

EFEK LASER MERAH DAN HIJAU PADA HASIL PENGUKURAN PARTIKEL BERBASIS DYNAMIC LIGHT SCATTERING

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Menempuh Ujian Akhir Tingkat Sarjana
pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Padjadjaran

MOHAMAD FAUZI

140310190053



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PADJADJARAN**

2023

**EFEK LASER MERAH DAN HIJAU PADA HASIL
PENGUKURAN PARTIKEL BERBASIS DYNAMIC LIGHT
SCATTERING**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Menempuh Ujian Akhir Tingkat Sarjana
pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Padjadjaran

MOHAMAD FAUZI

140310190053



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PADJADJARAN**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Efek Laser Merah dan Hijau Pada Hasil Pengukuran Partikel Berbasis Dynamic Light Scattering
Penyusun : Mohamad Fauzi
NPM : 140310190053
Lab : Fisika Instrumentasi

Jatinangor, Desember 2023

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Ferry Faizal, Ph.D

NIP. 1234567 123456 1 123

Prof. Dr. Eng. I Made Joni, M.Sc

NIP. 1234567 123456 1 123

Mengetahui,

Ketua Program Studi Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Padjadjaran

Prof. Dr. Eng. Camellia Panatarani, M.Si

NIP. 1234567 123456 1 123

KATA PENGANTAR

Prakata berisikan ucapan terima kasih penulis skripsi kepada pihak-pihak yang telah memberikan kontribusi terhadap penulisan skripsi, baik secara institusional maupun secara akademik.

Berikut adalah contoh penulisan rincian yang berisi ucapan terima kasih:

1. Nama pembimbing 1 dan nama pembimbing 2 selaku dosen pembimbing tugas akhir,
2. Rekan-rekan Treddian ...
3. Pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung, terima kasih atas segala dukungan yang diberikan kepada penulis.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan oleh penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu dan teknologi serta bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Jatinangor, Desember 2023

Mohamad Fauzi

ABSTRAK

Abstrak, merupakan sari tulisan, meliputi latar belakang penelitian secara ringkas, tujuan, metode, hasil penelitian, dan simpulan penelitian. Panjang abstrak antara 150 - 250 kata, dinyatakan dalam satu paragraf, dan dilengkapi dengan 3-5 kata kunci.

Kata kunci: Kata kunci terdiri atas 3-5 kata/frasa yang berkaitan dengan topik skripsi.

ABSTRACT

Abstract merupakan versi bahasa Inggris dari Abstrak, ditulis maksimum 150-250 kata dan dilengkapi dengan keywords.

Keywords: *Kata kunci terdiri atas 3-5 kata/frasa yang berkaitan dengan topik skripsi.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Light Scattering	6
2.2. Dynamic Light Scattering	7
2.3. Mikrokontroler	8

2.4. Fotodioda	10
2.5. Kajian Teori	12
III METODE PENELITIAN	13
3.1. Objek Penelitian	13
3.2. Metode Penelitian	13
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	14
4.1. Hasil Pengujian Blok OPT101	14
4.2. Hasil Pengujian Instrumen Dynamic Light Scattering	17
4.2.1. Data Fluktuasi Sinyal	17
4.2.2. Data Autokorelasi	19
4.2.3. Distribusi Data Ukuran Partikel	20
4.3. Gambar	21
4.4. Grafik	22
4.5. Persamaan	22
4.6. Sitasi	23
DAFTAR PUSTAKA	25

DAFTAR GAMBAR

2.1	Board Arduino Uno R3	10
2.2	Lambang dan Gambar Fotodioda LED Inframerah	10
2.3	P-N Fotodioda	11
2.4	Fotodioda dengan <i>Transimpedance Amplifier</i> OPT101	12
4.1	Nilai Output OPT101 terhadap Resistor	15
4.2	Nilai Output OPT101 terhadap Resistor	16
4.2	Perbedaan Nilai Detektor Sensor terhadap Waktu	18
4.2	Perbedaan Data Autokorelasi terhadap Tau	20
4.3	Distribusi 10000 Ukuran Partikel	20
4.4	Contoh Gambar	21

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi dalam pengamatan nanopartikel kini sudah berkembang pesat terutama dalam tes diagnosa untuk penyakit yang berkaitan dengan virus dimana hal tersebut sangat diminati dalam sains dan industri. Sebagai contohnya yaitu pandemi yang melanda dunia selama dua tahun terakhir. Varian Omicron yang tersebar hampir ke seluruh dunia dengan skala penyebaran yang tidak terprediksi dan membahayakan kesehatan. Hal tersebut membuktikan bahwa nanopartikel memiliki sifat fisika dan kimia yang bervariasi. Bagi peneliti, perubahan sifat dari beberapa nanopartikel dapat dimodifikasi dengan perlakuan khusus seperti mengontrol ukuran material maupun komposisi kimiawi[1]. Modifikasi tersebut mempengaruhi pergerakan nanopartikel, saat jarak antar nanopartikel terlalu dekat ataupun terlalu jauh maka tidak akan terjadi tumbukan antar nanopartikel.

Pada saat sebuah partikel bertumbukan dengan partikel lain yang lebih besar, partikel besar dapat membelokkan arah gerak dari partikel kecil. Hal tersebut dapat diinterpretasikan dengan cahaya yang merupakan gelombang atau partikel yang bergerak dengan arah tertentu. Adanya partikel lain yang tersebar di dalam sebuah sistem menyebabkan cahaya tersebut dapat bergerak lurus, dipantulkan, ataupun dihamburkan ke arah tertentu. Hal tersebut dikuatkan dalam percobaan penghamburan cahaya yang dilakukan John Tyndall dalam penelitian suspensi koloid[2, 3].

