flight (TOF). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengukuran Time of Flight (ToF) LiDAR melalui eksperimen dengan variasi jarak dan jenis material objek, serta mengevaluasi pengaruh penggunaan amplifier terhadap akurasi pengukuran. Eksperimen dilakukan dengan dua kondisi, yaitu menggunakan amplifier dan tanpa amplifier, pada tiga jenis material (aluminium, besi, dan kardus) dengan rentang jarak 1–7 meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan amplifier secara signifikan meningkatkan akurasi pengukuran jarak terhadap objek, terutama pada material dengan reflektivitas rendah. Analisis kekuatan sinyal pantul menunjukkan bahwa frekuensi, jarak, dan material berpengaruh terhadap kekuatan sinyal pantulan. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi LiDAR yang lebih efisien untuk aplikasi di berbagai bidang, seperti topografi, navigasi, dan pemetaan.

## ABSTRACT

Fajriyah, Jihanatul. 2025. **Analysis of *Time of Flight* LiDAR Measurements Through Experimental Studies with Distance and Object Variations.** Undergraduate Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si (II) Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes (III) Dwi Hanto, Ph.D.

---

**Keywords:** LiDAR, *Time of Flight*, amplifier, distance variation, object material, measurement accuracy.

Light Detection and Ranging, or LiDAR, is a technology for more precise measurements in various industries. It can provide faster and more accurate data. Its principle is calculating the time difference between transmitted and reflected light to measure the distance. One of its measurement techniques is Time of Flight (TOF). The research aims to analyze the LiDAR Time of Flight (ToF) using experiments with distance variation and object materials and to evaluate the influence of the amplifier on measurement accuracy. The experiment was conducted using and without an amplifier on three types of material (aluminum, iron, and box) with a distance range between 1–7 meters. The research results show that the amplifier significantly increases the distance measurement accuracy of an object, particularly with low-reflectivity materials. The analysis of reflected signal strength shows that frequency, distance, and materials influence the reflected signal strength. The research contributes to the LiDAR technology development, which is more efficient for application in various fields, such as topography, navigation, and mapping.

## مستخلص البحث

فجرية، جيهانة. 2025. تحليل قياس *Time of Flight LiDAR* الفجرية، جهانة. 2025. تحليل زمن الطيران للكشف عن الضوء وتحقيق المدى والليدار من خلال الدراسة التجريبية باختلافات المسافة وخصائص الأهداف المرصودة. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: ويويس ساسميتانينغ هداية، الماجستير. المشرف الثاني: د. الحاج أغوس موليونو، الماجستير. المشرف الثالث: د. دوي هانطا، الماجستير.

---

**الكلمات الرئيسية:** الليدار، زمن الطيران، مكبر للصوت، تباين المسافة، خصائص الأهداف المرصودة، دقة القياس.

الكشف عن الضوء وتحقيق المدى أو الليدار هو تقنية تستخدم للمساعدة في قياس أكثر دقة في مختلف الصناعات. يمكن أن يوفر الليدار بيانات سريعة ودقيقة. مبدأ الليدار هو قياس الفرق الزمني بين الضوء المنبعث والضوء المنعكس لتحديد المسافة. إحدى تقنيات القياس المستخدمة في الليدار هي زمن الطيران (TOF). يهدف هذا البحث إلى تحليل قياس زمن الطيران لليدار من خلال تجارب مع الاختلافات في المسافة ومواد خصائص الأهداف المرصودة، بالإضافة إلى تقييم تأثير استخدام مكبر الصوت على دقة القياس. أجريت التجربة في ظل شرطين، وهما استخدام مكبرات الصوت وبدون مكبرات صوت، على ثلاثة أنواع من المواد (الألومنيوم والحديد والكرتون) بمدى مسافة يتراوح بين 1 و 7 أمتار. أظهرت النتائج أن استخدام مكبرات الصوت قد حسن بشكل كبير دقة قياس المسافة لخصائص الأهداف المرصودة، خاصة في المواد ذات الانعكاسية المنخفضة. أظهر تحليل قوة إشارة الارتداد أن التردد والمسافة والمواد تؤثر على قوة إشارة الارتداد. يساهم هذا البحث في تطوير تقنية الليدار أكثر كفاءة للتطبيقات في مختلف المجالات، مثل التضاريس والملاحة ورسم الخرائط.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengukuran yang akurat merupakan kunci penting untuk kehidupan sehari-hari serta kemajuan ilmiah dan teknologi. Sebelum sistem standar seperti metrik diperkenalkan secara luas, manusia telah terbiasa mengukur berbagai besaran fisika dengan cara yang lebih sederhana, seperti panjang, massa, volume, dan waktu. Setiap daerah atau negara memiliki sistem pengukurannya sendiri, yang sering dipengaruhi oleh objek sehari-hari atau alam. Misalnya, sistem tradisional sering kali mengukur panjang menggunakan kaki, sementara ibu jari untuk mengukur inci, yang menunjukkan bahwa pengukuran selalu berkaitan dengan kehidupan manusia. Namun, pengukuran juga telah berubah seiring perkembangan teknologi dan zaman. Berkat teknologi dengan presisi tinggi, pemetaan wilayah kini lebih mudah dibandingkan sebelumnya yang dilakukan secara manual dan memiliki keterbatasan. *Light Detection and Ranging* (LiDAR) adalah teknologi yang mengubah cara kita melihat lingkungan sekitar dengan memberikan data yang cepat dan akurat. LiDAR saat ini digunakan dalam berbagai industri, termasuk pemantauan atmosfer, pemetaan wilayah, aplikasi forensik, dan aplikasi pertanian (Zhou et al., 2021). LiDAR semakin populer karena dapat membantu pengukuran yang lebih presisi di berbagai industri.

Kemajuan digitalisasi yang pesat, pengukuran jarak tanpa menyentuh objek secara fisik kini dapat dilakukan. Sensor LiDAR, atau sensor pendeteksi dan pengukur jarak cahaya, telah tersedia di pasaran sebagai komponen untuk

mengukur jarak (Aziz & Zakariyah, 2022). Sebagai contoh, penggunaan LiDAR untuk memindai rel kereta api dalam waktu singkat tanpa menyentuh objek memungkinkan pemeliharaan untuk mengawasi pembebanan ekstrim dan penuaan, yang dapat menyebabkan kerusakan rel kereta api saat melakukan pemeliharaan (Sharifisoraki et al., 2023). Dalam hal ini, LiDAR sangat berguna dalam banyak aplikasi industri dan teknik karena kemampuannya untuk mengukur jarak tanpa kontak langsung.

Sebagai manusia yang ditugaskan untuk menguasai ilmu pengetahuan dan mengembangkannya demi kemaslahatan umat manusia, kita tidak boleh mengabaikan petunjuk yang terkandung dalam Al-Qur'an, yang dapat ditemukan dalam Surat QS. Al-Mulk ayat 3-4 yang berbunyi:

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا مَّا تَرَىٰ فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفَافُوتٍ فَارْجِعِ الْبَصَرَ هَل تَرَىٰ مِن

فُطُورٍ ﴿٣﴾ ثُمَّ ارْجِعِ الْبَصَرَ كَرَّتَيْنِ يَنْقَلِبْ إِلَيْكَ الْبَصَرُ خَاسِئًا وَهُوَ حَسِيرٌ ﴿٤﴾

*Artinya : “Yaitu Tuhan yang menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Kamu tidak melihat sesuatu yang tidak seimbang pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih. Maka lihatlah sekali lagi, adakah kamu melihat sesuatu yang cacat? Kemudian pandanglah sekali lagi niscaya penglihatanmu akan kembali kepadamu dengan tidak menemukan sesuatu cacat dan penglihatanmu itu pun dalam keadaan yang payah.”*

QS. Al-Mulk ayat 3-4 menjelaskan tentang penciptaan langit dan bumi yang berlapis-lapis dan teratur. Ayat ini menunjukkan kebesaran Allah Swt. dalam menciptakan alam semesta dan segala isinya, termasuk teknologi LiDAR. Teknologi LiDAR merupakan salah satu bukti kebesaran Allah Swt. di samping kemampuan manusia dalam mempelajari dan memanfaatkan alam semesta. Pemahaman terhadap ayat Al-Qur'an tersebut dapat menuntun para peneliti dalam

mengembangkan teknologi LiDAR yang lebih akurat, efisien, dan bermanfaat bagi umat manusia.

Kemajuan dalam teknologi pengukuran jarak digital sangat menguntungkan industri otomotif, optik, perangkat medis, dan instrumen lainnya. LiDAR semakin menjadi solusi utama untuk pengukuran jarak digital. LiDAR banyak digunakan dalam topografi, pemetaan, survei, dan pengembangan sistem, dengan memanfaatkan sinar laser untuk mendeteksi objek dan mengukur parameter lainnya. Sensor menggunakan laser untuk menembakkan cahaya ke suatu objek guna mengumpulkan informasi tambahan atau memperkirakan jarak dari target. Laser inframerah, tampak, dan ultraviolet biasanya digunakan (Andara et al., 2020). Dengan kemajuan teknologi, pabrik dan produsen komponen mendukung pengukuran jarak digital dengan sensor LiDAR yang menggunakan sinar optik.

Prinsip dasar dari sensor LIDAR adalah menargetkan objek dengan sinar laser dan mendeteksi cahaya yang dipantulkan kembali. Kemudian, detektor memeriksa karakteristik cahaya yang masuk untuk mengidentifikasi objek (Rubizandri, 2024). Dalam praktiknya, sensor LIDAR mengirimkan pulsa laser ke objek, memantulkan cahaya kembali. Data pantulan ini diolah untuk memperkirakan jarak, bentuk, dan permukaan objek. Data ini digunakan untuk membuat representasi tiga dimensi objek atau lingkungan (Sidharta, 2019). Pemahaman prinsip dasar LiDAR penting untuk menganalisis pengaruh jenis material dan jarak (1-7 meter) terhadap akurasi pengukuran.

LiDAR menggunakan prinsip sederhana dalam mengukur perbedaan waktu antara cahaya yang dipancarkan dan cahaya yang dipantulkan untuk menentukan jarak. Dalam teknologi LiDAR, perbedaan waktu diukur menggunakan beberapa

teknik yang sudah mapan. *Time of Flight* (ToF), *frequency modulated continuous wave* (FMCW), dan radar (*radio detection and ranging*) merupakan beberapa contoh teknik yang dapat digunakan untuk memodulasi sumber cahaya untuk menentukan jeda waktu antara cahaya yang dipancarkan dan cahaya yang dipantulkan (Hanto et al., 2023). LiDAR menawarkan tiga metode pengukuran yang berbeda: *ToF*, *AMCW*, dan *FMCW*. Salah satu teknik yang digunakan adalah ToF, yang memiliki keunggulan dalam mengidentifikasi objek dengan cepat. Sebaliknya, FMCW menawarkan kekebalan cahaya laser yang seimbang dalam segala keadaan (Alamsyah & Rivai, 2020). Metode ToF, FMCW, dan Radar modulasi sumber cahaya digunakan untuk mengukur jarak dengan LiDAR, yang mengukur perbedaan waktu antara cahaya pantulan dan pancaran.

Teknik pengukuran jarak LiDAR menjadi dua bagian. Teknik pertama adalah triangulasi LiDAR, yang dilakukan dengan persamaan segitiga. Laser inframerah memancarkan cahaya, yang dipantulkan oleh objek yang dideteksi. Cahaya mengenai sensor kamera CCD setelah melewati lensa lubang jarum. Jarak antara objek dan cahaya sebanding dengan sudut cahaya yang dipantulkan. Orang juga dapat memperkirakan jarak sebenarnya dengan menggunakan teori trigonometri segitiga. Metode LiDAR ToF bekerja dengan mengirimkan sinar laser ke objek dan menerima pantulan sinar tersebut. Jarak dihitung berdasarkan kecepatan cahaya dan waktu yang dibutuhkan sinar laser untuk mencapai objek dan kembali ke sensor. Membandingkan kecepatan cahaya dan waktu akan menghasilkan data jarak (Fikri & Rivai, 2019). Setelah mempelajari prinsip dasar dan teknik pengukuran LiDAR, penting untuk memahami berbagai situasi yang dapat mempengaruhi ketelitian dan efektivitas pembacaan LiDAR. Akurasi dan efektivitas data LiDAR dapat

dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk jarak target, dan jenis material yang digunakan pada permukaan objek.

Pengukuran jarak antara objek dan sensor dikenal sebagai *Time of Flight* (TOF) dalam teknologi LiDAR. Prosesnya cukup sederhana: LiDAR menyinari objek dengan laser, dan ToF mengukur jumlah waktu yang dibutuhkan cahaya untuk mencapai sensor dari titik pantulan, sehingga didapatkan margin kesalahan yang sangat kecil terkait pemisahan antara objek dan sensor. Teknologi ini telah banyak diterapkan, penelitian lebih lanjut sedang dilakukan untuk meningkatkan kinerjanya tergantung pada jenis material yang ditempatkan di permukaan dan perubahan jarak objek. LiDAR telah terbukti sangat efisien dalam memberikan informasi yang sangat rinci dan tepat tentang bentuk dan jarak objek. Namun, akurasi dan efisiensi LiDAR dapat dipengaruhi oleh jangkauan target dan kesulitan permukaan objek dalam memantulkan sinyal. Di sisi lain, penggunaan amplifier dapat meningkatkan kekuatan sinyal pantulan yang diterima sehingga akurasi pengukuran dapat ditingkatkan dibandingkan dengan pengukuran tanpa menggunakan amplifier. Singkatnya, LiDAR dengan teknologi TOF cukup berharga untuk dunia saat ini dan sedang dikembangkan lebih lanjut untuk berbagai aplikasi tingkat lanjut.

Penelitian terdahulu telah menyelidiki dampak komponen tersebut terhadap kinerja LiDAR, Amplifier, dan komponen lainnya untuk mendukung penelitian ini. *Dual-Modulation Frequency* pada ToF LiDAR telah diteliti oleh Dwi Hanto untuk meningkatkan resolusi dan jarak yang dapat diukur. Penelitiannya menggunakan sinyal generator untuk memodulasi dioda laser dengan panjang gelombang  $\lambda = 632$  nm (Hanto et al., 2023). Dengan mempelajari modulasi dua gelombang *sinusoidal*

pada 2 MHz dan 10 MHz pada *LiDAR Infrared*, Rubizandri (2024) menemukan bahwa frekuensi 10 MHz memiliki resolusi yang baik dengan ketidaktepatan hanya 3% atau  $\pm 0.0353$  meter (Rubizandri, 2024). Selain itu, Wayan dan Abdul Jalil melakukan penelitian merancang robot kepala berbasis *vision* menggunakan *Raspberry Pi dan Robot Operating System 2 (ROS 2)* untuk mengingat jarak sosial (*social distancing*) di ruang publik dan menggunakan amplifier untuk mengeluarkan peringatan suara saat mendeteksi pelanggaran jarak sosial. Hasilnya adalah desain robot *arm* yang efektif yang menggabungkan teknologi penginderaan visual dengan perangkat lunak kontrol robot untuk meningkatkan kesadaran dan kepatuhan jaga jarak di tempat umum (Suparno & Jalil, 2022). Akurasi pengukuran LiDAR dan kekuatan sinyal pantul yang diterima dipengaruhi oleh jenis material dan variasi jarak. Penelitian sebelumnya belum secara mendalam meneliti bagaimana jenis material dan variasi jarak secara bersamaan mempengaruhi akurasi LiDAR. Untuk mengetahui bagaimana berbagai jenis material seperti kardus, besi, dan aluminium bereaksi terhadap sinyal LiDAR, penelitian ini akan menyelidiki bagaimana frekuensi mempengaruhi interaksi antara berbagai jenis material dengan sinyal.

Frekuensi gelombang yang digunakan mempengaruhi akurasi pengukuran LiDAR. Penelitian ini membandingkan penggunaan frekuensi 2 MHz dan 10 MHz untuk menguji pengaruh frekuensi terhadap akurasi pendeteksian objek. Frekuensi yang lebih tinggi memungkinkan pendeteksian objek yang lebih detail pada jarak dekat, sedangkan frekuensi yang lebih rendah, seperti 2 MHz, bekerja lebih baik pada jarak jauh (Rubizandri, 2024). Penelitian ini juga akan meneliti pengaruh penggunaan amplifier terhadap kekuatan sinyal pantulan. Amplifier meningkatkan

kekuatan sinyal LiDAR, terutama pada frekuensi rendah atau jarak jauh, sehingga pengukuran menjadi lebih akurat untuk material yang tidak memantulkan cahaya dengan baik.

Penggunaan LiDAR di Indonesia semakin meningkat dalam pemetaan dan survei. Namun, masih sedikit penelitian yang mempelajari bagaimana variasi jarak dan jenis material objek (aluminium foil, besi, dan kardus) berdampak pada akurasi pengukuran LiDAR, terutama dengan amplifier. Penelitian ini juga mempelajari bagaimana variasi jarak antara 1 hingga 7 meter dan jenis material objek tersebut berdampak pada akurasi pengukuran LiDAR dan kekuatan sinyal pantul yang diterima.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak dan variasi jenis material terhadap akurasi pengukuran LiDAR dalam mendeteksi objek?
2. Bagaimana perbandingan kinerja LiDAR dalam hal akurasi dan kekuatan sinyal pantul antara pengukuran menggunakan amplifier dan tanpa menggunakan amplifier?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan variasi jenis material terhadap akurasi pengukuran LiDAR dalam mendeteksi objek

2. Untuk mengetahui perbandingan kinerja LiDAR dalam akurasi dan kekuatan sinyal pantul antara pengukuran menggunakan amplifier dan tanpa menggunakan amplifier.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini memberikan potensi sebagai sumber referensi penting bagi lingkungan akademik, khususnya dalam penelitian mengenai pengaruh variasi jarak (1-7 meter) dan jenis material objek terhadap akurasi pengukuran LiDAR. Penelitian juga berfokus pada peran amplifier dalam meningkatkan kinerja sistem LiDAR serta pengembangan model teoritis untuk mengoptimalkan pengukuran dalam berbagai kondisi. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi yang berguna bagi penelitian-penelitian lanjutan di bidang LiDAR.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini bertujuan meningkatkan pemahaman tentang pengaruh variasi jarak dan material objek terhadap pengukuran LiDAR. Hasil penelitian diharapkan dapat mengoptimalkan teknologi LiDAR untuk aplikasi topografi, navigasi kendaraan otonom, serta pengembangan sistem yang lebih akurat dan andal. Dengan kata lain, hasil riset ini bukan hanya berkontribusi pada teori, tetapi juga dapat diterapkan untuk pengembangan teknologi yang bermanfaat.

