

**RANCANG BANGUN SPEKTROMETER *VISIBLE-INFRARED* (VIS-IR)
MENGUNAKAN MODUL SENSOR AS7265X BERBASIS
MIKROKONTROLER**

(Skripsi)

Oleh

**ARMELIA PUTRI RUSAIDA
NPM 2117041046**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SPEKTROMETER *VISIBLE-INFRARED* (VIS-IR) MENGUNAKAN MODUL SENSOR AS7265X BERBASIS MIKROKONTROLER

Oleh

ARMELIA PUTRI RUSAIDA

Spektrometer merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi atom-atom maupun molekul yang terkandung dalam suatu zat atau material dengan menggunakan prinsip perubahan panjang gelombang baik dalam spektroskopi maupun spektrofotometri. Penelitian ini telah merealisasikan alat spektrometer *visible-infrared* berbasis mikrokontroler yang menggunakan sensor AS7265x. Sensor AS7265x dapat mengukur spektrum pada 18 panjang gelombang yang berbeda dari *visible* hingga *infrared* yaitu panjang gelombang 410 nm, 435 nm, 460 nm, 485 nm, 510 nm, 535 nm, 560 nm, 585 nm, 610 nm, 645 nm, 680 nm, 705 nm, 730 nm, 760 nm, 810 nm, 860 nm, 900 nm dan 940 nm secara diskrit. Perangkat alat ini menggunakan Arduino Nano dengan masukan berupa sensor AS7265x untuk membaca spektrum panjang gelombang. Keluaran alat yang dihasilkan berupa *peak* panjang gelombang dengan nilai absorbansi maupun transmitansi yang ditampilkan di layar OLED secara langsung. Berdasarkan hasil pengujian alat spektrometer *visible-infrared* dengan referensi alat spektrofotometer *double-beam* UV-1780 diperoleh nilai keakurasian tinggi pada spektrum *visible* sebesar 97,75% dan *error* sebesar 2,25%, sedangkan pada spektrum *infrared* sebesar 99,06% dan *error* sebesar 0,94%. Alat spektrometer yang dikembangkan mampu mengukur 18 panjang gelombang kisaran dari 410-940 nm dalam rentang waktu 1-2 menit saat LED internal sensor aktif. Alat spektrometer yang direalisasikan ini dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan rancangan pembuatan.

Kata Kunci: Spektrometer *Visible-Infrared*, Sensor AS7265x, Spektrofotometer *double-beam shimadzu* UV-1780, Absorbansi, dan Transmitansi.

ABSTRACT

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A VISIBLE-INFRARED (VIS-IR) SPECTROMETER USING A MICROCONTROLLER-BASED AS7265X SENSOR MODULE

By

ARMELIA PUTRI RUSAIDA

Spectrometer is a device that can be used to identify atoms and molecules contained in a substance or material by utilizing the principle of wavelength changes in both spectroscopy and spectrophotometry. This research has developed microcontroller-based visible-infrared spectrometer that uses the AS7265x sensor. The AS7265x sensor can measure the spectrum at 18 different wavelengths from visible to infrared, namely wavelengths of 410 nm, 435 nm, 460 nm, 485 nm, 510 nm, 535 nm, 560 nm, 585 nm, 610 nm, 645 nm, 680 nm, 705 nm, 730 nm, 760 nm, 810 nm, 860 nm, 900 nm, and 940 nm. This device uses an Arduino Nano with an AS7265x sensor input to read the wavelength spectrum. The output of the device is a wavelength peak with absorbance and transmittance values displayed directly on the OLED screen. Based on the results of testing the visible-infrared spectrometer with a UV-1780 double-beam spectrophotometer as a reference, a high accuracy value of 97,75% and an error of 2,25% was obtained for the visible spectrum, while for the infrared spectrum, the accuracy was 99,06% and the error was 0,94%. The developed spectrometer is capable of measuring 18 wavelengths ranging from 410-940 nm within 1-2 minutes when the internal LED sensor is active. This realized spectrometer functions well according to its design.

Keywords: Visible-Infrared Spectrometer, AS7265x Sensor, Shimadzu UV-1780 double-beam Spectrophotometer, Absorbance, and Transmittance.

**RANCANG BANGUN SPEKTROMETER *VISIBLE-INFRARED* (VIS-IR)
MENGUNAKAN MODUL SENSOR AS7265X BERBASIS
MIKROKONTROLER**

Oleh

ARMELIA PUTRI RUSAIDA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Penelitian : Rancang Bangun Spektrometer *Visible-Infrared* (VIS-IR) Menggunakan Modul Sensor AS7265x Berbasis Mikrokontroler

Nama Mahasiswa : **Armelia Putri Rusaida**

Nomor Induk Mahasiswa : 2117041046

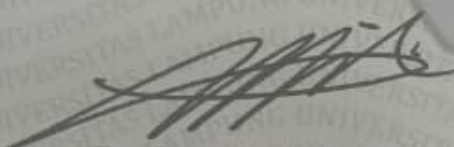
Jurusan : Fisika

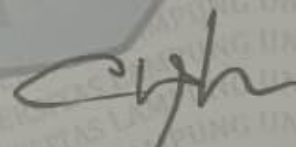
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



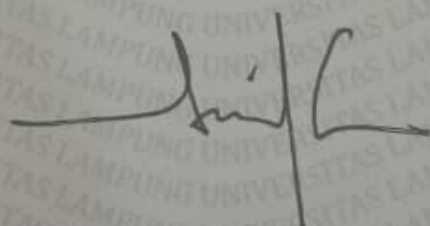
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.
NIP. 198206182008121001


Humairoh Katu Ayu, S.Pd., M.Si.
NIP. 199011252019032018

2. Ketua Jurusan

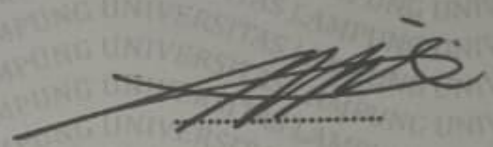

Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

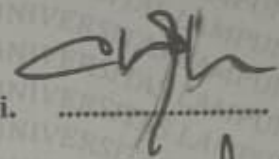
Ketua

: **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**



Sekretaris

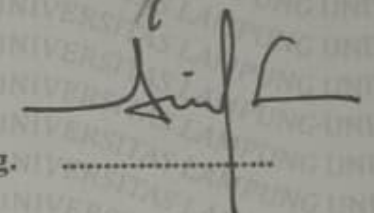
: **Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.**



Penguji

Bukan Pembimbing

: **Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 01 Oktober 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis mengacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini merupakan hasil karya dibuat oleh saya sendiri dan bukan hasil plagiat.

Apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ilmiah, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 01 Oktober 2025
Yang Menyatakan



Armelia Putri Rusaida
NPM. 2117041046

RIWAYAT HIDUP



Penulis yang bernama lengkap Armelia Putri Rusaida dilahirkan pada tanggal 04 Januari 2004 di Desa Kota Karang, Kec. Teluk Betung Timur, Kota Bandar Lampung, anak kedua dari pasangan Bapak Rustam dan Ibu Zubaidah. Penulis mulai menempuh pendidikan pertamanya di SDN 1 Bandar Agung pada tahun 2009-2015. Pada tahun 2015-2018 penulis melanjutkan pendidikannya di SMPN 1 Sragi dan pada tahun 2018-2021 penulis melanjutkan pendidikannya di SMAN 11 Bandar Lampung. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung (UNILA) melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2021.

Selama menjadi mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA UNILA, penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Elektronika Dasar, Fisika Eksperimen, dan Sistem Akuisisi Data dan Transmisi. Penulis pernah menjadi Anggota Dana dan Usaha (DANUS) di Organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) FMIPA UNILA di tahun 2021-2022. Pada bulan Januari-Februari 2024 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di BMKG Radin Intan II Lampung Selatan dengan judul “**Analisis Perbandingan Efektivitas Hasil Pengukuran Penguapan Menggunakan Alat Konvensional Dengan *Automatic Weather Station* (AWS) Digital**”. Kemudian, pada bulan Juli-Agustus 2024 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Bauh Gunung Sari Kec. Sekampung Udik, Kab. Lampung Timur, Provinsi Lampung.

MOTTO

"Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri "

(Q.S. Ar-Rad : 11)

"Belajarlal dari kemarin, hiduplah untuk hari ini, berharaplah untuk besok, yang paling penting adalah tidak berhenti untuk bertanya"

(Albert Einstein)

"Semua mimpi kita dapat terwujud jika kita berani untuk mewujudkannya"

(Walt Disney)

"Jangan membandingkan dirimu dengan siapapun di dunia ini. Karena ketika kamu membandingkannya, kamu sedang menghina dirimu sendiri"

(Bill Gates)

PERSEMBAHAN



Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT, karya ini ku persembahkan kepada:

Orang tuaku

Bapak Rustam dan Ibu Zubaidah

Terimakasih telah membesarkan dan mendidikku dengan segala kasih sayang yang melimpah, usaha, nasihat, semangat serta dukungan maupun do'a yang telah diberikan selama ini

Andira Rusaida Maharani dan Kharisma Atika Rusaida

Terimakasih kakakku dan adekku yang telah memberikan semangat dan dukungan

Bapak/Ibu Dosen dan Civitas Akademika

Terimakasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan, nasihat, saran, dukungan, motivasi, dan membimbing hingga dapat menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana

Teman-teman Fisika Instrumentasi

Terimakasih atas kebersamaan yang telah dilalui selama berkuliah

Almamater Tercinta
Universitas Lampung

SANWACANA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta tak lupa iringan sholawat senantiasa kita sanjung agungkan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang insyaallah kita akan mendapatkan syafaatnya dyaumil akhir kelak. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul “**Rancang Bangun Spektrometer *Visible-Infrared* (VIS-IR) Menggunakan Modul Sensor AS7265x Berbasis Mikrokontroler**”. Proposal ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk kelulusan di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas bantuan berupa motivasi, semangat, bimbingan, petunjuk, kerjasama, saran serta ilmu yang begitu luar biasa diberikan dari berbagai pihak antara lain:

1. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ilmu, bimbingan, nasihat, motivasi, arahan dan semangat selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
2. Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ilmu, bimbingan, waktu, tenaga, motivasi dan arahan selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
3. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan arahan, koreksi dan saran yang membangun selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
5. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
6. Bapak dan Ibu Dosen serta staff Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman dan motivasi kepada penulis selama perkuliahan.

7. Orang tua penulis, Bapak Rustam dan Ibu Zubaidah yang telah memberikan kasih sayang yang melimpah, dukungan, do'a yang tiada hentinya untuk kesuksesan penulis dan semangat yang tulus bagi penulis dari kecil hingga saat ini.
8. Kakak dan Adikku yang selalu memberikan motivasi serta dukungan kepada penulis, semoga kita semua menjadi anak yang membanggakan untuk kedua orang tua.
9. Seluruh keluarga yang memberikan dorongan, semangat, motivasi dan do'a selama menjalankan kuliah.
10. Seluruh teman-teman KBK Fisika Instrumentasi yaitu Anis, Dina, Fathan, Feby, Inayah, Jaya, Ketrin, Lulu, dan Nopal yang telah memberikan dukungan dan bantuan yang diberikan kepada penulis selama menyelesaikan masa studi.
11. Teman-teman tugas akhir tema Spektrometer yaitu Ega, Gusti, dan Okka.
12. Kak Yulian yang sudah sangat membantu dengan segala jawaban dari pertanyaan seputar sensor.
13. Armelia Putri Rusaida, untuk diri saya sendiri. Terimakasih banyak untuk segalanya dan sudah berjuang menjadi lebih baik serta dapat bertanggung jawab menyelesaikan apa yang sudah dimulai hingga selesai. Semoga ilmu yang telah didapatkan dapat berguna untuk diri sendiri dan banyak orang.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
II. TUNJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait.....	6
2.2 Teori Dasar	15
2.2.1 Spektrometer	15
2.2.2 Radiasi Elektromagnetik	22
2.2.3 Sensor AS7265x	25
2.2.4 Mikrokontroler	27
2.2.5 <i>Arduino Integrated Development Environment (IDE)</i>	31
2.2.6 <i>SketchUp</i>	32
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	34
3.3 Prosedur Penelitian.....	35
3.4 Desain dan Perancangan Alat.....	38
3.4.1 Perancangan Skematik	40
3.5 Kalibrasi Sensor AS7265x.....	41
3.6 Pengujian dan Pengambilan Data Alat Spektrometer Vis-IR.....	44
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Perangkat Keras Spektrometer Vis-IR	47
4.2 Kalibrasi Spektrometer Vis-IR	52

4.3 Pengujian Spektrometer Vis-IR.....	52
--	----

V. PENUTUP

5.1 Simpulan	68
5.2 Saran	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pembuatan spektrofotometer sederhana.....	6
2. Desain sistem spektrofotometer sederhana	7
3. Konfigurasi sistem deteksi dengan (A) sensor MEMS C12880 MA dan (B) Vernier Go Direct SpektroVis.	8
4. Spektra setelah transformasi absorbansi dan smoothing savitzky-golay untuk (A) vernier go direct spektroVis plus dan (B) MEMS C12880MA	9
5. Verifikasi kalibrasi spektrometer UV-VIS- dan NIR <i>benchtop</i> dengan spektrometer NIR genggam	10
6. Pembangunan alat deteksi kualitas spektrum <i>infrared</i> dekat <i>Portabel</i>	10
7. Spektrometer <i>infrared</i> dekat dengan jalur optik internal dan diagram transmisi sinyal	11
8. Komponen perangkat spektrometer mini	12
9. Desain perangkat sistem spektrometer cahaya tampak menggunakan LED RGB	13
10. Hubungan konsentrasi larutan dan tegangan.....	13
11. Skematik spektrometer <i>smartphone</i> nirkabel	14
12. Warna komplementer	16
13. Hukum Lambert-Beer	17
14. Propagasi dan transmisi cahaya pada medium.....	17
15. (a) Desain alat spektrometer <i>Ultraviolet-Visible</i> dan (b) Diagram alat spektrometer UV-Vis.....	19
16. Instrumentasi IR.....	20
17. Skema spektroskopi inframerah	21
18. Spektrum elektromagnetik	23
19. Medan E dan Medan B pada gelombang elektromagnetik	24
20. Bentuk AS7265x <i>Triad Spectroscopy</i> Sensor	25
21. Skematik sensor AS7265x dengan Arduino Uno	26

22. 18 saluran respons spektral dari sensor AS7265x	26
23. Pin out Arduino Nano	30
24. Interface arduino IDE	31
25. Bentuk <i>SketchUp</i>	33
26. Diagram alir penelitian	36
27. Diagram blok perencanaan sistem	37
28. Desain alat penelitian Kotak alat, (a) tampak depan, dan (b) tampak atas, dengan (1) Wadah	38
29. Desain tutup kotak, (a) tampak atas, (b) tampak depan, dengan (1) OLED, dan (2) Modul AS7265x.	39
30. Skematik sistem sensor AS7265x	40
31. Skematik sistem OLED	40
32. Skematik sistem alat spektrometer	41
33. Grafik antara panjang gelombang (nm) terhadap absorbansi dari sampel Peralite 90%	42
34. Grafik keakuratan sensor AS7265x dengan alat lab spektrometer UV-1780	44
35. Grafik hubungan Absorbansi terhadap konsentrasi dari spektrum Vis maupun IR	46
36. Grafik hubungan Transmittansi terhadap konsentrasi dari spektrum Vis maupun IR	46
37. Alat spektrometer <i>visible-infrared</i> dengan (a) bagian dalam kotak, dan (b) bagian tutup kotak	47
38. Bagian dalam tutup kotak tampak (a) depan dengan (1) penyanggah kuvet, dan (b) atas dengan ditaruhnya kuvet	48
39. Bagian tutup kotak tampak (a) depan, (b) atas, (c) dalam tutup kotak dengan (1) Arduino Nano, (2) OLED, (d) bawah tutup kotak dengan (3) Sensor AS7265x	48
40. Tampilan data uji sampel pada (a) Serial Monitor, dan (b) Layar OLED	49
41. Grafik antara panjang gelombang terhadap absorbansi dari sampel 90%	54
42. Grafik keakuratan dari alat sensor AS7265x dan alat lab spektrofotometer UV-1780 antara panjang gelombang terhadap konsentrasi dengan (a) spektrum <i>visible</i> , dan (b) spektrum <i>infrared</i>	56
43. Grafik hasil data alat sensor AS7265x dengan (a) absorbansi terhadap konsentrasi spektrum <i>visible</i> , dan (b) absorbansi terhadap konsentrasi spektrum <i>infrared</i>	61

44. Grafik hasil data alat sensor AS7265x dengan (a) transmitansi terhadap konsentrasi spektrum *visible*, dan (b) transmitansi terhadap konsentrasi spektrum *infrared* 62
45. Grafik hasil data keseluruhan dari sampel Pertalite 100% 63
46. Grafik hasil alat lab Spektrofotometer UV-1780 dengan (a) absorbansi terhadap konsentrasi spektrum *visible*, (b) absorbansi terhadap konsentrasi spektrum *infrared* 65
47. Grafik hasil alat lab Spektrofotometer UV-1780 dengan (a) transmitansi terhadap konsentrasi spektrum *visible*, dan (b) transmitansi terhadap konsentrasi spektrum *infrared* 66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Warna komplementer dari panjang gelombang 400-800 nm	16
2. Spektrum gelombang elektromagnetik dilihat dari nilai panjang gelombang dan frekuensi	23
3. Data kalibrasi hitam dan blanko pada sensor AS7265x	42
4. Data pengulangan dari sampel pertalite 90%	42
5. Data pengujian panjang gelombang, absorbansi, dan transmitansi spektrum Vis dan IR dengan sampel Pertalite-Air Murni	43
6. Data referensi panjang gelombang, absorbansi, dan transmitansi spektrum Vis dan IR dengan sampel Pertalite-Air Murni pada alat lab	43
7. Data pengujian sensor AS7265x dan spektrometer UV-1780 pada spektrum <i>visible</i>	45
8. Data pengujian sensor AS7265x dan spektrometer UV-1780 pada spektrum <i>infrared</i>	45
9. Hasil data kalibrasi hitam dan blanko pada sensor AS7265x	53
10. Hasil data 3 kali pengulangan pada sampel pertalite 90%	54
11. Hasil data pengujian sensor AS7265x dan spektrometer UV-1780 pada spektrum <i>visible</i>	55
12. Hasil data pengujian sensor AS7265x dan spektrometer UV-1780 pada spektrum <i>infrared</i>	55
13. Hasil data pengujian panjang gelombang, absorbansi, dan transmitansi spektrum Vis dan IR dengan sampel Pertalite-Air Murni	60
14. Hasil data referensi panjang gelombang, absorbansi, dan transmitansi spektrum Vis dan IR dengan sampel Pertalite-Air Murni pada alat lab	64

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Spektrometer merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi atom-atom maupun molekul yang terkandung dalam suatu zat atau material dengan menggunakan prinsip perubahan panjang gelombang baik dalam spektroskopi maupun spektrofotometri (Mardizal dkk., 2024). Spektroskopi adalah ilmu untuk mempelajari atau memahami susunan sebuah material melalui interaksi bahan tersebut dengan berbagai komponen frekuensi maupun panjang gelombang radiasi elektromagnetik (Idrish, 2022). Spektrofotometri adalah metode analisis yang digunakan untuk mengetahui kandungan suatu sampel dalam analisis kuantitatif konsentrasi larutan berdasarkan oleh serapan cahaya (Jawat dkk., 2021). Sehingga, perbedaan mendasar dari ketiga istilah tersebut dapat dilihat dari ruang lingkupnya seperti spektroskopi berperan sebagai keilmuan yang bersifat teoritis, spektrofotometri berfungsi sebagai metode pengukuran yang sistematis, sedangkan spektrometer merupakan instrumen atau peralatan yang secara nyata digunakan dalam proses pengukuran.