Pembelokan cahaya bergantung dari partikel yang membelokkan arah cahaya tersebut. Semakin besar dimensi yang dimiliki partikel, maka pembelokan cahaya akan semakin kecil. Adapun hubungan dari hamburan cahaya oleh partikel dengan ukuran tertentu terhadap panjang gelombang yang mengenai partikel tersebut adalah panjang gelombang sebanding dengan ukuran dari partikel yang ditembakkan oleh cahaya tersebut ($\lambda/d \sim \theta$), dan berbanding terbalik dengan sudut hamburan cahayanya. Hal tersebut yang menjelaskan mengenai warna yang dapat dilihat seperti atmosfer langit yang berwarna biru, api yang berwarna merah, dan lain-lain.

Hamburan cahaya bukan satu satunya cara untuk mengidentifikasi ukuran dari sebuah partikel. Selain dari hamburan cahaya, terdapat beberapa metode lain untuk mengidentifikasi ukuran dari nanopartikel. Sebagai contoh yaitu *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan profil permukaan benda dengan menembakan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi. Selanjutnya, Metode *Transmission Electron Microscopy* (TEM) yang memanfaatkan prinsip kerja dari peralatan Rontgen. Terakhir yaitu metode BET yang memanfaatkan fenomena adsorpsi molekul gas di permukaan zat padat. Ketiga metode tersebut dapat merusak atau mengubah komposisi dari zat tersebut. Di sisi lain, pengoperasian dari alat tersebut juga cukup mahal [Khairurrijal2009].

Pada penelitian ini digunakan pengukuran dengan menggunakan sistem Dynamic Light Scattering (DLS) yang dilakukan dengan mengamati fluktuasi dari hamburan cahaya laser. Pada spektrum warna, cahaya dengan warna tertentu memiliki panjang gelombang dengan jangkauan tertentu. Partikel yang memiliki ukuran den-

gan jangkauan radius panjang gelombang cahaya tersebut akan memantulkan atau menghamburkan cahaya yang datang. Pada umumnya penggunaan DLS berbasiskan laser merah yang memiliki panjang gelombang di antara $630nm$ hingga $670nm$. Jika menggunakan laser hijau yang memiliki panjang gelombang di antara $520nm$ hingga $532nm$, maka akan didapatkan data hasil pengukuran partikel yang memiliki ukuran lebih kecil dibanding menggunakan laser merah[4].

Respon dari sensor yang digunakan untuk menangkap fluktuasi hamburan cahaya tersebut berperan besar untuk mengukur ukuran dari partikel. Sensor yang digunakan dalam sistem DLS ini adalah Fotodioda dengan tipe OPT101 dan BPW34. Kedua sensor ini memiliki karakteristik dari Silikon sebagai bahan utama penyusun Fotodioda. Responsivitas dari silikon mempengaruhi konversi dari intensitas cahaya yang masuk menjadi arus listrik. Responsivitas dari silikon merupakan pengukuran sensitivitas cahaya yang datang, dan didefinisikan sebagai rasio dari Fotoelektrik I terhadap daya dari cahaya P pada panjang gelombang tertentu. ($R = I/P$). Responsivitas akan berubah bergantung pada daya dari cahaya pada panjang gelombang tertentu. Di sisi lain sensor memiliki Efisiensi Kuantum yang mengukur efektivitas dari sebuah sensor untuk mengkonversi kuatnya foton menjadi elektron. Hal tersebut mempengaruhi responsivitas dari silikon pada fotodioda terhadap panjang gelombang tertentu. Oleh karena itu penelitian ini diharapkan dapat membuktikan pengaruh panjang gelombang terhadap pengukuran partikel berbasis Dynamic Light Scattering

1.2. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efek dari panjang gelombang laser merah dan hijau terhadap hasil pengukuran DLS?
2. Bagaimana responsivitas fotodioda terhadap laser merah dan hijau?

1.3. Batasan Masalah

1. Partikel yang dapat diukur bergantung dari panjang gelombang Laser Hijau
2. Partikel yang akan diukur merupakan partikel terdispersi yang sudah diukur sebelumnya
3. Nilai sudut hamburan yang dibuat 90 derajat dari sudut datang laser

1.4. Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi hasil dari metode Dynamic Light Scattering antara laser merah dan laser hijau,
2. Menganalisa efek dari panjang gelombang laser merah dan hijau terhadap hasil pengukuran pada Dynamic Light Scattering.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu dapat menganalisa hasil pengukuran dari alat ukur partikel berbasis Dynamic Light Scattering sederhana

dengan range pengukuran berdasarkan panjang gelombang Laser Merah dan Laser Hijau

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Light Scattering

Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki sifat layaknya partikel. Dengan adanya dualisme gelombang dan partikel tersebut membuat nanopartikel dapat membelokkan arah gerak dari cahaya tersebut. Apabila cahaya dihamburkan oleh partikel dapat menyebabkan fenomena yang disebut dengan pemantulan, pembiasan atau difraksi. Pada saat berkas cahaya terhamburkan oleh partikel, intensitas dari cahaya yang diteruskan akan berkurang. Peristiwa ini merupakan peristiwa penghamburan cahaya atau *light scattering*[4].

Pada *Static Light Scattering* intensitas dari cahaya yang terhamburkan akan dianalisa dalam bentuk intensitas terhadap waktu yang dimana informasi ini dapat dimanfaatkan untuk pengukuran berat molekular, komposisi oligomeric, dan jari-jari dari makromolekul tersebut. Selain itu, dari data tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk mengukur konformasi kasar dari sebuah protein. Oleh karena itu metode *Light Scattering* ini dapat juga digunakan untuk menganalisa struktur dari sebuah virus[5]

Sistem dari penghamburan cahaya tidak selalu berbasis molekul. Pada dasarnya sendiri pada saat sebuah objek terkena cahaya, objek tersebut dapat memantulkan atau membelokkan arah cahaya tersebut. Oleh karena itu dalam *Light Scattering*, cahaya dari laser tidak akan terlihat oleh mata apabila tidak terpantulkan oleh sebuah

partikel lainnya. Hal tersebutlah yang menyebabkan mengapa langit berwarna biru. Cahaya laser yang terlihat oleh mata kita merupakan hasil dari hamburan partikel di sekitar arah gerak cahaya tersebut.