### **1.5 Batasan Masalah**

Agar penelitian terarah dan fokus yang jelas pada penelitian yang dilakukan, sehingga penelitian dapat dilakukan secara efektif dan efisien, maka dibuatlah batasan masalah dari rumusan masalah tersebut. Adapun batasan-batasan masalah pada penelitian kali ini yaitu sebagai berikut :

1. Menggunakan ToF pada variasi jarak tertentu, dengan rentang 1 – 7 meter.
2. Objek yang digunakan dalam pengukuran ToF yaitu aluminium foil, besi, dan kardus
3. Penerapan amplifier sebagai faktor variabel dalam pengukuran LiDAR.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 LiDAR (*Light Detection and Ranging*)

Penginderaan jarak jauh, pemetaan, navigasi untuk kendaraan otonom, dan pemantauan lingkungan dapat dilakukan dengan teknologi LiDAR yang dapat ditemukan dalam surat Qs. An-Naba' ayat 10-11 yang berbunyi:

﴿١٠﴾ وَجَعَلْنَا اللَّيْلَ لِيَاسًا ﴿١١﴾ وَجَعَلْنَا النَّهَارَ مَعَاشًا

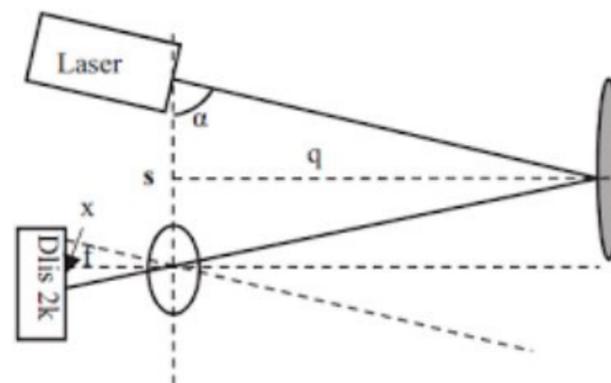
*Artinya : “Kami menjadikan malam sebagai pakaian. Kami menjadikan siang untuk mencari penghidupan.”*

QS. An-Naba' ayat 10-11 menjelaskan keseimbangan yang diciptakan oleh Allah dalam kehidupan manusia, dimana malam hari untuk ketenangan, sementara siang hari untuk aktivitas dan eskplorasi. LiDAR menunjukkan seberapa besat manusia menggunakan siang hari, cahaya, dan ilmu pengetahuan untuk lebih memahami lingkungannya. LiDAR bekerja dengan memanfaatkan sinar laser untuk mendeteksi dan memetakan objek. Teknologi ini pada dasarnya mengingatkan kita pada karunia Allah berupa cahaya, untuk memahami dunia di sekitar mereka, di luar keterbatasan penglihatan biasa yang hanya dapat melihat dalam kondisi tertentu.

LiDAR menerapkan prinsip laser untuk mengukur jarak jauh dengan menggunakan sinar optik yang tersebar (Dosovitskiy et al., 2018). Prinsip pengukuran jarak LiDAR adalah dengan memancarkan pulsa cahaya, yang biasanya dihasilkan oleh laser, ke objek yang akan diukur. Cahaya bergerak dengan kecepatan cahaya. Ketika pulsa cahaya mengenai objek, cahaya tersebut

dipantulkan dan kembali ke detektor LiDAR (Krisna & Putra, 2016). Detektor ini mengukur waktu yang diperlukan oleh pulsa cahaya untuk melakukan perjalanan ini dengan akurasi tinggi. Dengan mengetahui waktu tempuh pulsa cahaya tersebut, LiDAR dapat menghitung jarak antara sumber cahaya (LiDAR) dengan objek yang memantulkan cahaya (Madreansah & Ropianto, 2020). Dengan kata lain, metode pengukuran jarak LiDAR menggunakan pancaran cahaya yang singkat ke objek yang diukur, yang biasanya dilakukan oleh laser.

Elemen dasar LiDAR meliputi laser, pemancar (transmitter), penerima (receiver), pemroses sinyal, dan pemindai. Cahaya dari laser digunakan yang dipancarkan ke arah target. Penerima akan menangkapnya dan pemindai memfokuskan sinar laser ke area sekitarnya. Bentuk, jarak dan karakteristik objek dapat diidentifikasi oleh pemroses sinyal dengan menggunakan data waktu transit (Maulina, 2023).



Gambar 2. 1 Cara kerja LiDAR triangulasi (Sumber: Fikri & Rivai, 2019).

Pengukuran jarak dengan LiDAR dapat dibagi menjadi dua metode, yaitu triangulasi dan *Time of Flight* (ToF). Metode triangulasi bekerja dengan menggunakan perhitungan persamaan. Berbeda dengan metode triangulasi, metode ToF pada LiDAR mengukur jarak dengan menghitung waktu tempuh sinar laser dari LiDAR ke objek dan kembali. ToF LiDAR kemudian dapat menghitung jarak

antara LiDAR dan objek dengan mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan pulsa cahaya untuk kembali (Fikri & Rivai, 2019). Prinsip dasarnya adalah cahaya dapat digunakan untuk menghitung jarak karena cahaya menempuh jarak tertentu dalam waktu tertentu, salah satu konstanta adalah kecepatan cahaya ( $c$ ). LiDAR menghitung waktu ( $t$ ) yang diperlukan untuk meninggalkan dan kembali dari target. Cahaya bergerak ke target dan kembali; dengan demikian, jarak sebenarnya ke target ditemukan dengan membagi nilai tersebut dengan dua. Hal ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$d = \frac{c \times t}{2} \quad 2.1$$

dengan  $C$  adalah Kecepatan Cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s),  $t$  adalah waktu tempuh sinar laser pulang-pergi.

LiDAR mengukur jarak dengan menggunakan pergeseran fase ( $\phi$ ) antara sinyal laser yang dipancarkan dan sinyal yang dipantulkan balik oleh objek. Posisi gelombang dalam satu siklus digambarkan dalam fase ini, baik dalam derajat ( $0-360^\circ$ ) atau radian ( $0-2\pi$ ). Untuk menghitung perubahan fase ini dengan lebih akurat, rumus berikut digunakan untuk menunjukkan hubungan antara pergeseran fase dan jarak:

$$d = \frac{c}{2f_m} \cdot \frac{\phi}{360^\circ} \quad 2.2$$

dengan  $d$  adalah jarak objek (meter),  $C$  adalah Kecepatan Cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s),  $f_m$  adalah frekuensi modulasi sinyal laser,  $\phi$  adalah pergeseran fase dalam derajat (Zhang & Wang, 2020). Dengan frekuensi modulasi yang lebih tinggi, panjang gelombang yang digunakan lebih kecil, yang membuat pergeseran fase lebih sensitif terhadap perubahan jarak.

LiDAR menggunakan sinar laser untuk mengukur jarak dan membuat gambar 3D dari objek. Sudut pengukuran, jarak, dan sifat permukaan seperti warna reflektifitas berdampak pada cara kerja LiDAR (Heiden et al., 2019). Dalam sebuah penelitian, Lambert et al. (2020) menyadari bahwa cahaya laser memantul secara berbeda pada permukaan yang berbeda, sehingga menghasilkan pantulan cahaya laser yang berbeda pula (Lambert et al., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa sifat permukaan objek menentukan hasil pengukuran LiDAR.

Sifat permukaan objek memiliki dampak terhadap hasil pengukuran yang diperoleh LiDAR. Menurut Phillips et al. (2017) bahwa objek dengan permukaan halus dan warna yang terang mampu memantulkan cahaya laser ke sensor LiDAR dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan objek yang memiliki permukaan kasar dan gelap (Phillips et al., 2017).

Selain itu, Palmer et al. (2013) telah menggunakan sinar ultraviolet LiDAR untuk mengukur air yang keruh di mana warna dan kondisi permukaan air mempengaruhi hasil pengukuran (Palmer et al., 2013). Aplikasi yang paling umum dari hal ini adalah pada robot otonom dan mobil tanpa pengemudi. Goodin et al. (2019) menggunakan sistem ADAS, sebuah sistem bantuan pengemudi tingkat lanjut, di mana LiDAR mengukur jarak melalui perhitungan waktu yang dibutuhkan sinar laser untuk kembali setelah dipantulkan oleh permukaan objek (Goodin et al., 2019). Hal ini membuktikan bahwa kombinasi LiDAR dengan teknologi lain memang memberikan pengukuran yang lebih baik dalam sistem otomatis saat ini.

### **2.1.1 Modulasi**

Modulasi adalah proses mengubah parameter gelombang pembawa agar data dapat dikirim dari satu tempat ke tempat lain. Frekuensi gelombang pembawa

biasanya jauh lebih tinggi daripada sinyal informasi yang akan dikirimkan. Teknik modulasi memungkinkan informasi dikodekan ke dalam gelombang pembawa, yang memungkinkan pengiriman jarak jauh melalui media seperti kabel atau udara (Cai et al., 2019). Sinyal informasi dan gelombang pembawa adalah dua sinyal utama yang berinteraksi selama proses modulasi. Agar pesan yang terkandung dapat ditransmisikan, gelombang pembawa akan dipengaruhi oleh sinyal informasi. Dengan demikian, gelombang pembawa mengubah beberapa atributnya untuk menyesuaikan dengan informasi yang akan disampaikan (Rubizandri, 2024). Proses ini terjadi di sisi pemancar, di mana modulator mengubah gelombang pembawa berdasarkan sinyal informasi. Secara umum, modulasi dibagi menjadi tiga jenis utama:

1. Modulasi Frekuensi (FM)

Pada modulasi frekuensi, perubahan terjadi pada frekuensi gelombang pembawa berdasarkan sinyal informasi. Dalam transmisi FM, variasi frekuensi gelombang pembawa menyampaikan informasi. FM menawarkan kualitas audio yang lebih baik dan lebih tahan terhadap gangguan dibandingkan modulasi amplitudo (AM). Teknologi ini umum digunakan pada siaran radio FM dan berbagai aplikasi komunikasi nirkabel lainnya.

2. Modulasi Amplitudo (AM)

Pada modulasi amplitudo, amplitudo gelombang pembawa disetting sesuai sinyal informasi. Pada transmisi AM, perubahan amplitudo gelombang pembawa mencerminkan sinyal informasi. Informasi tersebut diekstraksi pada penerima melalui variasi amplitudo ini. AM sering digunakan pada

siaran radio AM, meskipun riskan pada gangguan dan memiliki kualitas audio yang sangat rendah dibandingkan metode modulasi lainnya.

### 3. Modulasi Fase (PM)

Pada modulasi fase, fase gelombang pembawa dimodifikasi sesuai dengan sinyal informasi. Pada transmisi PM, informasi disampaikan melalui perubahan fase gelombang pembawa. Modulasi fase kurang umum dalam komunikasi konsumen tetapi lebih sering digunakan dalam aplikasi industri dan penelitian ilmiah.

Dalam penelitian ini, modulasi frekuensi (FM) digunakan pada laser inframerah dengan modulasi berupa gelombang sinusoidal. Gelombang sinus adalah gelombang periodik yang mengikuti fungsi matematis sinus atau kosinus, ditandai dengan pola berulang berupa puncak (amplitudo maksimum) dan lembah (amplitudo minimum) pada interval waktu tertentu (Seo, 2020). Secara umum, bentuk matematis gelombang sinus dinyatakan dengan persamaan berikut:

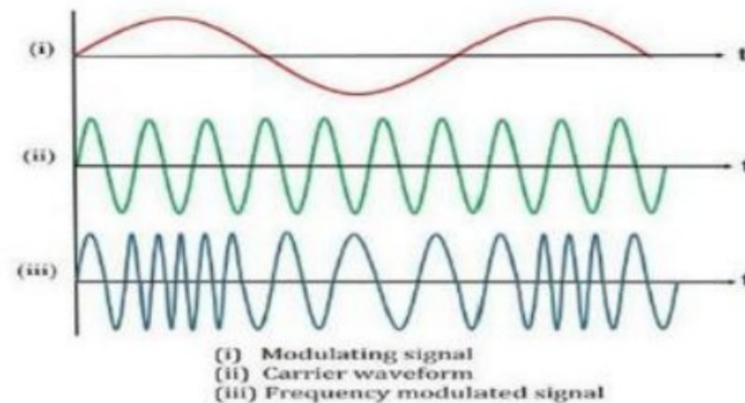
$$y(t) = A \sin(\omega t \pm \varphi) \quad 2.3$$

Di mana:

- $A$  (amplitudo) adalah simpangan maksimum dari posisi tengahnya,
- $\omega$  (frekuensi sudut) menunjukkan jumlah gerakan bolak-balik dalam satuan waktu, dinyatakan dalam radian per detik,
- $\varphi$  (fase) menyatakan posisi awal gerakan ketika  $t = 0$ .

Laser inframerah dengan panjang gelombang 910 nm memiliki frekuensi sebesar 397.67 THz. Ketika diberikan modulasi frekuensi,

frekuensi laser inframerah tersebut akan mengalami perubahan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Modulasi FM (Sumber: Seo, 2020).

Gambar ini menunjukkan bagaimana gelombang inframerah bertindak sebagai gelombang pembawa (ii), sementara gelombang sinus yang dimodulasikan berfungsi sebagai sinyal informasi (i). Kombinasi keduanya menghasilkan gelombang FM (iii).

### 2.1.2 Modulasi Amplitudo

Modulasi amplitudo (AM) adalah teknik modulasi yang digunakan untuk mengirimkan informasi dengan mengubah amplitudo sinyal pembawa berdasarkan sinyal informasi. Dalam konteks teori AM, sinyal yang dimodulasi dapat dinyatakan dengan rumus matematis sebagai berikut:

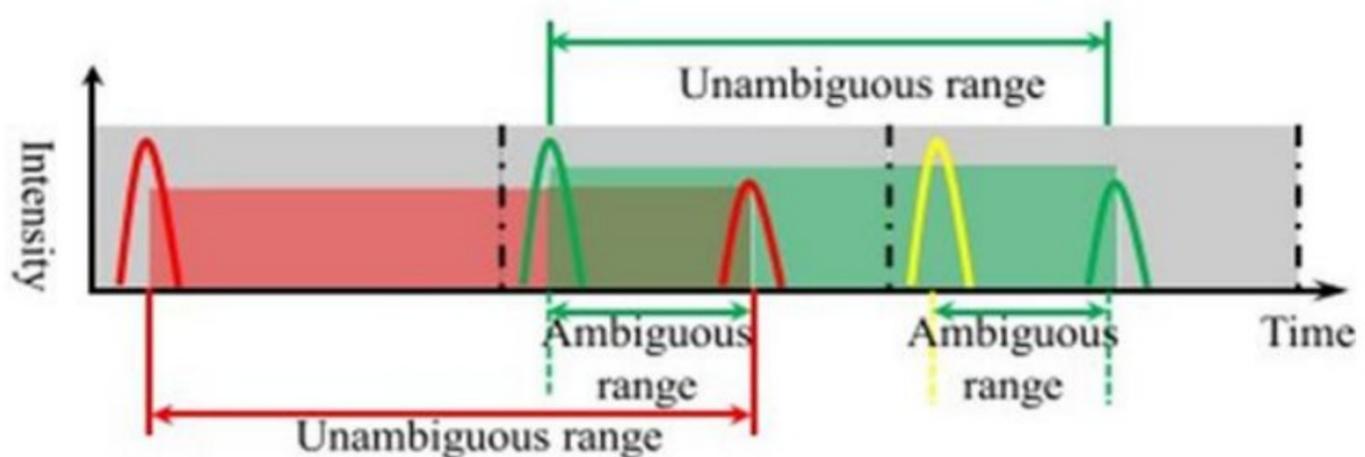
$$y(t) = A \sin(2\pi f_c t) \quad 2.3$$

dengan  $A$  adalah amplitudo,  $f_c$  adalah frekuensi pembawa, dan  $t$  adalah waktu. Dalam AM, informasi ditransmisikan dengan mengubah amplitudo dari sinyal pembawa  $y(t)$  sesuai dengan sinyal informasi yang ingin dikirimkan. Hal ini memungkinkan penerima untuk mendeteksi perubahan amplitudo dan mengembalikan informasi asli (Khairunnisa, 2017).

Pengukuran amplitudo sinyal pembawa pada frekuensi 2 MHz dan 10 MHz dapat dilakukan dengan menggunakan alat ukur seperti osiloskop atau spectrum analyzer. Pada frekuensi ini, penting untuk memastikan bahwa frekuensi pembawa lebih tinggi daripada frekuensi sinyal informasi, sesuai dengan prinsip dasar AM, di mana frekuensi pembawa harus cukup tinggi untuk menghindari distorsi dan memastikan transmisi yang efisien (Khairunnisa, 2017). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa frekuensi pembawa yang lebih tinggi memungkinkan untuk indeks modulasi yang lebih baik, yang berkontribusi pada kualitas sinyal yang lebih tinggi (Sawitri et al., 2020).

### 2.1.3 Ambiguity

Ambiguity pada sistem LiDAR mengacu pada situasi di mana pengukuran jarak menjadi tidak jelas atau sulit diinterpretasikan. Hal ini terjadi ketika perangkat LiDAR tidak dapat membedakan antara beberapa pulsa cahaya laser yang dipantulkan, sehingga menciptakan ketidakpastian dalam penghitungan jarak objek.



Gambar 2. 3 Ambiguity (Sumber: Rubizandri, 2024)

Penyebab Ambiguitas dapat dilihat pada gambar 2.3, ambiguitas terjadi selama pengulangan fase di antara periode yang berbeda. Ketidakmampuan receiver untuk membedakan pengulangan fase menyebabkan tumpang tindih informasi, yang menghasilkan data yang sulit diinterpretasikan (Rubizandri, 2024).

Sistem LiDAR konvensional biasanya menggunakan perubahan waktu ( $\Delta t$ ) untuk mengukur jarak. Namun, ketika informasi fase saling tumpang tindih, metode ini tidak cukup untuk membedakan pengulangan fase. Oleh karena itu, diperlukan metode tambahan untuk mengatasi ambiguitas fase. Pendekatan ini memerlukan perangkat keras dan perangkat lunak tambahan, yang berkontribusi pada peningkatan biaya sistem secara keseluruhan (Zang et al., 2019).

#### **2.1.4 Amplifier Mini Circuits ZFL-1000 LN**

Alat elektronik yang disebut amplifier berfungsi untuk meningkatkan sinyal listrik. Amplifier menerima sinyal input dengan daya rendah dan menghasilkan sinyal yang lebih kuat. Amplifier adalah perangkat elektronik yang terdiri dari transistor, resistor, dan dioda (Pangestu et al., 2021). Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan daya atau tenaga sinyal tanpa mengubah informasi di dalamnya (Setiawan & Ramdan, 2022). Dengan kata lain, amplifier dalam sistem pengukuran jarak meningkatkan deteksi sinyal objek jauh atau dengan reflektivitas rendah untuk analisis yang lebih baik.

Menghitung *gain*, yang merupakan perbandingan daya output dengan daya input, adalah salah satu cara untuk mengetahui besarnya amplifier. *Gain* biasanya ditunjukkan dalam satuan *decibel* (dB) (Setiawan & Ramdan, 2022). Nilai *gain* bisa bervariasi tergantung pada frekuensi yang diinginkan. Salah satu jenis amplifier yang populer adalah Amplifier mini circuits ZFL-1000LN, yang dirancang khusus

untuk memberikan penguatan yang stabil dalam rentang frekuensi yang luas (Mini Circuits, 2020).



