# RANCANG BANGUN AUTOMATIC OIL SKIMMER DENGAN METODE UV VISIBLE TRANSMISSION SPECTROSCOPY BERBASIS ESP32 PADA LIMBAH INDUSTRI

Hanif Abdul Qodir[1)], Arkhan Subari[2)]
[1)]Program Studi Str. Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
*)E-mail : *hanifabdulqodir@students.undip.ac.id*

***ABSTRACT***

*Electricity is a form of energy that has now become a part of life for all mankind. Almost everything that humans use requires electricity to function, where the greater the energy required, the more electrical energy that needs to be generated. The majority of generators used are steam power plants that require coal. Where the coal used requires a mining process which will produce waste, one of which is used oil from coal transport equipment which is undergoing maintenance. This used oil will later mix with water when the workshop is cleaned. To ensure the cleanliness and safety of waste water that will be channeled back into nature, preventive measures need to be taken in the form of using an oil skimmer. Oil skimmers are still rarely used in Indonesia, and still require operator intervention. One method to reduce operator intervention is to automate the oil skimmer tool by utilizing the UV Visible Transmission Spectroscopy method, ESP32, and a belt skimmer made from polypropylene. From this method it can be seen that oil causes changes in light intensity, where these changes indicate the amount of oil in the water.*

***Keywords****: waste oil, oil skimmer, Transmission Spectroscopy*

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Listrik adalah energi penting dalam kehidupan manusia, digunakan mulai dari perangkat kecil hingga alat transportasi. Energi listrik dihasilkan melalui pembangkit yang memanfaatkan sumber daya terbarukan dan tidak terbarukan. Meski ada peralihan ke sumber daya terbarukan, pembangkit tidak terbarukan, seperti PLTU berbahan bakar batu bara, masih mendominasi. Batu bara diperoleh melalui proses penambangan kompleks, salah satunya oleh PT. Saptaindra Sejati di bawah Adaro Group. Proses ini melibatkan pemeliharaan rutin alat berat, menghasilkan limbah campuran cair-padat (air, oli, pelumas).Limbah ini memerlukan pengelolaan khusus untuk memisahkan komponen berbahaya sebelum air dapat dialirkan kembali ke lingkungan. Salah satu metode pemisahan adalah dengan skimmer minyak, yang efektif namun sering bergantung pada operator manusia. Karena keterbatasan alat skimmer di Indonesia dan kebutuhan otomatisasi, penulis mengusulkan topik tugas akhir: "Rancang Bangun Automatic Oil Skimmer dengan Metode UV Visible Transmission Spectroscopy Berbasis ESP32 pada Limbah Industri." Tujuannya adalah mempermudah pengelolaan limbah dan monitoring untuk mencegah pencemaran lingkungan di area industri, khususnya pertambangan.

### 1.2. Perumusan Masalah

Dari topik yang akan diangkat pada penelitian ini dapat dipersamaankan beberapa permasalahan seperti berikut ini :

1. Bagaimana cara mendeteksi oli pada air limbah?
2. Bagaimana cara memisahkan antara limbah oli bekas dengan air pada limbah yang telah di kumpulkan?
3. Bagaimana mengintegrasikan komponen sensor, microcontroller, dan platform cloud menjadi perangkat oil skimmer otomatis?

### 1.3. Batasan Masalah

Dari pepersamaanan masalah yang telah dibuat, dapat disusun batasan masalah seperti sebagai berikut :

1. Parameter yang di monitoring pada proyek tugas akhir ini adalah keberadaan oli berdasar intensitas cahaya laser
2. Fungsi kerja dari alat proyek tugas akhir ditujukan agar hanya memerlukan tenaga kerja seminimal mungkin
3. Pemisahan oli dengan air limbah memanfaatkan bahan oleophilic polyurethane
4. Pembuatan alat proyek memanfaatkan microcontroller ESP32 D1 mini dan tidak menggunakan maupun membandingkan dengan microcontroller lain

## 2. Landasan Teori

### 2.1. Parameter Kualitas Air

Air adalah kebutuhan penting bagi makhluk hidup. Di PT. Saptaindra Sejati, air limbah diolah untuk digunakan kembali, seperti membersihkan bengkel dan truk. Oleh karena itu, kualitas air perlu dijaga, yang dapat ditinjau dari aspek:

1. Fisik:
   a. Kekeruhan (NTU): Partikel dalam air mempengaruhi penetrasi cahaya.
   b. Suhu (°C): Menentukan panas atau dingin air.
   c. Zat padat terlarut (TSS): Mengindikasikan jumlah partikel dalam cairan.
2. Kimiawi:
   a. pH: Menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan (skala 1-14).
   b. Konsentrasi logam berat: Logam seperti Fe dan Mn harus diukur.
   3. Biologis: Kandungan mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan virus.