2.2. Dynamic Light Scattering

Partikel tidak sepenuhnya dalam kondisi diam. Terutama partikel yang tersuspensi dimana terdapat medium lainnya yang membuat partikel tersebut berfluktuasi dari waktu ke waktu. Dari fluktuasi intensitas terhadap waktu didapatkan informasi berupa solusi persamaan dinamika. Analisa terhadap rata rata intensitas yang didapatkan disebut dengan *Static Light Scattering* (SLS) sedangkan kumpulan data hasil dari fluktuasi partikel tersebut disebut dengan *Dynamic Light Scattering* (DLS).

Metode DLS memanfaatkan hamburan elektromagnetik dari partikel yang terdispersi. Medan elektrik dari komponen pada gelombang cahaya laser berinteraksi dengan molekul sampel dengan adanya osilasi dipol elektrik terhadap molekul sampel pada frekuensi yang sama yang menghasilkan emisi cahaya. Cahaya akan terhamburkan ke berbagai arah sembari mempertahankan energi konstan dari foton.

Sebagai contoh, pada sampel yang seringkali digunakan pada biokimia untuk mengidentifikasi sebuah protein yang dimana lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang dari laser pada DLS itu sendiri ($< 0.1\lambda$) sehingga cahaya dapat tembus dan terjadi hamburan isotropic seperti yang dijelaskan pada hukum *Rayleigh Scattering*, yaitu merupakan penyebaran radiasi elektromagnetik dari keadaan elektron yang terikat setelah foton tereksitasi ke keadaan yang jauh dari resonansi[6].

Partikel terdispersi dalam suatu medium akan mengikuti sebuah pola pergerakan acak yang disebut dengan gerak Brown. Pada gerak brown, digunakan persamaan *Stokes-Einstein* untuk menghubungkan gerak Brownian dengan ukuran dari partikel[7]. Persamaan dari *Stokes-Einstein* dapat dituliskan sebagai berikut.

$$D = \frac{k_b T}{6\pi\eta R} \quad (2.1)$$

Dalam hamburan cahaya, ketika laser mengenai molekul, cahaya yang terhamburkan akan menyebar ke segala arah dan intensitas dari hamburan tersebut akan terdeteksi oleh detector. Cahaya monokromatik yang terdeteksi akan mengalami pelebaran Doppler karena pergerakan fluktuatif dari molekul tersebut. Cahaya yang tersebar akan menghasilkan fase yang saling meniadakan atau membangun sinyal yang dapat dideteksi. Akibat adanya fluktuasi tersebut, nilai yang didapatkan dari detektor akan berubah-ubah seiring waktu. Oleh karena itu pada DLS pengukuran berdasarkan dari nilai distribusi dari gerak Brownian[3, 8].

2.3. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan perangkat yang memiliki mikro prosesor dengan memori program dan memori serbaguna, lalu didukung oleh fasilitas pendukung lainnya seperti output berupa data ke display layaknya komputer dalam sebuah satu chip komputer sehingga mikrokontroler biasa disebut dengan *single chip computer*. Mikrokontroler ini dapat mengontrol atau mengendalikan sebuah sistem yang telah diprogram dalam chip tersebut. Berbeda dengan mikroprosesor dimana dalam

mikrokontroler ini terdapat komponen mikroprosesor yang didukung ADC, PPL, dan EEPROM dalam satu kemasan [9].

Dalam penelitian ini mikrokontroler yang digunakan merupakan mikrokontroler Arduino yang merupakan platform komputasi fisik berbasis open source yang memiliki rangkaian input/output sederhana dalam mengimplementasikan bahasa processing. Rangkaian ini memiliki IDE (*Integrated Development Environment*) yang bersifat open source sehingga komponen dapat terhubung dengan komponen lainnya tanpa bantuan alat lainnya. Pada perancangannya digunakan papan Arduino Uno R3 yang merupakan board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328[9]. Spesifikasi dari Arduino Uno R3 sendiri yaitu:

Mikrokontroller	: ATmega328
Tegangan Pengoperasian	: 5 V
Tegangan Input Rekomendasi	: 7-12V
Batas Tegangan Input	: 6-20V
Jumlah Pin I/O Digital	: 14
Jumlah Pin Input Analog	: 6
Arus DC tiap Pin I/O	: 40mA
Arus DC untuk Pin 3.3V	: 50mA
Memori	: 32 KB (ATmega328), sekitar 0.5KB digunakan oleh bootloader
SRAM	: 2KB (ATmega328)
EEPROM	: 1KB (ATmega328)

Clock Speed : 16 MHz



Gambar 2.1 Board Arduino Uno R3

2.4. Fotodioda

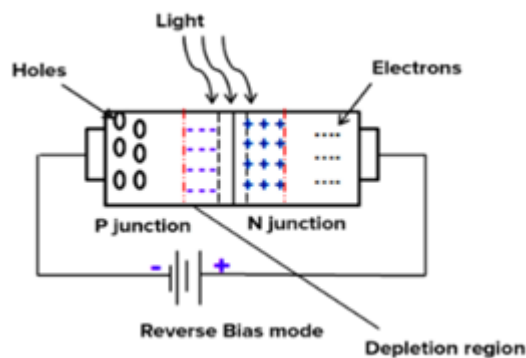
Pada umumnya, sensor merupakan perangkat yang merubah stimulus yang masuk ke dalam sensor menjadi suatu sinyal dalam bentuk arus. Sensor cahaya berdasarkan perubahan elektrik yang dihasilkan dibagi menjadi dua jenis, yaitu fotovoltaiik dan fotokonduktif. Salah satu sensor cahaya jenis fotokonduktif adalah sensor fotodioda. Sensor fotodioda dapat merespon stimulus berupa cahaya tampak maupun tidak tampak dan mengkonversi intensitas cahaya yang terdeteksi menjadi arus[10].