Spektrometer secara umum terbagi menjadi 3 macam menurut sumber cahaya yaitu spektrometer *Ultraviolet* (UV), *Visible* (Vis), dan *Infrared* (IR). Spektrometer UV-Vis merupakan instrumen analitik untuk mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi suatu zat berdasarkan sumber sinar tampak (Abriyani ddk., 2022). Teknik spektrometer ini didasarkan pada prinsip absorbansi, transmitansi, dan reflektansi oleh suatu molekul pada panjang gelombang tertentu yang bergantung pada struktur elektronik dan ikatan kimia dari tingkat energi rendah ke energi lebih tinggi (Harahap dkk., 2020). Instrumentasi IR pada dasarnya tidak jauh berbeda dengan instrumentasi spektrofotometer UV-Vis (Mudasir dan Wahyuni, 2024).

Spektrometer IR bekerja apabila suatu sinar inframerah dengan frekuensi tertentu yang ditembakkan mengenai suatu senyawa atau sampel dan menggunakan *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) sebagai sumber cahaya (Nurjayadi *et al.*, 2021).

Teknik analisis spektrometer UV-Vis dan IR sangat penting dalam kimia modern dan memiliki aplikasi luas di berbagai bidang seperti karakterisasi material seperti untuk menganalisis *Eichornia crassipes* dengan nano partikel perak (Kasim dkk., 2020), analisis suplemen makanan untuk menentukan kandungan vitamin C (Abriyan dkk., 2024), dan identifikasi senyawa alkaloid pada bidang farmasi (Astuti ddk., 2012). Dasar Ilmiah analisis metode spektrometer berdasarkan Hukum Lambert-Beer (Jawad dkk., 2021). Hukum Lambert-Beer menggambarkan tentang intensitas cahaya saat melewati media dengan zat yang dapat diserap. Intensitas ini tergantung pada konsentrasi larutan yang menyerap cahaya dan ketebalan lapisannya (Nurjayadi *et al.*, 2021).

Kemajuan teknologi dalam elektronik dan metode fabrikasi semakin maju, maka modul-modul sensor pun semakin canggih (Das *et al.*, 2016). Perkembangan modul sensor terus mengalami kemajuan yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir dengan menghadirkannya *SparkFun Triad Spectroscopy Sensor AS7265x* sebagai revolusi teknologi sensor spektral yang canggih. Modul inovatif ini menghadirkan terobosan dalam desain sensor spektroskopi menggabungkan tiga chip sensor spektral AS7265x yang mampu mendeteksi spektrum cahaya secara simultan pada 18 panjang gelombang yang berbeda dimulai dari *ultraviolet* hingga *near-infrared* (NIR) dengan resolusi dan sensitivitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan sensor spektroskopi generasi sebelumnya.

Penelitian mengenai rancang alat spektrometer Vis dan IR sebelumnya dilakukan oleh Yohan (2018), membuat spektrometer *visible* menggunakan sistem *double* yang mempunyai panjang gelombang 465-470 nm. Kemudian Eady *et al.* (2021), memanfaatkan perangkat lunak analisis data multivariat untuk pembuatan spektrometer NIR berbiaya rendah dan portabel dengan sampel dari suntikan *medroxyprogesterone asetat* (MPA). Sementara, penelitian yang memiliki panjang

gelombang UV hingga IR dilakukan oleh Durgun (2024), menggunakan komponen utama dari sistem yaitu papan sirkuit yang berisi sensor AS7265x yang terhubung secara serial ke papan ESP8266 NODEMCU melalui kabel antarmuka I2C. Pada penelitian tersebut, *Escherichia coli strain* ATCC 25922 berperan sebagai bio kontaminan logis untuk menilai kualitas air dalam berbagai kasus.

Penelitian lain yang menggunakan modul sensor AS7265x dilakukan oleh Ovidiu *et al.* (2021), yang dimana sensor *multispectral* UV-Vis-NIR untuk memantau kesehatan tanaman di kondisi lapangan. Penelitian tersebut menggunakan komponen Arduino Uno, kotak hitam, *power supply*, komputer dan sensor spektrometri Sparkfun AS7265x dengan beberapa sampel seperti klorofil hijau, klorofil merah dan indeks pewarnaan. Penelitian lain yang akan menggunakan kemampuan spektrometer UV-Vis-NIR dilakukan oleh Iqbal dkk. (2024), dengan rentang pengukuran spektrum 312-950 nm. Pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan hasil pembacaan sensor berupa nilai absorbansi dan transmitansi hanya ditampilkan melalui PC atau komputer. Sehingga pada penelitian ini dilakukan penambahan OLED sebagai *output* lain dari alat. Hal ini dimaksudkan agar alat yang dihasilkan lebih portabel dalam membaca nilai absorbansi dan transmitansi dari berbagai sampel.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun spektrometer Vis-IR *portable* menggunakan sensor AS7265x berbasis mikrokontroler dengan *output* OLED. Alat *portable* dengan menggunakan Arduino Nano yang digunakan sebagai pusat utama pada kendali dan sebagai penerima hasil pendeteksi sensor AS7265x. Keunggulan dari sensor AS7265x ini dapat mengukur spektrum pada 18 panjang gelombang yang berbeda dari *visible* hingga *infrared*. Penggunaan mikrokontroler memungkinkan otomatisasi pengukuran, akuisisi data, dan pemrosesan sinyal digital untuk menghasilkan spektrum *visible-infrared*. Pengembangan instrumen ini diharapkan dapat menjadi alternatif spektrometer Vis-IR berbiaya rendah yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan pendidikan dan penelitian dasar.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana cara merancang alat spektrometer Vis-IR dengan hasil yang diskrit menggunakan sensor AS7265x berbasis Arduino Nano?
2. Bagaimana mengoptimalkan sensor AS7265x untuk mendapatkan resolusi spektral yang tinggi pada rentang panjang gelombang Vis-IR menggunakan metode kalibrasi?
3. Bagaimana mengkalibrasi alat dengan menggunakan spektrofotometer *double-beam* shimadzu UV-1780 sebagai acuan?
4. Bagaimana perubahan nilai absorbansi dan transmitansi pada pertalite yang dicampur air dengan variasi tertentu dapat terdeteksi menggunakan spektrometer Vis-IR?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mampu membuat rancangan alat spektrometer Vis-IR dengan menggunakan sensor AS7265x berbasis Arduino Nano.
2. Mampu mengoptimalkan resolusi spektral panjang gelombang Vis-IR dengan metode kalibrasi.
3. Mampu mengkalibrasi alat dengan menggunakan spektrofotometer *double-beam* shimadzu UV-1780 sebagai referensi.
4. Menganalisis perubahan nilai absorbansi dan transmitansi akibat pencampuran air dalam pertalite.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian membahas pada bagian perancangan, pengujian, dan analisis kinerja sensor spektrometer Vis-IR berbasis modul AS7265x .

2. Hanya berfokus pada cahaya dengan 18 panjang gelombang yang berbeda, mencakup spektrum *visible* hingga *near-infrared*.
3. Mikrokontroler yang digunakan untuk mengintegrasikan modul AS7265x menggunakan Arduino Nano.
4. Rentang panjang gelombang dari 410 nm hingga 940 nm sesuai spesifikasi sensor AS7265x.
5. Hanya berfokus pada kemampuan deteksi spektrum.
6. Sampel yang digunakan adalah bahan bakar pertalite dengan variasi pencampuran air murni dalam perbandingan volume 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7, 2:8, dan 0:10.
7. Proses kalibrasi alat spektrometer dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer *double-beam* Shimadzu Shimadzu UV-1780 sebagai alat referensi.
8. Analisis data hanya difokuskan berdasarkan *peak* panjang gelombang dengan nilai absorbansi tertinggi dan menghasilkan nilai absorbansi dan transmitansi.
9. Tampilan hasil pengukuran dibatasi pada layar OLED 1,3 inci dengan format keluaran sederhana berupa nilai absorbansi dan transmitansi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini diharapkan dapat menyediakan alat spektrometer Vis-IR portabel sederhana yang dapat mengukur panjang gelombang dan mengidentifikasi suatu senyawa atau sampel dan secara bersamaan untuk kebutuhan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian yang berhubungan dengan topik pada tugas akhir ini yang dijadikan sebagai perbandingan dengan penelitian yang sudah dilakukan dapat dilihat sebagai berikut.

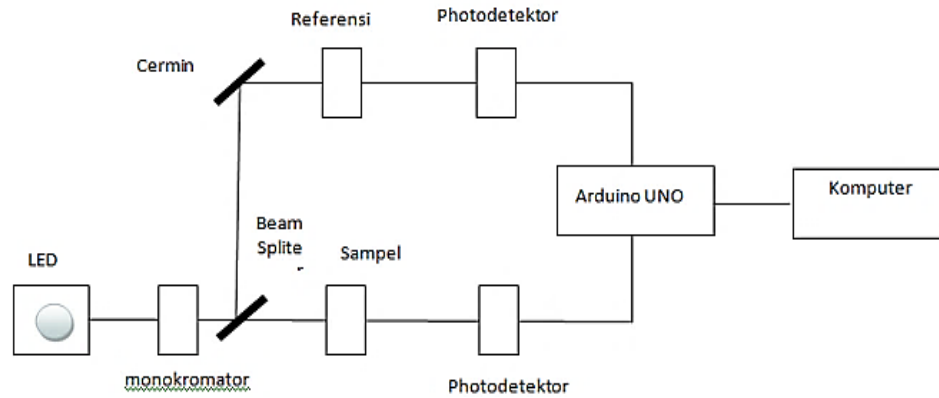
Penelitian yang dilakukan oleh Yohan (2018), melakukan penelitian tentang pembuatan spektrofotometri *visibel* 470 nm menggunakan Arduino Uno R3. Penelitian ini menggunakan alat Arduino Uno R3 dan laptop untuk *display sensor*. Bahan yang digunakan adalah pewarna makanan, akuabides, CuSO_4 , kuvet, LED, potodetektor TSLG257, PCB, kabel, resin *fiberglass*, silikon *rubber* RTV. Pada spektrofotometer sederhana ini terdiri dari jalur *power supply* untuk sumber arus dan jalur Arduino menuju komputer. Pembuatan spektrometer sederhana dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Pembuatan spektrofotometer sederhana (Yohan, 2018).

Pada spektrofotometer *visibel* ini menggunakan sistem *double beam* dimana intensitas cahaya referensi (I_0) dapat dibandingkan dengan intensitas cahaya setelah

melewati sampel (I_t). Sumber cahaya menggunakan jenis SMD LED berwarna biru mempunyai panjang gelombang 465-470 nm. Sistem spektrofotometer *visible* dapat dilihat pada **Gambar 2**.

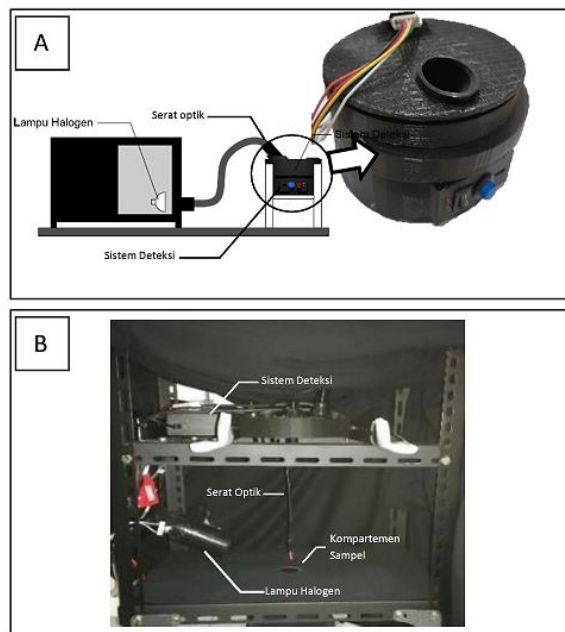


Gambar 2. Desain sistem spektrofotometer sederhana (Yohan, 2018).

Spektrofotometri sederhana ini terdapat photodiode untuk referensi dan sampel. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah pewarna makanan komersial berwarna merah berbahan dasar karmoisin (Azorubin) dan tembaga sulfat (CuSO_4). Pada pengukuran menggunakan spektrofotometri sederhana memberikan hasil pengukuran yang baik dan nilai absorbansi sebanding dengan nilai konsentrasi analit. Uji linearitas pada spektrofotometri sederhana ini didapatkan nilai terbaik pada pengukuran menggunakan analit karmosin menghasilkan persamaan $y = 0,114x$ dengan koefisien korelasi 0,984 dan batas konsentasi terendah yang terdeteksi 80 ppm, sedangkan untuk 50 ppm karmosin memberikan nilai absorbansi nol (sama dengan blanko). Pada spektrofotometer sederhana ini memiliki akurasi dan presisi sebesar 95,35% dan 99,35% sehingga dapat diasumsikan spektrofotometer berbasis Arduino ini memiliki kelayakan sebagai alat pengukuran alternatif pada spektrofotometer Vis.

Penelitian selanjutnya Iqbal dkk. (2024), pada penelitian ini mengenai studi miniatur UV/Vis/Nir spektrometer untuk proses kuantifikasi mutu biji kopi dengan protokol *cupping test*. Penelitian ini menitikberatkan pada eksplorasi kemampuan spektroskopi UV/Vis/NIR untuk memprediksi parameter *cupping test* kualitas kopi sangrai. Prosedur *cupping test* kuantifikasi *cupping test* digunakan sebagai input referensi (*y reference*) untuk pembangunan model kalibrasi/prediksi. Terdapat dua sistem spektrometer yang digunakan seperti yang terlihat pada **Gambar 3**, yaitu

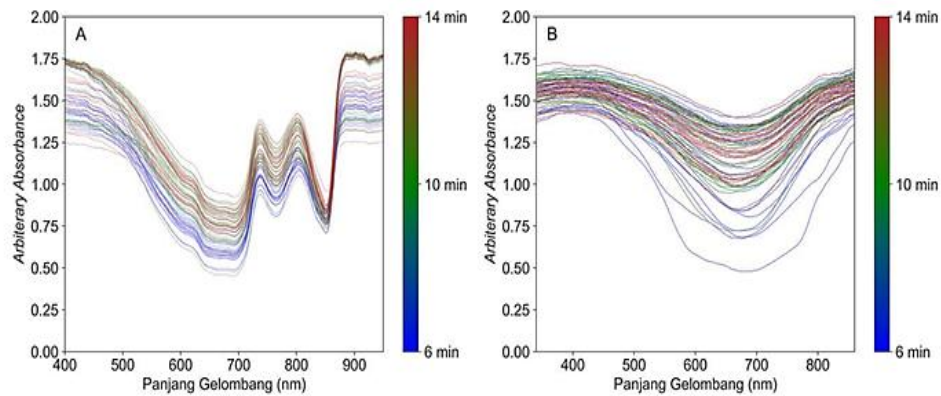
spektrometer portabel komersial *Vernier Go Direct SpectroVis Plus*, USA dengan rentang pengukuran 380-950nm dan sistem spektrometer yang dibangun dengan sensor *micro-electromechanical system* (MEMS) C12880MA, Hamamatsu, Jepang dengan rentang 312-859 nm. Sistem spektrometer MEMS C12880MA dibangun dengan komponen utama mikrokontroler sebagai pengontrol sensor, modul *bluetooth* untuk mentransfer data dan baterai sebagai sumber daya keseluruhan spektrometer. Keseluruhan komponen utama dirakit dalam wadah (*housing*) berbahan *Polylactic Acid* (PLA) yang dicetak dengan 3D printer ANET A8.



Gambar 3. Konfigurasi sistem deteksi dengan (A) sensor MEMS C12880MA dan (B) *Vernier Go Direct SpectroVis* (Iqbal dkk., 2024).

Instrumen SpektroVis menghasilkan resolusi spektra sebanyak 784 variabel (titik pengukuran panjang gelombang) sedangkan sensor C12880MA menghasilkan 288 variabel. Spektra yang dihasilkan instrumen berupa sinyal reflektan yang kemudian ditransformasi sebagai absorban dengan penambahan *smoothing Savitzky-Golay*.

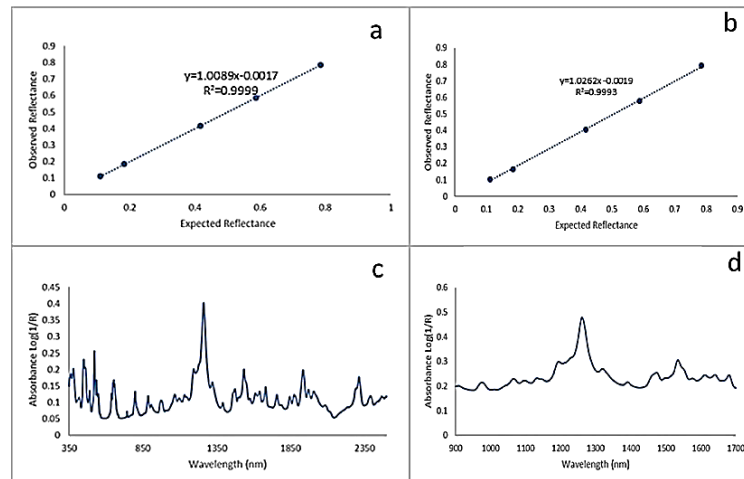
Gambar 4 (A) menunjukkan spektra yang dihasilkan SpektroVis, terdapat respon puncak lemah di kisaran 600-620 nm kemudian absorban tinggi di area sekitar 723-756 nm dan 788-816 nm kemudian terjadi peningkatan absorban di kisaran 890-950 nm. Berbeda dengan data spektra yang dihasilkan oleh sensor C12880MA **Gambar 4** (B), terlihat adanya tren menurun dari 340 nm hingga sekitar 710 nm dan terjadi peningkatan absorbansi hingga 895 nm.