Air tercemar jika parameternya menyimpang dari kondisi normal. Di area tambang batu bara, air limbah harus memiliki pH 6–9, TSS ≤400 mg/l, Fe ≤7 mg/l, dan Mn ≤7 mg/l. Oli dalam air dapat meningkatkan kekeruhan, konsentrasi logam berat, dan membahayakan organisme, menjadikan air tidak layak dimanfaatkan.

Oli memengaruhi kualitas air dengan mengganggu cahaya yang melewati air, sehingga deteksi oli dapat dilakukan menggunakan media cahaya.

Untuk menghilangkan kontaminasi oli, diperlukan bahan yang efektif memisahkan oli dari air

### 2.2. Ultraviolet-Visible Spectroscopy

Spectroscopy merupakan cabang ilmu sains yang mempelajari spektrum dari radiasi elektromagnetik sebagai sebuah fungsi panjang gelombang atau frekuensi untuk mendapatkan informasi. Terdapat beberapa metode spectroscopy yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan oli di air yaitu : Spectral scatter, UV absorption, UV Fluorescence, infrared absorption, dan infrared photoacoustic [6]. Dari beberapa metode tersebut, terdapat tiga kondisi utama yang akan dialami oleh oli atau minyak ketika mendapatkan cahaya, kondisi tersebut ialah :

1. Penyerapan (Absorption),

Kondisi penyerapan (Absorpsi) terjadi ketika suatu cahaya melewati molekul, sebagian energinya diserap dan ditransmisikan kembali. Proses absorpsi ini dapat diukur dengan mengukur banyaknya intensitas cahaya yang ditransmisikan. Rasio intensitas cahaya yang ditransmisikan dinyatakan dengan Transmitansi (T), sedangkan cahaya yang diserap dinyatakan dengan Absorption (A).

$$\mathrm{T} = \frac{I}{I_0} = e^{al} \qquad (2.1)$$

[6]

dimana :

T = transmitansi

I = intensitas cahaya yang ditransmisikan

$I_0$ = intensitas cahaya awal

α = koefisien absorpsi

l = panjang sampel

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I} = \log_{10} \frac{1}{T} = - \log_{10} T \quad (2.2)\ [6]$$

A = Absorpsi ($cm^{-1}$)

T = Transmitansi

I = Intensitas cahaya yang ditransmisikan

$I_0$ = Intensitas Cahaya awal

2. Penyebaran (Scattering)

Kondisi penyebaran (Scattering) terjadi ketika suatu cahaya melewati molekul, sebagian energinya diserap dan dipantulkan secara acak. Penyebab dari penyebaran cahaya ini karena keberadaan medium atau molekul yang tidak homogen dengan sampel. Besarnya penyebaran dapat di ukur dengan persamaan Beer-Lambert.

$$S = \frac{I}{I_0} = e^{-a_{ex} l}\ ,\ a_{ex} = a + K \quad (2.3)\ [6]$$

dimana :

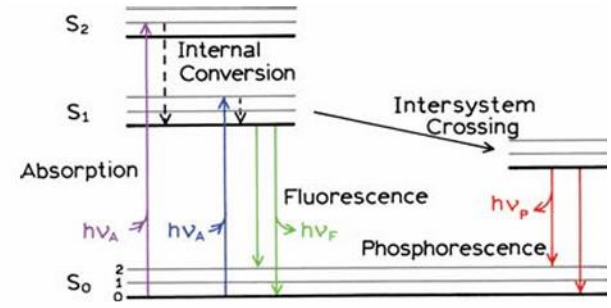
$a_{ex}$ = koefisien ekstingsi

a = koefisien absorpsi

K = koefisien penyebaran

3. Fluoresensi (Fluorescence).

Fluorescence spectroscopy bekerja dengan prinsip Jablonski Diagram seperti pada **Gambar 2. 1**. yang mengilustrasikan proses yang terjadi antara penyerapan dan pancaran kembali dari suatu cahaya.




**Gambar 2. 1.** Jablonski Diagram [7]

dimana :

$S_0$ = kondisi awal molekul sebelum tereksitasi

$S_1$ = kondisi molekul melepas energi eksitasi

$S_2$ = kondisi molekul tereksitasi

$T_1$ = kondisi molekul bervibrasi

## 2.3. Laser

Cahaya laser bersifat terfokus pada satu titik, memiliki satu panjang gelombang, berfase sama, dan terarah. Prinsip kerja laser meliputi:

1. Absorpsi: Elektron menyerap foton dan berpindah ke tingkat energi lebih tinggi.
2. Emisi Spontan: Elektron kembali ke tingkat energi rendah dengan memancarkan foton.
3. Emisi Terstimulasi: Foton hasil emisi spontan menstimulasi elektron lain untuk kembali ke tingkat energi rendah, menghasilkan foton baru.