Gambar 2.2 Lambang dan Gambar Fotodioda LED Inframerah

Fotodioda adalah suatu jenis dioda yang resistansinya akan berubah-ubah apabila terkena sinar cahaya. Resistansi dari fotodioda dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterimanya, semakin banyak cahaya yang diterima maka semakin kecil resistansi dari fotodioda dan begitupula sebaliknya jika semakin sedikit intensitas cahaya yang diterima oleh sensor fotodioda maka semakin besar nilai resistansinya[10, 11].

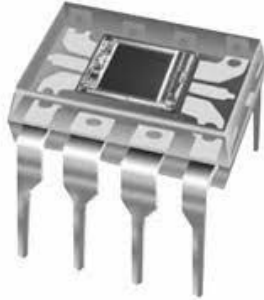
Pada fotodioda, terdapat bahan semikonduktor seperti *silicon* (Si) atau *gallium arsenide* (GaAs) dan lain lain seperti *indium antimonide* (InSb), *lead selenide* (PbSe) dan *timah sulfida* (PbS). Fotodioda memiliki lapisan substrat dengan area depletion sebagai tempat masuknya foton. Pada saat foton masuk ke area depletion, elektron pada N-substrat akan bergerak membuat hole pada katoda sehingga terjadi arus listrik pada rangkaian fotodioda.



Gambar 2.3 P-N Fotodioda

Pada prinsipnya fotodioda menghasilkan arus proporsional dari cahaya yang mengenai area aktif dari fotodioda. Kebanyakan aplikasi dari pengukuran sensor ini menggunakan transimpedance amplifier untuk mengkonversi nilai arus menjadi keluaran voltase. Adanya amplifier tersebut dapat mengoperasikan fotodioda dalam

mode *photovoltaic* dimana op amp akan membuat voltase di sekitar fotodioda pada 0V. Sebagai contoh terdapat pada OPT101 yang digunakan pada percobaan kali ini.



Gambar 2.4 Fotodioda dengan *Transimpedance Amplifier* OPT101

2.5. Kajian Teori

Pada bagian ini dinyatakan berbagai teori yang berkaitan dengan topik penelitian. Pada bab ini pula dimungkinkan diajukan lebih dari satu teori atau data sekunder/tersier untuk membahas permasalahan yang menjadi topik skripsi, sepanjang teori-teori dan/atau data sekunder/tersier itu berkaitan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Objek Penelitian

Pada bagian ini dijelaskan data/objek yang diteliti. Misalnya tahun publikasi, penulis, penerbit, summary, dll.

3.2. Metode Penelitian

Pada bagian ini dijelaskan tahapan yang dilakukan dalam penelitian. Pada bagian ini dapat juga dijelaskan kompleksitas yang ditemukan dalam proses pengumpulan data. Hal ini penting untuk memastikan validitas data. Metode penelitian data dapat terbagi menjadi (a) metode dan teknik pengumpulan data, (b) metode dan teknik analisis data, (c) metode dan teknik penyajian hasil analisis data.

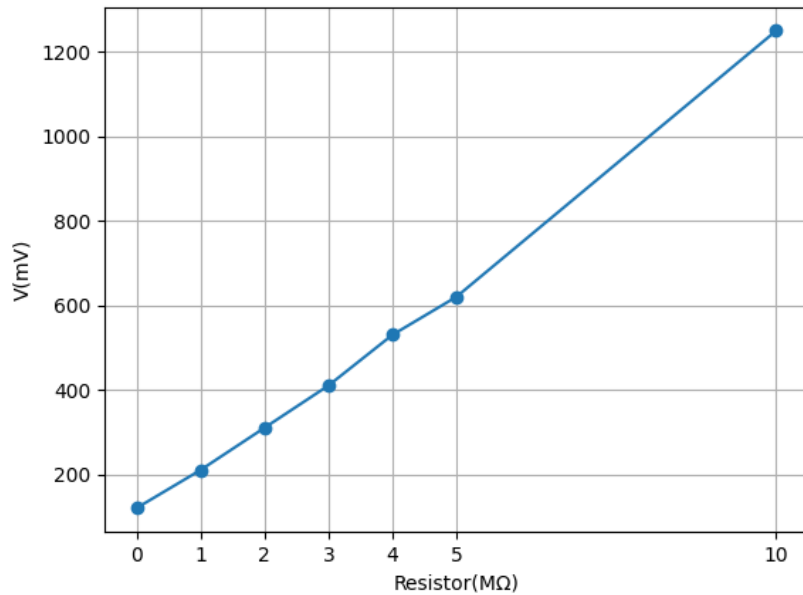
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini dibahas mengenai hasil perbandingan dari pengukuran partikel berbasis Dynamic Light Scattering dengan menggunakan PSA, DLS sederhana dengan laser merah dan hijau.

4.1. Hasil Pengujian Blok OPT101

Fotodioda yang digunakan dalam penelitian ini merupakan OPT101 yang di dalamnya sudah terkombinasi dengan *transimpedance amplifier* dalam satu chip nya sehingga mengurangi error yang bersumber dari kebocoran arus. Oleh karena itu pengujian blok hanya bisa dilakukan dengan memanfaatkan langsung fotodioda sebagai input arus. Sebagai komparasi maka digunakan resistor dengan nilai $1\text{M}\Omega$, $2\text{M}\Omega$, $3\text{M}\Omega$, $4\text{M}\Omega$, $5\text{M}\Omega$, $10\text{M}\Omega$ dan untuk perubahan arus yang akan masuk digunakan LED yang input DC nya terhubung dengan power supply agar nilai Voltasenya dapat diatur untuk merubah intensitas cahaya dari LED.