Gambar 4. Spektra setelah transformasi absorbansi dan *smoothing savitzky-golay* untuk (A) *vernier go direct spectroVis plus* dan (B) MEMS C12880MA (Iqbal dkk., 2024).

Eady *et al.* (2021), penelitian ini berjudul *A low-cost and portable near-infrared spectrometer using open-source multivariate data analysis software for rapid discriminatory quality assessment of medroxyprogesterone acetate injectables*. Dimana penelitian ini membahas tentang pembuatan spektrometer inframerah dekat berbiaya rendah dan *portable* menggunakan perangkat lunak analisis data multivariat dengan sampel dari suntikan *medroxyprogeterrone asetat* (MPA). Metode penyaringan non-destruktif yang umum digunakan adalah spektroskopi NIR yang dapat menilai sampel dengan menghasilkan tanda tangan spektral dari interaksi sampel dengan sumber cahaya di sebagian spektrum elektromagnetik (umumnya menggabungkan rentang inframerah dekat). Foton yang dipantulkan dibaca oleh spektrometer, menghasilkan spektral yang memberikan informasi tentang komposisi sampel farmasi.

Kinerja instrumental spektrometer *benchtop* dan genggam diverifikasi menurut *Farmakope* NIR digunakan untuk linearitas fotometrik, verifikasi panjang gelombang, dan rasio *signal-to-noise* (SNR). Pertama, linearitas fotometrik dinilai untuk verifikasi respons instrumental kedua perangkat dengan mengumpulkan spektrum dari cakram kalibrasi reflektifitas mulai dari 5 hingga 99% reflektifitas. Sangat penting untuk mengevaluasi kinerja instrumental perangkat NIR sebelum mengumpulkan data MPA. Hasil spektrum yang dihasilkan dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Verifikasi kalibrasi spektrometer UV-VIS dan NIR *benchtop* dengan spektrometer NIR genggam (Eady *et al.*, 2021).

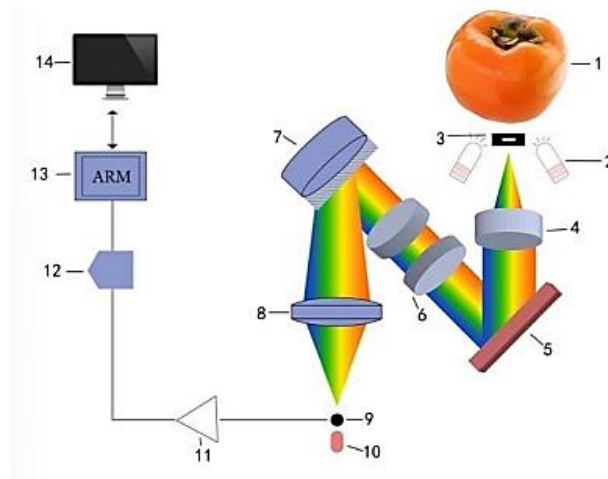
Pada grafik diatas merupakan respons linearitas fotometrik untuk (a) spektrometer *benchtop*, (b) spektrometer genggam, dan disprosium, eridium, holmium, respons disk kalibrasi bedak untuk verifikasi panjang gelombang oleh (c) spektrometer *benchtop*, dan (d) spektrometer genggam.

Su *et al.* (2020), selanjutnya ada pada penelitian *Design and Experiment of a Portable Near-infrared Spectrum Detection System for Fruits and Vegetables Quality-inspection*. Menurut fungsi dan penerapan peralatan deteksi kualitas spektrum inframerah dekat *portable*, desain sistem perangkat keras peralatan meliputi sumber cahaya inframerah dekat miniatur, modul spektrometer inframerah dekat miniatur, modul catu daya, modul kontrol dan komunikasi, dan modul LCD, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Pembangunan alat deteksi kualitas spektrum *infrared* dekat *Portable* (Su *et al.*, 2020).

Spektroskopi inframerah dekat terutama diproduksi oleh frekuensi getaran molekuler dalam harmoni penyerapan kelompok dan penyerapan frekuensi, dan hanya gugus fungsional yang mengandung hidrogen seperti getaran peregangan C-H, N-H, S-H, dan OH yang dapat dideteksi yang memainkan efek signifikan dalam pemeriksaan kualitas buah-buahan dan sayuran. Detektor titik tunggal InGaAs dipilih untuk mendapatkan sinyal fotolistrik, dengan penyejuk semikonduktor untuk meningkatkan ketepatan dan stabilitas. Selain itu, ada lensa pemfokusan di depan celah yang secara efektif dapat memperoleh cahaya pantulan difus melalui jendela 2,5 mm. Resolusi spektral dan rasio *signal-to-noise* dapat disesuaikan dengan menyesuaikan ukuran celah. Melalui pengujian, ditemukan bahwa sistem dapat secara efektif memperoleh spektrum inframerah dekat dalam kisaran 900 hingga 1700 nm. Spektrometer inframerah dekat dengan jalur optik internal dan diagram transmisi sinyal dapat dilihat pada **Gambar 7**.

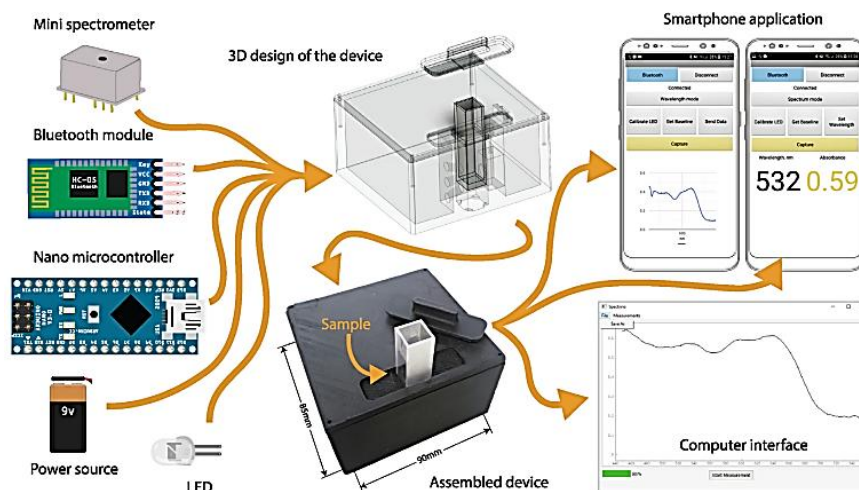


Gambar 7. Spektrometer *infrared* dekat dengan jalur optik internal dan diagram transmisi sinyal (Su *et al.*, 2020).

Dari hasil set prediksi, model yang ditetapkan oleh logaritma spektrum absorpsi asli ($1/R$) dan metode PLS dapat diterapkan, dengan koefisien korelasi tinggi (0,95) dan kesalahan kuadrat rata-rata akar yang dikoreksi rendah (0,37). Penelitian ini dapat memberikan data referensi untuk desain sistem deteksi spektrum inframerah dekat berbiaya rendah, praktis, dan miniatur.

Penelitian lain yang membahas tentang spektrofotometer dengan berbiaya rendah dilakukan Laganovska *et al.* (2020), yang merancang spektrofotometer nirkabel sumber terbuka portabel berbiaya rendah untuk pengukuran yang cepat dan andal.

Perangkat ini terdiri dari spektrometer C12880MA Hamamatsu, LED putih (*Nichia Optisolis*), mikrokontroler Arduino Nano untuk kontrol dan pembacaan data, dan modul *Bluetooth* untuk transfer data ke aplikasi seluler. Spektrofotometer dicetak 3D dan kuvet 10 mm (dimensi dalam) akan digunakan untuk sampel. Desaiannya dapat dilihat pada **Gambar 8**.

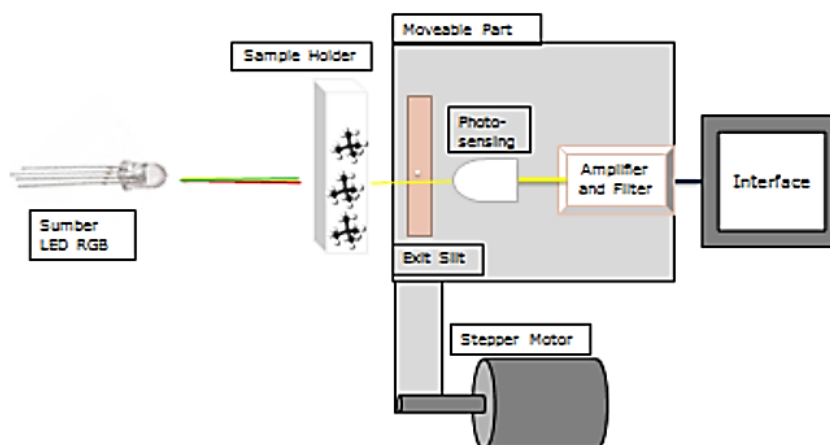


Gambar 8. Komponen perangkat spektrometer mini (Laganovska *et al.*, 2020).

Desain 3D dan perangkat rakitan dapat dilihat di tengah gambar dan aplikasi *smartphone* serta antarmuka komputer ada di sebelah kanan. Perangkat yang dirakit dapat mengukur penyerapan dalam rentang panjang gelombang dari 450 nm hingga 750 nm dengan resolusi 15 nm dan ditempatkan dalam *casing* 90, 85, dan 58 mm. Validasi perangkat dilakukan dengan menilai akurasi panjang gelombang, rentang dinamis, dan rasio *signal-to-noise* sistem, diikuti dengan pengujian dalam tiga aplikasi berbeda di mana batas kuantifikasi, batas deteksi, dan standar deviasi relatif ditentukan. Hasilnya menunjukkan kinerja yang lebih baik dari pada spektrofotometer berbiaya rendah dan rata-rata sebanding dengan spektrofotometer berbiaya sedang hingga tinggi.

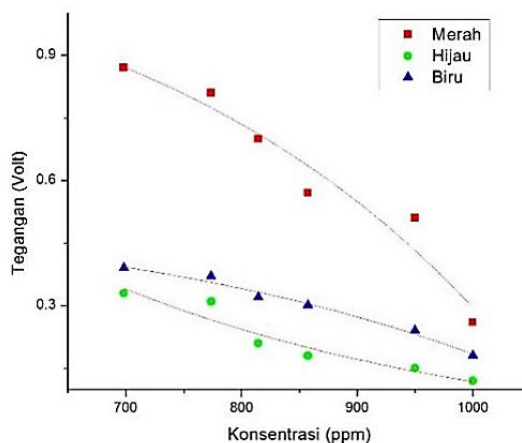
Sari dkk. (2017), penelitian ini mengembangkan spektrometer cahaya tampak menggunakan LED RGB untuk menentukan konsentrasi glukosa. Rancang bangun spektrometer menggunakan sumber cahaya dari cahaya tampak telah dibuat. Pada penelitian ini diukur nilai absorbansi, transmitansi, dan konsentrasi larutan glukosa. Spektrometer menggunakan satu sensor fotodioda, dua LED RGB sebagai sumber cahayanya dan dua sampel holder. Pergerakan sensor dikontrol menggunakan

motor *stepper*. Keluaran sensor diolah di mikrokontroller ATmega 8 dan di kirim ke PC. *Interface* tampilan PC menggunakan GUI *Visual Basic*. Otomatisasi gerak sensor oleh motor *stepper* membuat pengukuran lebih efisien, dimana pada satu kali pengukuran dapat langsung dibandingkan larutan standar dan larutan yang diukur. Secara keseluruhan sistem menggunakan komponen dengan harga yang murah. Desain susunan perangkat keras sistem yang dibuat dapat dilihat pada **Gambar 9**.



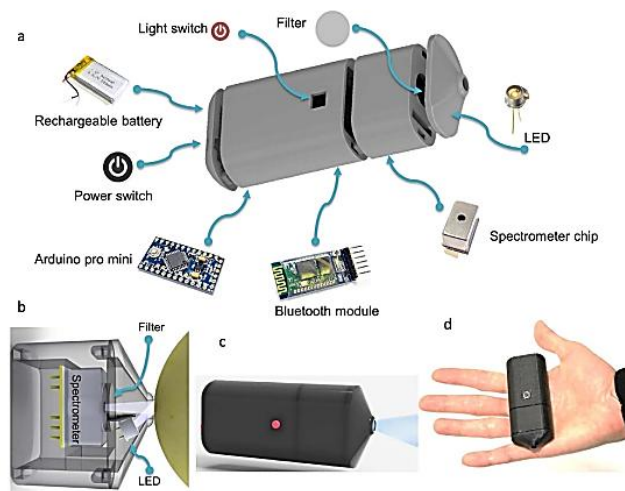
Gambar 9. Desain perangkat sistem spektrometer cahaya tampak menggunakan LED RGB (Sari dkk., 2017).

Berdasarkan data hasil pengukuran, absortivitas tertinggi diperoleh jika sumber yang digunakan adalah LED hijau yaitu dengan kisaran 0,47-0,9. Kesalahan pengukuran konsentrasi menggunakan LED hijau berkisar antara 1,94% sampai 4,76% sedangkan secara keseluruhan kesalahan pengukuran konsentrasi berkisar antara 0,12% sampai 5,43%. Grafik hubungan konsentrasi larutan (ppm) dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Hubungan konsentrasi larutan dan tegangan (Sari dkk., 2017).

Das *et al.* (2016), percobaan dari penelitian ini tentang Spektrometer *smartphone* nirkabel *ultra-portable* untuk pengujian kematangan buah yang cepat dan non-destruktif. Perangkat ini pada dasarnya berbiaya rendah dan konsumsi daya minimal membuatnya portabel untuk melakukan berbagai studi di lapangan. Semua komponen penting dari perangkat seperti sumber cahaya, spektrometer, filter, mikrokontroler, dan sirkuit nirkabel telah dirakit dalam rumah berdimensi 88 mm $\times$ 37 mm $\times$ 22 mm dan seluruh perangkat memiliki berat 48 gram. Skematik dari spektrometer portabel dapat dilihat pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Skematik spektrometer *smartphone* nirkabel (Das *et al.*, 2016).

Resolusi spektrometer adalah 15 nm, memberikan pengukuran yang akurat dan berulang. Perangkat ini memiliki antarmuka aplikasi khusus di *smartphone* untuk berkomunikasi, menerima, memplot, dan menganalisis data spektral. Kinerja spektrometer *smartphone* sebanding dengan spektrometer *bench-top* yang ada dalam hal stabilitas dan resolusi panjang gelombang. Validasi perangkat dilakukan dengan mendemonstrasikan pengujian kematangan non-destruktif pada sampel buah. Fluoresensi *Ultra-Violet* (UV) dari klorofil yang ada di kulit diukur di berbagai varietas apel selama proses pematangan dan berkorelasi dengan uji kekencangan yang merusak. Kesepakatan yang memuaskan diamati antara kematangan dan sinyal fluoresensi. Demonstrasi ini merupakan langkah menuju kemungkinan aplikasi konsumen, *bio-sensing* dan diagnostik yang dapat dilakukan dengan cepat.

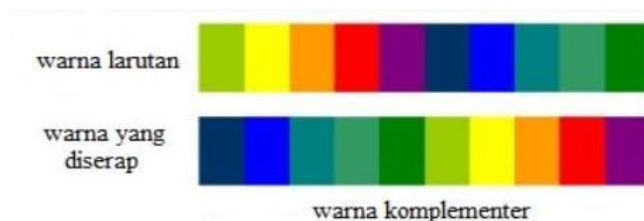
2.2 Teori Dasar

2.2.1 Spektrometer

Spektrum cahaya tampak memiliki panjang gelombang 380-780 nm. Prinsip kerja utama spektrometer Vis didasarkan pada kemampuan molekul untuk menyerap, mentransmisikan, atau memantulkan radiasi elektromagnetik pada rentang panjang gelombang *visible* (Rohman dkk., 2023). Ketika sampel menyerap radiasi Vis, spektrometer dapat mengukur intensitas serapan pada berbagai panjang gelombang yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur molekul, konsentrasi zat, dan sifat optik dari suatu material (Wardani dan Nurbayanti, 2024).

Perkembangan teknologi spektrometer Vis saat ini dilengkapi dengan detektor berkinerja tinggi, sistem optik presisi, dan perangkat lunak yang memungkinkan analisis kualitatif dan kuantitatif dengan akurasi yang tinggi (Suhartati, 2017). Spektrometer UV-Vis memiliki alat yang kompleks, terdiri dari beberapa komponen yang saling terintegrasi. Pada rentang UV, radiasi memicu transisi elektronik antar orbital molekul yang memungkinkan analisis struktur kimia yang kompleks (Putri, 2017). Molekul dengan ikatan rangkap dan sistem konjugasi menunjukkan absorpsi khas pada spektrum UV. Sebaliknya, spektrum *visible* lebih terkait dengan fenomena warna dan absorpsi spesifik yang dihasilkan oleh transisi elektronik pada kompleks metal dan molekul organik berwarna.

Metode pengukuran yang digunakan adalah prinsip spektrofotometri. Metode tersebut berdasarkan absorpsi cahaya pada panjang gelombang tertentu melalui suatu larutan yang mengandung kontaminan yang akan ditentukan konsentrasinya. Ketika suatu bahan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, maka prosesnya dinamakan "absorpsi spektrofotometri". Sedangkan, jika cahaya yang diserap berada dalam rentang cahaya yang dapat dilihat mata manusia, proses ini disebut "kolorimetri" (Lestari, 2010). Cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia adalah cahaya dengan panjang gelombang 400-800 nm. Cahaya yang dilihat pada kehidupan sehari-hari disebut juga warna komplementer. Dapat dilihat pada **Gambar 12** yang merupakan warna komplementer.



