



# INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

## PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

JALAN GANESHA NO. 10 Gedung Labtek V Lantai 2 ☎ (022)2508135-36, 📠 (022)250 0940  
BANDUNG 40132

### Dokumentasi Produk Tugas Akhir

#### Lembar Sampul Dokumen

Judul Dokumen	<b>TUGAS AKHIR TEKNIK ELEKTRO: Reaktor Filter Limbah Cair Industri Tekstil Portabel dengan Alat Ukur Spektrofotometer</b>
Jenis Dokumen	<b>PENGUJIAN</b> <small>Catatan: Dokumen ini dikendalikan penyebarannya oleh Prodi Teknik Elektro ITB</small>
Nomor Dokumen	<b>B500-TA2324.01.004</b>
Nomor Revisi	<b>01</b>
Nama File	<b>B500-TA2324.01.004-001</b>
Tanggal Penerbitan	<b>22 Mei 2024</b>
Unit Penerbit	<b>Prodi Teknik Elektro - ITB</b>
Jumlah Halaman	<b>35</b> (termasuk lembar sampul ini)

Data Pemeriksaan dan Persetujuan				
Ditulis Oleh	Nama	Elmo Ryaner Panggabean	Jabatan	Mahasiswa
	Tanggal	22 Mei 2024	Tanda Tangan	
	Nama	Muhammad Raihan Elfazri	Jabatan	Mahasiswa
	Tanggal	22 Mei 2024	Tanda Tangan	
	Nama	Gilbert Ng	Jabatan	Mahasiswa
	Tanggal	22 Mei 2024	Tanda Tangan	
Diperiksa Oleh	Nama	Ir. Akhmadi Surawijaya, S.T, M.Eng.	Jabatan	Dosen Pembimbing
	Tanggal	22 Mei 2024	Tanda Tangan	
Disetujui Oleh	Nama	Ir. Akhmadi Surawijaya, S.T, M.Eng.	Jabatan	Dosen Pembimbing
	Tanggal	22 Mei 2024	Tanda Tangan	

# DAFTAR ISI

<b>CATATAN SEJARAH PERBAIKAN DOKUMEN .....</b>	<b>4</b>
<b>1    PENGANTAR .....</b>	<b>5</b>
1.1    RINGKASAN ISI DOKUMEN .....	5
1.2    TUJUAN PENULISAN DAN APLIKASI/KEGUNAAN DOKUMEN .....	5
1.3    REFERENSI .....	5
1.4    DAFTAR SINGKATAN.....	5
<b>2    PENGUJIAN .....</b>	<b>6</b>
2.1    PENGUJIAN 1 – VOLUME PENYIMPANAN SAMPEL .....	6
2.1.1 <i>Langkah Pengujian</i> .....	6
2.1.2 <i>Hasil Pengujian</i> .....	6
2.2    PENGUJIAN 2 – VOLUME REAKTOR FILTER .....	7
2.2.1 <i>Langkah Pengujian</i> .....	7
2.2.2 <i>Hasil Pengujian</i> .....	7
2.3    PENGUJIAN 3 – DURABILITAS REAKTOR TERHADAP NILAI pH .....	8
2.3.1 <i>Langkah Pengujian</i> .....	8
2.3.2 <i>Hasil Pengujian</i> .....	8
2.4    PENGUJIAN 4 – SPEKTRUM PENGUKURAN .....	10
2.4.1 <i>Langkah Pengujian</i> .....	10
2.4.2 <i>Hasil Pengujian</i> .....	10
2.5    PENGUJIAN 5 – NILAI ABSORBANSI TERUKUR.....	13
2.5.1 <i>Langkah Pengujian</i> .....	13
2.5.2 <i>Hasil Pengujian</i> .....	13
2.6    PENGUJIAN 6 – PENYIMPANAN DATA HASIL PENGUKURAN .....	14
2.6.1 <i>Langkah Pengujian</i> .....	14
2.6.2 <i>Hasil Pengujian</i> .....	14
2.7    PENGUJIAN 7 – KENDALI PROSES PEMFILTERAN .....	15
2.7.1 <i>Langkah Pengujian</i> .....	15
2.7.2 <i>Hasil Pengujian</i> .....	15
2.8    PENGUJIAN 8 – PARAMETER ENERGI KINETIK.....	16
2.8.1 <i>Langkah Pengujian</i> .....	16
2.8.2 <i>Hasil Pengujian</i> .....	16
2.9    PENGUJIAN 9 – PARAMETER TEMPERATUR .....	17
2.9.1 <i>Langkah Pengujian</i> .....	17
2.9.2 <i>Hasil Pengujian</i> .....	17
2.10    PENGUJIAN 10 – PARAMETER KECEPATAN ALIR.....	19
2.10.1 <i>Langkah Pengujian</i> .....	19
2.10.2 <i>Hasil Pengujian</i> .....	19
2.11    PENGUJIAN 11 – FREKUENSI PENGUKURAN BERULANG .....	20
2.11.1 <i>Langkah Pengujian</i> .....	20
2.11.2 <i>Hasil Pengujian</i> .....	20
2.12    PENGUJIAN 12 – AKURASI PENGUKURAN.....	22
2.12.1 <i>Langkah Pengujian</i> .....	22
2.12.2 <i>Hasil Pengujian</i> .....	22
<b>3    ANALISIS HASIL PENGUJIAN .....</b>	<b>27</b>