Gambar 2. 4 Amplifier Mini Circuits ZFL-1000LN (Sumber: Mini Circuits, 2020)

Penguatan amplifier ini cukup tinggi yaitu 20 dB, sebuah pengukuran jumlah penguatan sinyal. Amplifier ini dapat mengubah sinyal yang lemah menjadi output yang lebih kuat. Sebaliknya, ZFL-1000LN+ mampu memberikan daya yang dibutuhkan untuk memperkuat sinyal RF tanpa menghasilkan distorsi atau gangguan dengan daya output maksimum +3 dBm pada kompresi 1 dB (Clough-Paez et al., 2023). rentang frekuensi operasi ZFL-1000LN+ cukup lebar: dari 0,1 MHz hingga 1000 MHz. Hal ini menunjukkan seberapa cepat amplifier ini dapat bekerja dan memperkuat bentuk gelombang sinyal. Semakin tinggi frekuensinya, semakin cepat pemrosesan data yang dapat dilakukan, yang sangat berguna dalam pengujian sistem atau komunikasi frekuensi radio. Pengoperasian yang efisien dari amplifier ini memerlukan tegangan catu daya  $DC +15V$ , yang mengindikasikan bahwa amplifier ini memerlukan sumber daya listrik. Hanya sistem yang mendukungnya yang dapat menggunakannya karena kekhususan tegangannya (Mini Circuits, 2020). Dengan kata lain, Semakin tinggi frekuensinya, semakin

cepat pemrosesan data yang dapat dilakukan, yang sangat berguna dalam pengujian sistem atau komunikasi frekuensi radio.

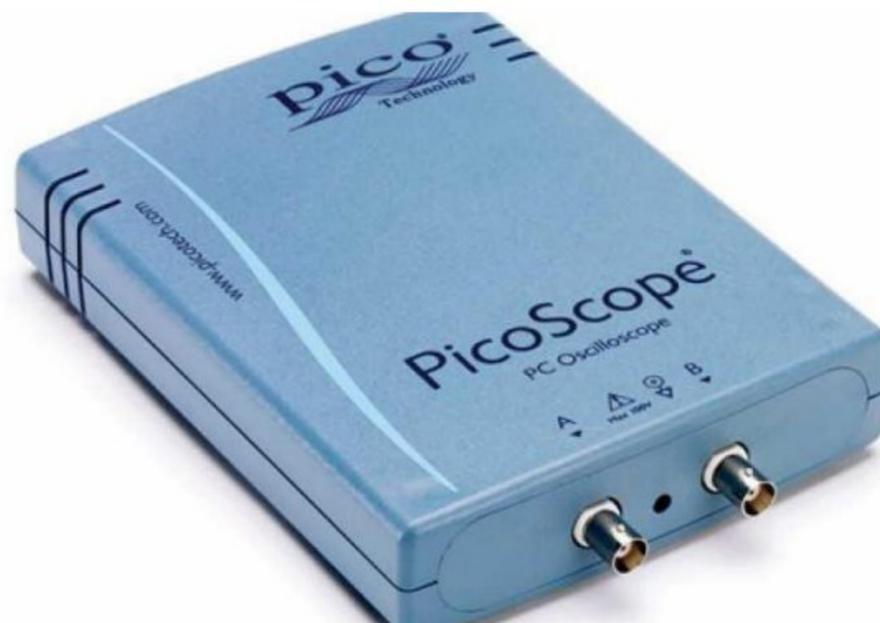
Konsumsi arus amplifier ini adalah 60 mA, yang berarti bahwa amplifier ini memerlukan suplai arus 60 miliampere agar dapat berfungsi, dan sangat baik dalam memperkuat sinyal, namun tidak menarik banyak daya. Di sisi lain, impedansi mengukur perlawanan yang diberikan perangkat terhadap aliran arus listrik. Karena ZFL-1000LN+ kompatibel dengan sebagian besar perangkat RF lainnya dan dengan impedansi input dan output 50 Ohm, menghubungkan perangkat satu sama lain menjadi mudah. Stasiun pemancar radio yang menggunakan komunikasi nirkabel dapat meningkatkan sinyal dan area cakupannya dengan menggunakan amplifier seperti ZFL-1000LN+. Ketika antena berada jauh dari stasiun pemancar, amplifier dapat digunakan untuk mendeteksi sinyal yang sangat lemah pada sistem penerimaan. Dalam laboratorium, amplifier digunakan untuk meningkatkan sinyal ketika menguji perangkat listrik seperti sensor atau radar.

### **2.1.5 Osiloskop**

Osiloskop adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur, menganalisis, dan mengamati sinyal listrik dalam bentuk grafik yang dikenal sebagai osilogram atau gelombang. Alat ini memungkinkan pengukuran karakteristik sinyal seperti amplitudo, frekuensi, fase, bentuk gelombang, serta deteksi gangguan pada sistem elektronik. PicoScope adalah perangkat lunak analisis sinyal yang kompatibel dengan osiloskop modern. Fitur-fitur utamanya meliputi:

1. FFT (Fast Fourier Transform) untuk analisis spektrum.
2. Pemicuan berbasis tegangan.

3. Penyimpanan dan pemuatan bentuk gelombang.
4. Generator fungsi bawaan.
5. Pengujian batas masker.
6. Dekoding sinyal serial seperti I2C, SPI, UART, CAN, LIN, dan FlexRay  
(Pico Technology, 2016).



Gambar 2. 5 PicoScope (Sumber: Pico Technology, 2016)

PicoScope memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya adalah ketergantungan pada komputer untuk beroperasi, yang mungkin tidak nyaman bagi beberapa pengguna yang lebih suka alat mandiri. Selain itu, meskipun alat ini memiliki banyak fitur canggih, antarmuka perangkat lunak bisa jadi membingungkan bagi pemula yang baru mengenal osiloskop. PicoScope yang memiliki kemampuan untuk:

1. Meningkatkan resolusi pengukuran.
2. Memperluas jangkauan dinamis.
3. Mengurangi noise dan distorsi.

PicoScope ini dilengkapi buffer berkapasitas 16 juta sampel, memungkinkan perangkat menangkap data pada kecepatan 10 MS/s dalam durasi basis waktu hingga 100 ms/div (Rajabzadeh et al., 2019).

### **2.1.6 Photodetector**

Pada sistem LiDAR, photodetector adalah komponen yang bertugas menerima dan mendeteksi pulsa cahaya laser yang dipantulkan dari objek di sekitarnya. Photodetector memiliki peran krusial dalam mengukur waktu tempuh cahaya dan menghasilkan data yang digunakan untuk menghitung jarak antara sistem LiDAR dan objek. Selama proses penerimaan cahaya, terjadi fenomena avalanche, di mana foton yang memberikan energi tambahan kepada elektron menyebabkan benturan dengan atom-atom dalam material semikonduktor. Benturan ini memicu pelepasan lebih banyak elektron, menciptakan efek berantai yang menghasilkan arus listrik lebih besar daripada jumlah foton awal.

Fenomena ini meningkatkan sensitivitas deteksi cahaya oleh Avalanche Photodiodes (APD), yang secara internal memperkuat sinyal optik. APD sangat bermanfaat dalam berbagai aplikasi seperti komunikasi serat optik, sensor jarak, dan pencitraan (Rubizandri, 2024).

Menurut (Wang, Binhao & Jifang Mu, 2022) Avalanche Photodiodes (APD) adalah jenis fotodiode yang dirancang untuk mendeteksi fenomena avalanche. Dibandingkan dengan fotodiode konvensional, APD memiliki sensitivitas lebih tinggi. Fotodiode sendiri merupakan perangkat semikonduktor yang mengonversi cahaya menjadi arus listrik. APD menggunakan material silikon (Si) dengan area penangkap cahaya yang sangat tipis. Ketika foton mengenai area ini, energi foton

meningkatkan energi elektron, sehingga memicu efek avalanche yang memperkuat jumlah elektron bebas yang dihasilkan (Rawat et al., 2023).

## 2.2 Laser Dioda Controller

Pengontrol dioda laser adalah perangkat semikonduktor yang berfungsi untuk memasok arus listrik yang konstan dan dapat diandalkan ke laser. Pengontrol dioda laser terdiri dari pasokan arus konstan dan pengontrol suhu TEC. Beberapa peran yang dimainkannya termasuk menyediakan arus yang konstan dan akurat serta mengatur suhu laser semikonduktor. Pengontrol dioda laser digunakan oleh dua di antaranya. Pendingin Peltier memiliki sumber arus dua kutub untuk kontrol suhu laser dan sumber arus derau rendah untuk pembiasan laser. Kontrol pembiasan anoda dan katoda adalah tugas utama pengontrol ini (Rubizandri, 2024).



Gambar 2. 6 Laser Dioda Controller (Sumber: Thorlabs, 2018)

ITC 4001 presisi daya tinggi adalah pengontrol suhu dan dioda laser desktop. Perangkat ini diproduksi oleh Thorlabs, memiliki kontrol suhu, dan antarmuka USB 2.0 untuk mengoperasikan dioda laser. ITC 4001 memiliki daya 96 W dan dapat mengalirkan arus 1 A, sehingga cocok untuk berbagai macam aplikasi. Pengontrol suhu termoelektrik perangkat dan suplai arus yang distabilkan dari dioda laser berfungsi secara akurat dan stabil. Di antara berbagai fitur keselamatan perangkat

ini, terdapat pembatas arus untuk mencegah arus berlebih dan soft start untuk menghilangkan puncak tegangan selama penyalaan. Para peneliti dan ahli dalam teknologi laser kemungkinan besar akan menemukan ITC 4001 sangat berguna karena dimaksudkan untuk memberikan dioda laser lingkungan yang tepat dan dapat diandalkan (Thorlabs, 2018).

### **2.2.1 Laser Infrared**

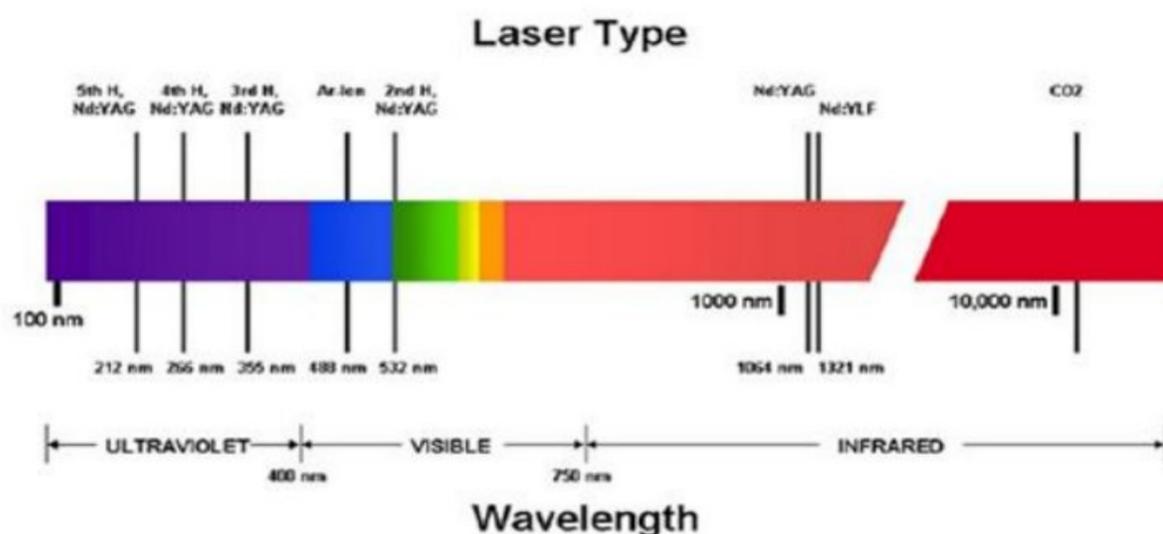
Laser, akronim dari "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" (Penguatan Cahaya melewati Emisi Terstimulasi Radiasi), adalah perangkat yang menghasilkan cahaya terfokus dan kohesif melalui proses emisi terstimulasi dalam medium penguat. Cahaya laser memiliki karakteristik unik, seperti koherensi (seragam dalam fase dan arah), monokromatis (memiliki satu panjang gelombang), dan koheren (hubungan fase yang terjaga). Laser banyak digunakan dalam berbagai bidang, seperti komunikasi serat optik, pemrosesan material, medis, ilmu pengetahuan, dan teknologi lainnya.

Laser dioda adalah jenis laser yang menggunakan semikonduktor sebagai medium penguat dan sumber cahaya. Salah satu jenisnya adalah laser inframerah (IR), yang termasuk dalam kategori laser solid-state dan menghasilkan cahaya tanpa memanfaatkan serat optik, melainkan udara sebagai media transmisinya (Liang et al., 2019)

Proses penghasilannya dimulai ketika arus listrik mengalir melalui semikonduktor, memaksa elektron berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Saat elektron kembali ke tingkat energi yang lebih rendah, cahaya kohesif dilepaskan. Cahaya ini kemudian dipantulkan bolak-balik di dalam semikonduktor oleh cermin reflektif untuk menghasilkan penguatan. Setelah mencapai ambang

tertentu, cahaya ini terfokus dan keluar dari ujung semikonduktor, menghasilkan laser monokromatis, koheren, dan terfokus.

Laser inframerah menghasilkan cahaya dalam spektrum elektromagnetik dengan panjang gelombang inframerah, yang berada di antara panjang gelombang cahaya tampak dan gelombang radio. Rentang panjang gelombang inframerah berkisar dari 700 nanometer hingga 1 milimeter, menjadikannya tak terlihat oleh mata manusia. Gambar 2.3 menunjukkan kategori panjang gelombang cahaya berdasarkan spektrum elektromagnetik.



Gambar 2. 7 Panjang Gelombang Cahaya (Sumber: Aboujja et al., 2022)

Pada Gambar 2.7, panjang gelombang cahaya dibagi menjadi beberapa kategori:

1. Ultraviolet (UV): Memiliki panjang gelombang sangat pendek, di bawah 400 nm. Cahaya UV tidak terlihat oleh mata manusia dan memiliki energi tinggi yang dapat membahayakan kulit dan mata.
2. Cahaya Tampak (Visible Light): Berada dalam rentang panjang gelombang 400 nm hingga 700 nm. Rentang ini dapat dilihat oleh mata manusia, dengan warna berbeda sesuai panjang gelombangnya.

3. Inframerah (IR): Memiliki panjang gelombang di atas 700 nm dan dibagi menjadi:
  - a) Inframerah Dekat (NIR): 700 nm hingga 1400 nm, digunakan dalam ilmu material, elektronika, dan biologi.
  - b) Inframerah Menengah (MIR): 1400 nm hingga 3000 nm, sering digunakan dalam spektroskopi molekuler dan aplikasi militer.
  - c) Inframerah Jauh (FIR): Di atas 3000 nm hingga beberapa milimeter, banyak diaplikasikan dalam penginderaan termal dan jarak jauh.

Dalam eksperimen ini, laser yang digunakan memiliki panjang gelombang 910 nm, termasuk dalam kategori Inframerah Dekat (NIR). Laser 910 nm memiliki keunggulan tertentu, seperti kemampuan penetrasi atmosfer yang tinggi, termasuk melalui kabut, uap air, dan partikel lain yang dapat mengganggu efisiensi pengukuran pada panjang gelombang lain (Aboujja et al., 2022). Selain itu, panjang gelombang ini memiliki jangkauan lebih baik dalam aplikasi LIDAR dibandingkan panjang gelombang lainnya. Laser 910 nm juga memanfaatkan "jendela" spektral yang kurang terpengaruh oleh cahaya matahari alami, meningkatkan sensitivitas pengukuran pada malam hari dan kondisi pencahayaan rendah (Wang *et al.*, 2019).

### **2.3 Time of Flight (ToF)**

Prinsip pengukuran jarak ToF bergantung pada waktu yang dibutuhkan pulsa cahaya dari pemancar ke target untuk kembali ke detektor. Secara umum, LiDAR didasarkan pada berbagai macam aplikasi yang menggunakan prinsip waktu terbang, pergeseran fasa, interferometri, dan triangulasi (Hanto et al., 2023). Jarak antara alat pengukur dan permukaan objek, atau sesuatu, dapat dihitung dengan perkiraan menggunakan kecepatan cahaya sebagai referensi.

ToF memiliki komponen utama berupa prosesor sinyal, detektor, dan pemancar laser. Dalam pengukuran, prosesor sinyal menghitung waktu tempuh setelah transmisi oleh pemancar dan direkam oleh detektor selama pemantulan. Sistem ToF LiDAR menghasilkan data jarak yang akurat dengan menggunakan pemancar laser, detektor, dan prosesor sinyal. Selain itu, pendekatan ToF tidak bergantung pada pencahayaan dan dapat digunakan di berbagai lingkungan (Bastos et al., 2021).



Gambar 2. 8 Cara kerja LiDAR ToF (Sumber: Fikri & Rivai, 2019)

Pengukuran jarak menggunakan berbagai jenis sinyal, termasuk gelombang radio dan laser, dan bahkan gelombang suara, dapat dieksplorasi menggunakan teknik ToF. Pemilihan jenis sinyal tergantung pada lingkungan pengukuran, jarak target, dan aplikasi tertentu (Fikri & Rivai, 2019). Bahkan dengan sejumlah besar keuntungan dari pendekatan ToF, reflektifitas permukaan objek, interferensi sinyal, dan resolusi temporal yang terbatas dari alat pengukur adalah elemen yang berdampak pada akurasi pengukuran.

*Direct Time-of-Flight* (dToF) dan *Indirect Time-of-Flight* (iToF) adalah dua metode utama untuk ToF, masing-masing memiliki cara kerja dan keunggulan yang berbeda. dToF mengirimkan cahaya laser dalam bentuk pulsa pendek ke objek. Sistem ini menggunakan sensor yang sangat sensitif untuk mendeteksi cahaya yang

kembali, sehingga dapat memberikan hasil yang akurat meskipun cahaya yang dipantulkan sangat lemah, dan cahaya yang kembali ke sensor, yang pada akhirnya menghitung jarak, menghasilkan waktu tempuh. Pengukuran jarak jauh dan presisi tinggi adalah keuntungan dToF. Teknik ini digunakan dalam teknologi seperti pengenalan gerakan, alat pengukur jarak, dan sistem LiDAR untuk mobil tanpa pengemudi. Namun, karena pendekatan ini membutuhkan peralatan yang lebih canggih, maka biayanya lebih mahal daripada teknik sebelumnya (Taneski et al., 2021). Aplikasi ToF telah menjadi salah satu teknologi yang paling banyak memberikan kontribusi dalam kehidupan sehari-hari. Pada kendaraan otonom, terutama dengan metode *Direct ToF* (dToF), teknologi ini digunakan untuk mendeteksi jarak objek dan menghindari tabrakan, misalnya, mobil tesla. Namun, dToF dapat menurunkan akurasi pada jarak yang lebih jauh (Kuo & Kuroda, 2023).

Berbeda dengan dToF, *Indirect Time of Flight* (iToF) memantulkan cahaya dari objek dengan menggunakan cahaya yang dimodulasi secara kontinu, seperti gelombang sinar inframerah, dan kemudian mengukur pergeseran fase antara cahaya yang dipancarkan dan cahaya yang dipantulkan untuk menghitung jarak. Kelebihan iToF termasuk kecepatannya dalam memberikan hasil, kemampuan untuk menyesuaikan diri dengan kondisi cahaya sekitar, dan biaya implementasi yang lebih rendah. Perangkat konsumen, seperti kamera ponsel untuk pengenalan wajah atau pengukuran kedalaman, dan robot navigasi menggunakan teknologi ini secara luas. Pada smartphone, teknik *Indirect ToF* (iToF) diaplikasikan pada kamera untuk pengukuran kedalaman gambar, peningkatan efek potret, dan fitur pengenalan wajah, termasuk Face ID. Mengenai bidang keamanan, iToF menemukan

aplikasinya dalam sistem pemindaian biometrik yaitu sensor sidik jari (Chen et al., 2020).