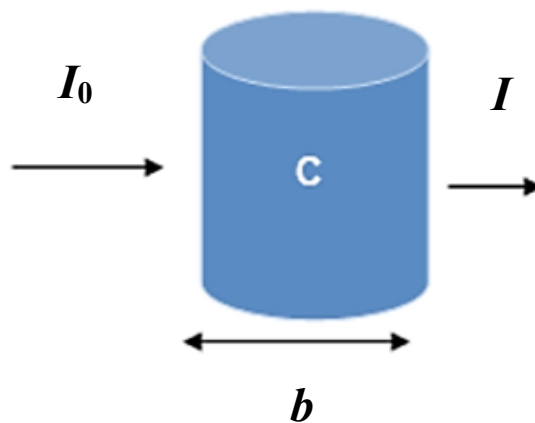
Gambar 12. Warna komplementer (Wardana, 2024).

Jika suatu zat warna merah, maka warna komplementer yang terlihat yaitu hijau. Warna yang diserap dari suatu analit adalah warna komplementer dari warna larutan yang teramati, seperti ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Warna komplementer dari panjang gelombang 400-800 nm

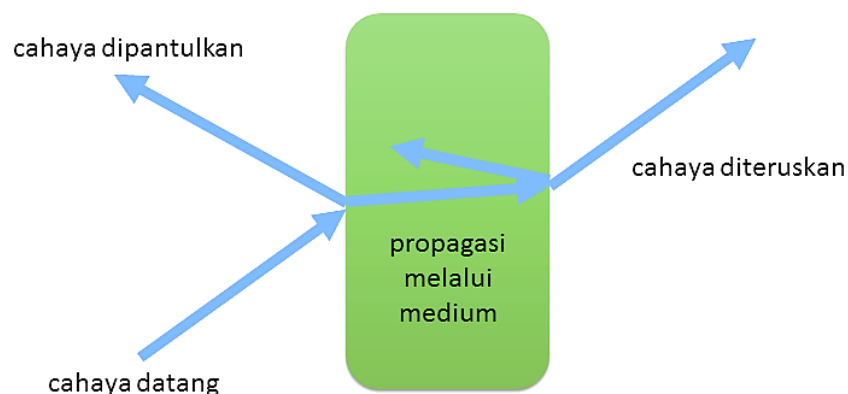
Panjang Gelombang (nm)	Warna yang di serap	Warna Komplementer
400-435	Ungu	Hijau kekuningan
435-480	Biru	Kuning
480-490	Biru kehijauan	Jingga
490-500	Hijau kebiruan	Merah
500-560	Hijau	Ungu kemerahan
560-580	Hijau kekuningan	Ungu
580-595	Kuning	Biru
595-610	Jingga	Biru kehijauan
610-680	Merah	Hijau kebiruan
680-800	Ungu kemerahan	Hijau

Selain gelombang cahaya tampak, spektrofotometri juga menggunakan panjang gelombang pada gelombang *ultraviolet* dan inframerah (Wijayanti dkk., 2019). Prinsip kerja dari metode ini adalah jumlah cahaya yang diabsorpsi oleh larutan sebanding dengan konsentrasi kontaminan dalam larutan. Hukum Beer-Bouguer-Lambert yang umumnya dikenal dengan sebutan Hukum Lambert-Beer. Ketika berkas cahaya mengenai sebuah sampel, akan terjadi interaksi antara cahaya dengan sampel tersebut. Dalam interaksi ini, sebagian cahaya akan diserap oleh sampel dan sebagian lainnya akan melewati sampel. Tingkat penyerapan cahaya oleh sampel disebut dengan absorbansi, sementara persentase cahaya yang mampu melewati sampel disebut transmitansi. Kedua parameter ini digunakan sebagai dasar pengukuran dalam analisis sampel (Mahardiani dkk., 2024). Hukum ini menjadi landasan matematis utama dalam interpretasi data spektroskopi yang menjelaskan hubungan linear antara absorbansi dan konsentrasi larutan melalui **Gambar 13** dengan Persamaan (2.1) sampai Persamaan (2.7).



Gambar 13. Hukum Lambert-Beer (Mudasir dan Wahyuni, 2024).

Diketahui I_0 merupakan intensitas datang (Cd), c mewakili konsentrasi penyerapan radiasi (mol/cm), b adalah tebal media yang dilalui sinar (cm), dan I adalah intensitas sinar yang diteruskan (Cd). Pada **Gambar 13** menjelaskan sebuah hubungan antara intensitas cahaya yang melewati suatu larutan dengan konsentrasi zat dan panjang lintasan cahaya yang mana interaksi sampel yaitu pemantulan (reflektansi), penyerapan (absorpsi), diteruskan (transmisi), dan hamburan energi seperti **Gambar 14**.



Gambar 14. Propagasi dan transmisi cahaya pada medium (Anonim, 2025). .

Maka tugas akhir ini karena menggunakan sensor AS7265x sebagai sensor optik utama yang diletakkan di atas sampel, sehingga dengan cahaya yang ditembakkan dari sensor diteruskan ke sampel diserap sebagian dengan memantulkan kembali ke photodiode atau detektor pada sensor. Jika parameter b pada **Gambar 13** merupakan tebal kuvet yang dilalui cahaya, maka parameter b pada ilustrasi pengukuran sensor ini yaitu ketinggian sampel atau kedalaman penetrasi.

Apabila energi radiasi elektromagnetik diabsorpsi oleh suatu media dengan ketebalan b seperti **Gambar 13**, maka kekuatan dari energi radiasi yang akan ditransmisikan akan menurun secara eksponensial. Pernyataan tersebut dituliskan dalam bentuk eksponensial seperti Persamaan (2.1).

$$T = I/I_0 = 10^{-kb} \quad (2.1).$$

Dengan k merupakan suatu konstanta (tidak memiliki nilai tetap, karena tergantung pada jenis zat), b adalah jarak atau ketebalan material (cm) dan T adalah transmitansi (a.u). Persamaan (2.1) disusun kembali dalam bentuk logaritmis seperti Persamaan (2.2).

$$\text{Log } T = \text{Log } I/I_0 = -kb \quad (2.2).$$

Persamaan (2.2) sering dijabarkan dalam bentuk positif pada sisi kanan, sehingga diperoleh Persamaan (2.3).

$$A = -\text{Log } T = \text{Log } 1/T = \text{Log } I/I_0 = abc \quad (2.3).$$

Persamaan tersebut merupakan bentuk umum dari Hukum Lambert-Beer. Dengan A merupakan absorbansi (a.u). Absorbansi (A) berbanding lurus dengan konsentrasi larutan sampel, bukan transmitansi (T) atau sinar yang diserap ($I_0 - I$). Proses transmitansi diperoleh dari Persamaan (2.4).

$$\% T = I/I_0 \times 100 \quad (2.4).$$

Karena $T = \%T/100$, maka menghasilkan Persamaan (2.5).

$$A = \text{Log } (100/\%T) = \text{Log } 100 - \text{Log } T \quad (2.5).$$

Persamaan (2.6) memungkinkan kuantifikasi presisi berbagai senyawa dengan mengukur interaksi cahaya pada panjang gelombang tertentu (Putri, 2017). Dengan A mewakili absorbansi (a.u), ϵ adalah koefisien absorptivitas molar ($\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$), b adalah panjang lintasan kuvet (cm), dan c adalah konsentrasi larutan (mol/cm).

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c = a \cdot b \cdot c \quad (2.6).$$

(Mudasir dan Wahyuni, 2024).

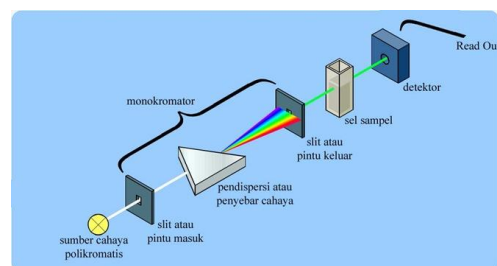
Hukum Lambert-Beer berasumsi bahwa:

1. Radiasi sinar datang harus monokromatis.
2. Spesi penyerap independen satu sama lain.
3. Radiasi sinar datang merupakan berkas paralel yang tegak lurus dengan permukaan media penyerap.
4. Radiasi sinar melintasi media penyerap dengan panjang yang sama.
5. Media penyerap homogen dan tidak menyebabkan penghamburan sinar.
6. Radiasi sinar datang mempunyai intensitas yang tidak terlalu besar yang menyebabkan efek saturasi (Nazar, 2018).

Spektrum UV (100-380 nm) tidak terlihat mata manusia dan lebih sensitif untuk molekul dengan ikatan rangkap, sementara spektrum *visible* (380-780 nm) mencakup warna-warna yang dapat dilihat mata. Desain dan diagram spektrometer UV-Vis dapat dilihat pada **Gambar 15**.



(a)

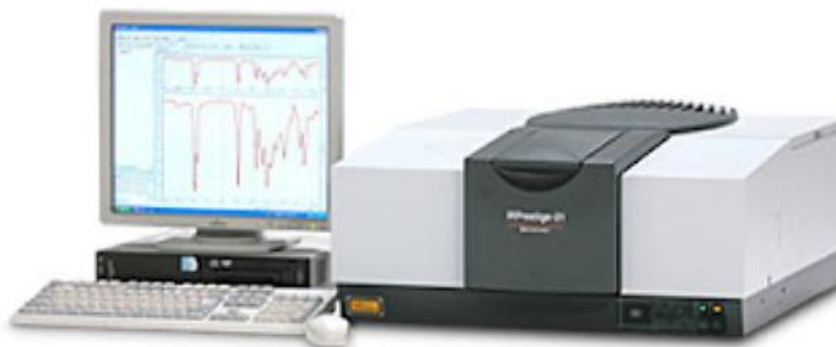


(b)

Gambar 15. (a) Desain alat Spektrofotometer *UltraViolet-Visible* (UV-Vis) dan (b) Diagram alat spektrofotometer UV-Vis (Hartanti, 2021).

Ilmu yang mempelajari tentang interaksi antara cahaya atau radiasi elektromagnetik dengan materi adalah spektroskopi. Spektroskopi dapat dibagi menjadi 2, yaitu spektroskopi yang meliputi energi antara foton dan sampel serta spektroskopi yang tidak meliputi transfer foton (Setianingsih dan Prananto, 2020). Sari dkk. (2018), salah satu alat instrumentasi yang menggunakan prinsip dari spektroskopi dan dapat mengetahui gugus fungsi dengan mengidentifikasi senyawa serta menganalisis campuran dari suatu sampel tanpa merusak sampel disebut Spektrometer IR. Dikatakan bahwa radiasi inframerah yang akan melalui suatu sampel akan diserap sebagian dan lain sebagian tersebut akan dilewatkan. Sehingga, dari sebagian radiasi tersebut akan merubah momen dipol ketika terjadinya vibrasi. Spektrum

gelombang elektromagnetik pada daerah inframerah memiliki panjang gelombang dari 14.000 cm^{-1} hingga 10^{-1} . Alat instrumentasi IR dapat dilihat pada **Gambar 16**.



Gambar 16. Instrumentasi IR (Mukhsin, 2019).

Sari dkk. (2018), panjang gelombang inframerah ada tiga bagian, yaitu pertama IR dekat dengan panjang gelombang $14.000\text{--}4.000\text{ cm}^{-1}$ yang peka terhadap vibrasi *overtone*, kedua IR sedang dengan panjang gelombang $4.000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ yang dimana sebuah energi vibrasi dengan transisi dari suatu molekul dapat memberikan informasi mengenai gugus fungsi di dalam molekul tersebut, dan ketiga IR jauh dengan panjang gelombang $400\text{--}10\text{ cm}^{-1}$ yang dapat mengalisis molekul dengan mengandung atom-atom berat seperti senyawa organik. Nugroho dkk. (2024), Spektroskopi inframerah digunakan terutama untuk mengidentifikasi suatu gugus-gugus fungsi dalam molekul melalui analisis kualitatif serta dapat dimanfaatkan untuk tujuan analisis kuantitatif.

Ahsan dkk. (2023), mendefinisikan bahwasanya Spektrofotometri Infra Merah (IR) sebagai salah satu metode penentuan gugus fungsi suatu molekul berdasarkan interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik. Radiasi elektromagnetik yang digunakan berkisar panjang gelombang $0,75\text{--}1000\text{ }\mu\text{m}$. Interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik tersebut dapat menyebabkan molekul melakukan vibrasinya. Interaksi tersebut akan dideteksi oleh alat spektrometer yang memiliki 5 bagian, yaitu:

1. Sumber Radiasi

Sumber radiasi untuk spektrum kontinu adalah lampu argon, lampu deuterium atau hidrogen, lampu xenon, lampu *wolfram*, *nerst glower*, globar, dan kawat

nikrom. Sedangkan untuk sumber radiasi untuk spektrum diskontinu adalah lampu katoda cekung wadah sampel. Umumnya wadah sampel disebut kuvet atau sel.

2. Monokromator

Monokromator adalah alat yang dipakai untuk menghasilkan berkas radiasi dengan satu panjang gelombang.

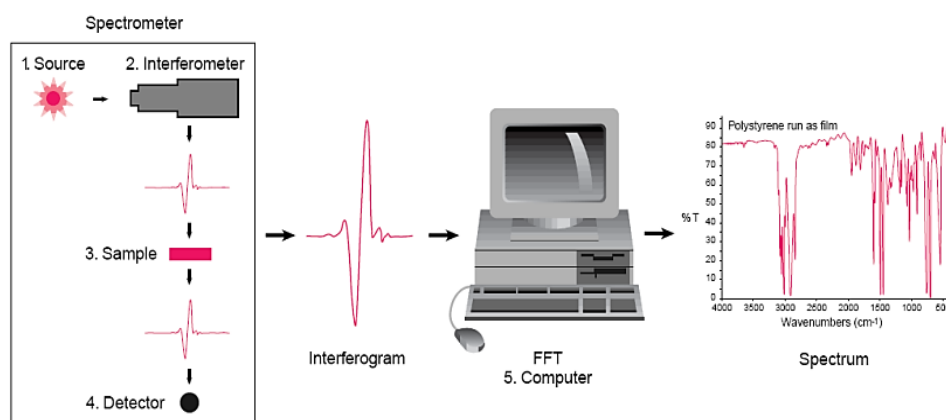
3. Detektor

Detektor memiliki dua macam, yaitu detektor foton dan detektor panas. Detektor foton termasuk *sel photovoltaic*, detektor semi konduktor, dan detektor diode silikon. Sedangkan detektor panas biasa untuk mengukur radiasi inframerah seperti *thermocouple* dan bolometer.

4. Rekorder

Signal listrik dari detektor biasanya diperkuat dengan amplifiier yang dimana akan direkam sebagai spektrum berbentuk puncak-puncak (Ningrum dkk., 2023).

Dikenal dua kelompok utama spektroskopi, yaitu spektroskopi atom dan spektroskopi molekul. Dasar dari spektroskopi atom adalah tingkat energi elektron terluar suatu atom atau unsur, sedangkan dasar dari spektroskopi molekul adalah tingkat energi molekul yang melibatkan energi elektronik, vibrasi dan rotasi. Berdasarkan sinyal radiasi elektromagnetik, spektroskopi dibagi menjadi empat golongan. Skema instrumen spektroskopi inframerah dapat dilihat pada **Gambar 17**.



Gambar 17. Skema spektroskopi inframerah (Anonim, 2024).

Pada **Gambar 17** merupakan skema alat spektroskopi inframerah yang dimana radiasi dari sumber sinar tersebut akan melewati celah dan diteruskan ke dalam interferometer. Kemudian, radiasi sinar akan melewati suatu sempel dan diteruskan ke detektor. Setelah melewati detektor, maka adanya sinyal yang terbaca dan didigitalisasi serta akan dikirim ke *computer* untuk proses transformasi fourier. Sehingga, proses transformasi fourier akan menghasilkan spektrum inframerah (Alauhdin dkk., 2021).

2.2.2 Radiasi Elektromagnetik

Radiasi termasuk dalam elemen penting yang menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan. Sumber radiasi terbagi menjadi dua jenis, yaitu sumber alami dan buatan. Radiasi alami berasal dari proses alamiah di Bumi tanpa adanya intervensi manusia, sedangkan radiasi buatan dihasilkan oleh manusia untuk berbagai tujuan, seperti kebutuhan militer seperti sistem pengintaian inframerah untuk pengelihan malam, terapi radioterapi untuk pengobatan kanker dari kebutuhan medis, pembangkit listrik sistem pembangkit termal surya, dan industri untuk pengukuran ketebalan material menggunakan sinar-X (Hiswara, 2023).

Cahaya memiliki dua komponen yaitu komponen listrik dan komponen magnetik. Radiasi elektromagnetik merupakan fenomena fisika kompleks yang melibatkan perambatan energi yang diradiasikan dari suatu benda dan ditransmisikan melalui ruang dalam bentuk gelombang yang terdiri atas medan listrik dan medan magnet yang saling berinteraksi (Ningrum dkk., 2023). Pada konsep dasarnya, radiasi elektromagnetik mencakup spektrum luas gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang dan frekuensi berbeda, mulai dari gelombang radio hingga sinar gamma (Trisanti dan Sudarti, 2021).

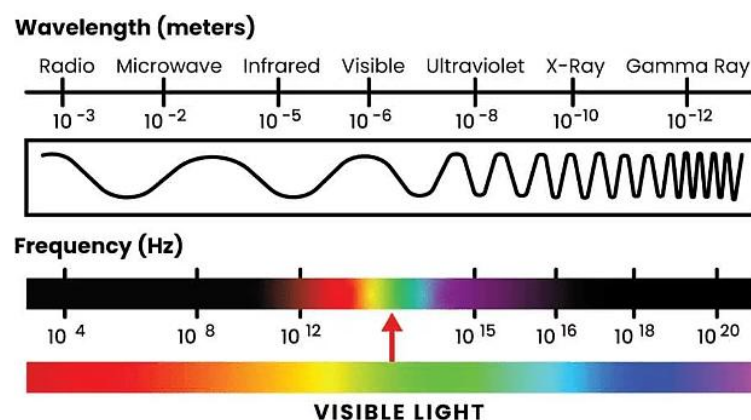
Setiap jenis gelombang memiliki karakteristik unik dalam hal energi, kemampuan penetrasi, dan interaksi dengan materi. Spektrum gelombang elektromagnetik disusun berdasarkan urutan antara frekuensi dan panjang gelombangnya. Frekuensi terendah dalam spektrum ini berada di kisaran 10^3 – 10^8 Hz, yang sesuai dengan

frekuensi gelombang radio (Elisa dkk., 2023). Spektrum gelombang radiasi elektromagnetik dapat dilihat dari panjang gelombangnya dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Spektrum gelombang elektromagnetik dilihat dari nilai panjang gelombang dan frekuensi

Spektrum Gelombang Elektromagnetik	Panjang Gelombang (m)	Frekuensi (Hz)
Sinar Gamma	10^{-12}	10^{20} – 10^{25} Hz
Sinar X	10^{-10}	10^{16} – 10^{20} Hz
Sinar <i>Ultraviolet</i>	10^{-8}	10^{15} – 10^{16} Hz
Cahaya Tampak	$0,5 \times 10^{-6}$	10^{15} Hz
Sinar Inframerah	10^{-5}	10^{11} – 10^{14} Hz
Gelombang Mikro	10^{-2}	10^9 – 10^{10} Hz
Gelombang Radio	10^3	10^3 – 10^8 Hz

Jenis-jenis gelombang elektromagnetik dapat dibedakan berdasarkan frekuensi dan panjang gelombangnya, seperti cahaya, gelombang radio, dan sinar-X. Meskipun ketiganya memiliki kecepatan rambat yang sama, frekuensi dan panjang gelombangnya berbeda. Gelombang elektromagnetik mencakup rentang frekuensi yang sangat luas, mulai dari 10^2 hingga 10^{25} Hz (Elisa dkk., 2023). Gelombang elektromagnetik terbentuk dari gabungan antara dua medan yang menyatukan medan magnet atau B dan medan listrik atau E. Kedua medan magnetik dan listrik ini melakukan getaran dengan arah yang sama-sama saling tegak lurus. Spektrum gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada **Gambar 18**.