Untuk deteksi oli dalam air limbah, digunakan laser dengan panjang gelombang 405 nm (Ultraviolet Visible Light), sesuai dengan karakteristik serapan oli.

## 2.4. Skimmer Oli

Pencemaran minyak dan oli pada air sangat membahayakan keberlangsungan hidup karena zat-zat berbahaya yang terkandung di dalamnya, terutama dari oli bekas kendaraan yang kaya akan gram dari komponen logam. Untuk menanggulangi pencemaran ini, terdapat beberapa metode pengambilan oli/minyak dari air, yaitu:

1. Boom, Memanfaatkan komponen mengambang untuk membentuk batasan yang mencegah penyebaran oli/minyak di permukaan air.
2. Skimmer:
   Menggunakan komponen mekanis untuk mengambil oli/minyak dari permukaan air. Terdapat dua jenis yakni, Suction Skimmer: Bekerja dengan prinsip menghisap oli, Belt Skimmer: Memanfaatkan sabuk oleophilic yang menarik oli dari permukaan air.
3. Sorbent, Menggunakan material yang mampu menyerap oli/minyak.

## 2.5. Light Detection And Ranging

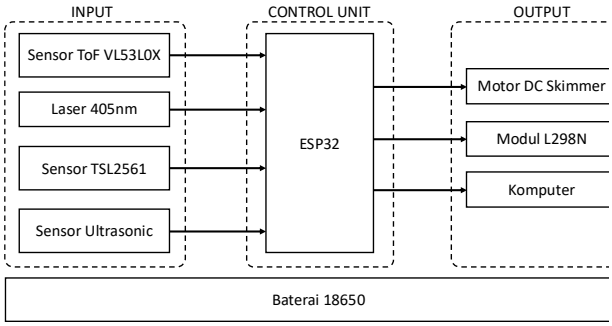
LiDAR adalah teknologi pemetaan yang menggunakan sinar laser untuk mengukur jarak suatu objek dengan akurasi tinggi. Teknologi ini banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti

pemetaan geografis, otomasi kendaraan, dan analisis lingkungan. LiDAR bekerja berdasarkan dua metode utama:

1. Time of Flight (ToF): Mengukur waktu yang dibutuhkan pulsa laser untuk mencapai objek dan kembali ke sensor.
2. Triangulasi: Menggunakan sudut pantulan cahaya untuk menghitung jarak dengan lebih presisi dalam jarak dekat.

## 3. Perancangan Alat

### 3.1. Perancangan Hardware

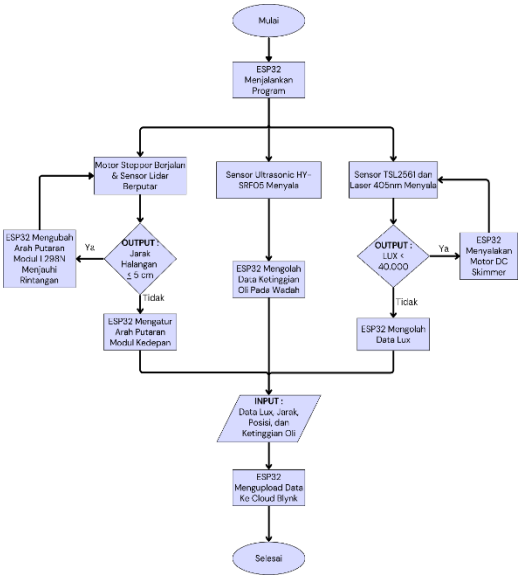



**Gambar 3. 1.** Diagram Blok

Rancang Bangun Automatic Oil Skimmer Dengan Metode Uv Visible Spectroscopy Berbasis Esp32 Pada Limbah Industri terdiri dari input, control unit, dan output. Input berfungsi untuk mengumpulkan data yang akan di kirim ke unit. Setelah data dari tiap bagian input diterima oleh control unit, selanjutnya data di proses sesuai dengan apa yang sudah dirancang dan kemudian ditentukan tindakan dari inputan yang didapat tadi. Setelah ditentukan, tindakan dari hasil inputan tersebut di kirimkan ke bagian output. Ketiga bagian utama ini tersusun atas dua perangkat yaitu perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software). perangkat keras (hardware) terdiri dari sensor VL53L0X, sensor TSL2561, Sensor Ultrasonic HY-SRF05, Laser 405nm, Motor DC, Modul L298N dan ESP32. Sedangkan perangkat lunak dari perancangan ini adalah Arduino IDE sebagai perantara pembuatan program dari laptop ke ESP32 dan Blynk sebagai perangkat IoT yang akan menghubungkan langsung perangkat keras dengan perangkat pengguna.