#### **2.4 LabVIEW (Program Pembaca LiDAR)**

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) adalah perangkat lunak yang pertama kali diperkenalkan pada tahun 1986 oleh *National Instruments Corporation*. Berbeda dengan bahasa pemrograman tradisional seperti C++, Matlab, atau Visual Basic, LabVIEW menggunakan pendekatan berbasis grafis atau *block diagram* (Pongoh et al., 2021). Pengguna dapat membuat program dengan menyusun block fungsional dan menghubungkannya untuk aliran data atau kontrol.

LabVIEW terdiri dari empat komponen utama, yaitu *Front panel*, *Block diagram*, *Control pallet*, dan *Functions pallet*. *Front panel* sebagai antarmuka pengguna, *Block diagram* berisi kode program grafis, *Control pallet* menyediakan kontrol dan indikator, *Functions pallet* berisi fungsi pemrograman. Digunakan untuk mengembangkan aplikasi (Satriyo et al., 2020). LabVIEW memberikan keuntungan dalam akuisisi dan analisis data real-time untuk sistem pengukuran jarak. Perangkat lunak ini sempurna untuk membuat dan menerapkan sistem pengukuran jarak yang tepat dan efektif.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengukuran *Time of Flight* (ToF) LiDAR dengan dan tanpa Amplifier Mini Circuits ZFL-1000 LN. Dalam penelitian ini, variabel yang diuji adalah jenis material (aluminium foil, besi dan kardus) dan jarak pengukuran (1 hingga 7 meter). Material dengan reflektivitas berbeda digunakan untuk melihat bagaimana *LiDAR* bekerja dengan kondisi permukaan yang berbeda, dan rentang jarak diuji untuk menganalisis pengaruh jarak terhadap akurasi.

#### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Serpong. Waktu penelitian ini dimulai dari bulan Maret 2025 sampai dengan selesai.

#### **3.3 Alat dan Bahan Penelitian**

Penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan dalam proses perancangannya berupa perangkat keras (*Hardware*) dan perangkat lunak (*Software*). Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan di antaranya :

##### **3.3.1 Perangkat Keras (*Hardware*)**

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Laser *Infrared* digunakan sebagai sumber cahaya utama

2. Tiga Objek reflektivitas yang berbeda, yaitu : Aluminium Foil , Besi dan Kardus
3. *Fiber optic* digunakan sebagai penghubung antara infrared dengan power suplai yang dapat memudahkan pengaturan arah laser.
4. *Laser Dioda* (Temperatur Controller) digunakan sebagai pengatur suhu dan power sinyal laser.
5. *Signal Generator* digunakan sebagai memodulasi cahaya laser infrared dengan sinyal sinus.
6. Plat Besi digunakan sebagai tempat Rangkaian LiDAR, dan sebagai tempat menaruh target.
7. *Photodetectors* digunakan untuk menangkap pantulan cahaya laser *Infrared* dari papan reflektor.
8. Picoscope digunakan sebagai osiloskop yang dapat menerjemahkan *signal* dari tangkapan oleh detektor.
9. *Power Supply* digunakan sebagai power pada detektor.
10. Laser Distance Meter digunakan sebagai referensi pengukuran jarak dari hasil LiDAR.
11. *Infrared Detection Card* digunakan untuk mendeteksi laser tak tampak.
12. Amplifier Mini Circuits ZFL-10000 LN
13. PC/Laptop

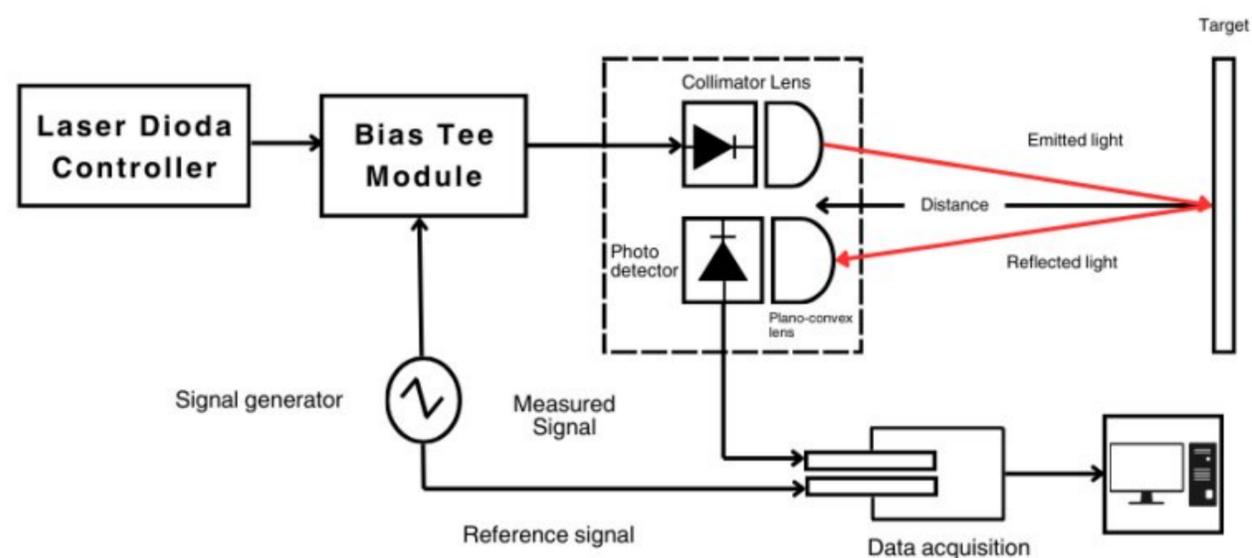
### **3.3.2 Perangkat Lunak (Software)**

Adapun perangkat lunak (*Software*) yang digunakan yaitu:

1. LabVIEW (Program Pembaca LiDAR) digunakan sebagai software pada laptop yang dapat menerjemahkan pemrograman dan menampilkan hasil data LiDAR berupa grafik atau diagram blok.

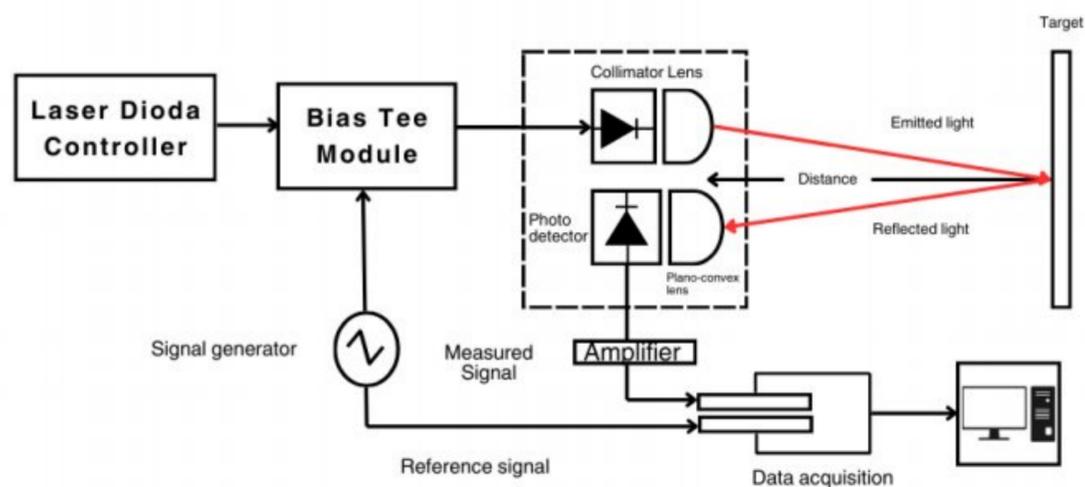
### 3.4 Desain Penelitian

Desain penelitian ini dilakukan tanpa amplifier untuk membandingkan kinerja sistem LiDAR dalam penelitian ini dirancang dengan konfigurasi *Time of Flight* (ToF). Dalam metode ini, sinar laser dipancarkan ke objek, dan waktu yang dibutuhkan oleh sinyal pantulan untuk kembali ke detektor diukur, yang kemudian digunakan untuk menghitung jarak. Pengukuran ini dilakukan dengan dan tanpa *amplifier* untuk melihat pengaruh amplifier, seperti yang ditunjukkan di bawah ini:



Gambar 3. 1 Desain Penelitian Tanpa Amplifier (Sumber: Hanto et al., 2023)

Amplifier seperti Mini Circuits ZFL-1000LN digunakan untuk meningkatkan kekuatan sinyal, yang dapat mempengaruhi jangkauan atau akurasi pengukuran. Berikut ini adalah desain penelitian menggunakan amplifier:

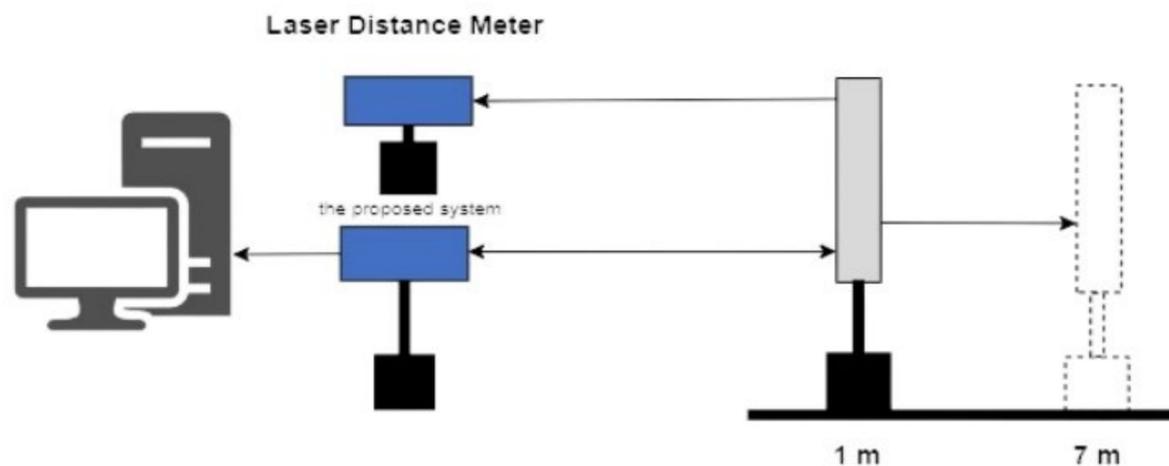


Gambar 3. 2 Desain Penelitian Menggunakan Amplifier

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Pengukuran Jarak

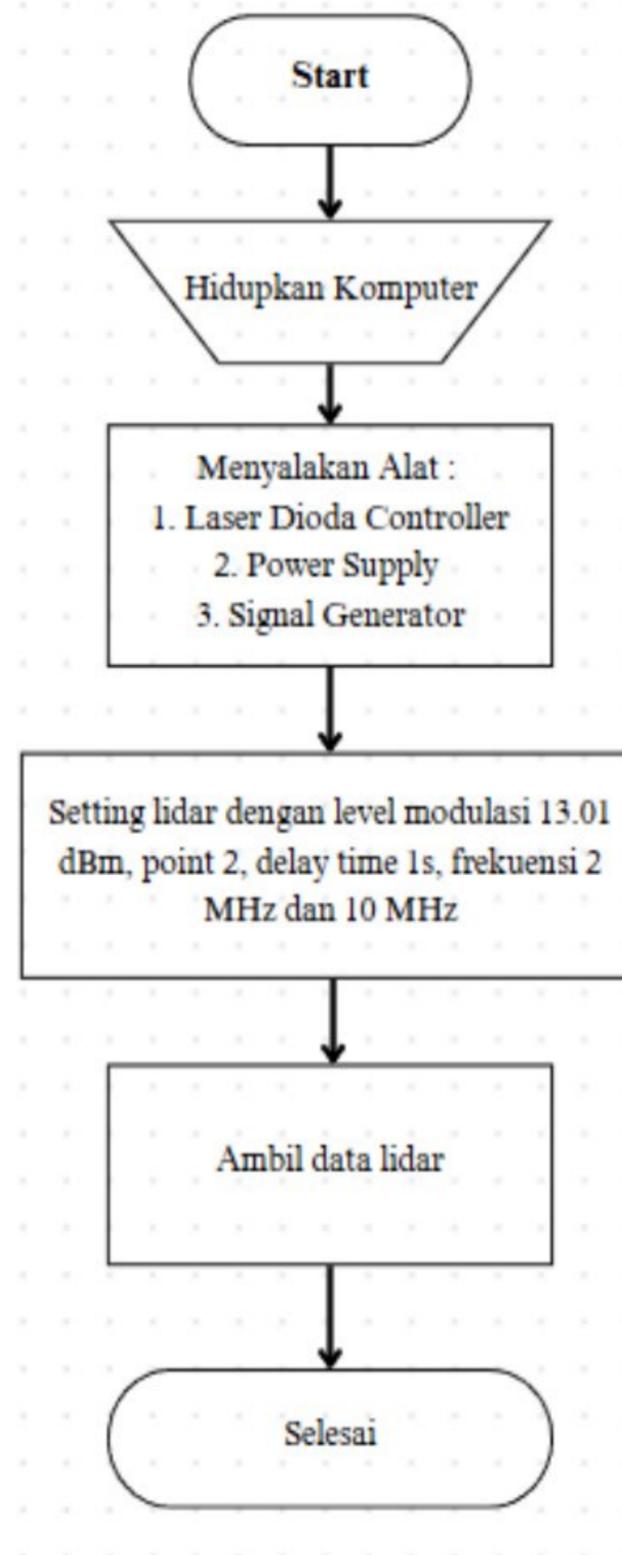
Percobaan pertama tanpa amplifier, sedangkan percobaan kedua menggunakan amplifier. Untuk memulai, objek target harus ditempatkan pada jarak 1 hingga 7 meter. Untuk mengukur jarak tersebut, LiDAR menggunakan metode *Time of Flight (ToF)*.



Gambar 3. 3 Pengukuran Jarak

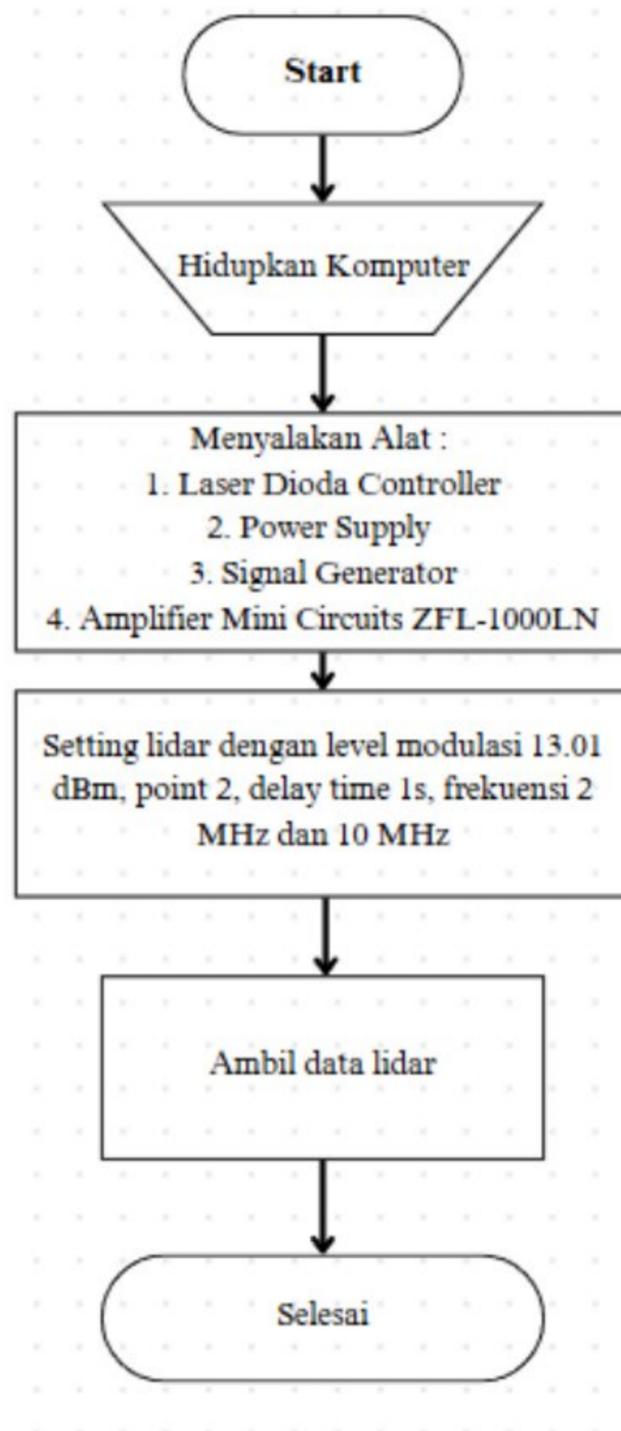
#### 3.5.2 Persiapan Alat

Persiapan dimulai dengan menyalakan alat-alat yang digunakan pada penelitian ini. Seperti yang dijelaskan dalam *flowchart* berikut ini:



Gambar 3. 4 Diagram Persiapan Alat Tanpa Amplifier

Adapun diagram persiapan alat menggunakan amplifier sebagai berikut:



Gambar 3.5 Diagram Persiapan Alat Menggunakan Amplifier

Persiapan alat Dalam penelitian ini, LiDAR diberikan modulasi sinyal *sinusoidal* dengan konfigurasi khusus, yaitu : frekuensi 2 MHz dan 10 MHz; Level modulasi 1000 mV atau 13.01dBm; 2 titik point yang berarti hanya 2 titik yaitu 2 MHz dan 10 MHz; dan *delay time* terakhir adalah 1 detik untuk memudahkan pencatatan data.

### 3.5.3 Proses Pengambilan Data

Penelitian ini melakukan dua jenis percobaan yaitu percobaan tanpa amplifier dan percobaan kedua dengan Amplifier Mini Circuits ZFL-1000LN. Kedua percobaan ini mengumpulkan data menggunakan LiDAR dari jarak 1 meter hingga 7 meter dengan tiga jenis objek yang berbeda. Langkah-langkah tanpa menggunakan amplifier sebagai berikut:

1. Target diletakkan pada jarak 1 meter menggunakan *laser distance meter*.
2. Sinar laser LiDAR dipancarkan ke objek, dan data pantulan direkam menggunakan *software* LabVIEW.
3. Data yang direkam dari pantulan sinar laser ditampilkan pada LabVIEW, meliputi sinyal pantul (v) pada frekuensi 2 MHz dan 10 MHz, Phase 2 MHz, Phase 10 MHz, Phase total, dan *Distance*.
4. Pengukuran ini diulangi sebanyak tiga kali untuk setiap jarak dan material, dan jarak target dipindahkan secara bertahap dengan jarak 1 meter hingga 7 meter.

Percobaan kedua yaitu menggunakan Amplifier Mini Circuits ZFL-1000 LN.

Langkah- langkah nya sebagai berikut:

1. Target diletakkan pada jarak 1 meter menggunakan *laser distance meter*.
2. Sinar laser LiDAR dipancarkan ke objek, dan data pantulan direkam menggunakan *software* LabVIEW. Amplifier Mini Circuits ZFL-1000LN digunakan untuk meningkatkan kekuatan sinyal pantul yang diterima.