Gambar 4.1 Nilai Output OPT101 terhadap Resistor

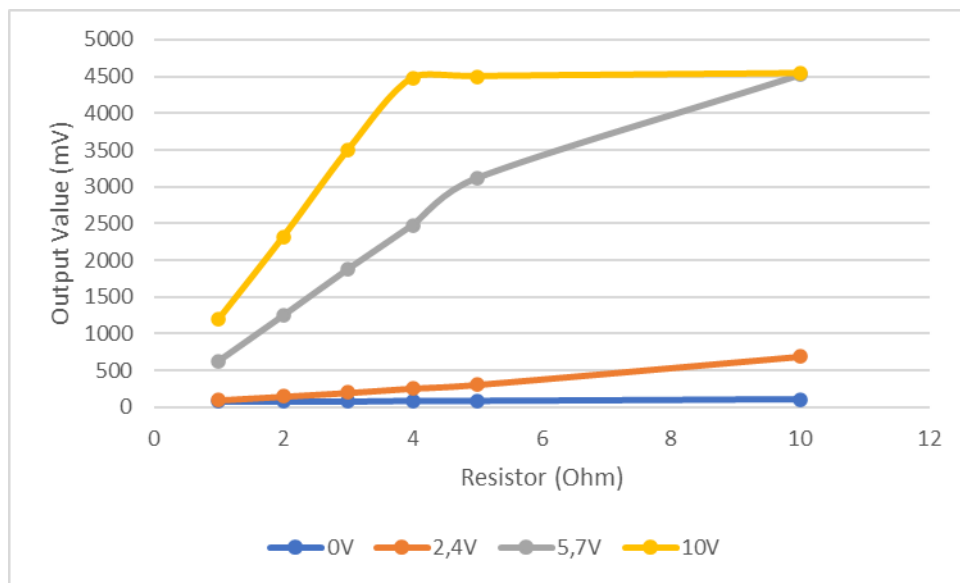
Dari grafik diatas pembesaran nilai tegangan keluaran yang dihasilkan dari rangkaian OPT101 menunjukan hasil yang linear terhadap nilai resistor yang digunakan. IC yang tidak terhubung dengan resistor memiliki nilai keluaran $120mV$, namun nilai tersebut merupakan hasil yang ter invert sebelum melewati rangkaian inverting sehingga perubahan nilai pada saat gelap lebih tinggi dibandingkan saat lebih terang. Setelah diberikan resistor secara inverting pada skema rangkaian *Transimpedance Amplifier*, nilai pembesaran yang diukur dengan menggunakan persamaan:

$$A_v = \frac{V_{output}}{V_{input}} \quad (4.1)$$

didapatkan nilai 1,75 pada resistor $1M\Omega$, 2,58 pada resistor $2M\Omega$, 3,41 pada

resistor $3\text{M}\Omega$, 4,41 pada resistor $4\text{M}\Omega$, 5,16 pada resistor $5\text{M}\Omega$, dan 10,41 pada resistor $10\text{M}\Omega$.

Untuk memastikan bahwa OPT101 mendeteksi perbedaan intensitas cahaya maka dilakukan pengujian dengan memvariasikan intensitas cahaya LED yang diletakkan di depan fotodioda sehingga dihasilkan data sebagai berikut



Gambar 4.2 Nilai Output OPT101 terhadap Resistor dengan Variasi LED berbeda Intensitas Cahaya

Pada saat LED tidak diberikan tegangan, keluaran dari OPT101 di semua ukuran resistor hampir berdekatan pada kisaran 70mV hingga 110mV . Ketika LED diberikan tegangan 2,4V, keluaran dari OPT101 pada setiap ukuran resistor memiliki peningkatan sesuai gain oleh ukuran resistornya. LED yang diberikan tegangan 5,7V dan 10V memiliki intensitas cahaya yang lebih tinggi, namun data menunjukkan adanya nilai maksimum yang dibatasi oleh fotodiodanya. Output Value yang dihasilkan dari OPT101 hanya dibatasi hingga nilai 4500mV sehingga pembesaran yang melebihi nilai 4500mV akan memiliki nilai yang menyerupai nilai maksimum

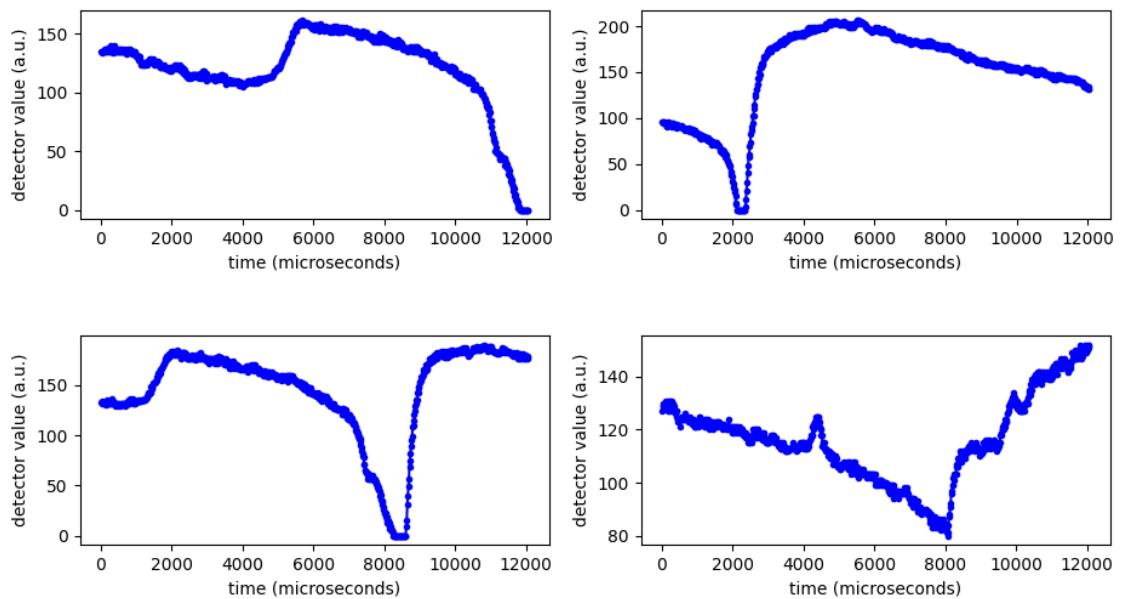
tersebut.