### 3.2. Perancangan Software

Diagram alur atau yang juga dikenal sebagai flowchart, berfungsi untuk mengilustrasikan urutan langkah dalam suatu proses pemrograman. Pada pelaksanaan tugas akhir ini, penyusun menyajikan flowchart sistem yang akan ditampilkan pada **Gambar 3. 2**.



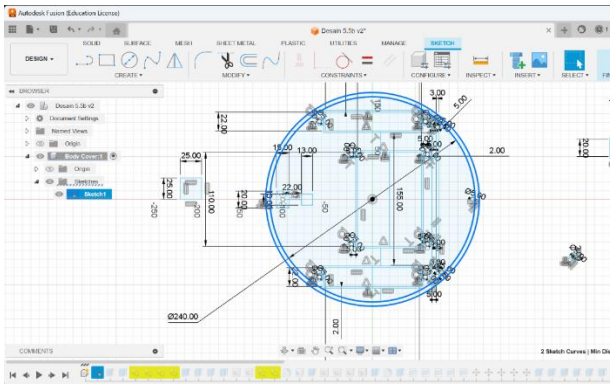

**Gambar 3. 2.** Flowchart

Dari flowchart diatas, input yang dibutuhkan dalam pelaksanaan tugas akhir ini, yaitu sensor lidar VL53L0X, sensor ultrasonic HY-SRF05, dan sensor TSL2561. Program diawali dengan menyalakan sensor lidar, dan memutarnya menggunakan motor stepper untuk membaca jarak disekitar alat. Apabila terdapat halangan dengan jarak kurang dari atau sama dengan 5cm, maka ESP32 mengirimkan perintah untuk mengubah arah putaran modul L298N. Selanjutnya Laser 405nm dinyalakan beserta sensor TSL2561. Apabila terdapat perubahan intensitas cahaya dibawah 4000 lux maka hal tersebut mengindikasikan adanya oli pada air, ESP32 selanjutnya mengirimkan perintah untuk menyalakan motor DC memutar Skimmer. Selanjutnya sensor Ultrasonic HY-SRF05 dinyalakan untuk membaca penuh tidaknya keberadaan oli pada tangki penampung sementara

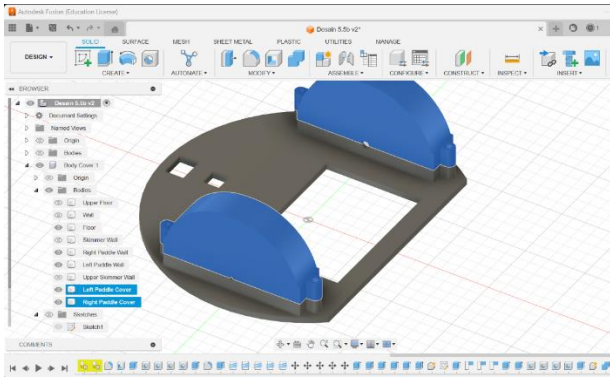
pada alat.

## 4. Pembuatan Alat

Proses pembuatan alat diawali dengan membuat desain menggunakan bantuan aplikasi desain 2D. Pembuatan desain 2D meliputi bagian dasar alat, tembok alat, penutup paddle, penutup skimmer, bracket lidar, tutup cover alat, tangki alat, dan bracket laser alat. Selanjutnya dari desain 2D tersebut diubah menjadi desain 3D yang akan diexport untuk proses 3D printing. Proses pembuatan alat ini seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4. 1**, **Gambar 4. 2**, **Gambar 4. 3**.