3. Data yang direkam dari pantulan sinar laser ditampilkan pada LabVIEW, meliputi sinyal pantul ( $v$ ) pada frekuensi 2 MHz dan 10 MHz, Phase 2 MHz, Phase 10 MHz, Phase total, dan *Distance*.
4. Pengukuran ini diulangi sebanyak tiga kali untuk setiap jarak dan material, dan jarak target dipindahkan secara bertahap dengan jarak 1 meter hingga 7 meter.

#### **3.5.4 Proses pengambilan Data dari LabVIEW.**

Evaluasi hasil seluruh percobaan dilakukan dengan mengumpulkan data pantulan laser dari objek target. Data dikumpulkan dengan menggunakan *software* LabVIEW, yang direkam meliputi sinyal pantul ( $v$ ) pada frekuensi 2 MHz dan 10 MHz, Fase sinyal 2 MHz, Fase sinyal 10 MHz, Fase Total, dan Jarak yang terukur oleh LiDAR. Data dimasukkan ke dalam lembar Excel, dan percobaan dilakukan pada objek 1 hingga 3 sebanyak tiga kali untuk setiap jarak. Kemudian, data dari lembar Excel diubah menjadi grafik.

#### **3.6 Metode Pengukuran Akurasi**

Penelitian ini melakukan pengukuran akurasi untuk mengetahui sejauh mana ketepatan hasil pengukuran sistem LiDAR dibandingkan dengan nilai yang sebenarnya, yang diukur menggunakan *Laser Distance Meter* sebagai alat referensi. Jarak yang diukur menggunakan *Laser Distance Meter* dianggap lebih akurat, sehingga dijadikan acuan dalam membandingkan hasil pengukuran dari sistem LiDAR. Perhitungan akurasi dilakukan dengan mencari nilai *error*, yaitu selisih antara jarak aktual yang diperoleh *Laser Distance Meter* dan hasil pengukuran oleh sistem LiDAR. Rumus untuk menghitung error adalah:

$$\text{Error} = | \text{Jarak Aktual} - \text{Jarak LiDAR} |$$

Nilai error menunjukkan sejauh mana sistem LiDAR terhadap jarak sebenarnya. Semakin kecil nilai *error* yang dihasilkan, maka semakin tinggi akurasi yang dicapai. Setelah mendapatkan nilai *error*, langkah selanjutnya setelah mendapatkan nilai *error* adalah menghitung akurasi. Akurasi dihitung dengan mengubah error menjadi persentase dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Akurasi (\%)} = \left( 1 - \frac{\text{Error}}{\text{Jarak Aktual}} \right) \times 100 \%$$

Rumus ini menunjukkan sejauh mana hasil pengukuran LiDAR mendekati nilai aktual yang diperoleh dari *Laser Distance Meter*. Semakin kecil nilai error, semakin besar tingkat akurasi yang dihasilkan. Untuk mengevaluasi kinerja sistem LiDAR, data hasil pengukuran dibandingkan dengan jarak aktual yang diukur menggunakan *Laser Distance Meter*. Data ini kemudian digunakan untuk menghitung nilai *error* dan akurasi, yang disajikan dalam bentuk tabel pada bab 4. Nilai akurasi yang diperoleh menggambarkan sejauh mana pengukuran LiDAR mendekati nilai referensi.

### 3.7 Tabel Pengambilan Data

Dua jenis percobaan dilakukan pada jarak 1 hingga 7 meter, masing-masing menggunakan tiga objek berbeda. Percobaan pertama dilakukan tanpa menggunakan amplifier, sedangkan percobaan kedua menggunakan amplifier. Tabel pengambilan data berikut ini sama, *gain* diatur mencari maksimum pada frekuensi 2 MHz dan 10 Mhz, lalu diatur minimum untuk kedua frekuensi. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk membandingkan hasil pengukuran LiDAR dan pengaruh amplifier dalam berbagai objek dan jarak. Data hasil pengukuran tanpa menggunakan amplifier disajikan pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Tabel Pengambilan Data Tanpa Amplifier

NO	Jarak (m)	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
		Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							

Tabel 3.1 digunakan untuk mencatat data yang diperoleh tanpa amplifier. Kolom 'Jarak (m)' menunjukkan jarak antara sensor LiDAR dan objek target dalam meter yang diukur menggunakan *laser distance meter*. Kolom 'DC' menunjukkan tegangan (V) yang dihasilkan oleh *Signal Generator*. Kolom 'Frekuensi 2 MHz Sinyal Pantul' menunjukkan tegangan (V) yang terukur oleh sistem LiDAR dengan bantuan alat *photodetector*. Kolom 'Frekuensi 2 MHz Phase' menunjukkan fase sinyal pembawa pada frekuensi 2 MHz dalam derajat (°) yang terukur oleh sistem LiDAR dengan bantuan alat osiloskop. Kolom 'Frekuensi 10 MHz Sinyal Pantul' menunjukkan tegangan (V) yang terukur oleh sistem LiDAR dengan bantuan alat

*photodetector*. Kolom 'Frekuensi 10 MHz Phase' menunjukkan fase sinyal pembawa pada frekuensi 2 MHz dalam derajat ( $^{\circ}$ ) yang terukur oleh sistem LiDAR dengan bantuan alat osiloskop. Kolom 'Jarak LiDAR' menunjukkan jarak yang dihitung oleh sistem LiDAR berdasarkan data fase dan waktu tempuh dalam meter. Data-data ini digunakan untuk menganalisis kinerja sistem LiDAR serta melihat bagaimana variasi material dan jarak mempengaruhi hasil pengukuran. Data yang diperoleh dengan menggunakan Amplifier Mini Circuits ZFL-1000LN disajikan dalam Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Tabel Pengambilan Data Menggunakan Amplifier

NO	Jarak (m)	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total ( $^{\circ}$ )
		Sinyal Pantul (V)	Phase ( $^{\circ}$ )	Sinyal Pantul (V)	Phase ( $^{\circ}$ )		
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							

Tabel 3.2 digunakan untuk mencatat data yang diperoleh menggunakan amplifier. Hasil pengukuran LiDAR dengan dan tanpa amplifier untuk setiap jarak dan objek untuk mendukung analisis data. Perbedaan utama adalah bahwa data pada tabel ini dikumpulkan dengan menggunakan amplifier untuk meningkatkan kekuatan sinyal yang diterima. Perbandingan ini akan membantu dalam menilai bagaimana amplifier mempengaruhi presisi dan cakupan pengukuran LiDAR.

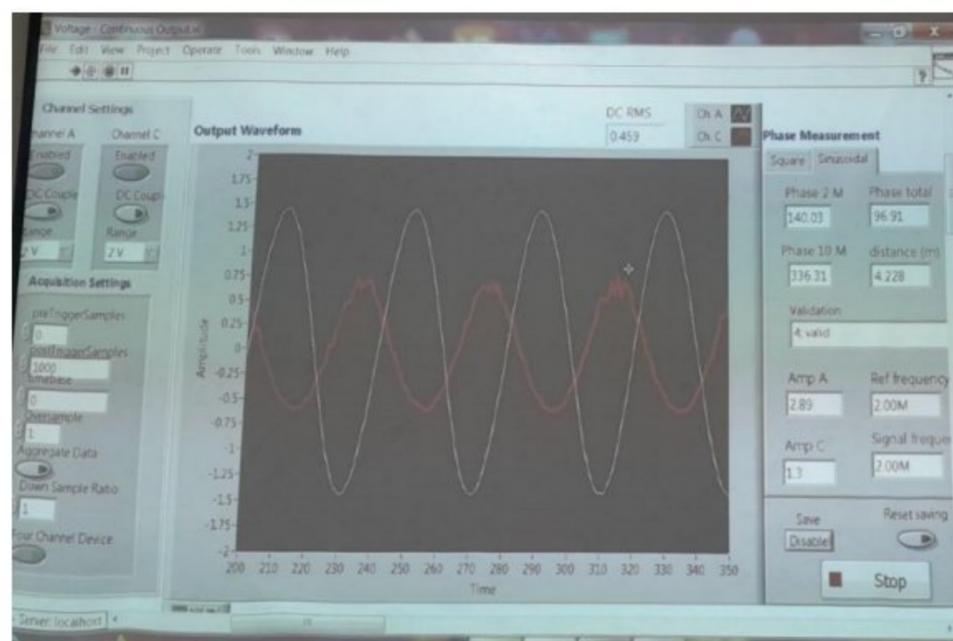
## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengukuran LiDAR dalam penelitian ini menggunakan metode *Time of Flight* (ToF) pada berbagai jarak dan jenis objek, baik dengan maupun tanpa amplifier. Hasil pengukuran akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah analisis mengenai pengaruh jarak serta variasi material terhadap akurasi pengukuran. Selain itu, untuk membandingkan kinerja LiDAR pada dua kondisi percobaan, data disusun dalam format tabel dan grafik.

#### 4.1 LabVIEW (Program Pembaca LiDAR)

Pembacaan data pengukuran LiDAR pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak LabVIEW. Parameter yang terbaca di LabVIEW meliputi DC RMS, Phase 2 M, Phase 10 M, Phase Total, distance, Amp A, dan Amp C.



Gambar 4. 1 Hasil Pembacaan LiDAR menggunakan LabVIEW

DC RMS (*root mean square*) merupakan tegangan DC yang terukur saat pemeriksaan awal sebelum adanya proses modulasi. Channel yang digunakan yaitu *channel A* yang merupakan *channel* dari *Signal Generator*, *channel C* merupakan *channel* dari osiloskop. Pengukuran fase dilakukan pada dua frekuensi, yaitu 2 MHz dan 10 MHz dengan hasil dalam satuan derajat ( $^{\circ}$ ). Phase total merupakan jumlah dari kedua nilai fase tersebut, yang kemudian digunakan untuk menghitung jarak yang ditampilkan sebagai *distance* dalam satuan meter. Amp A merupakan amplitudo sinyal referensi dari signal generator yang telah dimodulasi. Sinyal ini ditampilkan sebagai gelombang merah pada Gambar 4.1, yang merupakan sinyal referensi. Sementara itu, Amp C merupakan sinyal pantul yang ditampilkan sebagai gelombang putih di layar osiloskop. Gelombang putih ini merupakan hasil pembacaan dari photodetector yang masuk melalui channel Amp C. Osiloskop menunjukkan gelombang sinyal referensi dan sinyal pantul secara bersamaan.

## **4.2 Hasil Pengukuran LiDAR**

Pada percobaan pertama, LiDAR digunakan tanpa amplifier untuk mengukur sinyal pantulan dari tiga jenis material, yaitu kardus, besi, dan aluminium foil. Pengukuran dilakukan pada jarak antara satu hingga tujuh meter dengan dua frekuensi yang digunakan, yaitu 2 MHz dan 10 MHz. Hasil pengukuran sinyal pantulan oleh LiDAR tanpa amplifier dan dengan amplifier terhadap variasi jenis material pada frekuensi 2 MHz dan 10 MHz ditampilkan dalam Tabel 4.1 – 4.2 berikut:

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran LiDAR Tanpa Amplifier

## a) Aluminium Foil

NO	Jarak (m)	Material	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
			Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1	1.39	Aluminium Foil	0.13	153.35	0.11	49.03	1.10	24.19
2	2.61	Aluminium Foil	0.37	147.75	0.32	382.55	2.30	50.54
3	3.69	Aluminium Foil	0.73	143.12	0.58	358.41	3.31	74.73
4	4.82	Aluminium Foil	0.21	137.60	0.17	330.99	4.45	102.23
5	5.12	Aluminium Foil	0.01	136.74	0.01	324.39	4.66	108.80
6	6.76	Aluminium Foil	0.02	132.83	0.07	306.06	6.09	141.30
7	7.32	Aluminium Foil	0.04	127.84	0.04	281.07	6.53	152.13

## b) Besi

NO	Jarak (m)	Material	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
			Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1	1.18	Besi	0.04	123.02	0.04	29.88	0.84	18.03
2	2.4	Besi	0.03	149.38	0.02	379.88	2.09	48.50
3	3.75	Besi	0.07	143.70	0.06	357.69	3.34	75.53
4	4.68	Besi	0.04	139.88	0.04	335.36	4.27	97.86
5	5.12	Besi	0.07	136.07	0.06	323.10	4.66	110.10
6	6.23	Besi	0.03	132.46	0.03	298.24	5.81	134.97
7	7.63	Besi	0.02	124.86	0.02	271.52	6.93	161.70

## c) Kardus

NO	Jarak (m)	Material	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
			Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1	1.21	Kardus	0.004	145.42	0.004	60.19	0.82	15.95
2	2.44	Kardus	0.003	150.8	0.002	386.89	2.07	43.32
3	3.79	Kardus	0.003	143.47	0.003	357.83	3.33	75.39
4	4.7	Kardus	0.001	138.55	0.001	333.69	4.34	99.54
5	5.59	Kardus	0.001	137.3	0.001	313.23	4.97	117.82
6	6.81	Kardus	0.006	128.35	0.008	277.27	6.69	155.97
7	7.51	Kardus	0.001	125.34	0.009	268.52	7.05	164.73

Hasil pengukuran LiDAR dengan penggunaan amplifier berdasarkan variasi jarak dan jenis material ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran LiDAR Menggunakan Amplifier

## a) Aluminium Foil

NO	Jarak (m)	Material	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
			Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1	1.59	Alumunium Foil	3.4	154.2	3.4	45.67	1.33	29.55
2	2.15	Alumunium Foil	3.4	146.5	3.4	367.17	2.06	46.05
3	3.39	Alumunium Foil	3.4	145.11	3.4	360.58	3.31	76.63
4	4.37	Alumunium Foil	3.3	140.73	3.2	334.97	4.28	98.25
5	5.31	Alumunium Foil	3.3	134.2	3.3	305.13	5.21	121.77
6	6.78	Alumunium Foil	3.4	129.56	3.4	282.49	6.77	156.73
7	7.52	Alumunium Foil	3.3	125.67	3.2	260.69	7.51	176.38

## b) Besi

NO	Jarak (m)	Material	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
			Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1	1.59	Besi	1.4	118.78	1.3	53.06	1.5	34.46
2	2.15	Besi	1.1	149.88	1.1	388.35	2.05	44.86
3	3.39	Besi	2.2	144.52	2.1	359.49	3.26	73.72
4	4.37	Besi	2.5	139.56	2.4	336.41	4.22	97.8
5	5.31	Besi	1.4	133.22	1.3	304.35	5.22	122.87
6	6.78	Besi	1.9	128.88	1.8	280.24	6.67	157
7	7.52	Besi	1.9	124.95	1.7	262.66	7.46	175.67

## c) Kardus

NO	Jarak (m)	Material	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
			Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1	1.59	Kardus	0.146	153.03	0.153	53.27	1.35	29.28
2	2.15	Kardus	0.136	147.38	0.12	388.35	2.05	44.86
3	3.39	Kardus	0.373	143.51	0.35	359	3.28	74.21
4	4.37	Kardus	0.303	140.02	0.273	338.47	4.13	96.36
5	5.31	Kardus	0.18	135.34	0.156	303.83	5.2	119.37
6	6.78	Kardus	0.16	128.17	0.15	281.24	6.65	152
7	1.59	Kardus	0.146	153.03	0.153	53.27	1.35	29.28

### **4.3 Analisis Kinerja LiDAR Berdasarkan Variasi Jarak dan Jenis Material Dengan dan Tanpa Menggunakan Amplifier**

Dalam penelitian ini, akurasi LiDAR diukur untuk mendeteksi berbagai material, baik dengan maupun tanpa amplifier. Jenis material dan jarak pengukuran mempengaruhi LiDAR. Penggunaan amplifier juga dapat mempengaruhi akurasi deteksi, terutama untuk material seperti kardus, yang lebih sulit untuk diukur menggunakan cahaya pada jarak jauh. Tabel berikut menunjukkan perbandingan akurasi LiDAR pada berbagai jarak pengukuran dan berbagai material (aluminium foil, besi, dan kardus), baik dengan maupun tanpa amplifier. Persen error pada rumus 3.1 dan 3.2 digunakan untuk menganalisis akurasi, yang menunjukkan perbedaan antara jarak yang diukur dan jarak yang sebenarnya. Selain itu, tabel ini menunjukkan kinerja LiDAR pada masing-masing pengukuran.

#### **4.3.1 Variasi Jarak**

Penelitian ini menguji bagaimana variasi jarak mempengaruhi akurasi LiDAR, baik dengan amplifier maupun tanpa amplifier. Tabel yang disajikan menunjukkan jenis material yang digunakan, jarak yang diukur dengan *laser distance meter*, jarak yang terdeteksi oleh LiDAR, dan tingkat akurasi dari hasil pengukuran. Rata-rata akurasi LiDAR dalam mendeteksi objek tanpa penggunaan amplifier pada berbagai variasi jarak dan jenis material ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Rata-rata Akurasi LiDAR dalam Mendeteksi Objek Tanpa Amplifier

NO	Material	Jarak (m)	Jarak LiDAR (m)	Rata-rata Akurasi (%)
1	Aluminium Foil	1.39	1.1	79.14
	Besi	1.18	0.84	71.19
	Kardus	1.21	0.82	67.77
2	Aluminium Foil	2.61	2.29	87.74
	Besi	2.4	2.08	86.67
	Kardus	2.44	2.06	84.43
3	Aluminium Foil	3.69	3.3	89.43
	Besi	3.75	3.33	88.80
	Kardus	3.79	3.33	87.86
4	Aluminium Foil	4.82	4.44	92.12
	Besi	4.68	4.26	91.03
	Kardus	4.7	4.33	92.13
5	Aluminium Foil	5.12	4.65	90.82
	Besi	5.12	5.81	86.52
	Kardus	5.59	4.96	88.73
6	Aluminium Foil	6.76	6.08	89.94
	Besi	6.23	5.81	93.26
	Kardus	6.81	6.68	98.09
7	Aluminium Foil	7.32	6.52	89.07
	Besi	7.63	6.92	90.69
	Kardus	7.51	7.05	93.87