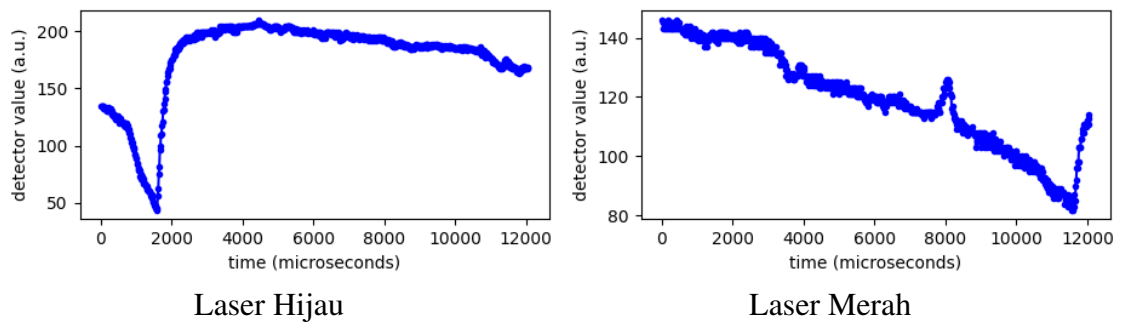
4.2. Hasil Pengujian Instrumen Dynamic Light Scattering

Kedua rangkaian alat yang digunakan merupakan modul rangkaian dengan laser yang berbeda. Satu rangkaian menggunakan laser merah dan rangkaian lainnya menggunakan laser hijau. Pada pengujian ini digunakan sampel SiO_2 dengan pelarut aquades.

4.2.1. Data Fluktuasi Sinyal

Untuk memastikan kesesuaian data dari setiap pengukuran, maka dilakukan beberapa pengukuran untuk membandingkan distribusi persebaran ukuran partikel setiap waktunya dari masing-masing laser.





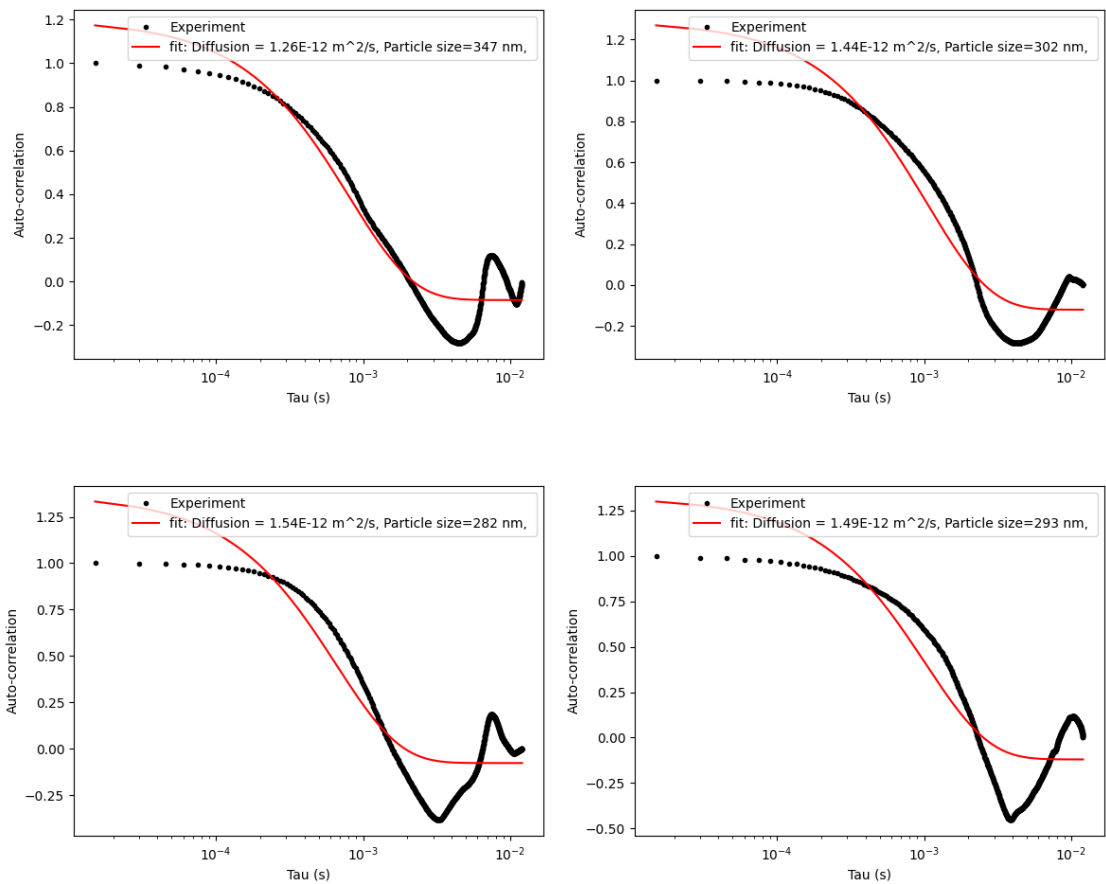
Gambar 4.2 Perbedaan Nilai Detektor Sensor terhadap Waktu