**Gambar 4. 1** Proses Pembuatan Sketsa Alas Alat



**Gambar 4. 2.** Proses Pembuatan Cover Paddle

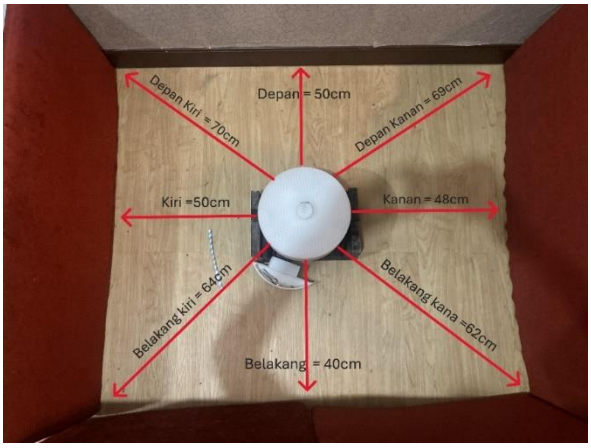


**Gambar 4. 3.** Bentuk Alat Keseluruhan

## 5. Pengujian dan Analisis

### 5.1.1. Pengujian Navigasi Alat

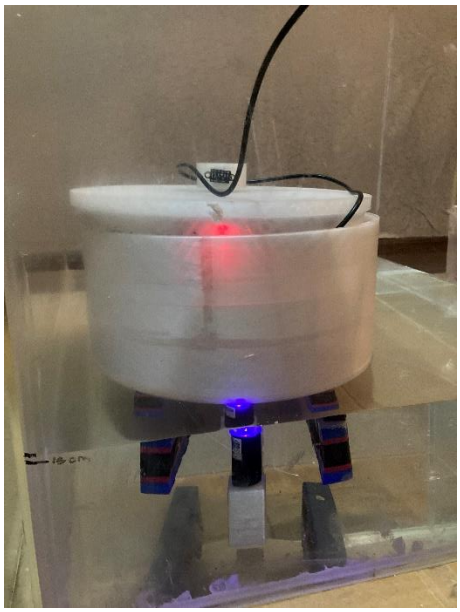
Pengujian navigasi alat ditujukan untuk mengetahui seberapa akurat sensor lidar VL53L0X dalam membaca jarak rintangan yang ada disekitar alat. Tingkat akurasi ini akan mempengaruhi pengambilan keputusan alat saat terdapat rintangan. Pembacaan jarak meliputi delapan arah dari alat dimana rintangan diatur dalam jarak yang telah ditentukan dengan meteran/mistar, antara lain : depan, depan kiri, kiri, kiri belakang, belakang, belakang kanan, kanan, kanan depan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5. 1**.




**Gambar 5. 1.** Ilustrasi Pembacaan Jarak Navigasi

### 5.1.2. Pengujian Pembacaan Intensitas Oli Pada Air

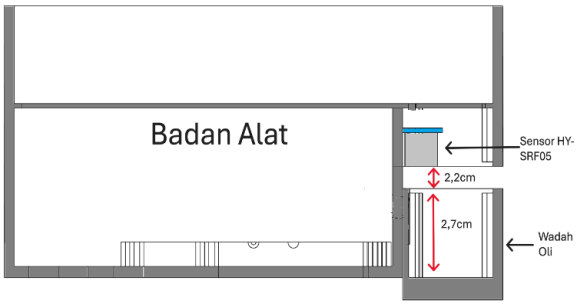
Pengujian pembacaan intensitas oli pada air ditujukan untuk mengetahui pengaruh keberadaan oli terhadap intensitas cahaya. Perbedaan antara cahaya yang ditransmisikan dengan cahaya yang ditembakkan menjadi dasar dari pembacaan keberadaan oli. Pengujian dilakukan dalam suatu kolam khusus dengan ukuran 50x50x50cm dengan air jernih yang diisi setinggi 13cm, dan akan diberi oli dengan jumlah antara lain : 100ml, 200ml, 500ml, 700ml, dan 1000ml. Pengujian ini ditunjukkan pada **Gambar 5. 2.**



**Gambar 5. 2.** Alat Pada Air Jernih Laser Berwarna Ungu

### 5.1.3. Pengujian Pembacaan Oli Pada Tangki Alat

Pengujian pembacaan oli pada tangki alat ditujukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor HY-SRF05 dalam membaca keberadaan oli pada tangki alat. Keberadaan oli ini berbanding lurus dengan penuh tidaknya tangki penampung, dimana tingkat penuhnya tangki mempengaruhi kinerja alat. Pengujian ini dilakukan dalam tiga kondisi antara lain : tangki kosong, tangki terisi 51%, dan tangki terisi penuh atau 100%. Pengujian ini ditunjukkan pada **Gambar 5. 3.**




**Gambar 5. 3.** Ilustrasi Pemasangan Sensor Ultrasonic

### 5.2.1. Analisis Kerja Navigasi Alat

**Tabel 5- 1.** Hasil Perhitungan Keakuratan Sensor Per-Arah Baca

| NO | POSISI | MEASURED | MEAN ABS ERROR | RELATIVE ERROR | STD DEVIATION | ACCURACY |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | DEPAN KIRI | 700 | 17,33 | 0,02 | 14,57 | 98% |
| 2 | KIRI | 500 | 23,67 | 0,05 | 4,16 | 95% |
| 3 | KIRI BELAKANG | 640 | 101,67 | 0,16 | 27,01 | 84% |
| 4 | BELAKANG | 400 | 7,33 | 0,02 | 6,03 | 98% |
| 5 | BELAKANG KANAN | 620 | 24,00 | 0,04 | 10,54 | 96% |
| 6 | KANAN | 480 | 9,33 | 0,02 | 4,04 | 98% |
| 7 | KANAN DEPAN | 690 | 24,00 | 0,03 | 23,00 | 97% |
| 8 | DEPAN | 500 | 19,00 | 0,04 | 5,57 | 96% |