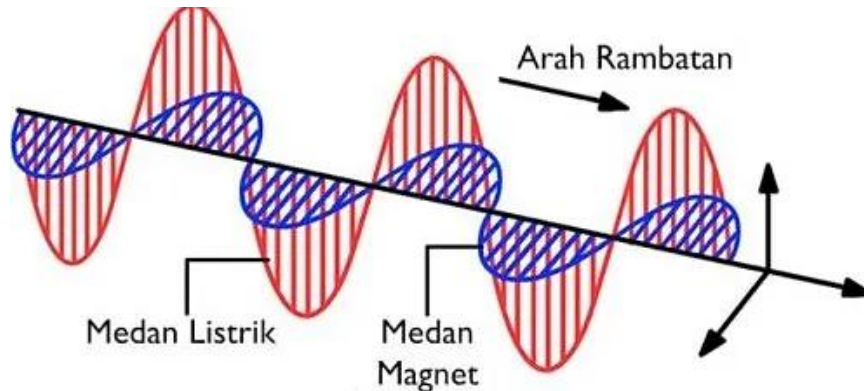


Gambar 18. Spektrum elektromagnetik (Telkom University, 2023).

Jumingin dkk. (2022), Pembentuk dari medan magnet B dan medan listrik E adalah suatu gelombang transversal yang mana arah rambatannya adalah tegak dan lurus

terhadap arah getarannya. Gelombang elektromagnetik diperoleh berdasarkan muatan listrik yang berosilasi kemudian mengalami percepatan atau dapat dinamakan muatan listrik ini yang dipercepat akan menimbulkan suatu gelombang elektromagnetik (Trisanti dan Sudarti, 2021).

Radiasi elektromagnetik dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu radiasi pengion dan radiasi non-pengion. Radiasi pengion memiliki frekuensi yang sangat tinggi dan energi yang cukup untuk memutus ikatan antar elektron. Sebaliknya, radiasi non-pengion memiliki frekuensi rendah dan energi yang tidak cukup untuk mengionisasi elektron (Hermawan dkk., 2021). Contoh radiasi pengion meliputi sinar-X dan sinar gamma, yang sering dimanfaatkan dalam dunia medis. Sementara itu, radiasi non-pengion mencakup sinar *ultraviolet*, sinar inframerah, gelombang mikro, dan gelombang radio (Iqlima, 2020). Interaksi radiasi elektromagnetik dengan materi terjadi melalui mekanisme kompleks yang bergantung pada frekuensi, intensitas, dan sifat materi yang dilaluinya. Arah rambatan dari medan listrik (E) dan medan magnet (B) terlihat seperti **Gambar 19**.



Gambar 19. Medan E dan Medan B pada gelombang elektromagnetik (Risma, 2022).

James Clerk Maxwell mengembangkan teori gelombang elektromagnetik pada tahun 1862–1864, di mana ia menghubungkan medan listrik dan medan magnet. Ia menyatakan bahwa perubahan medan listrik dapat memicu perubahan medan magnet dan begitu pula sebaliknya, sehingga interaksi keduanya menciptakan sebuah gelombang (Rasiman, 2023). Teori ini kemudian akan dibuktikan melalui percobaan yang dilakukan oleh Heinrich Hertz, yang menunjukkan bahwa gelombang yang dimaksud Maxwell benar-benar ada dan dikenal sebagai

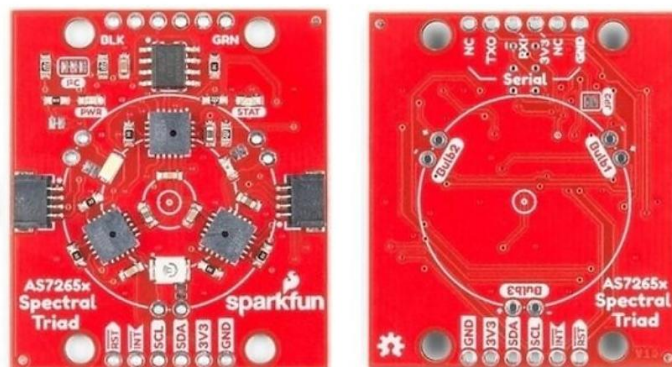
gelombang elektromagnetik (GEM). Menurut Maxwell, kecepatan gelombang elektromagnetik seperti Persamaan (2.7).

$$v = c = \frac{E}{B} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dalam Persamaan (2.7) mendapatkan nilai kecepatan gelombang elektromagnetik yaitu $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$. Medan listrik selalu berada dalam posisi tegak lurus terhadap medan magnet. Perkalian antara medan listrik E (N/C) dan medan magnet B (Tesla) selalu menghasilkan arah yang sesuai dengan arah gelombang berjalan. Kedua medan ini berosilasi secara sinusoida dengan frekuensi yang sama dan dalam fase yang sejalan satu sama lain (Trisanti dan Sudarti, 2021).

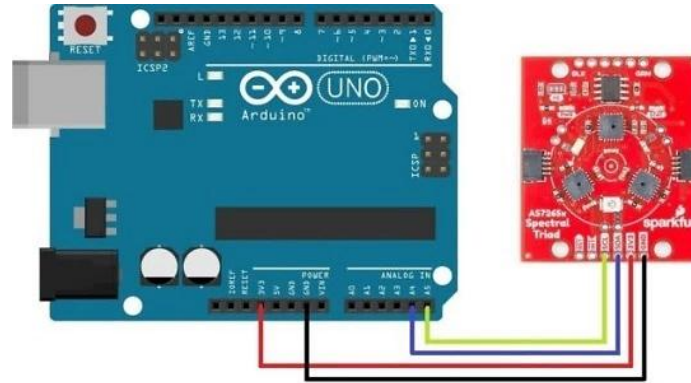
2.2.3 Modul Sensor AS7265x

Sensor AS7265x merupakan sensor spektroskopi triad paling sederhana dari Sparkfun yang juga dapat disebut sebagai Spektrofotometer. Perangkat yang dibentuk menggunakan dua Sensor Spektral Cerdas AS7265x yang respons spektralnya ditentukan dalam kisaran dari 410 nm hingga 940 nm, yang memungkinkan untuk memperoleh saluran dari spektrum cahaya tampak dan inframerah dekat (NIR). AS7265x terdiri atas tiga sensor yaitu AS72651 (UV), AS72652 (VIS), dan AS72653 (NIR) yang mampu mendeteksi cahaya dalam 18 pita dari panjang gelombang 410 nm, 435 nm, 460 nm, 485 nm, 510 nm, 535 nm, 560 nm, 585 nm, 610 nm, 645 nm, 680 nm, 705 nm, 730 nm, 760 nm, 810 nm, 860 nm, 900 nm dan 940 nm (Botero and Aguirre, 2021). Bentuk model sensor AS7265x dapat dilihat pada **Gambar 20**.



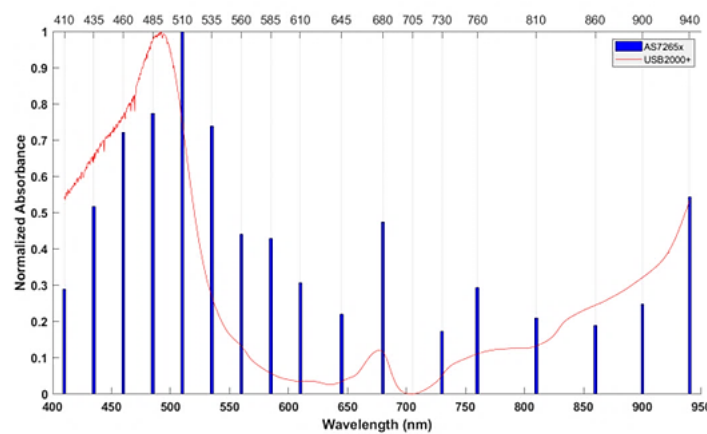
Gambar 20. Bentuk AS7265x Triad Spectroscopy Sensor (Brampton, 2022).

Konfigurasi ini memungkinkan penangkapan informasi spektral yang tepat dan sensitif yang sangat penting untuk mendeteksi dan mengukur berbagai kontaminan air. Brampton, (2022), sensor ini juga memiliki EEPROM yang dimuat oleh *firmware* yang menggerakkan sistem. Skematik sensor AS7265x dengan menggunakan Arduino Uno dapat dilihat pada **Gambar 21**.



Gambar 21. Skematik sensor AS7265x dengan Arduino Uno (Alam, 2022).

Seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 22**, yang menyertai respon spektral 18 saluran dari sensor AS7265X menunjukkan responsivitas yang dinormalisasi dari setiap saluran di seluruh spektrum panjang gelombang yang dialami (Durgun, 2024). Pada gambar tersebut menunjukkan spektrum serapan khas dari apel yang diperoleh oleh *chipset* AS7265x dan spektrometer USB2000+. Ada dua puncak serapan di daerah tampak, satu puncak sekitar 500 nm karena kandungan antosianin, yang lain sekitar 680 nm terkait dengan kandungan klorofil. Spektrum memiliki palung pada 705 nm dan meningkat secara bertahap di daerah inframerah dekat (Tran and Fukuzawa, 2020).



Gambar 22. 18 saluran respons spektral dari sensor AS7265x (Tran and Fukuzawa, 2020).

Setiap puncak mewakili responsivitas saluran tertentu yang sesuai dengan panjang gelombang tertentu 410 nm hingga 940 nm. Ketinggian yang bervariasi dari puncak ini mencerminkan sensitivitas relatif setiap saluran sensor pada panjang gelombang yang berbeda. Rentang ini memungkinkan deteksi dan kuantifikasi berbagai kontaminan yang tepat. Data spektral yang terkumpul kemudian diolah dan dianalisis untuk menentukan kualitas air (Durgun, 2024). Grafik respons spektral memberikan wawasan tentang kemampuan sensor untuk membedakan antara panjang gelombang yang berbeda. Misalnya, puncak di wilayah biru (410–485 nm) sangat penting untuk mendeteksi zat yang menyerap atau menyebarkan cahaya dalam spektrum UV, sedangkan puncak merah dan NIR (610–940 nm) menunjukkan kemampuan sensor untuk mendeteksi materi organik dan anorganik yang biasanya menyerap cahaya dalam panjang gelombang yang lebih panjang. Desain sensor AS7265X memungkinkan deteksi simultan dari beberapa panjang gelombang yang memungkinkan analisis simultan berbagai bahan kimia dan konstituen biologis dalam air. Pendekatan multipleks ini tidak hanya meningkatkan efisiensi proses deteksi, tetapi juga secara signifikan meningkatkan kemampuan analitik sistem (Brampton, 2022).

2.2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah *single chip* mikrokomputer yang memiliki kemampuan untuk memprogram dengan tugas yang berorientasi *control* berbentuk *Integrated Circuit* (IC) yang dirancang untuk perangkat dengan kebutuhan komputasi sederhana, biaya rendah, dan tidak memerlukan pemrosesan yang rumit. Piranti elektronik ini dikendalikan melalui program khusus yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik pengguna (Ibadillah dan Alfita, 2021). Keistimewaan mikrokontroler terletak pada kemampuannya memiliki *port* masukan dan *port* keluaran yang memungkinkannya melakukan berbagai fungsi seperti mengumpulkan data, mengontrol perangkat, dan menghasilkan informasi sesuai dengan program yang telah ditanamkan di dalamnya. Dengan karakteristiknya yang fleksibel, mikrokontroler menjadi solusi untuk berbagai aplikasi elektronik yang membutuhkan pemrosesan sederhana.

Fatmawati dkk. (2020), Arduino merupakan salah satu jenis mikrokontroler canggih yang dirancang sebagai sistem *embedded* komputer dengan kemampuan memprogram berbagai fungsi *input* dan *output*. Pada pertengahan dekade 2000, tepatnya tahun 2005, Massimo Banzi dan David Cuartielles mengenalkan platform Arduino dengan motivasi menghadirkan solusi elektronik yang lebih lalu ekonomis untuk keperluan akademis, khususnya untuk mahasiswa yang membutuhkan perangkat pengendali proyek dengan biaya terjangkau. Platform ini merupakan sistem *open source* yang memungkinkan pengguna merancang sistem komputasi fisik dengan kompleksitas rangkaian I/O yang sederhana. Arduino dilengkapi dengan pengembangan yang mengadopsi bahasa pemrograman *processing*, sehingga memungkinkan para pengembang untuk membuat objek interaktif mandiri atau menciptakan koneksi antara perangkat elektronik dengan perangkat lunak *computer* (Anantama dkk., 2020).

Arduino adalah *platform* pembuatan *prototipe* elektronik yang bersifat *open source hardware* berdasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan mudah digunakan (Masril dkk., 2024). Budihartono dan Supriyono (2023), *hardware* memiliki prosesor yang menggunakan mikrokontroler AVR buatan ATMEL sebagai komponen intinya. Terdapat berbagai macam varian Arduino yang telah dikembangkan, seperti Arduino Uno, Duemilanove, Mega, Nano, Romeo, dan beberapa tipe lainnya. Platform ini memungkinkan para pengembang elektronika untuk merancang berbagai macam proyek dengan mudah dan fleksibel. Menurut Junaidi dkk. (2020), bahwa Arduino dikategorikan menjadi 2 macam yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

1. Perangkat keras (*hardware*)

Papan Arduino terdiri dari beberapa komponen. Adapun blok komponen utama dari papan Arduino beserta fungsinya yaitu sebagai berikut:

- a. Mikrokontroler merupakan bagian utama dari Arduino yang berfungsi sebagai komputer mini dan dapat menerima serta mengirim informasi atau perintah ke perangkat yang terhubung dengannya.
- b. Pin analog terdiri dari sejumlah pin yang dimulai dari A0 hingga A15. Pin ini digunakan untuk masukan atau keluaran analog.

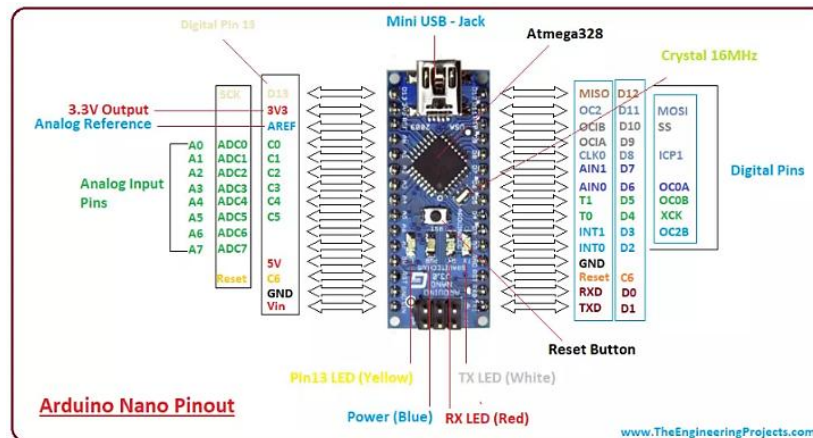
- c. Pin I/O digital terdiri dari beberapa pin yang dimulai dari 2 hingga pin 16. Pin ini digunakan untuk *input* atau *output* (I/O) digital. Jumlah pin digital juga bervariasi sesuai dengan jenis Arduino tertentu.
- d. Pin power dan GND menyediakan tegangan 3,3 volt, 5 volt dan *ground*. Memberikan sumber daya dan koneksi *grounding* yang penting bagi berbagai komponen pada papan Arduino.
- e. Catu daya eksternal digunakan untuk memberi daya pada *board* Arduino dengan tegangan yang diatur mulai dari 9-12 volt.
- f. USB *plug* digunakan untuk mengunggah suatu program ke mikrokontroler menggunakan kabel USB.
- g. Program internal merupakan kode perangkat lunak yang dapat diunggah ke mikrokontroler melalui *port* USB.
- h. Tombol reset yang berada pada papan Arduino dapat digunakan untuk mengatur ulang mikrokontroler Arduino.

2. Perangkat lunak (*software*)

Kode program yang ditulis untuk Arduino dikenal sebagai *sketch*. *Sketch* merupakan istilah kode program untuk Arduino. Perangkat lunak yang digunakan untuk mengembangkan *sketch* tersebut untuk arduino umumnya dikenal sebagai *Arduino Integrated Development Environment* (IDE). Perangkat lunak ini berisi bagian-bagian di dalamnya seperti yang dijelaskan sebagai berikut:

- a. *Text* editor merupakan tempat untuk kode sederhana dapat ditulis menggunakan versi bahasa pemrograman C ++ yang disederhanakan.
- b. *Message* area merupakan area untuk menampilkan kesalahan dan juga memberikan umpan balik tentang menyimpan dan mengirim kode.
- c. *Text* menampilkan keluaran teks dari lingkungan Arduino termasuk pesan kesalahan lengkap dan informasi lainnya.
- d. *Console toolbar* ini memuat berbagai tombol seperti *compile*, *upload*, *new*, *open*, *save*, dan serial monitor.

Pada sudut kanan bawah jendela menampilkan *board* dan *port* serial yang digunakan. Perangkat keras Arduino terdiri dari beberapa bagian pada setiap jenisnya. Perangkat keras Arduino Nano ditunjukkan pada **Gambar 23**.