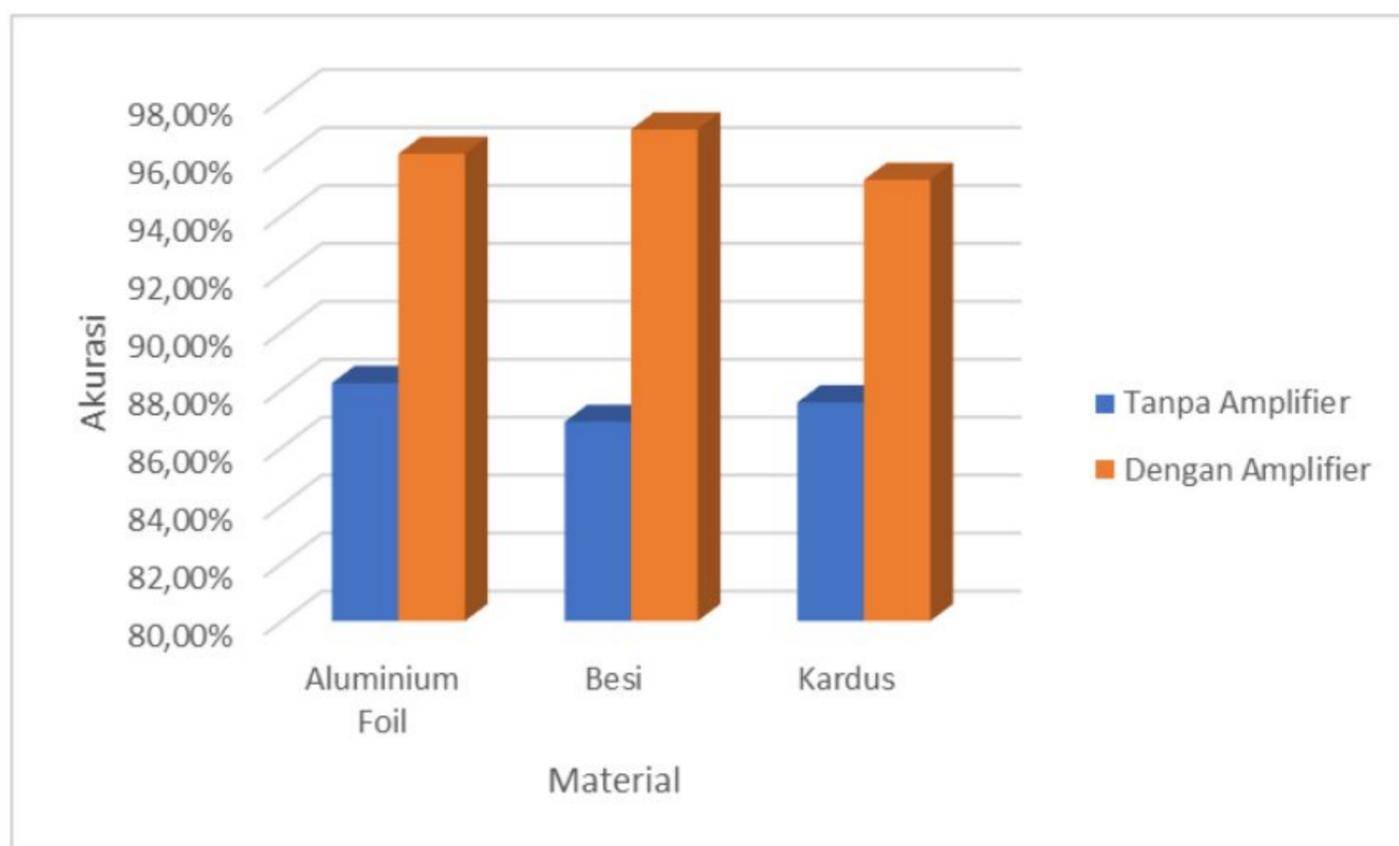
Rata-rata akurasi LiDAR dalam mendeteksi objek dengan penggunaan amplifier berdasarkan variasi jarak dan jenis material ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Rata-rata Akurasi LiDAR dalam Mendeteksi Objek Menggunakan Amplifier

<b>NO</b>	<b>Material</b>	<b>Jarak</b>	<b>Jarak LiDAR</b>	<b>Rata-rata Akurasi (%)</b>
<b>1</b>	Aluminium Foil	1.59	1.33	83.65
	Besi	1.59	1.508	94.84
	Kardus	1.59	1.35	84.91
<b>2</b>	Aluminium Foil	2.15	2.06	95.81
	Besi	2.15	2.05	95.35
	Kardus	2.15	2.05	95.35
<b>3</b>	Aluminium	3.39	3.31	97.64
	Besi	3.39	3.26	96.17
	Kardus	3.39	3.28	96.76
<b>4</b>	Aluminium	4.37	4.28	97.94
	Besi	4.37	4.22	96.57
	Kardus	4.37	4.13	94.51
<b>5</b>	Aluminium Foil	5.31	5.21	98.12
	Besi	5.31	5.22	98.31
	Kardus	5.31	5.2	97.93
<b>6</b>	Aluminium	6.78	6.77	99.85
	Besi	6.78	6.67	98.38
	Kardus	6.78	6.65	98.08
<b>7</b>	Aluminium	7.52	7.51	99.87
	Besi	7.52	7.46	99.20
	Kardus	7.52	7.45	99.07

### 4.3.2 Variasi Jenis Material

Penelitian ini juga dilakukan terhadap jenis material berbeda, yaitu aluminium foil, besi, dan kardus. Setiap material diuji pada tujuh jarak yang berbeda untuk mengukur jarak referensi menggunakan *laser distance meter* sebagai acuan, jarak yang terdeteksi oleh LiDAR, dan akurasi yang diperoleh. Tujuan penelitian ini memberikan gambaran tentang bagaimana jenis material mempengaruhi kinerja LiDAR dalam mendeteksi objek pada jarak yang berbeda. Perbandingan rata-rata akurasi LiDAR terhadap ketiga material, baik tanpa maupun dengan amplifier, ditampilkan dalam diagram batang pada Gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Diagram Batang Rata-rata Akurasi LiDAR dalam Mendeteksi Berbagai Material

Hasil dari pengukuran jarak menggunakan LiDAR tanpa amplifier dengan *Laser Distance Meter* sebagai referensi menunjukkan bahwa pengukuran tidak memiliki perbedaan yang jauh dan memiliki margin error  $\pm 0.5$  cm. Hal tersebut

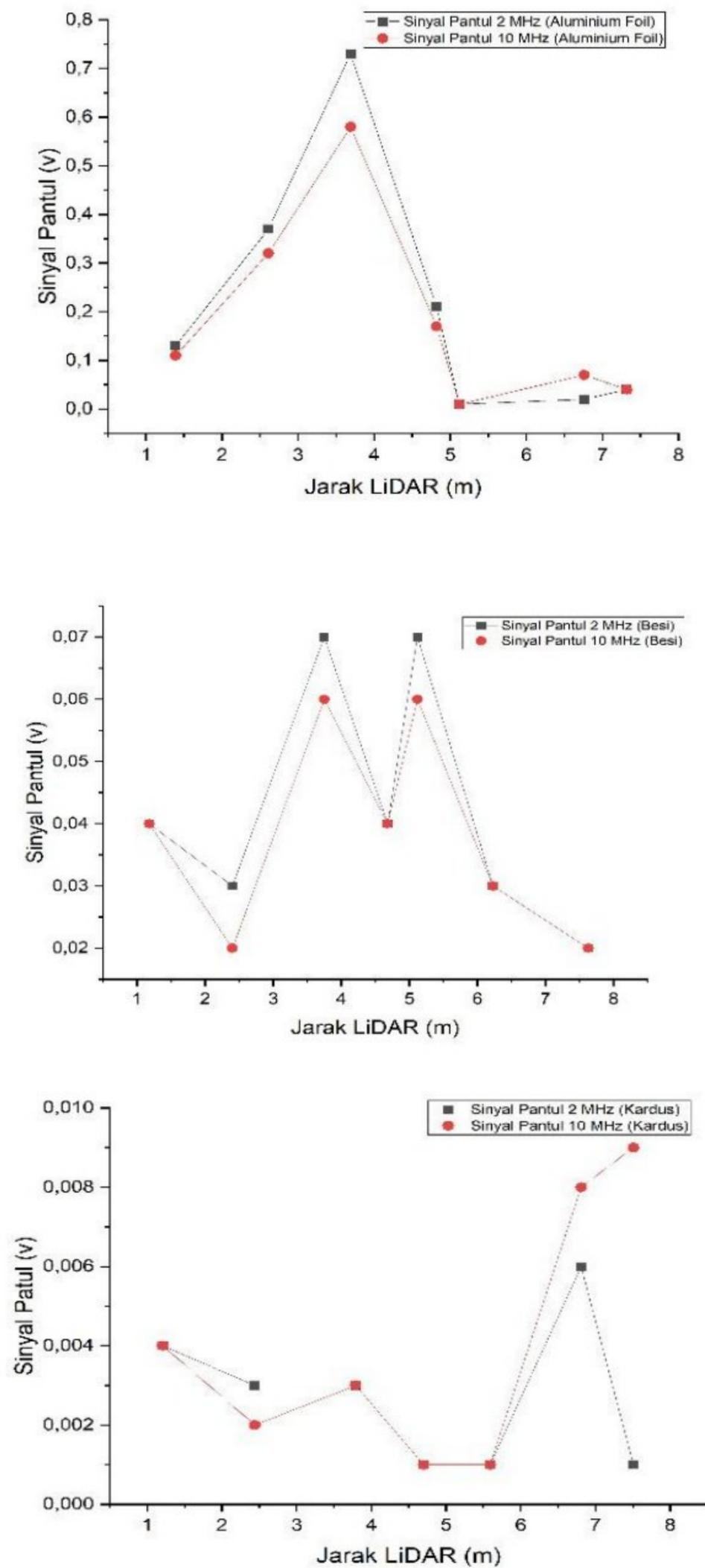
sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hwang et al., (2013), menunjukkan pengukuran jarak dengan menggunakan dua frekuensi yang berbeda (4 MHz dan 40 MHz) memiliki margin error sebesar  $\pm 0.5$  cm pada jarak 1-15 m. Sedangkan untuk pengukuran jarak menggunakan LiDAR dengan amplifiser menunjukkan penurunan margin error, peningkatan akurasi, serta memingkatkan kekuatan sinyal. Hal tersebut sudah sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ramadani et al. (2024), menunjukkan bahwa penggunaan amplifiser dapat meningkatkan *optical power* yang digunakan untuk pendeteksian objek.

#### **4.4 Analisis Kinerja LiDAR berdasarkan Kekuatan Sinyal Pantul dan Fase**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja LiDAR berdasarkan dua faktor utama, yaitu pengaruh variasi jarak dan jenis material terhadap akurasi pengukuran jarak menggunakan fase, serta perbandingan kekuatan sinyal pantul yang diterima LiDAR, baik dengan maupun tanpa amplifiser.

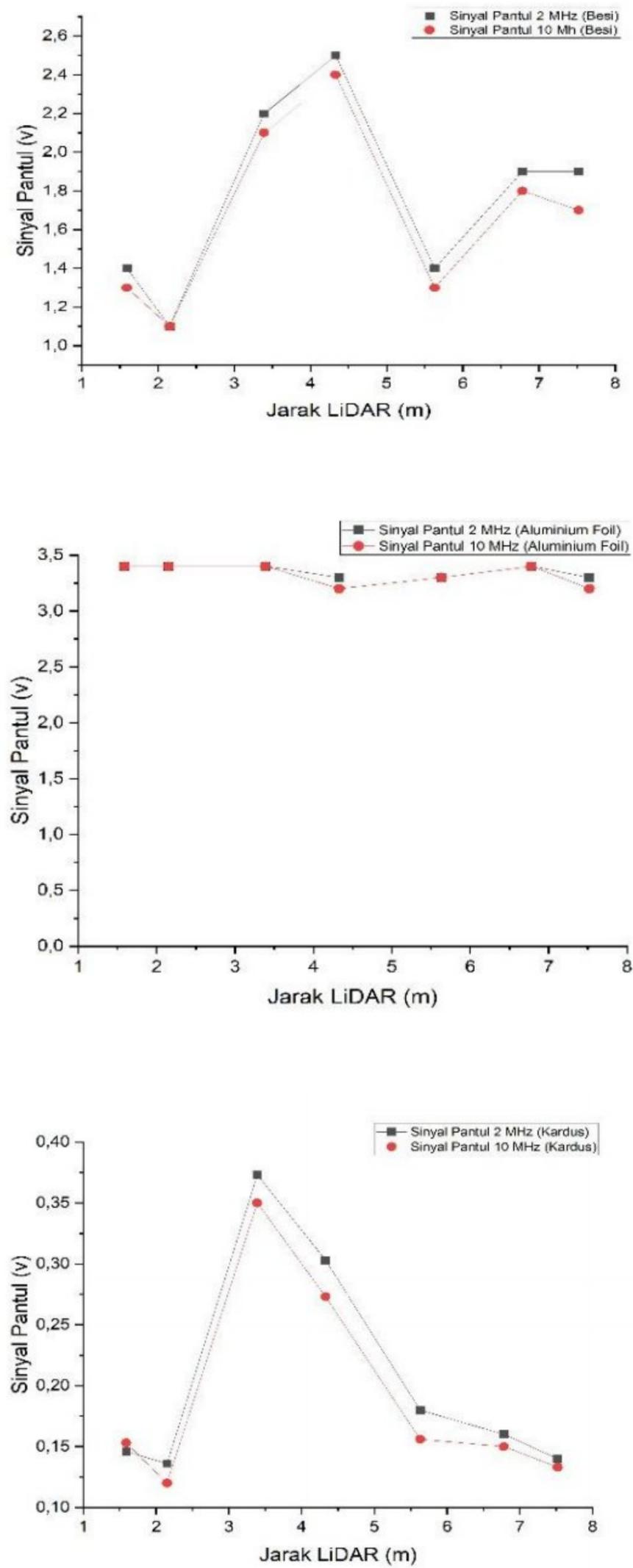
##### **4.4.1 Kinerja LiDAR Terhadap Sinyal Pantul**

Analisis dilakukan untuk mengevaluasi bagaimana kekuatan sinyal pantul diterima oleh sistem LiDAR berubah seiring bertambahnya jarak objek dan pengaruh penggunaan amplifiser terhadap sinyal tersebut. Pengujian menggunakan dua frekuensi modulasi, yaitu 2 MHz dan 10 MHz pada tiga jenis material: aluminium foil, besi, dan kardus. Grafik sinyal pantul tanpa amplifiser untuk masing-masing material ditampilkan pada Gambar 4.3, yang menggambarkan kecenderungan penurunan sinyal seiring pertambahan jarak sebagai berikut :



Gambar 4. 3 Sinyal Pantul Tanpa Amplifier (A) Aluminium Foil, (B) Besi, (C) Kardus

Sinyal pantul pada Gambar 4.3 merupakan hasil pantulan cahaya (*reflected light*) dari permukaan objek yang kemudian diterima oleh *Photodetector*. Nilai ini dibandingkan dengan sinyal DC yang dihasilkan signal generator berdasarkan data pada Lampiran 1. Data menunjukkan semakin jauh jarak objek dari sensor, semakin kecil intensitas sinyal pantul yang diterima karena pantulan cahaya melemah pada jarak lebih jauh. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Rianari, dkk., (2024), yang menunjukkan bahwa pada rentang jarak 37 cm sampai 20 meter jarak dan sinyal pantul berbanding terbalik. Semakin jauh jaraknya, semakin lemah sinyal yang diterima. Efek sinyal pantul terhadap LiDAR dengan penggunaan amplifier disajikan pada Gambar 4.4 sebagai berikut:



Gambar 4. 4 Sinyal Pantul Dengan Amplifier (A) Aluminium Foil, (B) Besi, (C) Kardus

Sinyal pantul pada gambar 4.4 menunjukkan sinyal pantul dengan amplifier cenderung lebih stabil dan tidak mengalami penurunan kekuatan seiring bertambahnya jarak antara objek dan sensor. Hal tersebut disebabkan karena terdapat penggunaan amplifier yang dapat mengubah output sinyal yang lemah menjadi kuat tanpa mengubah informasi di dalamnya (Clough-Paez et al., 2023). Sementara itu, nilai DC yang didapatkan karena pada DC tidak dipengaruhi oleh proses penguatan dari amplifier.

#### **4.4.2 Analisis Kinerja LiDAR Terhadap Fase**

Penelitian ini juga menganalisis kinerja LiDAR dalam mengukur jarak objek berdasarkan perubahan fase sinyal, baik pada frekuensi 2 MHz maupun 10 MHz, serta pada kondisi dengan dan tanpa penggunaan amplifier. Jarak diukur dengan menghitung perbedaan fase total ( $\phi$ ) antara sinyal laser yang dipancarkan dan sinyal pantulan yang diterima kembali oleh sensor setelah mengenai objek. Perhitungan jarak teoritis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus 2.2, dimana fase total ( $\phi$ ) mencerminkan jarak yang ditempuh sinyal laser setelah dipantulkan oleh objek dalam satuan derajat. Semakin tinggi frekuensi modulasi yang digunakan, semakin pendek panjang gelombangnya, sehingga perubahan fase menjadi lebih sensitif terhadap perbedaan jarak. Artinya, akurasi pengukuran meningkat seiring kenaikan frekuensi modulasi. Hasil penelitian ini, juga didukung oleh penelitian Li *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa sensitivitas pengukuran meningkat seiring dengan naiknya frekuensi modulasi. Perbandingan antara jarak teoritis dan hasil pengukuran menggunakan LiDAR tanpa amplifier disajikan pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4. 5 Jarak Teoritis dengan Jarak yang Diukur oleh LiDAR pada Material Tanpa Amplifier

Material											
Aluminium Foil				Besi				Kardus			
Jarak (m)	Jarak Teoritis (m)	Phase Total (°)	Error	Jarak (m)	Jarak Teoritis (m)	Phase Total (°)	Error	Jarak (m)	Jarak Teoritis (m)	Phase Total (°)	Error
1.39	1.00	24.19	0.1	1.18	0.75	18.03	0.09	1.21	0.66	15.95	0.16
2.61	2.10	50.54	0.2	2.4	2.02	48.50	0.07	2.44	1.805	43.32	0.27
3.69	3.11	74.73	0.2	3.75	3.14	75.53	0.2	3.79	3.14	75.39	0.19
4.82	4.25	102.23	0.2	4.68	4.07	97.86	0.2	4.7	4.14	99.54	0.2
5.12	4.53	108.80	0.13	5.12	4.58	110.10	0.08	5.59	4.90	117.82	0.07
6.76	5.88	141.30	0.21	6.23	5.62	134.97	0.19	6.81	6.49	155.97	0.2
7.32	6.33	152.13	0.2	7.63	6.73	161.70	0.2	7.51	6.86	164.73	0.19

Sementara itu, hasil pengukuran dengan menggunakan amplifier ditampilkan dalam Tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Jarak Teoritis dengan Jarak yang Diukur oleh LiDAR pada Material dengan Amplifier

Material											
Aluminium Foil				Besi				Kardus			
Jarak (m)	Jarak Teoritis (m)	Phase Total (°)	Error	Jarak LiDAR (m)	Jarak Teoritis (m)	Phase Total (°)	Error	Jarak LiDAR (m)	Jarak Teoritis (m)	Phase Total (°)	Error
1.59	1.23	29.55	0.11	1.59	1.43	34.47	0.08	1.59	1.22	29.28	0.13
2.15	1.91	46.05	0.15	2.15	1.86	44.87	0.2	2.15	1.86	44.87	0.2
3.39	3.19	76.63	0.13	3.39	3.07	73.73	0.19	3.39	3.09	74.21	0.19
4.37	4.09	98.25	0.19	4.37	4.07	97.80	0.15	4.37	4.01	96.37	0.13
5.31	5.07	121.77	0.15	5.31	4.95	122.87	0.12	5.31	4.97	119.37	0.24
6.78	6.53	156.73	0.24	6.78	6.54	157.00	0.14	6.78	6.33	152.00	0.33
7.52	7.35	176.38	0.16	7.52	7.31	175.67	0.15	7.52	7.09	170.33	0.36

Berdasarkan data yang didapatkan dari Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 menunjukkan bahwa penggunaan dua frekuensi modulasi, yaitu 2 MHz dan 10 MHz, digunakan untuk mengatasi masalah ambiguitas dalam pengukuran jarak oleh LiDAR. Cara untuk mengatasi masalah ambiguitas adalah dengan menggunakan frekuensi rendah (2 MHz) dan frekuensi tinggi (10 MHz) untuk mengatasi ambiguitas dan

dapat menganalisis pergeseran fase atau fase total ( $\varphi$ ) secara sederhana. Selain itu, penggunaan modulasi frekuensi dapat meningkatkan akurasi pendeteksian objek dengan menggunakan LiDAR, baik tanpa amplifier maupun dengan amplifier (Hanto et al., 2023). Hasil dari pembacaan jarak teoritis dengan jarak LiDAR dapat dipengaruhi dengan adanya efek jittering, yaitu gangguan yang menyebabkan terjadinya error dalam pengukuran. Efek dari jittering akan semakin besar semakin dengan bertambahnya jarak, karena sinyal pantul yang diterima oleh sensor menjadi semakin lemah (Hwang et al., 2013).