Berdasarkan pengujian didapatkan data hasil percobaan seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 5- 1** dan perhitungan, ditemukan perbedaan antara pembacaan jarak oleh sensor lidar dan pengukuran langsung menggunakan meteran. Perbedaan ini disebabkan oleh hambatan kabel saat motor stepper memutar bracket atau selama proses stepping. Kabel yang terhubung ke sensor pada bracket lidar cenderung menarik dan menahan pergerakan bracket, sehingga memengaruhi hasil pembacaan jarak. Namun, meskipun terdapat deviasi seperti yang ditunjukkan oleh perhitungan standar deviasi, hasil pembacaan sensor tetap tergolong akurat. Tingkat akurasi terendah mencapai 84%, sementara yang tertinggi mencapai 98%. Tingkat akurasi ini masih dapat ditoleransi dan tidak signifikan memengaruhi pengambilan keputusan alat berdasarkan jarak yang terbaca.

### 5.2.2. Analisis Kerja Pembacaan Intensitas Oli Pada Air

**Tabel 5- 2.** Perhitungan Transmittance dan Absorbance

| NO | KONDISI | TINGGI OLI (mm) | LUX | T | A |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | TANPA OLI | - | 40.000 | 1 | 0,00 |
| 2 | OLI 100ml | 1,00 | 4300 | 0,1075 | 0,97 |
| 3 | OLI 200ml | 1,00 | 2700 | 0,0675 | 1,17 |
| 4 | OLI 500ml | 2,00 | 1165 | 0,029125 | 1,54 |
| 5 | OLI 700ml | 3,00 | 284 | 0,0071 | 2,15 |
| 6 | OLI 1000ml | 4,00 | 34 | 0,00085 | 3,07 |

**Tabel 5- 3.** Perhitungan Koefisien Absorpsi dan Koefisien Scattering

| NO | KONDISI | TINGGI OLI (mm) | LUX | α | K | αl | Kl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | TANPA OLI | - | 40.000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |
| 2 | OLI 100ml | 1,00 | 4300 | 2,23 | 1,26 | 2,23 | 1,2 |
| 3 | OLI 200ml | 1,00 | 2700 | 2,69 | 1,52 | 2,69 | 1,5 |
| 4 | OLI 500ml | 2,00 | 1165 | 3,54 | 0,23 | 7,07 | 0,4 |
| 5 | OLI 700ml | 3,00 | 284 | 4,95 | -0,50 | 14,84 | -1,5 |
| 6 | OLI 1000ml | 4,00 | 34 | 7,07 | -1,30 | 28,27 | -5,2 |

Berdasarkan hasil pengujian pada **Tabel 5- 2** dan **Tabel 5- 3**, keberadaan oli memengaruhi pembacaan lux dari laser. Berikut adalah ringkasan hasil pengujian:

1. Kondisi 1 (Air Jernih), Intensitas cahaya maksimal, dengan koefisien absorpsi (αl) dan penyebaran (Kl) bernilai 0. Tidak terjadi penyerapan atau penyebaran cahaya karena air jernih tidak menyerap cahaya laser dengan panjang gelombang 405 nm (mendekati ultraviolet).
2. Kondisi 2, 3, dan 4 (Air dengan Oli), Intensitas cahaya menurun drastis, di bawah 40.000 lux. Koefisien absorpsi (αl) > 1, menunjukkan tingginya penyerapan cahaya oleh molekul oli. Koefisien penyebaran (Kl) < 1, menunjukkan sedikit penyebaran cahaya. Penurunan intensitas cahaya lebih dominan disebabkan oleh penyerapan cahaya oleh oli.
3. Kondisi 5 dan 6 (Kandungan Oli Lebih Tinggi), Intensitas cahaya mendekati nol. Koefisien absorpsi (αl) > 1, sementara koefisien penyebaran (Kl) mendekati 0. Molekul oli menyerap hampir seluruh cahaya, dengan sedikit atau tanpa penyebaran, mengakibatkan hampir tidak ada transmisi cahaya ke sensor.
4. Perubahan Warna Cahaya, terdapat perubahan warna cahaya yang ditransmisikan, dari ungu menjadi biru keputihan.Perubahan ini disebabkan oleh efek fluoresensi, di mana panjang gelombang cahaya berubah dari 405 nm menjadi sekitar 473 nm, sesuai teori fluoresensi spektroskopi. Cahaya yang diserap oleh molekul oli dipantulkan kembali dengan panjang gelombang berbeda sebagai respons energi.

Hasil ini menunjukkan bahwa ketebalan oli secara signifikan memengaruhi intensitas cahaya yang diterima sensor melalui mekanisme penyerapan dan penyebaran.