Gambar 23. Pin out Arduino Nano (Watson, 2024).

Arduino Nano adalah sebuah mikrokontroler kompak yang ditenagai oleh IC Atmega328P. Keunggulan utama Arduino Nano terletak pada desainnya yang lebih kecil dan simpel, sehingga dengan ukuran fisik yang lebih kecil dan jumlah pin I/O yang lebih sedikit. Berikut beberapa penjelasan tentang Arduino yaitu:

a. Ukuran Fisik

Arduino Nano memiliki ukuran fisik yang kecil. Dimensinya sekitar 18x45 mm.

b. Mikrokontroler

Arduino Nano menggunakan mikrokontroler ATmega328P yang juga digunakan dalam Arduino Uno. Mikrokontroler ini juga memiliki AVR 8-bit dan berjalan pada kecepatan 16 MHz.

c. Pin I/O

Arduino Nano memiliki 14 pin digital I/O, 8 diantaranya dapat digunakan sebagai *Pulse Width Modulation* (PWM), dan 6 diantaranya dapat digunakan sebagai pin analog *input*. Selain itu, ada beberapa pin tambahan untuk keperluan khusus seperti komunikasi serial dan I2C.

d. Pemrograman

Arduino Nano dapat diprogramkan menggunakan arduino IDE yang sama seperti papan Arduino lainnya. Bahasa pemrograman C/C++ dan mengunggahnya ke papan menggunakan kabel USB.

e. Daya

Arduino Nano dapat ditenagai melalui koneksi USB atau dengan menggunakan sumber daya eksternal seperti baterai atau adaptor DC.

f. Kompatibilitas

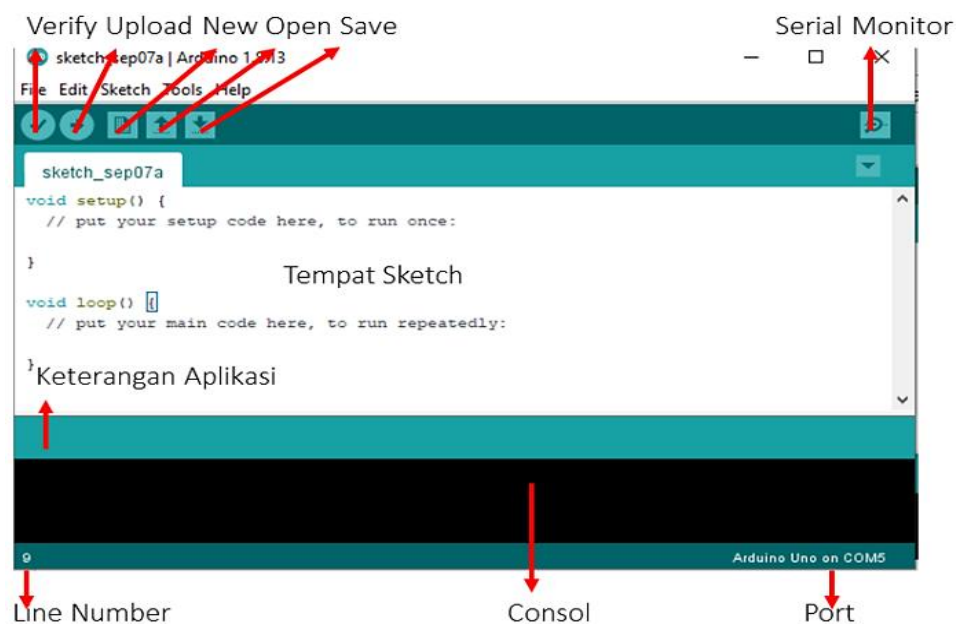
Meskipun lebih kecil dari Arduino lainnya, Arduino Nano ini memiliki fungsionalitas yang serupa dan kompatibilitas dengan banyak *shield*.

g. Aplikasi

Arduino Nano dapat digunakan dalam berbagai proyek elektronik dan pembelajaran, termasuk pengendalian perangkat, sistem pemantauan, robotika, dan lainnya (Khakim dan Budihartono, 2024).

2.2.5 Arduino Integrated Development Environment (IDE)

Arduino *Integrated Development Enviroment* (IDE) merupakan aplikasi yang dapat digunakan untuk menulis maupun mengunggah sebuah program ke papan mikrokontroler Arduino (Siregar dkk., 2024). Arduino IDE yang menggunakan bahasa pemrograman C++. Pemrograman ini diberikan fungsi *millis ()*, yang berfungsi untuk merekam *internal clock* dari Arduino pada saat fungsi tersebut dipanggil. Dalam pemrograman ini, aplikasi Arduino IDE berperan penting dalam memproses sinyal pada sistem elektrik dan mekanik yang memungkinkan pengembang untuk membuat, membuka, dan memodifikasi kode sumber Arduino yang biasa disebut "*Sketch*". Tampilan Arduino IDE ditunjukkan pada **Gambar 24**.



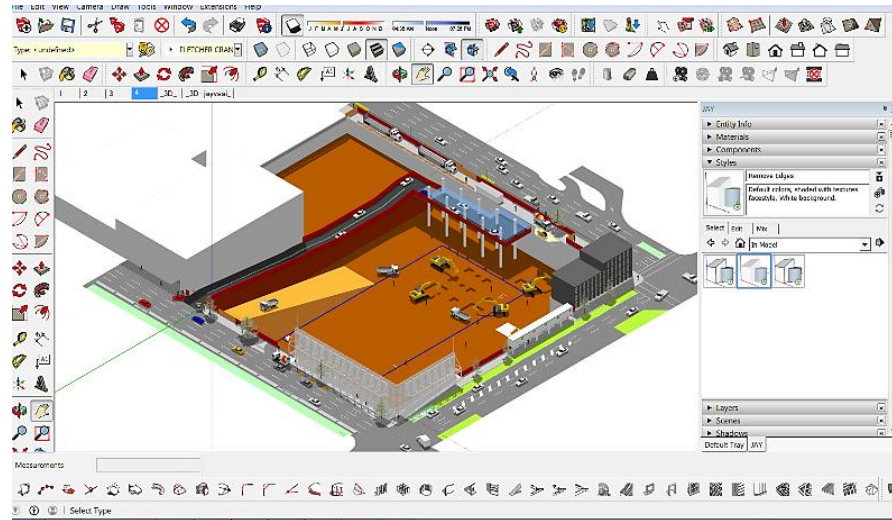
Gambar 24. Interface Arduino IDE (Santoso, 2020).

Interface Arduino IDE tampak seperti **Gambar 24** dari kiri ke kanan dan atas ke bawah, bagian-bagian Arduino IDE antara lain sebagai berikut:

- a. *Verify Code* berfungsi untuk mengubah *sketch* ke dalam bentuk kode biner untuk selanjutnya diunggah ke mikrokontroler.
- b. *Upload* berfungsi untuk mengunggah *sketch* ke papan Arduino.
- c. *New sketch* berfungsi untuk membuka *windows* dan membuat *sketch* baru.
- d. *Open sketch* berfungsi untuk membuka *sketch* yang sudah pernah dibuat.
- e. *Save sketch* berfungsi untuk menyimpan *sketch*.
- f. *Serial monitor* berfungsi untuk membuka *interface* untuk komunikasi serial.
- g. Keterangan aplikasi berfungsi untuk menampilkan pesan-pesan yang dilakukan aplikasi akan muncul disini, misalnya “*Compiling*” dan “*Done Uploading*” ketika mengkompilasi dan mengunggah *sketch* ke papan Arduino.
- h. *Konsol* berfungsi untuk menampilkan pesan-pesan yang dikerjakan aplikasi dan pesan-pesan tentang *sketch* akan muncul pada bagian ini. Misalnya, ketika aplikasi mengkompilasi atau ketika ada kesalahan pada *sketch* yang kita buat, maka informasi kesalahan dan baris akan diinformasikan di bagian ini.
- i. Baris *sketch* berfungsi untuk menunjukkan posisi baris kursor yang sedang aktif.
- j. Informasi *port* berfungsi untuk menginformasikan *port* yang dipakai oleh papan Arduino (Djafar dkk., 2021).

2.2.6 SketchUp

SketchUp merupakan salah satu program aplikasi perangkat lunak berbasis *Three-Dimensional* (3D) yang dapat digunakan untuk membantu menyempurnakan suatu gagasan desain kedalam model 3D (Sany, 2023). *SketchUp* bukanlah *Computer Assisted Design* (CAD) yang dirancang lebih kepada penekanan akurasi data desain dengan toleransi *command* (perintah pada program aplikasi) yang menjadi kompleks, *SketchUp* lebih dirancang untuk *eksplorasi* desain sehingga memiliki kemampuan kreasi yang sangat tinggi, mengamati, dan memodifikasi gagasan 3D dengan cepat dan dengan mudah karena ditunjang oleh *tool-set* (piranti/alat) yang sempurna sesuai kebutuhan desain namun dikemas secara sederhana (AlFajri dan Nasution, 2016). Bentuk dari *SketchUp* ditunjukkan pada **Gambar 25**.



Gambar 25. Bentuk *SketchUp* (Anonim, 2024).

Dengan *SketchUp* desain menjadi sangat *editable*, memodifikasi komponen sangat interaktif serta memiliki kemampuan komunikasi grafis, yang tidak kalah menariknya adalah *SketchUp* tetap memiliki kemampuan mendesain secara akurat, bahkan mendekati permasalahan pada tingkatan abstrak yang menjadi target desain. Dengan kemampuannya mendesain secara akurat selayaknya CAD maka *SketchUp* memiliki integrasi terhadap program aplikasi CAD. Dengan kelebihan tersebut *SketchUp* sangat efektif dan efisien dalam mendesain terutama untuk diaplikasikan dalam dunia kerja yang sangat mengutamakan kecepatan proses mewujudkan gagasan kedalam suatu model presentasi dengan tanpa mengabaikan totalitas desainnya itu sendiri (Nasukha dkk., 2023).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan mulai dari bulan Desember 2024 sampai Agustus 2025 di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi serta Ruang Laboratorium di Fisika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini alat yang digunakan yaitu:

1. Laptop, digunakan untuk membuat suatu program dan mengolah data.
2. Penggaris, digunakan untuk mengukur panjang dan lebar bahan kotak alat.
3. Arduino Nano, digunakan untuk sistem kontrol masukkan, memproses data, dan keluaran.
4. Sensor AS7265x, digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya secara simultan.
5. *Organic Light Emitting Diode* (OLED) 1,3 inci, digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan secara langsung nilai panjang gelombang atau nilai absorbansi maupun transmitansi yang dihasilkan.
6. *Cuvette*, digunakan untuk menampung sampel.
7. Kabel USB, digunakan untuk mengunggah program ke papan Arduino Nano.
8. Solder, digunakan untuk merakit maupun membongkar rangkaian elektronika.
9. Mesin CNC, digunakan untuk memotong dan membuat lubang pada kotak alat berbahan akrilik.
10. Pipet Ukur/Tetes, digunakan mengambil campuran sampel.

Selain dari alat-alat tersebut, adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Pertalite, digunakan untuk bahan bakar sampel.
2. Air Murni/Aquades, digunakan untuk campuran pertalite.
3. Botol Sampel, digunakan menampung sampel.
4. Akrilik, digunakan untuk membuat kotak alat.
5. *Double Tape*/Lem Akrilik, digunakan untuk merakit akrilik dan pcb bolong.
6. Kabel *Jumper*, digunakan untuk menghubungkan komponen elektronika.
7. Kawat timah, digunakan untuk menyolder komponen elektronik.

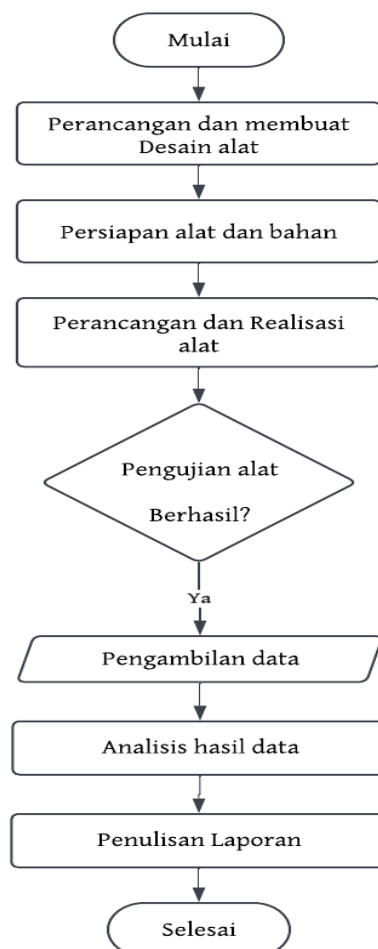
Selanjutnya ada beberapa perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Arduino IDE, digunakan untuk membuat dan mengedit suatu codingan program yang akan dimasukkan ke mikrokontroler.
2. *SkethUp*, digunakan untuk membuat desain 3D dari alat yang akan dibuat.
3. *Fritzing*, digunakan untuk membuat skematik dan *layout* rangkaian.
4. *Mendeley*, digunakan untuk memasukkan daftar pustaka.

3.3 Prosedur Penelitian

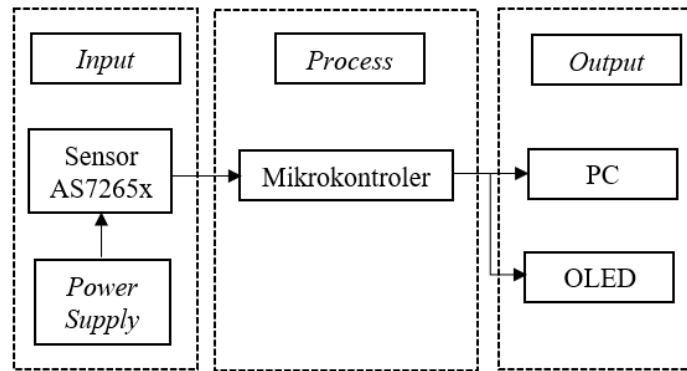
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah alat portabel yang dapat mengidentifikasi senyawa berbasis sensor AS7265x dan dapat menjadi alat koreksi untuk membandingkan identifikasi secara manual. Langkah utama melakukan penelitian ini dimulai dengan melalui beberapa tahapan, antara lain yaitu studi literatur, desain alat, perancangan sistem, pembuatan alat, pengujian alat, pengambilan data dan analisis data. Perancangan alat dimulai dengan menyiapkan komponen-komponen yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu berupa Arduino Nano, sensor AS7265x, dan OLED yang akan menggunakan Arduino IDE sebagai pembuatan serta menjalankan program. Setelah menjalankan program selesai, kemudian dilanjutkan dengan merealisasi alat. Tahap selanjutnya yang akan dilakukan yaitu pengujian alat dengan pengambilan dan menganalisis data untuk

mengetahui nilai absorbansi dan transmitansi dari setiap variasi sampel yang digunakan. Terakhir yaitu menyusun laporan yang telah dibuat dari proyek pembuatan alat spektrometer Vis-IR. Secara keseluruhan prosedur penelitian mengenai desain dan realisasi sistem untuk spektrometer Vis-IR ini dapat dilihat diagram alir yang ditunjukkan pada **Gambar 26**.



Gambar 26. Diagram alir penelitian.

Dalam proses perancangan dan realisasi alat terdapat tiga bagian inti dari suatu rancangan sistem, yaitu blok *input* (masukan sistem), blok proses (proses pengolahan data dari *input* ke *output*), dan blok *output* (keluaran sistem dalam bentuk tampilan). Berikut adalah diagram blok rancangan sistem yang akan digunakan untuk aplikasi alat spektrometer Vis -IR yang ditampilkan pada **Gambar 27**.



Gambar 27. Diagram blok perencanaan sistem.

Komponen-komponen yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari sensor AS7265x, *power supply*, mikrokontroler (Arduino Nano), *Personal Computer* (PC), dan OLED. Sistem spektrometer ini memiliki masukan (*input*) dari modul sensor spektroskopi AS7265x yang dapat mengukur dan mengkarakterisasi bagaimana berbagai jenis bahan menyerap atau memantulkan 18 frekuensi cahaya berbeda mulai dari 410-940nm. Sensor AS7265x ini menghasilkan nilai yang diskrit yang mana sensor ini dapat berkomunikasi melalui protokol *Inter-Integrated Circuit* (I2C) dan *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* (UART). Keunggulan sensor AS7265x terletak pada deteksi spektrum yang luas dan presisi tinggi, sensor spektral kalibrasi internal yang sudah dikalibrasi oleh pabrik, komunikasi fleksibel, dapat mengukur banyak parameter warna, memiliki kontrol untuk LED internal, serta terdiri dari 3 chip yang bekerja sama, sehingga dapat mengambil data dari spektrum yang lebih luas.

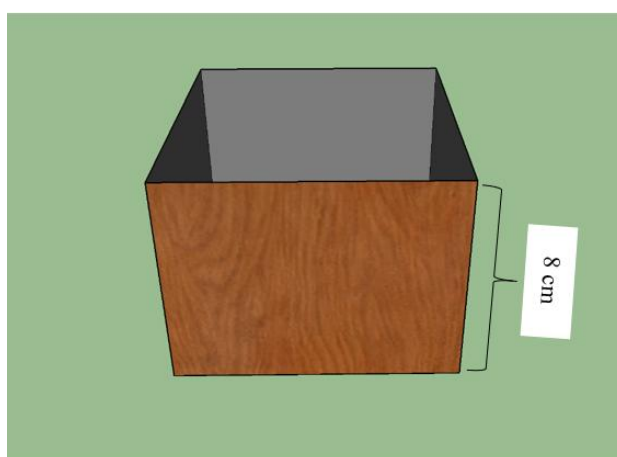
Pada bagian proses terdapat mikrokontroler yaitu Arduino Nano yang berperan sebagai unit pemroses utama atau otak dari sistem yang akan dijalankan. Kelebihan Arduino Nano dibandingkan dengan Arduino lainnya seperti Uno dan Mega adalah terletak pada ukuran dan efisiensi yang tidak memerlukan terlalu banyak *input* atau *output*. Secara ukuran yang kecil dan ringkas, Arduino Nano ini cocok digunakan untuk proyek dengan ruang terbatas seperti alat portabel ataupun sistem tertanam. Sedangkan dari segi biaya, Arduino Nano juga lebih terjangkau yang menjadikannya sebagai pilihan tepat untuk proyek berskala kecil.