Perhitungan jarak menggunakan fase diperoleh dari fase total. Fase total merupakan hasil penjumlahan fase 10 MHz dan 2 MHz yang dihitung menggunakan rumus berikut (Hanto et al., 2023) :

$$\Delta\varphi_1 = \varphi_{R1} - \varphi_{S1} \quad 4.1$$

$$\Delta\varphi_2 = \varphi_{R2} - \varphi_{S2} \quad 4.2$$

Rumus tersebut menggunakan empat komponen utama.  $\Delta\varphi_1$  merupakan sinyal dengan frekuensi 10 MHz, sedangkan  $\Delta\varphi_2$  adalah sinyal dengan frekuensi 2 MHz. Komponen  $\varphi_R$  menunjukkan fase yang terukur dari sinyal referensi, sementara  $\varphi_S$  merupakan fase yang terukur dari sinyal pantul. Sinyal yang telah dihitung selanjutnya dibaca oleh sistem LiDAR dengan menyesuaikan algoritma pada tabel berikut:

Tabel 4. 7 Algoritma Pembacaan Sinyal LiDAR

Region	Conditional statement	New phase shift
1	$\Delta\varphi_1 < 66$	$\Delta\varphi_f = \Delta\varphi_2$
2	$66 < \Delta\varphi_1 < 86 \cap 260 < \Delta\varphi_2 < 360$	$\Delta\varphi_f = \Delta\varphi_2$
3	$66 < \Delta\varphi_1 < 86 \cap -50 < \Delta\varphi_2 < 50$	$\Delta\varphi_f = 360 + \Delta\varphi_2$
4	$86 < \Delta\varphi_1 < 138$	$\Delta\varphi_f = 360 + \Delta\varphi_2$
5	$138 < \Delta\varphi_1 < 158 \cap 260 < \Delta\varphi_2 < 360$	$\Delta\varphi_f = 360 + \Delta\varphi_2$
6	$138 < \Delta\varphi_1 < 158 \cap -50 < \Delta\varphi_2 < 50$	$\Delta\varphi_f = 720 + \Delta\varphi_2$
7	$158 < \Delta\varphi_1 < 210$	$\Delta\varphi_f = 720 + \Delta\varphi_2$
8	$210 < \Delta\varphi_1 < 230 \cap 260 < \Delta\varphi_2 < 360$	$\Delta\varphi_f = 720 + \Delta\varphi_2$
9	$210 < \Delta\varphi_1 < 230 \cap -50 < \Delta\varphi_2 < 50$	$\Delta\varphi_f = 1080 + \Delta\varphi_2$
10	$230 < \Delta\varphi_1 < 282$	$\Delta\varphi_f = 1080 + \Delta\varphi_2$
11	$282 < \Delta\varphi_1 < 302 \cap 260 < \Delta\varphi_2 < 360$	$\Delta\varphi_f = 1080 + \Delta\varphi_2$
12	$282 < \Delta\varphi_1 < 302 \cap -50 < \Delta\varphi_2 < 50$	$\Delta\varphi_f = 1440 + \Delta\varphi_2$
13	$302 < \Delta\varphi_1 < 360$	$\Delta\varphi_f = 1440 + \Delta\varphi_2$
none		invalid

Perhitungan fase total dilakukan sesuai dengan region yang ditunjukkan pada Tabel 4.7. Apabila terdapat status "valid" pada pembacaan LiDAR di LabView, maka pengukuran jarak dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$d = \frac{c\Delta\varphi_f}{2Fm360^\circ} \quad 4.3$$

Rumus pengukuran jarak ini melibatkan empat variabel penting. Variabel  $d$  menyatakan jarak dalam satuan meter, sedangkan  $c$  merupakan konstanta cahaya.  $\Delta\varphi_f$  menunjukkan nilai fase total yang telah diperoleh dari perhitungan sebelumnya, dan  $Fm$  adalah frekuensi modulasi yang digunakan dalam sistem.

#### 4.5 Interpretasi dari Perspektif Al-Qur'an

LiDAR (Light Detection and Ranging) adalah menggunakan prinsip *Time of Flight* (ToF) untuk mengukur jarak yang menggunakan pulsa laser untuk mentransmisikan dan merekam bentuk objek. Metode pengukuran jarak ini

menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan cahaya yang dipancarkan dari sumber laser untuk mencapai objek. Setiap material merespons dengan cara yang berbeda, seperti aluminium, besi dan kardus. Teknologi ini menggambarkan bagaimana prinsip pengukuran ilmiah dan keterukuran dalam alam semesta yang terstruktur berhubungan. Konsep ketelitian dalam LiDAR mengingatkan kita pada firman Allah dalam Al-Qur'an surah Al-A'la ayat 1-3:

سَبِّحْ اسْمَ رَبِّكَ الْأَعْلَى ﴿١﴾ الَّذِي خَلَقَ فَسَوَّى ﴿٢﴾ وَالَّذِي قَدَّرَ فَهَدَى ﴿٣﴾

*Artinya : “Sucikanlah nama Tuhanmu Yang Mahatinggi. Yang menciptakan, lalu menyempurnakan (penciptaan-Nya). Yang menentukan kadar (masing-masing) dan memberi petunjuk.”*

Kata "qaddara" yang berarti "menentukan kadar" mengandung makna bahwa manusia diberikan petunjuk untuk menjalankan sesuatu berdasarkan ukuran atau aturan tertentu. Dalam konteks ini, LiDAR menjadi alat yang digunakan untuk mendukung proses pengukuran jarak jauh. Dengan prinsip kerjanya, LiDAR membantu proses pengukuran jarak dan mengidentifikasi karakteristik objek melalui pemancaran pulsa laser. Setiap unsur alam memiliki ciri dan ukuran yang jelas dan terstruktur. Amplifier membantu mengoptimalkan pengambilan data, terutama pada material dengan pantulan cahaya rendah atau jarak jauh. Mekanisme penguatan sinyal ini menghasilkan informasi dari data yang sebelumnya sulit dideteksi, menunjukkan kemajuan teknologi dalam mengatasi batas pengukuran. Ketelitian teknologi ini sangat penting untuk memperoleh data yang akurat. Hal ini juga menjadi bukti keagungan Allah Swt. dalam menetapkan hukum alam yang dapat dipahami oleh manusia.

Amplifier pada LiDAR menunjukkan bagaimana manusia memanfaatkan hukum alam ciptaan Allah untuk mengatasi kendala teknis. Sebagai contoh, ketika jarak antara LiDAR dan objek sangat jauh atau materialnya memiliki reflektivitas rendah, amplifier dapat meningkatkan kekuatan sinyal yang sangat lemah. Dalam hadist, Rasulullah saw. bersabda :

إِنَّ اللَّهَ يُحِبُّ إِذَا عَمِلَ أَحَدُكُمْ عَمَلًا أَنْ يُتَّقِنَهُ

*Artinya : “Allah mencintai seseorang yang jika bekerja, ia melakukannya dengan itqan (sungguh-sungguh).”*

Prinsip "itqan" (kesempurnaan) dalam hadis ini dapat dimaknai sebagai dorongan untuk mencapai ketelitian dan kualitas tertinggi dalam setiap aktivitas, termasuk pengembangan teknologi pengukuran seperti LiDAR. Teknologi ini bukan sekadar tentang kecanggihan, tetapi juga tentang kemampuan manusia untuk mengeksplorasi batas pengetahuan. Setiap kali LiDAR berfungsi, ia mengingatkan kita bahwa alam semesta penuh dengan informasi tersembunyi, yang menunggu untuk dipahami dengan kesungguhan dan ketelitian.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Akurasi pengukuran LiDAR dalam mendeteksi objek pada variasi jarak menghasilkan akurasi pengukuran tertinggi pada jarak 7.63 meter dengan urutan akurasi aluminium foil (89.07% tanpa amplifier dan 99.87% dengan amplifier), besi (90.69% dan 99.20%), dan kardus (93.87% dan 99.07%). Rendahnya akurasi pada material kardus disebabkan karena kardus merupakan bahan non logam, dan memiliki reflektivitas cahaya yang rendah.
- 2) Kinerja LiDAR dengan menggunakan amplifier secara konsisten meningkatkan akurasi pengukuran dan memperkuat sinyal pantul pada kedua frekuensi (2 MHz dan 10 MHz) terhadap semua material.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil pengukuran LiDAR terhadap jarak menghasilkan akurasi yang rendah, sehingga diperlukan adanya variasi jarak yang lebih jauh dari penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aboujja, S., Chu, D., & Bean, D. (2022). *910nm triple junction laser diode for long range LiDAR*. In *High-Power Diode Laser Technology XX* (Vol. 11983). SPIE.
- Alaba, S., & Ball, J. (2023). *Deep learning-based image 3-D object detection for autonomous driving: Review*. *IEEE Sensors Journal*, 23(10), 1234-1246. <https://doi.org/10.1109/jsen.2023.3235830>.
- Alamsyah, S. A., & Rivai, M. (2020). *Implementasi lidar sebagai Kontrol ketinggian quadcopter*. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), A109-A114.
- Andara, G., Arseno, D., & Armi, N. (2020). *Analisis kinerja light detecting and ranging (LiDAR) untuk deteksi objek menggunakan metode jarak Eculidean*. *eProceedings of Engineering*, 7(3).
- Aryadi, D., Handayani, R., Juli, S., & Ismail, I. (2019). *Perancangan radar mini pendeteksi objek berbasis Arduino*. *eProceedings of Applied Science*, 5(3). <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/appliedscience/article/view/10419>.
- Aziz, F. N., & Zakarijah, M. (2022). *Analisis kinerja sensor tf-mini LiDAR untuk pengukuran jarak*. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 11(3), 192-198.
- Bastos, D., Monteiro, P. P., Oliveira, A. S., & Drummond, M. V. (2021). *An overview of LiDAR requirements and techniques for autonomous driving*. In *2021 telecoms conference (conftele)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ConfTELE50222.2021.9435580>
- Cara menggunakan Laser Distance Meter. (2017). *Alat Uji*. Retrieved June 30, 2023, from <http://www.alatuji.com/article/detail/686/cara-menggunakanlaser-distance-meter#.YbI0R9BBw2x>
- Cai, Y., Wu, C., Yuan, Z., Wang, L., Zhang, Y., & Zhang, Z. (2019). *Real-time correction and stabilization of laser diode wavelength in miniature homodyne interferometer for long-stroke micro/nano positioning stage metrology*. *Sensors*, 19(20), 4587. <https://doi.org/10.3390/s19204587>
- Chen, X., Ma, H., Wan, J., Li, B., & Xia, T. (2020). *Deep multi-modal object detection and semantic segmentation for autonomous driving: Datasets, methods, and challenges*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1902.07830>
- Clough-Paez, A., Yi, C., Park, D., Elsaesser, D., Ketchum, D., & Hines, D. R. (2023). *Rapid prototyping of 3d printed, high aspect ratio, low noise*

*amplifier for active handheld sensor devices. Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 7(3), 83. <https://doi.org/10.3390/jmmp7030083>

- Dosovitskiy, A., Ros, G., Codevilla, F., Lopez, A., & Koltun, V. (2018). *Lidar-based object detection for autonomous driving. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7989173>.
- Farah, I. H., & Farhan, A. M. (2021). *Alat pengukur jarak benda menggunakan LiDAR (Light Detection and Ranging) (Unpublished undergraduate thesis)*. Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Fikri, M., & Rivai, M. (2019). *Sistem penghindar halangan dengan metode LiDAR pada unmanned surface vehicle. Jurnal Teknik ITS*, 8(2), 127–132.
- Gao, H., & Hui, R. (2012). *Frequency-modulated continuous-wave LiDAR using I/Q modulator for simplified heterodyne detection. Optics Letters*, 37(9), 2022–2024. <https://doi.org/10.1364/OL.37.002022>.
- Goodin, C., Carruth, D., Doude, M., & Hudson, C. (2019). *Predicting the influence of rain on LiDAR in ADAS. Electronics*, 8(1), 89. <https://doi.org/10.3390/electronics8010089>.
- Hanto, D., Pratomo, H., Rianaris, A., Setiono, A., Sartika, S., 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, 1–8.
- Heiden, E., Liu, Z., Ramachandran, R., & Sukhatme, G. (2019). Physics-based simulation of continuous-wave LiDAR for localization, calibration and tracking. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.1912.01652>.
- Hwang, S., Jang, J., & Park, K. (2013). Continuous-wave time-of-flight laser scanner using two laser diodes to avoid  $2\pi$  ambiguity. *Review of Scientific Instruments*, 84(8), 086110. <https://doi.org/10.1063/1.4819260>
- Krisna, W., & Putra, E. (2016). Sistem kerja sensor laser pada LiDAR. *Jurnal Media Komunikasi Geografi*, 17(1). Retrieved from <https://www.scribd.com/document/438041383/Sistem-Kerja-Sensor-Laser-pada-LIDAR>.
- Kuo, C.-C., & Kuroda, R. (2023). A half-pulse 2-tap indirect time-of-flight ranging method with sub-frame operation for depth precision enhancement and motion artifact suppression. *Image Sensors Europe Workshop*, 11(3), 123–129. <https://www.imagesensors.org/Past%20Workshops/2023%20Workshop/2023%20Papers/R9.pdf>

- Lambert, J., Carballo, A., Monrroy Cano, A., Narksri, P., Wong, D., & Takeuchi, E. (2020). *Performance analysis of 10 models of 3D LiDARs for automated driving*. *IEEE Access*, 8, 131699–131722. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3009680>
- Laser Diode Control. (2018). *Laser diode current and temperature controller ITC4000 series operation manual*. Retrieved from <https://www.laserdiodecontrol.com>.
- Liang, M., Liu, Q., & Hu, W. (2019). 910nm monolithic MOPA diode laser for Lidar applications. In *Semiconductor Lasers and Applications IX* (Vol. 11182). SPIE.
- Madreansah, T., & Ropianto, M. (2020). *Analisis jarak dan kecepatan komunikasi data menggunakan transmisi sinar laser*. Retrieved from [https://www.academia.edu/43604116/Analisis\\_Jarak\\_dan\\_Kecepatan\\_Komunikasi\\_Data\\_Menggunakan\\_Transmisi\\_Sinar\\_Laser](https://www.academia.edu/43604116/Analisis_Jarak_dan_Kecepatan_Komunikasi_Data_Menggunakan_Transmisi_Sinar_Laser).
- Maulina, R. T. R. (2023). *Rancang bangun frequency-modulated continuous wave (FMCW) generator untuk modulasi laser* (Unpublished bachelor's thesis). Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/71127>.
- Mini Circuits. (2020a). *Low noise amplifier ZFL-1000LN+*. Ez Samples. <https://www.minicircuits.com/pdfs/ZFL-1000LN+.pdf>.
- Mini Circuits. (2020b). *RF Amplifiers*. Ez Samples. [https://www.minicircuits.com/products/RF\\_Amplifiers.html](https://www.minicircuits.com/products/RF_Amplifiers.html)
- Palmer, S., Pelevin, V., Goncharenko, I., Kovács, A., Zlinszky, A., Présing, M., ... & Tóth, V. (2013). Ultraviolet fluorescence LiDAR (UFL) as a measurement tool for water quality parameters in turbid lake conditions. *Remote Sensing*, 5(9), 4405–4422. <https://doi.org/10.3390/rs5094405>.
- Pangestu, M. I., Pamungkas, D. P., & Wulaningrum, R. (2021). Sistem pakar diagnosis kerusakan amplifier dengan metode Case Based Reasoning (CBR). *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)*, 5(1), 231–236. <https://proceeding.unpkediri.ac.id/index.php/inotek/article/view/953>
- Phillips, T., Guenther, N., & McÁree, P. (2017). When the dust settles: The four behaviors of lidar in the presence of fine airborne particulates. *Journal of Field Robotics*, 34(5), 985-1009. <https://doi.org/10.1002/rob.21701>
- Pongoh, D. S., Budiman, M., Kantohe, D., & Lumentut, V. (2021). Implementasi Software LabVIEW untuk Mendukung Sistem Smart Home Berbasis Mikrokontroler. *Prosiding Industrial Research Workshop and National*

Seminar, 12, 394–400.  
<https://jurnal.polban.ac.id/ojs3.1.2/proceeding/article/view/2725>

- Rajabzadeh, M., Soltanian-Zadeh, S., Ghaffari, A., & Dehghani, H. (2019). An evaluation study of various excitation signals for electrical impedance spectroscopy. In 2019 *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)* (pp. 1–5). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/ISCAS.2019.8702345>
- Ramadani, R., Yantidewi, M., Firdaus, R. A., & Nikmah, A. (2024). Analysis of the effect of variations in doped fiber amplifier and laser wavelength on optical power in FMCW LiDAR system design. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 7(5), 1577-1588. <https://doi.org/10.56338/jks.v7i5.5267>
- Rawat, A., Jha, R., Kumar, V., Singh, P. K., Das, S., Das, S., & Pandey, R. (2023). Design and fabrication of high-efficiency, low-power, and low-leakage Si-avalanche photodiodes for low-light sensing. *ACS Photonics*, 10(5), 1416–1423. <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.2c01813>.
- Rahmatullah, R., & Suparno, S. (2020). The development of experimental absorption based on Arduino-Uno and Labview on light radiation by colourful surface. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 16(1), 41–46. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v16i1.23596>
- Rubizandri, R. (2024). *Analisis pengukuran time of flight LiDAR infrared dengan menggunakan metode dual-sweeping modulation* (Unpublished bachelor's thesis). Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/76224>.
- Satriyo, S., Hadikusuma, M. I., & Salim, S. A. (2020). Rancang Bangun Modul Praktikum Pemrograman Labview. *Jurnal ELIT*, 1(1), 35–45. <https://doi.org/10.31573/elit.v1i1.56>
- Sawitri, K., Rustamaji, R., & Adhari, A. (2020). Osilator 121,5 MHz pada ELT menggunakan VCO MC1648. *Transmisi*, 22(1), 30–37. <https://doi.org/10.14710/transmisi.22.1.30-37>
- Seo, H. (2020). Monitoring of CFA pile test using three dimensional laser scanning and distributed fiber optic sensors. *Optics and Lasers in Engineering*, 130, 106089. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2020.106089>.
- Setiawan, A., & Ramdan, S. D. (2022). Penerapan Dan Memahami Pada Rangkaian Amplifier. *Jurnal Repoteknologi.Id*, 2(1), 1–9. <http://repoteknologi.id/index.php/repoteknologi/article/view/69>
- Sharifisoraki, Z., Dey, A., Selzler, R., Amini, M., Green, J. R., Rajan, S., & Kwamena, F. A. (2022). Monitoring critical infrastructure using 3D LiDAR