### 5.2.3. Analisis Pembacaan Oli Pada Tangki Alat

**Tabel 5- 4.** Hasil Perhitungan Error dan Keakuratan Pembacaan Sensor

| NO | KONDISI | TINGGI | VOL. AIR | JUM. AIR | LEVEL AIR | PERSEN AIR | RELATIVE ERROR LVL | RELATIVE ERROR VOL | ACCURACY |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | TIDAK BERISI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100,00% |
| 2 | BERISI 51% | 13,7 | 72,65 | 60 | 14 | 51% | 0,021898 | 0,174123 | 82,59% |
| 3 | BERISI 100% | 27 | 142,45 | 130 | 27 | 100% | 0 | 0,087399 | 91,26% |

Berdasarkan perhitungan yang ditunjukkan pada **Tabel 5- 4**, terdapat perbedaan kemampuan penampungan dan persentase cairan di wadah. Perbedaan ini disebabkan oleh penggunaan magnet sebagai penopang wadah, yang meskipun mudah dilepas pasang, kurang mampu menopang beban dengan stabil. Akibatnya, wadah cenderung miring sehingga air terkumpul tidak merata, menghasilkan perbedaan dalam pembacaan.

Namun, berdasarkan perhitungan, sensor pembacaan terbukti cukup akurat dalam mengukur volume cairan di wadah. Dengan demikian, perbedaan pembacaan tersebut masih dapat ditoleransi.

## 6. Penutup

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan, pembuatan, pengujian, dan analisa hasil dapat disimpulkan bahwa :

1. Alat ini menggunakan prinsip kerja Lidar untuk navigasi, mampu membaca jarak antara 40 cm hingga lebih dari 50 cm dengan cakupan delapan sisi (depan, depan kiri, kiri, kiri belakang, belakang, kanan belakang, kanan, kanan depan). Tingkat akurasi pembacaan jarak berkisar antara 84% hingga 98%, menunjukkan keandalan sistem untuk navigasi yang aman.
2. Metode Transmission dan Scattering Spectroscopy diterapkan menggunakan laser 405 nm dan sensor TSL2561. Alat mendeteksi intensitas cahaya (lux) yang menurun seiring bertambahnya jumlah dan ketebalan oli. Hal ini karena molekul oli menyerap cahaya dalam spektrum Ultraviolet-Visible, termasuk panjang gelombang 405 nm.
3. Sistem menggunakan prinsip kerja ultrasonik dengan memancarkan gelombang suara ultrasonik dan membaca pantulannya. Alat mampu mendeteksi tingkat cairan mulai dari wadah kosong hingga penuh dengan akurasi minimal 82%, yang masih tergolong akurat. Namun, karena wadah ditopang magnet, kapasitas maksimum hanya dapat menampung hingga 51% dari volume penuh untuk alasan keamanan.

### 6.2 Saran

Berdasarkan pembuatan alat beserta pengujian yang telah dilakukan penulis, dapat diberikan saran berupa :

1. Disarankan menggunakan produk lidar terintegrasi seperti LPLidar daripada sensor satuan seperti VL53L0X. Hal ini akan menyederhanakan proses pembuatan, menghemat waktu, mengurangi risiko kerusakan kabel yang dapat menghambat putaran lidar, serta memungkinkan alat memiliki lebih banyak fitur.
2. Deteksi oli dapat ditingkatkan dengan mengganti penggunaan laser dengan kamera yang dilengkapi machine learning. Metode ini akan meningkatkan akurasi, menyederhanakan struktur alat, memperbaiki kemampuan alat untuk tetap mengapung, dan mengurangi risiko kebocoran atau tenggelam.
3. Alat dapat dilengkapi dengan fitur pembacaan kekeruhan air, tinggi rendahnya air limbah, serta mapping area. Fitur ini akan meningkatkan efektivitas monitoring, efisiensi pengambilan oli, dan kemampuan navigasi alat.

### DAFTAR PUSTAKA


[1] M. S. T. P. B. S. I. A. I. F. J. P. E. S. S. J. S. A. J. E. Y. S. N. Handri Maika Saputra, Analisis Kualitas Lingkungan, Sumatera Barat: GET PRESS INDONESIA, 2023.

[2] M. L. H. d. K. Indonesia, PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA, Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022.

[3] H. J. K. Y. M. A. A. C. N. C. H. F. A. I. Z. A. S. H. A. N. H. S. Ahmad Dasuki Mustafa, “Oil SPill Related Heavy Metal : A Review,” Malaysian Journal of Analytical Sciences, vol. 19, no. 6, p. 13, 2015.

[4] K. S. T. P. H. H. F. C. K. H. Y. H. P. J. M. Chung Chi Chen, “The Impact of Two Oil Spill Events On The Water Quality Along Coastal Area of Kenting National Park Southern Taiwan,” Elsevier, p. 10, 2017.