Sedangkan pada bagian keluaran (*output*), terdapat PC dan OLED. Modul sensor AS7265x akan mengambil data yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Data yang

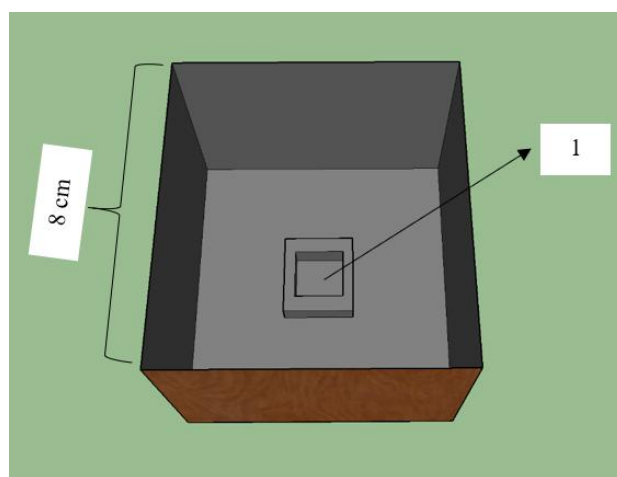
didapat akan terlihat pada laptop untuk menganalisis dan membuat grafik. Karena alat ini portabel, maka kita menggunakan OLED untuk menampilkan secara langsung nilai data yang didapatkan berupa nilai absorbansi dan transmitansi dari panjang gelombang tertinggi dari rentang Vis dan rentang IR.

3.4 Desain dan Perancangan Alat

Desain alat spektrometer Vis-IR yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi suatu gugus maupun molekul senyawa ini menggunakan suatu bahan seperti akrilik yang akan dibentuk berupa rancangan kotak alat. Pada alat ini tampilan dalam kotak yaitu penyanggah wadah dengan ukuran kotak yang memiliki panjang, lebar, dan tinggi sebesar 8 cm dapat dilihat pada **Gambar 28** bagian (a) dan (b).



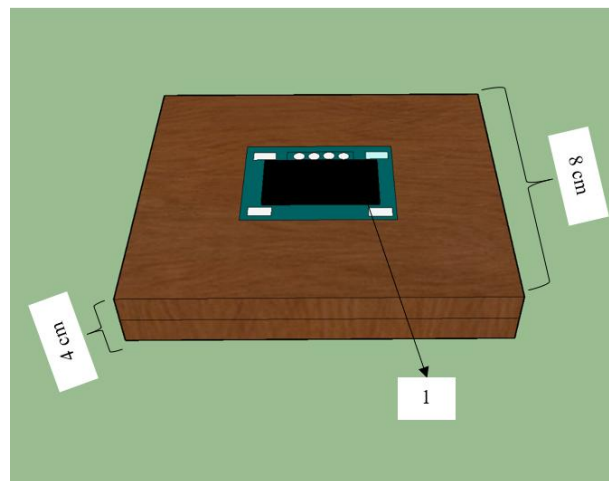
(a)



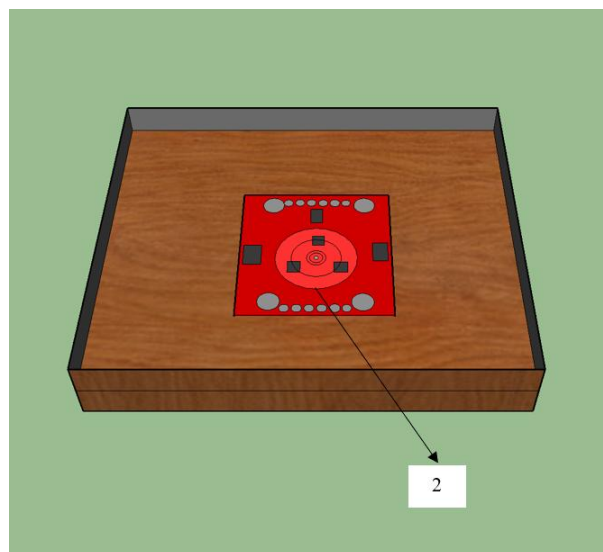
(b)

Gambar 28. Desain alat penelitian kotak alat, (a) tampak depan, dan (b) tampak atas, dengan (1) Tempat wadah.

Pada tampilan tutup kotak terdapat beberapa komponen lainnya seperti modul AS7265x, Arduino Nano dan OLED yang dapat dilihat pada **Gambar 29** bagian **(a)** dan **(b)** dengan ukuran tutup kotak yang memiliki panjang dan lebar 8 cm serta tinggi 4 cm. Pada bagian dalam kotak terdapat Arduino Nano dengan samping tutup kotak terdapat tempat kabel USB. Proses dari bekerjanya alat ini yaitu, pertama kita memasukkan sampel ke dalam wadah. Lalu memasukkan wadah ke dalam kotak sesuai penyangga yang telah disediakan dan menutup kotak tersebut yang dimana sensor AS7265x sejajar dengan wadah. Setelah itu, sensor tersebut akan langsung memproses data yang diperoleh dari sampel dan akan terlihat nilai absorbansi serta transmitansi spektrum Vis-IR pada layar OLED.



(a)

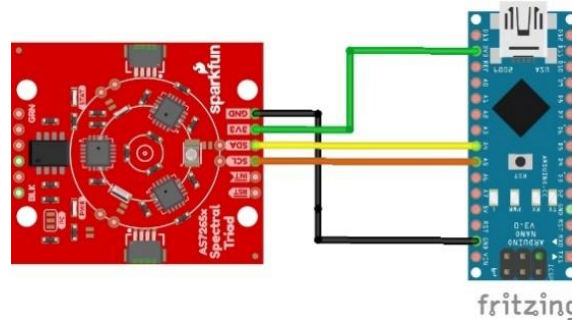


(b)

Gambar 29. Desain tutup kotak, **(a)** tampak atas dan **(b)** tampak bawah, dengan (1) OLED, dan (2) Modul AS7265x.

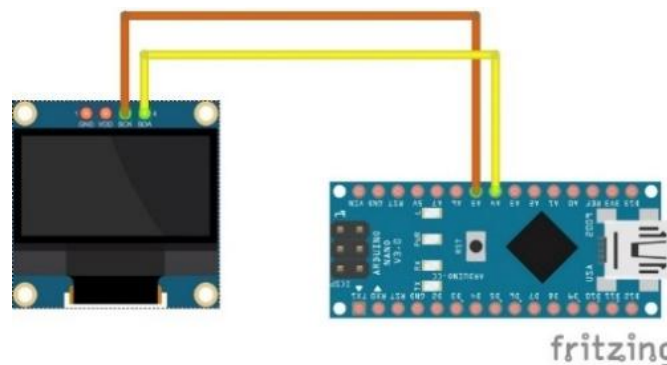
3.4.1 Perancangan Skematik

Komponen yang digunakan dalam spektrometer adalah Arduino Nano, Modul sensor AS7265x, *jumper* dan OLED 1,3 inci. Desain skematik perancangan sistem dapat dilihat pada **Gambar 30** sampai **Gambar 32**.



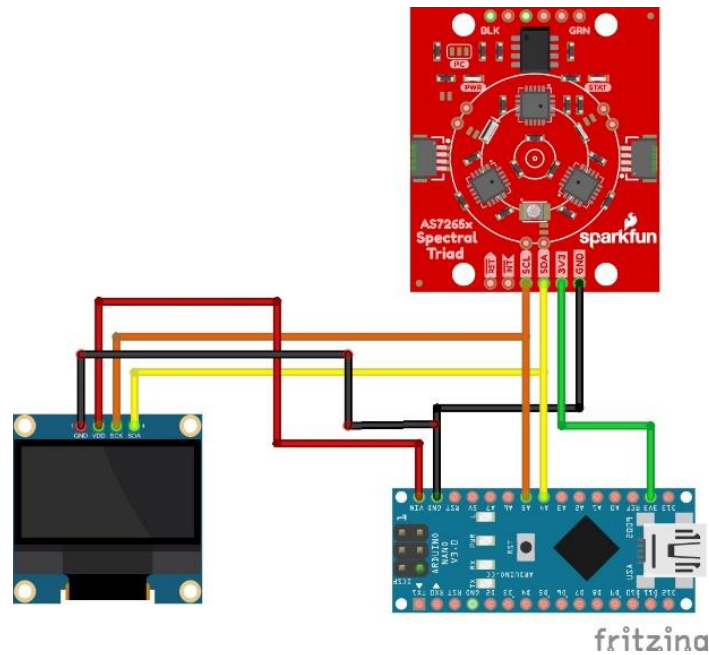
Gambar 30. Skematik sistem sensor AS7265x.

Pada **Gambar 30** merupakan skematik sistem sensor AS7265x dengan menggunakan Arduino Nano sebagai proses untuk mengendalikan sensor AS7265x. Sensor AS7265x sebagai pengukur nilai absorbansi dan transmitansi dari sebuah sampel dengan menggunakan tiga sumber masukan, yaitu cahaya Vis-IR. Sensor ini dihubungkan dengan Arduino Nano, yaitu pin SCL dihubungkan dengan pin A5, pin SDA dihubungkan dengan pin A4, pin 3V3 dihubungkan dengan pin 3V, dan pin GND dihubungkan dengan pin GND.



Gambar 31. Skematik sistem OLED.

Pada **Gambar 31** dengan OLED 1,3 inci sebagai tampilan dalam proses memilih absorbansi ataupun transmitansi. Pin OLED tidak seluruhnya dihubungkan dengan Aduino, hanya pin SDA yang dihubungkan dengan pin A4 dan pin SCL yang dihubungkan dengan pin A5. **Gambar 32** merupakan desain skematik keseluruhan rangkaian sistem dari alat spektrometer yang akan dibuat.



Gambar 32. Skematik sistem alat spektrometer.

Pada **Gambar 32** merupakan rangkaian keseluruhan alat, yang mana pada pin Vcc sensor terhubung dengan 3V3 di pin Arduino Nano, sedangkan pin Vcc OLED terhubung dengan pin 5V. Pin GND dari sensor dan OLED ditempat yang sama. Begitu juga dengan pin SCL dan SDA pada sensor maupun OLED ditempat yang sama yaitu pin A4 untuk pin SDA dan pin A5 untuk pin SDL. Dapat menggunakan di tempat yang sama pada 2 pin yaitu pin SDA dan SCL dikarenakan keduanya sudah menggunakan komunikasi I2C, yang memungkinkan beberapa perangkat dapat berbagi jalur yang sama selama masing-masing memiliki alamat I2C yang berbeda.

3.5 Kalibrasi Sensor AS7265x

Kalibrasi sensor AS7265x ini dilakukan dengan 2 macam, yaitu kalibrasi hitam dan kalibrasi blanko agar pengukuran lebih akurat. Jenis kalibrasi tersebut sangat penting dalam memastikan data spektral yang diperoleh benar-benar mencerminkan karakteristik sampel yang sedang dianalisis, bukan dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal seperti *noise* atau bias instrumen. Hasil pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan setiap kalibrasinya dengan menampilkan data akhir yang sudah nilai rata-rata yang ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Data kalibrasi hitam dan blanko pada sensor AS7265x

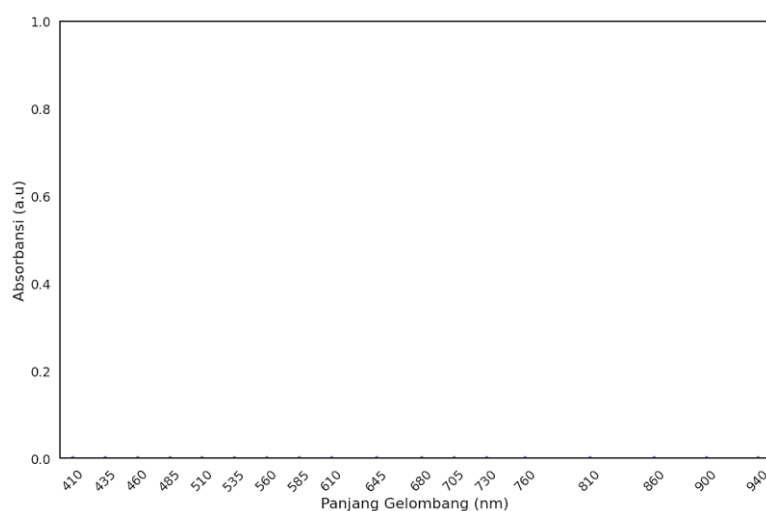
No.	Panjang Gelombang (nm)	Intensitas Cahaya (Cd)	
		Kalibrasi Hitam	Kalibrasi Blanko
1	410		
2	435		
3	460		
.	.		
.	.		
.	.		
18	940		

Selanjutnya adalah pengujian yang dilakukan untuk melihat konsisten ataupun tidak alat dengan melakukan pengukuran sebanyak 3 kali pengulangan dari sampel dan menampilkan data yang didapat dari panjang gelombang 410-940 nm seperti **Tabel 4**.

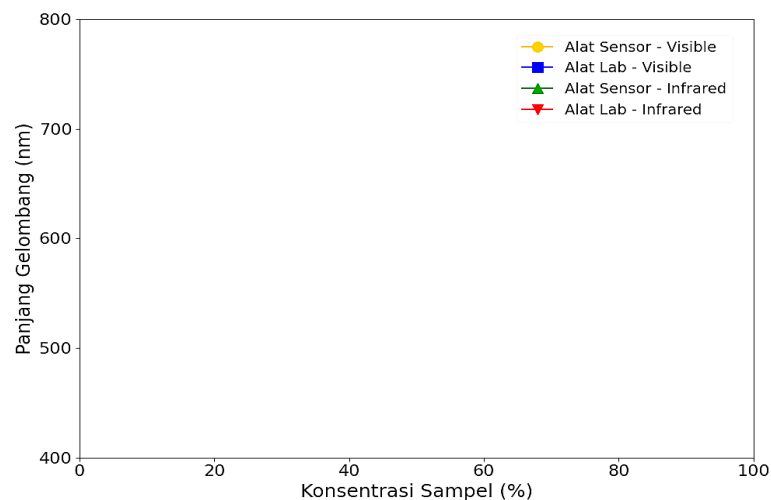
Tabel 4. Data pengulangan dari sampel pertalite 90%

No	Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (a.u)		
		1	2	3
1	410			
2	435			
.	.			
.	.			
.	.			
18	940			

Berdasarkan data pada **Tabel 4** menghasilkan grafik konsisten 3 kali pengulangan antara panjang gelombang terhadap transmitansi seperti pada **Gambar 33**.

**Gambar 33.** Grafik antara panjang gelombang (nm) terhadap nilai absorbansi dari sampel pertalite 90%.

Berdasarkan data pada **Tabel 5** dan **Tabel 6** menghasilkan grafik keakuratan antara sensor AS7265x terhadap spektrofotometer UV-1780 seperti pada **Gambar 34**.



Gambar 34. Grafik keakuratan sensor AS7265x dengan alat lab spektrofotometer UV-1780.

3.6 Pengujian dan Pengambilan Data Alat Spektrometer Vis-IR

Pengujian alat spektrometer ini melakukan 10 sampel dengan sampel yang divariasikan nilai konsentrasinya dari pertalite hingga air murni untuk melihat hasil spektrum yang dihasilkan. Saat ingin menguji sampel, sebelum ditaruh ke kuvet baiknya guncang sampel terlebih dahulu 10 detik. Karena sifat pertalite (non-polar) dan air (polar) yang tidak saling larut (*immiscible*), kedua cairan ini akan membentuk lapisan-lapisan terpisah ketika dicampurkan. Setiap sampel perlu diguncang secara manual selama kurang lebih 10 detik sebelum dilakukan pengukuran, sehingga terbentuk emulsi sementara. Setelah itu, ambil sampel menggunakan pipet dan dimasukkan ke dalam kuvet dengan penuh serta taruh ditempat jalur optik sensor. Sensor AS7265x akan membaca intensitas cahaya pada 18 panjang gelombang dari 410-940 nm. Lalu, data akan diambil menggunakan Arduino Nano dan di transmisikan ke PC serta menampilkan pada layar OLED.