- point clouds. *IEEE Access*, *11*, 314–336. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3145796>.
- Sidharta, H. A. (2019). Prinsip Kerja ToF (Time of Flight) dalam pembacaan LiDAR. BINUS University Malang. <https://binus.ac.id/malang/2019/01/prinsip-kerja-tof-time-of-flight-dalam-pembacaan-lidar/>
- Soleman, R., & Pratama, D. R. (2020). Rancang bangun alat penentu kapasitas AC pada ruang persegi dengan sensor TF Mini LiDAR berbasis Arduino Uno. *Sinusoida*, *22*(3), 86–92.
- Taneski, F., Gyongy, I., Al Abbas, T., & Henderson, R. K. (2023). Guided direct time-of-flight LiDAR using stereo cameras for enhanced laser power efficiency. *Sensors*, *23*(21), 8943. <https://doi.org/10.3390/s23218943>
- Thorlabs. (2018, July 10). *Laser Diode Current and Temperature Controller: ITC4000 Series Operation Manual (Version 3.9)* [Manual]. <https://wiki.nikhef.nl/gravwav/images/8/8f/ITC4001-Manual.pdf>
- Vargas, J., Alsweiss, S., Toker, O., Razdan, R., & Santos, J. (2021). An overview of autonomous vehicles sensors and their vulnerability to weather conditions. *Sensors*, *21*(16), 5397. <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/16/5397>
- Wang, Y., et al. (2019). An ultra-high-SMSR external-cavity diode laser with a wide tunable range around 910 nm. *Applied Sciences*, *9*(20), 4390. <https://doi.org/10.3390/app9204390>
- Widjayanti, C. E., Sanubari, P. C., Rachmad, F., & Setyawan, A. A. (2023). Sistem informasi pendaftaran siswa pada lembaga kursus dan pelatihan International College Purwokerto berbasis Website. *Electro Luceat*, *9*(1), 28-35.
- Widiasaputra, P. M., Bawa, I. K. A., Suartawan, P. E., Fitriani, D., Aryuni, M., & Sasue, R. R. O. (2022). Pengembangan sistem LiDAR pendeteksi jarak aman berkendara. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, *6*(2), 190. <https://doi.org/10.19184/jrsl.v6i2.36607>.
- Zakaria, A., & Handayani, H. H. (2016). Studi pemodelan 3d menggunakan terrestrial laser scanner berdasarkan proses registrasi target to target (studi kasus: Candi Brahu, Mojokerto). *Jurnal Teknik ITS*, *5*(1), A1–A6. [https://www.researchgate.net/publication/311770304\\_Studi\\_Pemodelan\\_3\\_D\\_Menggunakan\\_Terrestrial\\_Laser\\_Scanner\\_Berdasarkan\\_Proses\\_Registrasi\\_Target\\_to\\_Target\\_Studi\\_Kasus\\_Candi\\_Brahu\\_Mojokerto](https://www.researchgate.net/publication/311770304_Studi_Pemodelan_3_D_Menggunakan_Terrestrial_Laser_Scanner_Berdasarkan_Proses_Registrasi_Target_to_Target_Studi_Kasus_Candi_Brahu_Mojokerto).
- Zhou, G., Li, W., Zhou, X., Tan, Y., Lin, G., Li, X., & Deng, R. (2021). An innovative echo detection system with STM32 gated and PMT adjustable

gain for airborne LiDAR. *International Journal of Remote Sensing*, 42(24), 9187–9211. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1990160>.

Zang, Y., Chen, H., Yang, S., & Chen, M. (2019, January). High accuracy non-ambiguity ToF LiDAR system based on pseudo-random noise code and phase detection method. In *Optical Fiber Communications Conference (OFC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1364/OFC.2019.W2A.43>

Zhang, J., & Wang, Y. (2020). Advances in LiDAR technology: Principles and applications. *Journal of Remote Sensing*, 12(3), 456–478.

# LAMPIRAN

## L.1 Data Hasil Penelitian

Lampiran 1. Data pada objek Aluminium Foil Tanpa Amplifier

### L.1.1 Data pada objek Aluminium Foil Tanpa Amplifier

NO	Jarak (m)	Sinyal Referensi (V)	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
			Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1	1.39	0.25	0.13	153.32	0.12	48.95	1.10	24.27
			0.13	153.42	0.11	49.09	1.10	24.13
			0.14	153.32	0.11	49.06	1.10	24.16
2	2.61	0.25	0.39	147.63	0.33	382.48	2.30	50.74
			0.37	147.71	0.32	382.33	2.29	50.48
			0.37	147.91	0.33	382.83	2.29	50.39
3	3.69	0.18	0.73	143.16	0.58	358.25	3.31	74.71
			0.74	143.1	0.6	358.51	3.30	74.76
			0.72	143.11	0.58	358.46	3.31	74.73
4	4.82	0.15	0.19	137.58	0.18	331.02	4.45	102.20
			0.24	137.57	0.18	330.92	4.45	102.30
			0.2	137.64	0.17	331.03	4.45	102.20
5	5.12	0.08	0.016	136.94	0.015	324.52	4.72	108.70
			0.016	136.59	0.014	324.48	4.72	108.70
			0.016	136.69	0.014	324.18	4.73	109.00
6	6.76	0.06	0.092	132.86	0.077	306.15	6.09	141.10
			0.086	132.86	0.075	306.07	6.09	141.50
			0.089	132.76	0.076	305.95	6.09	141.30
7	7.32	0.04	0.05	127.8	0.045	280.81	6.54	152.40
			0.048	127.74	0.042	281.08	6.53	152.10
			0.048	127.97	0.043	281.32	6.52	151.90

## Lampiran 2. Data Pada Objek Besi Tanpa Amplifier

**L.1.2 Data Pada Objek Besi Tanpa Amplifier**

No	Jarak (m)	Sinyal Referensi (V)	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
			Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1	1.18	0.03	0.03	124.15	0.04	29.46	0.832	17.9
			0.04	122.48	0.03	29.69	0.823	18.7
			0.03	122.43	0.05	30.5	0.876	17.5
2	2.4	0.03	0.03	149.44	0.03	389.46	2.013	43.76
			0.03	149.67	0.02	389.69	2.004	43.53
			0.03	149.03	0.02	360.5	2.241	73.22
3	3.75	0.03	0.07	143.63	0.06	357.52	3.344	75.7
			0.07	144.25	0.06	358.16	3.317	75.06
			0.07	143.22	0.06	357.38	3.35	75.84
4	4.68	0.02	0.04	140.13	0.04	335.84	4.248	97.38
			0.05	139.29	0.03	335.68	4.254	97.54
			0.053	140.22	0.05	334.56	4.301	98.66
5	5.12	0.02	0.077	136.43	0.07	322.52	4.803	110.7
			0.08	135.68	0.06	322.62	4.798	110.6
			0.077	136.12	0.06	324.17	4.734	109
6	6.23	0.02	0.037	133.38	0.03	297.79	5.833	135.4
			0.036	132.48	0.03	298.79	5.791	134.4
			0.038	131.54	0.03	298.14	5.818	135.1
7	7.63	0.01	0.03	124.09	0.02	273.08	6.862	160.1
			0.028	125.44	0.02	270.11	6.986	163.1
			0.027	125.07	0.002	271.36	6.934	161.9

## Lampiran 3. Data Pada Objek Kardus Tanpa Amplifier

**L.1.3 Data Pada Objek Kardus Tanpa Amplifier**

NO	Jarak (m)	Sinyal Referensi (V)	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
			Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1	1.21	0.00274	0.001	153.17	0.00093	61.08	0.821	16.21
			0.001	151.01	0.001	61.23	0.852	15.99
			0.0011	132.09	0.00094	58.27	0.793	15.65
2	2.44	0.00179	0.032	151.06	0.032	382.15	2.068	45.07
			0.031	151.07	0.032	391.62	2.093	41.6
			0.031	150.29	0.032	362.1	2.034	43.3
3	3.79	0.00163	0.033	141.48	0.033	357.93	3.327	75.29
			0.033	144.18	0.033	357.14	3.36	76.08
			0.033	144.75	0.033	358.42	3.307	74.8
4	4.7	0.00152	0.02	139.14	0.02	331.76	4.417	101.5
			0.019	138.3	0.019	334.86	4.288	98.36
			0.02	138.23	0.019	334.45	4.306	98.77
5	5.59	0.00135	0.016	138.84	0.017	316.16	5.067	117.1
			0.017	135.34	0.017	312.17	5.234	121.1
			0.018	137.76	0.018	311.35	5.268	115.26
6	6.81	0.00115	0.0093	128.93	0.0094	276.45	6.722	156.8
			0.0096	131.77	0.0095	280.44	6.556	152.8
			0.0097	124.36	0.0093	274.91	6.786	158.3
7	7.51	0.00106	0.013	124.73	0.013	267.36	7.101	165.9
			0.013	126.43	0.012	267.54	7.093	165.7
			0.014	124.86	0.013	270.66	6.963	162.6

## Lampiran 4. Data Pada Objek Aluminium Foil dengan Amplifier

**L.1.4 Data Pada Objek Aluminium Foil dengan Amplifier**

NO	Jarak (m)	Sinyal Referensi (V)	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
			Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1	1.59	1.48	3.4	154.97	3.5	45.42	1.348	27.8
			3.4	154.21	3.5	45.86	1.33	27.36
			3.5	153.42	3.4	45.73	1.335	27.49
2	2.15	1.4	3.4	146.45	3.4	366.24	2.05	46.98
			3.4	146.76	3.4	368.35	2.04	44.87
			3.4	146.29	3.4	366.93	2.09	46.29
3	3.39	1.37	3.5	145.08	3.4	360.55	3.318	72.67
			3.5	144.85	3.4	360.88	3.304	72.34
			3.4	145.41	3.4	360.33	3.327	72.89
4	4.37	1.34	3.3	140.75	3.2	334.69	4.295	98.53
			3.3	140.68	3.2	335.38	4.267	97.84
			3.3	140.78	3.3	334.85	4.289	98.37
5	5.31	1.32	3.4	133.95	3.4	305.42	5.515	116.8
			3.3	134.4	3.3	305.36	5.517	117.9
			3.3	134.27	3.3	304.61	5.549	118.6
6	6.78	1.3	3.4	129.3	3.4	282.83	6.756	150.4
			3.4	129.36	3.4	282.73	6.761	150.5
			3.4	130.02	3.4	281.92	6.794	151.3
7	7.52	1.25	3.3	125.67	3.3	260.19	7.599	173
			3.3	125.75	3.2	260.66	7.58	172.6
			3.3	125.59	3.2	261.22	7.357	172

## Lampiran 5. Data Pada Objek Besi dengan Amplifier

**L.1.5 Data Pada Objek Besi dengan Amplifier**

NO	Jarak (m)	Sinyal Referensi (V)	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
			Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1	1.59	0.55	1.4	109.53	1.3	53.14	1.5	36.1
			1.5	131	1.3	50.58	1.51	32.6
			1.4	115.81	1.4	55.47	1.5	34.7
2	2.15	0.457	1.1	149.72	1.1	387.22	2.1	46
			1.2	149.95	1.1	389.09	2.02	44.13
			1.1	149.99	1.1	388.75	2.04	44.47
3	3.39	1.19	2.2	144.32	2.2	359.66	3.25	73.56
			2.3	144.22	2.1	359.27	3.27	73.95
			2.2	145.02	2.1	359.55	3.26	73.67
4	4.37	0.902	2.5	139.51	2.4	337.38	4.18	95.84
			2.5	139.47	2.4	335.87	4.24	97.35
			2.5	139.71	2.4	336	4.24	97.22
5	5.31	0.542	1.4	133.06	1.3	304.54	5.55	118.7
			1.4	133	1.3	304.39	5.55	118.8
			1.4	133.62	1.3	304.14	5.56	119.1
6	6.78	0.729	2	128.89	1.8	280.03	6.67	153.2
			1.9	128.55	1.8	280.96	6.63	152.3
			1.9	129.21	1.8	279.75	6.72	153.5
7	7.52	0.664	1.9	125.87	1.8	262.63	7.49	170.6
			1.9	124.23	1.8	262.8	7.49	170.4
			1.9	124.76	1.7	262.55	7.4	171

## Lampiran 6. Data Pada Objek Kardus dengan Amplifier

**L.1.6 Data Pada Objek Kardus dengan Amplifier**

NO	Jarak (m)	Sinyal Referensi (V)	Frekuensi 2 MHz		Frekuensi 10 MHz		Jarak LiDAR (m)	Phase Total (°)
			Sinyal Pantul (V)	Phase (°)	Sinyal Pantul (V)	Phase (°)		
1	1.59	0.157	0.14	147.7	0.14	47.95	1.243	25.27
			0.15	153.28	0.16	53.01	1.032	20.21
			0.15	158.13	0.16	58.86	1.788	24.36
2	2.15	0.139	0.15	149.82	0.12	388.67	2.046	44.55
			0.13	148.25	0.12	389.5	2.012	43.72
			0.13	144.08	0.12	386.89	2.12	46.33
3	3.39	0.139	0.37	144.8	0.35	358.36	3.309	74.86
			0.37	145.46	0.35	357.82	3.332	75.4
			0.38	140.29	0.35	360.84	3.206	72.38
4	4.37	0.105	0.29	138.63	0.26	339.64	4.089	93.58
			0.32	140.38	0.28	335.92	4.244	97.3
			0.3	141.07	0.28	339.86	4.08	98.22
5	5.31	0.164	0.18	134.26	0.16	305.73	5.502	117.5
			0.18	136.04	0.16	301.77	5.667	121.4
			0.18	135.73	0.15	304.01	5.574	119.2
6	6.78	0.154	0.16	128.4	0.15	282.92	6.652	150.3
			0.16	126.57	0.15	281.45	6.714	151.8
			0.16	129.56	0.15	279.36	6.601	153.9
7	7.52	0.143	0.13	125.81	0.13	267.95	7.461	169.7
			0.14	126.83	0.14	261.48	7.446	171.7
			0.15	125.58	0.13	265.25	7.455	169.6

## Lampiran 7. Perhitungan

**L.2 Perhitungan Penelitian****L.2.1 Perhitungan Akurasi Pengukuran LiDAR Tanpa Amplifier**

Diket: Jarak Aktual = 1.39 m

Jarak LiDAR = 1.1 m

Dit: Akurasi (%) ?

Jawab: a) Error = | Jarak Aktual – Jarak LiDAR |

$$= | 1.39 \text{ m} - 1.1 \text{ m} | = 0.29 \text{ m}$$

$$\text{b) Akurasi (\%)} = \left( 1 - \frac{\text{Error}}{\text{Jarak Aktual}} \right) \times 100 \%$$

$$= \left( 1 - \frac{0.29 \text{ m}}{1.39 \text{ m}} \right) \times 100 \%$$

$$= 79.14\%$$

**L.2.2 Perhitungan Akurasi Pengukuran LiDAR dengan Amplifier**

Diket: Jarak Aktual (LDM) = 1.59 m

Jarak LiDAR = 1.33 m

Dit : Akurasi (%) ?

Jawab : a) Error = | Jarak Aktual – Jarak LiDAR |

$$= | 1.59 \text{ m} - 1.33 \text{ m} | = 0.26 \text{ m}$$

$$\text{b) Akurasi (\%)} = \left( 1 - \frac{\text{Error}}{\text{Jarak Aktual}} \right) \times 100 \%$$

$$= \left( 1 - \frac{0.26 \text{ m}}{1.59 \text{ m}} \right) \times 100 \%$$

$$= 83.65\%$$

**L.2.3 Perhitungan Jarak Teoritis dengan Jarak yang Diukur oleh LiDAR**

$$\begin{aligned} \text{Diket} \quad : \quad c &= 3 \times 10^8 \text{ m/s} \\ & \\ & f_m = 10 \times 10^6 \text{ Hz} \\ & \\ & \phi = 24.19^\circ \end{aligned}$$

$$\text{Dit} \quad : \quad d?$$

$$\text{Jawab} \quad : \quad d = \frac{c}{2f_m} \cdot \frac{\phi}{360^\circ}$$

$$d = \frac{3 \times 10^8}{2(10 \times 10^6)} \cdot \frac{24.19}{360^\circ}$$

$$d = 15 \times \frac{24.19}{360^\circ} = 1.00$$

## Lampiran 8. Dokumentasi

## L.3 Dokumentasi Penelitian



Laser Dioda Controller



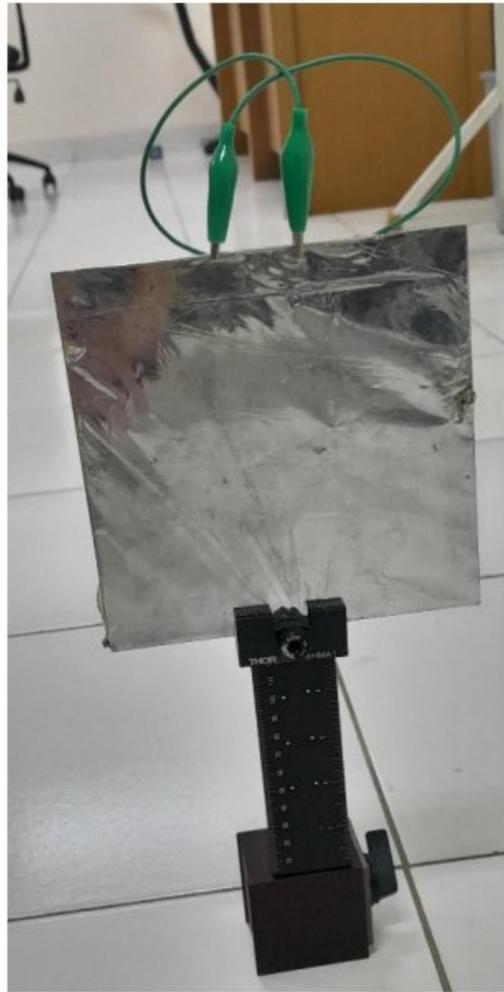
Signal Generator



Laser Distance Meter



Amplifier



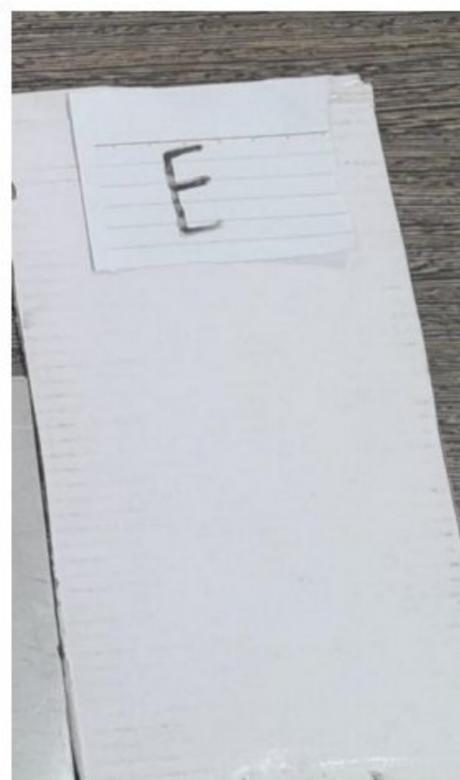
Aluminium Foil



Objek dengan Plat Besi



Besi



Kardus