[5] T. A. N. U. M. K. A. M. S. C. M. S. R. Tasrina Rabia Choudhury, “Heavy Metal Examination of River Water and Sediments In The Mangrove Forest Ecosystems In Bangladesh : A Consequence of Oil Spill Incident,” Elsevier, vol. 16, p. 16, 2021.

[6] P. Hodgson, THE DETECTION OF OIL IN WATER BY NEAR INFRARED PULSED PHOTOACOUSTIC SPECTROSCOPY, Edinburgh: Herlot-Watt University, 1999.

[7] J. R. Lakowicz, Principles of Fluorescence Spectroscopy, Baltimore, USA: Springer, 2006.

[8] W. T. Silfvast, Laser Fundamentals, Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

[9] Z. O. Emilia Baszanowska, "Spectrum of Light Absorption As The Indicator of Lubricate Oil Dispersed in the Natural Water," Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 23, no. 1, p. 6, 2016.

[10] M. L. Sangwoo Og, "Detection of Hydrocarbon in Seawater by Light Absorption Analysis," Journal of the Korean Society, vol. 16, no. 4, p. 5, 2013.

[11] J. L. M. H. M. T. R. M. A. A. M. Z. K. Jawad Ahmad, "Study of Physio-Chemical Properties of POSS/Mineral Oil Based Nanofluids," IEEE Explore, p. 6, 2018.

[12] US Enviromental Protection Agency, Understanding Oil Spills And Oil Spill Response, US Enviromental Protection Agency, 1999.

[13] M. Z. Fardiansyah Nur Aziz, "Analisis Kinerja Sensor TF-Mini LiDAR untuk Pengkuran Jarak," Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, vol. 11, no. 3, p. 7, 2022.

[14] rnjena, "Low Cost Solid-State 2D LiDAR," Steemit, 2018. [Online]. Available: https://steemit.com/technology/@rnjena/low-cost-solid-state-2d-lidar. [Diakses 22 06 2024].

[15] K. A. S. S. K. Mansaf Alam, Internet Of Things (IoT) Concepts and Applications, Switzerland: Springer Cham, 2020.

[16] F. W. Slamet Purwo Santoso, RANCANG BANGUN AKSES PINTU DENGAN SENSOR SUHU DAN HANDSANITIZER OTOMATIS BERBASIS ARDUINO, Jakarta: Universitas Krisnadwipayana, 2021.

[17] Blynk , "About Blynk," Blynk Technologies Inc., 2014. [Online]. Available: https://blynk.io/about#section-power. [Diakses 16 06 2024].

[18] G. Schorcht, "MH-ET LIVE MiniKit," Riot, [Online]. Available: https://doc.riot-os.org/group__boards__esp32__mh-et-live-minikit.html. [Diakses 16 06 2024].

[19] K. S. I. H. Heru Abrianto, "Sistem Monitoring Dan Pengendalian Data Suhu Ruang Navigasi Jarak Jauh Menggunakan WEMOS D1 Mini," Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi, vol. 4, no. 1, p. 12, 2021.

[20] Espressif Systems, "ESP32WROOM32," Espressif Systems, Shanghai, 2023.

[21] D. B. S. Imam Rana Muttaqin, "Prototype Pagar Otomatis Berbasis Arduino Uno Dengan Sensor Ultrasonic HC-SR04," Jurnal Teknik Unisla, vol. 6, no. 2, p. 5, 2021.

[22] Components101, "L298N Motor Driver Module," Components101, 13 April 2021. [Online]. Available: https://components101.com/modules/l293n-motor-driver-module. [Diakses 17 06 2024].

[23] STMicroelectronics, "L298 Dual Full Bridge Datasheet," STMicroelectronics, Geneva, 2023.

[24] Zuhal, Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2000.

[25] Kia Tronics, "28BYJ-48 – 5V Stepper Motor," Welten Holdings Ltd , Tauranga.

[26] Allegro Microsystems, "3141 THRU 3144 Sensitive Hall Effect Switches," Allegro Microsystems, Worchester, 1999.

[27] Handson Technology, "HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module User Guide," Handson Technology, Johor.

[28] B. M. J. A. L.-G. J. T. Seyedmilad Komarizadehasl, "DETAILED EVALUATION OF

LOW-COST RANGING SENSORS FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEM," dalam Recent Trends in Construction Engineering and Education, Spain, 2020.

[29] STMicroelectronics, "VL53L0X Time of Flight Sensor Datasheet," STMicroelectronics, Geneva, 2024.

[30] Texas Advanced Optoelectronic Solutions , "TSL2561 Light To Digital Converter Datasheet," Texas Advanced Optoelectronic Solutions Inc., Texas, 2009.

[31] R. S. F. A. R. Mala Desrinda Dwi Putri, "Characteristics Between New Oil and Used Oil by Using Laser Light Intensity and Lux Meter," ICSE, vol. 2, p. 2, 2019.