Percobaan ini menghasilkan spektrum yang diskrit dari panjang gelombang Vis-IR. Setiap pengujian sampel dengan konsentrasi yang berbeda akan menghasilkan nilai spektrum, absorbansi, dan transmitansi yang berbeda pula dan akan tercatat pada

OLED. Data dari percobaan spektrometer ini mendapatkan nilai panjang gelombang, absorbansi dan transmitansi yang dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Data Pengujian panjang gelombang, absorbansi, dan transmitansi Spektrum Vis dan IR dengan sampel Pertalite-Air Murni

No	Konsentrasi Sampel (%)	Spektrum	λ (nm)	Absorbansi (a.u)	Transmitansi (a.u)
1	0	Vis IR			
2	20	Vis IR			
.	.	Vis IR			
.	.	Vis IR			
10	100	Vis IR			

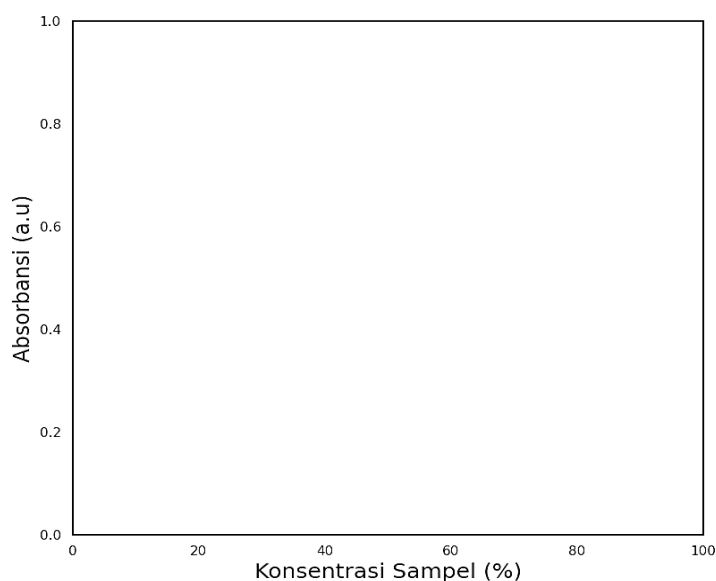
Setelah mengambil data dengan menggunakan alat spektrometer Vis-IR yang telah dibuat, maka selanjutnya akan mengambil data dengan menggunakan alat standar yaitu spektrofotometer *double-beam* shimadzu UV-1780 untuk membandingkan hasil yang didapat. Data yang dihasilkan dari percobaan alat spektrofotometer *double-beam* mendapatkan nilai panjang gelombang, absorbansi dan transmitansi dari masing-masing alat yang dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Data referensi panjang gelombang, absorbansi, dan transmitansi Spektrum Vis dan IR dengan sampel Pertalite-Air Murni pada alat lab

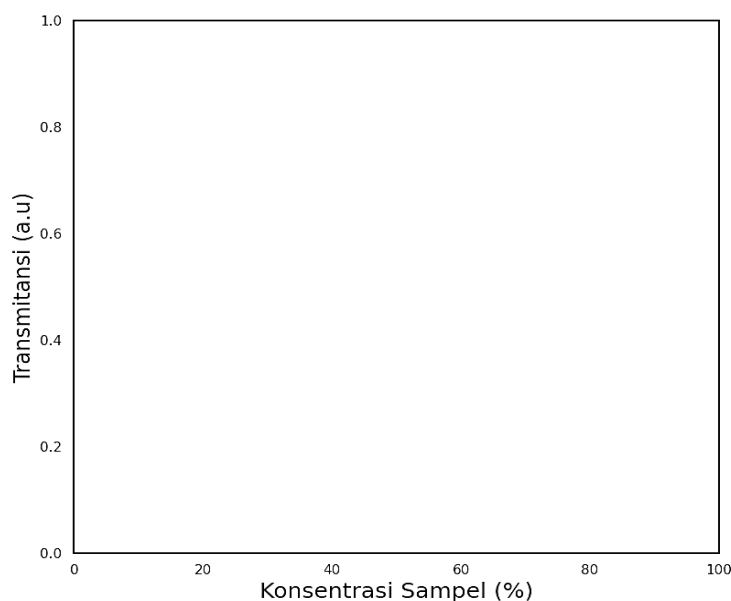
No	Konsentrasi Sampel (%)	Spektrum	λ (nm)	Absorbansi (a.u)	Transmitansi (%)
1	0	Vis IR			
2	20	Vis IR			
.	.	Vis IR			
.	.	Vis IR			
10	100	Vis IR			

Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan berupa data yang akan di analisa. Data yang diperoleh yaitu nilai absorbansi dan transmitansi dari nilai panjang

gelombang dengan beberapa sampel yang dibedakan konsentrasinya. Kemudian akan di plot pada grafik hasil spektrum. Grafik-grafik tersebut akan menampilkan perbandingan antara panjang gelombang Vis-IR dengan nilai absorbansi serta nilai transmitansi. Nilai data absorbansi dan transmitansi dari panjang gelombang tertinggi dari masing-masing pengukuran spektrum *visible* dan *infrared* akan ditampilkan pada layar OLED. Hasil spektrum akan direpresentasikan dalam bentuk kurva grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 35** dan **Gambar 36**.



Gambar 35. Grafik hubungan Absorbansi terhadap konsentrasi sampel dari spektrum Vis maupun IR.



Gambar 36. Grafik hubungan Transmitansi terhadap konsentrasi sampel dari spektrum Vis maupun IR.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Spektrometer Vis-IR telah berhasil direalisasikan sebagai alat spektrometer berbasis sensor AS7265x menggunakan Arduino Nano yang mampu mengukur intensitas spektral dalam rentang panjang gelombang 410-940 nm (rentang *visible-infrared*).
2. Resolusi spektral alat yang dikembangkan berhasil dioptimalkan dengan cara kalibrasi hitam dan blanko sehingga diperoleh hasil data pengukuran yang ketelitian dan konsistensinya lebih baik dalam mendeteksi karakteristik spektral.
3. Kalibrasi untuk sistem dilakukan dengan mengacu pada alat spektrofotometer *double-beam* shimadzu UV-1780 sebagai alat referensi yang dapat memungkinkan perbandingan maupun validasi hasil pengukuran antara alat spektrometer yang dikembangkan dengan alat standar laboratorium dengan akurasi yang didapatkan sebesar 97,75% dan 99,06% dari spektrum *visible-infrared*.
4. Alat spektrometer yang dikembangkan sudah mampu digunakan untuk menganalisis perubahan nilai absorbansi dan transmitansi yang di akibatkan oleh pencampuran air murni ke dalam bahan bakar pertalite. Sehingga, dari variasi kadar air menunjukkan perbedaan respons spektral yang cukup signifikan, khususnya pada panjang gelombang tertentu dalam rentang *visible* dan *infrared*.

5.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya ini sebagai berikut.

1. Dapat mengintegrasikan sistem penyimpanan data otomatis untuk merekam hasil pengukuran dalam jangka panjang dan memperluas jenis sampel yang akan diuji untuk memperluas aplikasi spektrometer ini seperti pada bidang analisis makanan ataupun lingkungan.
2. Dapat mengintegrasikan menggunakan baterai isi ulang sebagai catu daya mandiri agar lebih praktis digunakan diluar laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Abriyan, E., Nissa, A. K., Nurcahyani, I., Haniatin, K., dan Andriyani, N. (2024). Analisis Hasil Penentuan Struktur Kimia Senyawa Asam Askorbat dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis Sebagai Bahan Ajar Kimia Analitik. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(11), 134–138.
- Abriyani, E., Alisthipa, S. R., Srifitriani, E., Lustianah, T., dan Khafina, A. S. (2022). Analisis Kadar Kafein Kopi, Teh, dan Coklat Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Journal of Comprehensive Science (JCS)*, 2(1), 7–15.
- Ahsan, S. F., Herawati, N., Muharram, Pertiwi, N., dan Dyah Darma Andayani. (2023). PKM Mandiri Pelatihan Aplikasi Spektroskopi IR dalam Mengidentifikasi Struktur Molekul bagi Mahasiswa Pendidikan Kimia Jurusan Kimia FMIPA UNM. *Vokatek : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(3), 151–155.
- Alauhdin, M., Tirza, E. W., dan Alighiri, D. (2021). Aplikasi Spektroskopi Inframerah untuk Analisis Tanaman dan Obat Herbal. *Inovasi Sains dan Kesehatan*, 4(1), 84–118.
- AlFajri, S., dan Nasution, I. N. (2016). Aplikasi Menggambar Teknik Bangunan dengan Menggunakan Metode Manual dan Digital. *Educational Building*, 2(1), 30–40.
- Anantama, A., Apriyantina, A., Samsugi, S., dan Rossi, F. (2020). Alat Pantau Jumlah Pemakaian Daya Listrik pada Alat Elektronik Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknologi dan Sistem Tertanam*, 1(1), 29–38.
- Anonim. (2024). *Tips dan Trik Membuat 3D Sketchup yang Baik dan Benar*. Branch Office. Jakarta.
- Astuti, N.C., Nuzulia, F., dan Suprijono, A. (2012). Isolasi dan Identifikasi Senyawa Alkaloid Buah Mahkota Dewa (*Phaleria macrocarpa* (Scheff) Boerl) Secara Spektrofotometri UV-Vis dan IR Serta Uji Toksisitas Akut Terhadap Larva *Artemia Salina* Leach. *Jurnal Farmasi Sains dan Komunitas*, 9(2), 66–70.
- Botero-Valencia, J. S., and Valencia-Aguirre, J. (2021). Portable Low-Cost IoT Hyperspectral Acquisition Device for Indoor/Outdoor Applications. *HardwareX*, 10(1), 216–224.

- Brampton. (2022). Interfacing Triad Spectroscopy Sensor AS7265x with Arduino. *How to Electronics*. 13 Nov 2024. <https://how2electronics.com/interfacing-triad-spectroscopy-sensor-as7265x-with-arduino/>
- Budihartono, E., dan Supriyono, D. K. (2023). *Monitoring Kualitas Air pada Budidaya Didroganik Berbasis Arduino*. NEM. Jawa Tengah.
- Das, A.J., Wahi. A., Kothari, I., and Raskar. R. (2016). Ultra-Portable, Wireless Smartphon Spectrometer for Rapid, Non-Destructive Testing of Fruit Ripeness. *Journal Scientific Reports*. 1(1), 1–8.
- Djafar, A., Kentjana, M. G., Kristiyanto, R., dan Afudin, Y. (2021). Rancang Bangun Automatic Hand Washing Station Dengan Menggunakan Mikrokontroller Arduino Uno R3. *EduMatSains : Jurnal Pendidikan, Matematika dan Sains*, 6(1), 175–186.
- Durgun, Y. (2024). Real-time Water Quality Monitoring using AI-enabled Sensors: Detection of Contaminants and UV Disinfection Analysis in Smart Urban Water Systems. *Journal of King Saud University - Science*, 36(9), 1–8.
- Eady, M., Payne, M., Sortijas, S., Bethea, E., and Jenkins, D. (2021). A Low-Cost and Portable Near-Infrared Spectrometer Using Open-Source Multivariate Data Analysis Software for Rapid Discriminatory Quality Assessment of Medroxyprogesterone Acetate Injectables. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 1(1), 256–266.
- Elisa, Syukri, M., dan Herliana, F. (2023). *Konsep Gelombang dan Penerapannya dalam Kehidupan*. Syiah Kuala University Press. Aceh.
- Fatmawati, K., Sabna, E., dan Irawan, Y. (2020). Rancang Bangun Tempat Sampah Pintar Menggunakan Sensor Jarak Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Riau Journal of Computer Science*, 6(2), 124–134.
- Harahap, A. C. P., Harahap, D. P., dan Harahap, S. R. (2020). Analisis Tingkat Stres Akademik pada Mahasiswa Selama Pembelajaran Jarak Jauh dimasa Covid-19. *Biblio Couns : Jurnal Kajian Konseling dan Pendidikan*, 3(1), 10–14.
- Hartanti, D. A. S. (2021). *Teknik Analisis Limbah Cair*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas KH. A. Wahab Hasbullah. Jombang.
- Hiswara, E. (2023). *Buku Pintar Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Rumah Sakit*. Penerbit Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Jakarta Pusat.
- Hermawan, M. A., Nurbaiti, U., dan Yulianti, I. (2021). Pengaruh Jumlah Komputer Terhadap Tingkat Radiasi Elektromagnetik dan Dampak Kesehatan Manusia dalam Lingkungan Teradiasi. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 21(1), 32–34.
- Ibadillah, A. F., dan Alfita, R. (2021). *Mikrokontroler dan Aplikasinya*. Media Nusa Creative. Malang.

- Idris Nasrullah. (2022). *Spektroskopi Plasma Laser*. Syiah Kuala University Press. Aceh.
- Iqbal, Z., Al, R. D. F., Sutan, S. M., Nauri, A. R., Rhamadan, I., Fausi, R. R., dan Himawan, H. (2024). Studi Miniatur UV/Vis/Nir Spektrometer untuk Proses Kuantifikasi Mutu Biji Kopi dengan Protokol Cupping Test. *Jurnal Teknotan*, 18(1), 1–9.
- Iqlima, M. N. (2020). Kerusakan Sel Hepar Akibat Paparan Radiasi Elektromagnetik Telepon Seluler. *Ibnu Sina: Jurnal Kedokteran dan Kesehatan - Fakultas Kedokteran Universitas Islam Sumatera Utara*, 19(1), 40–45.
- Jawad, D. F., Farida, I., dan Sukamawardani, Y. (2021). Pembuatan Kit Eksperimen Spektrofotometer LED Sederhana untuk Analisis ION Logam Besi dalam Air. *Seminar Nasional Tadris Kimiya*, 2(1), 1–14.
- Jumingin, Atina, A., Iswan, J., Haziza, N., dan Ashari, B. (2022). Radiasi Gelombang Elektromagnetik yang Ditimbulkan Peralatan Listrik di Lingkungan Universitas PGRI Palembang. *Journal Online of Physics*, 7(2), 48–53.
- Junaidi, J., Hesti, H. W., Sri, S. W., dan Amir, S. (2020). Kontrol Kecepatan dan Temperatur dengan Teknik Pulse Width Modulation untuk Aplikasi Hotplate Stirrer Berbasis Arduino. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 17(1), 37–43.
- Kasim, S., Taba, P., Ruslan, dan Anto, R. (2020). Sintesis Nano partikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Sebagai Bioreduktor. *Kovalen: Jurnal Riset Kimia*, 6(2), 126–133.
- Khakim, L., dan Budihartono, E. (2024). *Implementasi Alat Komposter Berbasis Mikrokontroler*. Penerbit NEM. Jawa Tengah.
- Laganovska, K., Zolotarjovs, A., Vázquez, M., Mc Donnell, K., Liepins, J., Ben-Yoav, H., Karitans, V., and Smits, K. (2020). Portable Low-Cost Open-Source Wireless Spectrophotometer for Fast and Reliable Measurements. *HardwareX*, 7(1), 7–14.
- Lestari, F. (2010). *Bahaya Kimia: Sampling dan Pengukuran Konstaminan Kimia di Udara*. Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Mahardiani, L., Saputro, S., dan Ciptonugroho, W. (2024). *Nanopatikel Hematit Termomodifikasi Biopolimer*. CV. Panjang Putra Wijaya. Tangerang.
- Mardizal, J., Rizal, F., dan Syah, N. (2024). *Manajemen Kualitas Air*. Eureka Media Utama. Jawa Tengah.
- Masril, M. A., Aritonang, Mhd. A. S., Saputra, M. H. K., Mulia, S. B., Simatupang, F., Hasan, Nurjannah, D. R., Iskandar, R., Andaria, A. C., Caniago, D. P.,

- Hernando, L., dan Yuniarto, W. (2024). *Mikrokontroler dan Arduino*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah. Banda Aceh.
- Mudasir, dan Wahyuni, E. T. (2024). *Metode Spektrometri*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Nasukha, T. Z., Kuncoro, A. H. B., Rahmawati, D., dan Zhafira, T. (2023). Pelatihan Dasar Software SketchUp Kepada Remaja RT.04 RW.01 Desa Pepe Kecamatan Tegowanu Kabupaten Grobogan. *Jurnal Pengabdian Kolaboratif*, 1(2), 1–10.
- Nazar, M. (2018). *Spektroskopi Molekul*. Syiah Kuala University Press. Aceh.
- Ningrum, D. M., Permana, D. A. S., Harahap, M. R., Ulandari, A. S., Ghozaly, M. R., Bimmaharyanto, D. E., Sulistiyana, Ulya, T., Fardani, R. A., Hartanto, F. A. D., Umboro, R. O., Idawati, S., Ramdaniah, P., dan Suhada, A. (2023). *Buku Ajar Kimia Farmasi*. Samudra Biru. Yogyakarta.
- Nugroho, I., Putri, N., Adji, J. E. P., Nur, S. R., dan Sekarningrum, N. A. (2024). Tinjauan Kritis Kemampuan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dalam Analisis dan Karakteristik Senyawa Obat. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(15), 332–344.
- Nurjayadi, M., Romundza, F., and Moersilah, M. (2021). Application of the Lambert-Beer Legal Concept in Learning Spectroscopy UV-Vis with Simple Spectrophotometers. *Coference Proceedings*, 1(1), 1–7.
- Ovidiu, C. O., Camen, D., and Posta, G. (2021). General Considerations Regarding the use of UV-Vis-NIR Molispectral Sensors to Monitoring Plant Health in Field Conditions. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 25(1), 95–103.
- Putri, L. E. (2017). Penentuan Konsentrasi Senyawa Berwarna KMnO₄ dengan Metoda Spektroskopi UV Visible. *Natural Science Journal*, 3(1), 391–398.
- Rasiman, Y. (2023). Gelombang Elektromagnetik (GEM) Telepon Seluler dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *TNI Angkatan Udara*, 2(1), 1–9.
- Rohman, A., Irnawati, dan Riswanto.F. (2023). Analisis Farmasi dengan Spektrometer UV-Vis dan Kometrika. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Santoso, H. (2020). *Dasar-Dasar Arduino*. Universitas OSO. Kalimantan Barat.
- Sany, E. (2023). *Mahir Menggunakan Sketchup dan Enscape*. Pusat Pengembangan Pendidikan dan Penelitian Indonesia. NTB.
- Sari, M. B., Sanjaya, Y., dan Djamal, M. (2017). Pengembangan Spektrometer Cahaya Tampak Menggunakan LED RGB untuk Menentukan Konsentrasi Glukosa. *Risalah Fisika*, 1(1), 21–27.

- Sari, N. W., Fajri, M. Y., dan W. Anjas. (2018). Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa Acuminata* (L)). *Indonesia Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 2(1), 30–34.
- Setianingsih, T., dan Prananto, Y. P. (2020). *Spektroskopi Inframerah untuk Karakteristik Material Anorganik*. UB Press. Malang.
- Siregar, R. F., Affandi, Nasution, A. R., dan Pasaribu, F. (2024). *Sistem Mikrokontroler I*. Umsu Press. Medan.
- Su, Z., Lu, Z., Yang, M., Wu, Z., and Xu, R. (2020). Design and Experiment of a Portable Near-infrared Spectrum Detection System for Fruits and Vegetables Quality-inspection. *E3S Web of Conferences*, 1(1), 1–4.
- Suhartati, T. (2017). *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrometri massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Aura. Bandar Lampung.
- Sunardi, dan Sari, K. (2012). Pengaruh Konsentrasi Larutan Ekstrak Daun Lidah Mertua Terhadap Absorbansi dan Transmittansi pada Lapisan Tipis. *Jurnal Universitas Negeri Jakarta*. 1(1), 54–57.
- Tran, N.-T., and Fukuzawa, M. (2020). A Portable Spectrometric System for Quantitative Prediction of the Soluble Solids Content of Apples with a Pre-calibrated Multispectral Sensor Chipset. *Sensors*, 20(20), 1–11.
- Trisanti, D. D. T., dan Sudarti, S. (2021). Analisis Kemampuan Multirepresentasi Verbal dan Tabel Tentang Konsep Spektrum Gelombang Elektromagnetik pada Mahasiswa Fisika. *PSEJ (Pancasakti Science Education Journal)*, 6(2), 46–51.
- Wardani, D. S., dan Nurbayanti. (2024). Uji Linieritas Kurva Kalibrasi Deret Standar N-NH₃ pada Rentang Konsentrasi yang Berbeda Secara Spektrofotometri. *Kementerian Kelautan Dan Peikanan*, 17(1), 1–13.
- Wijayanti, I. D., Hariastuti, R. M., dan Yusuf, F. I. (2019). Kemampuan Komunikasi Matematis Siswa Ditinjau dari Gaya Belajar. *Indiktika : Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika*, 2(1), 68–76.
- Yohan. (2018). Pembuatan Spektrofotometri Visible 470 nm Menggunakan Arduino Uno R3. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 2(1), 25–30.