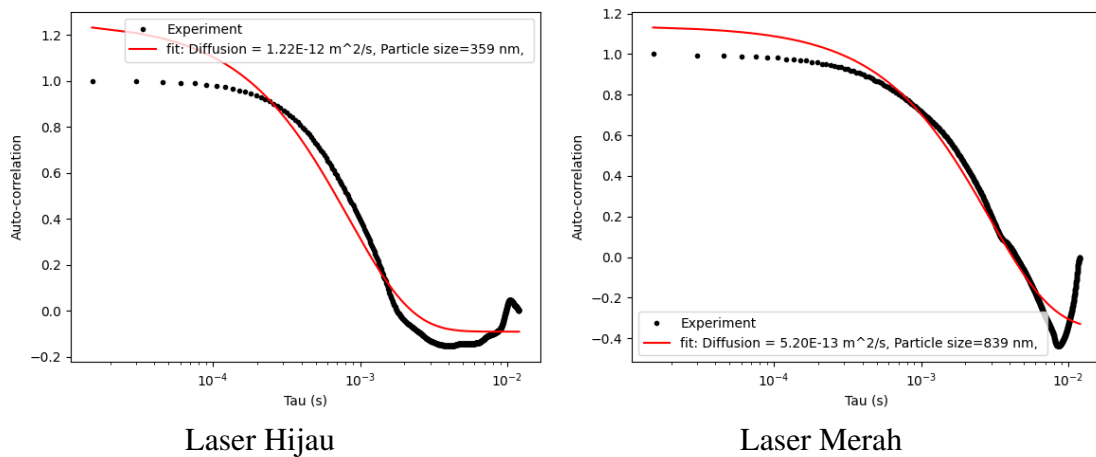
Grafik diatas menunjukkan beberapa data fluktuasi yang diukur melalui 10.000 pengulangan dengan 800 nilai pada setiap pengulangan dalam durasi 12.048 mikrodetik pada masing-masing laser. Melalui grafik dapat dilihat bahwa fluktuasi yang dihasilkan berbeda pada masing-masing laser, data yang terbaca oleh sensor dari hamburan partikel menggunakan laser hijau memiliki pola fluktuasi yang lebih bervariasi dibandingkan dengan laser merah yang seringkali tidak mendeteksi perubahan yang signifikan. Pada rangkaian laser merah fluktuasi yang dihasilkan memiliki pola yang hampir serupa pada setiap pengukurannya.

Selain itu melalui grafik juga dapat diketahui bahwa hamburan dari laser hijau memiliki fluktuasi yang cukup cepat, dapat diperlihatkan dari seberapa cepat detektor mencapai lembah dan kembali lagi ke puncak, sedangkan hamburan dari laser merah dominan memiliki perubahan yang lebih lambat.

4.2.2. Data Autokorelasi

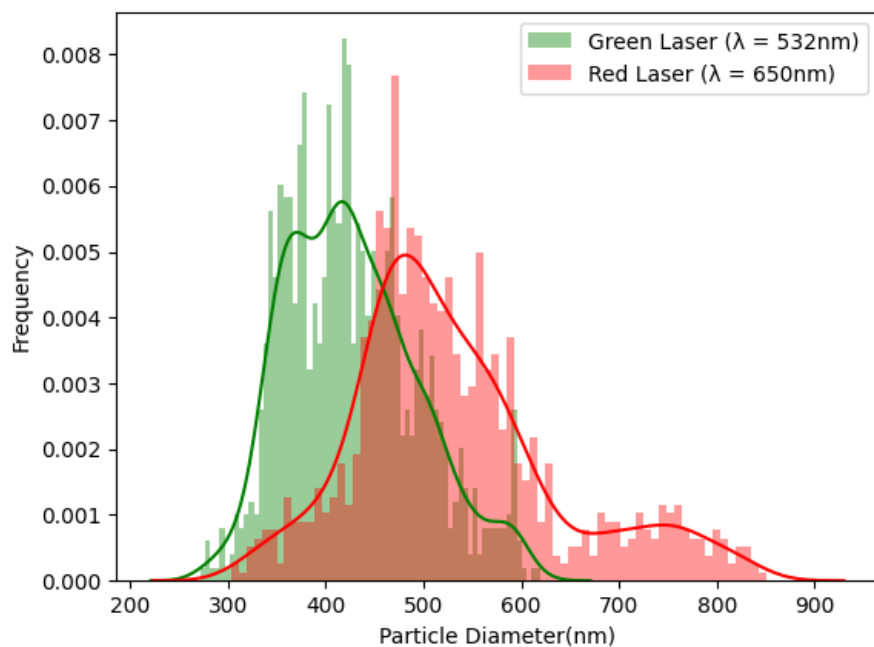
Fluktuasi nilai dari sensor pada setiap pengukurannya dapat dijadikan acuan sebagai seberapa cepat partikel tersebut bergerak. Untuk mendapatkan nilai ukuran partikel diperlukan nilai autokorelasi yang merupakan korelasi dari setiap nilai pada setiap pengulangan. Nilai autokorelasi didapatkan dengan menggunakan *library Numpy* dari Python untuk mempermudah pengolahan data berbentuk matriks. Dari nilai autokorelasi tersebut dapat di plotting menjadi gambar berikut:





Gambar 4.2 Perbedaan Data Autokorelasi terhadap Tau

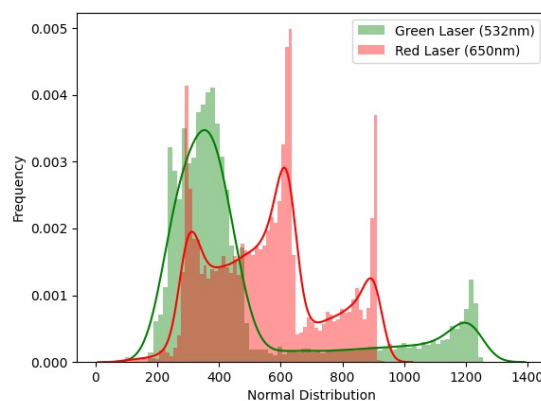
4.2.3. Distribusi Data Ukuran Partikel



Gambar 4.3 Distribusi 10000 Ukuran Partikel

Grafik diatas merupakan grafik distribusi frekuensi terhadap diameter dari partikel. Distribusi kedua data dengan 10.000 iterasi pada masing-masing laser memiliki perbedaan hasil kumulatif yang cukup signifikan. Persebaran diameter partikel dengan laser merah memiliki range yang lebar dengan beberapa puncak, seperti yang terlihat pada grafik dimana diameter partikel memiliki puncak pada rentang $450nm - 550nm$. Perubahan nilai pada sensor yang lambat menghasilkan perhitungan diameter partikel yang lebih besar, namun terdapat beberapa pengulangan yang mendeteksi perubahan dengan cepat sehingga dapat mengukur diameter partikel yang lebih kecil. Berbeda dengan laser hijau yang memiliki persebaran diameter partikel yang memiliki puncak pada rentang $300nm - 400nm$. Range data yang terukur pada laser hijau dominan lebih kecil dibandingkan pada laser merah. Hal ini menunjukkan bahwa laser hijau dapat mendeteksi diameter partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan laser merah.

4.3. Gambar



Gambar 4.4 Contoh Gambar

1. Gambar dimuat kira-kira di tengah-tengah halaman.
2. Judulnya ditik di bawah gambar, mengikuti lebar gambar dengan memperhatikan keseimbangan halaman.
3. Nomor gambar terdiri atas dua bagian, yaitu:
 - (a) bagian pertama menunjukkan nomor bab tempat gambar itu dimuat;
 - (b) bagian kedua menunjukkan nomor urut gambar pada bab itu. Misalnya, Gambar 4.4 menunjukkan bahwa gambar itu ada pada Bab IV dan merupakan gambar urutan pertama pada bab itu.
4. Kalimat pertama judul gambar ditulis dengan jarak dua ketukan sesudah nomor gambar.
5. Awal baris kedua judul gambar berada di bawah awal judul gambar (bukan di bawah nomor gambar).

4.4. Grafik

4.5. Persamaan

$$U_{ij}^{LJ}(r_{ij}) = 4\epsilon_{ij} \left[\left(\frac{\sigma_{ij}}{r_{ij}} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma_{ij}}{r_{ij}} \right)^6 \right] \quad (4.2)$$

$$f_Q = \frac{C_v(T)}{3Nk_B} = \frac{\int_0^\infty \frac{u^2 e^u}{(e^u - 1)^2} G(\omega) d\omega}{\int_0^\infty G(\omega) d\omega} \quad (4.3)$$

4.6. Sitasi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. B. da Silva, J. R. da Silva, M. C. Rodrigues, J. A. Vieira, I. A. de Andrade, T. Nagata, A. S. Santos, S. W. da Silva, M. C. O. da Rocha, S. N. Bão, P. M. Moraes-Vieira, J. Proença-Modena, M. K. Angelim, G. F. de Souza, S. P. Muraro, A. L. B. de Barros, G. A. de Souza Martins, F. Ribeiro-Dias, G. Machado, M. R. Fessel, A. M. Chudzinski-Tavassi, C. M. Ronconi, D. Gonçalves, R. Curi, O. N. Oliveira, and R. B. Azevedo, “Detection of sars-cov-2 virus via dynamic light scattering using antibody-gold nanoparticle bioconjugates against viral spike protein,” *Talanta*, vol. 243, 6 2022.
- [2] W. I. Goldberg, “Dynamic light scattering,” *American Journal of Physics*, vol. 67, 1999.
- [3] S. Falke and C. Betzel, *Radiation in Bioanalysis Spectroscopic Techniques and Theoretical Methods*. Springer Cham, 2019.
- [4] D. L. Black, M. Q. Mcquay, and M. P. Bonin, “Laser-based techniques for particle-size measurement: A review of sizing methods and their industrial applications,” *Prog. Energy Combust. Sci*, vol. 22, pp. 267–306, 1996.
- [5] J. Stetefeld, S. A. McKenna, and T. R. Patel, “Dynamic light scattering: a practical guide and applications in biomedical sciences,” *Biophysical Reviews*, vol. 8, pp. 409–427, 12 2016.
- [6] R. Piazza and V. Degiorgio, *Scattering, Rayleigh*. Elsevier, 2005.

- [7] A. L. Anindya, “Particle size analyser: beberapa penggunaan instrumen hamburan cahaya,” *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO)*, pp. 10–11, 2018.
- [8] P. M. V. Raja and A. R. Barron, “Dynamic light scattering.” [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Physical_Methods_in_Chemistry_and_Nano_Science_\(Barron\)/02%3A_Physical_and_Thermal_Analysis/2.04%3A_Dynamic_Light_Scattering](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Physical_Methods_in_Chemistry_and_Nano_Science_(Barron)/02%3A_Physical_and_Thermal_Analysis/2.04%3A_Dynamic_Light_Scattering), 8 2022. Accessed: (12 September 2023).
- [9] S. J. Sokop, D. J. Mamahit, M. Eng, S. R. U. A. Sompie, . Mahasiswa, and . Pembimbing, “Trainer periferan antarmuka berbasis mikrokontroler arduino uno,” *Journal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 5, 2016.
- [10] E. Setyaningsih, D. Prastiyanto, and D. Suryono, “Penggunaan sensor photodiode sebagai sistem deteksi api pada wahana terbang vertical take-off landing (vtol),” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 9, pp. 53–59, 2017.
- [11] I. D. Arta and M. Rosmiati, “Monitoring sistem pendeteksi kadar gula darah menggunakan photodiode berbasis web,” *e-Proceeding of Applied Science*, vol. 6, pp. 3362–3331, 2020.