3.1	ANALISIS HASIL PENGUJIAN 1.....	27
3.2	ANALISIS HASIL PENGUJIAN 2.....	27
3.3	ANALISIS HASIL PENGUJIAN 3.....	28
3.4	ANALISIS HASIL PENGUJIAN 4.....	29
3.5	ANALISIS HASIL PENGUJIAN 5.....	29
3.6	ANALISIS HASIL PENGUJIAN 6.....	31
3.7	ANALISIS HASIL PENGUJIAN 7.....	31
3.8	ANALISIS HASIL PENGUJIAN 8.....	31
3.9	ANALISIS HASIL PENGUJIAN 9.....	32
3.10	ANALISIS HASIL PENGUJIAN 10.....	32
3.11	ANALISIS HASIL PENGUJIAN 11.....	33
3.12	ANALISIS HASIL PENGUJIAN 12.....	33
<b>4</b>	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>35</b>

## Catatan Sejarah Perbaikan Dokumen

VERSI, TGL, OLEH	PERBAIKAN
1.0, 22 Mei 2024	Dokumen dibuat

# 1 Pengantar

## 1.1 Ringkasan Isi Dokumen

Dokumen B500 berisi uraian dan penjelasan tentang pengujian produk sesuai dengan implementasi alat yang telah dijelaskan dalam dokumen B400. Dokumen ini terdiri dari empat bagian utama, yaitu pengantar, prosedur pengujian, analisis hasil pengujian, dan lampiran. Bagian pengantar, memuat ringkasan dari dokumen ini, tujuan penulisan, serta aplikasi dan kegunaannya. Bagian pengujian berisi langkah-langkah dan hasil pengujian terhadap setiap spesifikasi yang telah ditetapkan dalam dokumen B200 untuk produk yang dibuat. Bagian analisis hasil pengujian memuat analisis terhadap hasil pengujian yang dilakukan pada bagian kedua. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian produk dengan ketentuan spesifikasi yang ada dalam dokumen B200. Bagian terakhir yaitu lampiran berisi material pendukung serta dokumen yang terkait dengan pengujian produk.

## 1.2 Tujuan Penulisan dan Aplikasi/Kegunaan Dokumen

Dokumen B500 ini dibuat untuk mengetahui kesesuaian implementasi produk dengan ketentuan spesifikasi yang telah ditentukan pada dokumen B400 serta kendala yang terjadi atau galat kondisi real dengan ideal. Dokumen ini juga dapat dijadikan sumber evaluasi terhadap implementasi produk untuk pengembangan produk lebih lanjut.

## 1.3 Referensi

- [1] LCDwiki, *3.5-inch Arduino UNO Module User Manual*. Diambil dari [http://www.lcdwiki.com/3.5inch\\_Arduino\\_Display-UNO](http://www.lcdwiki.com/3.5inch_Arduino_Display-UNO)
- [2] Chueca, R., Andrés, S., Alcain, R., dkk. *Design and Development of a Portable Spectrophotometer for Glass Characterization*. 2023 Global Conference on Wireless and Optical Technologies (GCWOT): Malaga, Spain (2023)
- [3] Ting, Y.H. *Self-regulating PTC heating systems: a new approach for electric heating appliances*. IEEE Transactions on Industry Applications 3 (1972)
- [4] Yohan, Y., Astuti, F., & Wicaksana, A., *Pembuatan Spektrofotometer Edukasi untuk Analisis Senyawa Pewarna Makanan*. Jurnal Chemica Et Natura Acta: Banten (2018)
- [5] Ashfaque-E-Alam, M., Islam, M.R., dan Faria, I.J. *Development and validation of a low-cost visible light spectrophotometer*. 2017 4th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE): Dhaka, Bangladesh (2017)

## 1.4 Daftar Singkatan

SINGKATAN	ARTI
A.u.	Absorbance unit
DC	Direct Current
GB	Gigabyte
MOF	Metal Organic Framework
PTC	Positive Temperature Coefficient
SD	Secure Digital

## 2 Pengujian

### 2.1 Pengujian 1 – Volume Penyimpanan Sampel

#### 2.1.1 Langkah Pengujian

Tabel 1 Verifikasi spesifikasi #1

Hal	Volume Penyimpanan Sampel
Rincian	200 – 250 mL
Metode Pengukuran	Gelas Ukur
Prosedur Pengujian	Menuangkan air yang sudah diukur sebanyak 200 – 250 mL dari gelas ukur ke dalam gelas beaker penyimpanan sampel

#### 2.1.2 Hasil Pengujian



Gambar 2-1-1 Pengujian Volume Penyimpanan Sampel

## 2.2 Pengujian 2 – Volume Reaktor Filter

### 2.2.1 Langkah Pengujian

Tabel 2 Verifikasi spesifikasi #2

Hal	Volume Reaktor Filter
Rincian	200 – 250 mL
Metode Pengukuran	Gelas Ukur dan Pengaduk
Prosedur Pengujian	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Menuangkan air yang sudah diukur sebanyak 200 – 250 mL dari gelas ukur ke dalam gelas beaker reaktor filter</li><li>2. Menyalakan pengaduk hingga kecepatan maksimum untuk memastikan tidak ada sampel yang mungkin tumpah saat proses filtrasi</li></ol>

### 2.2.2 Hasil Pengujian



Gambar 2-2-1 Pengujian Volume Reaktor Filter

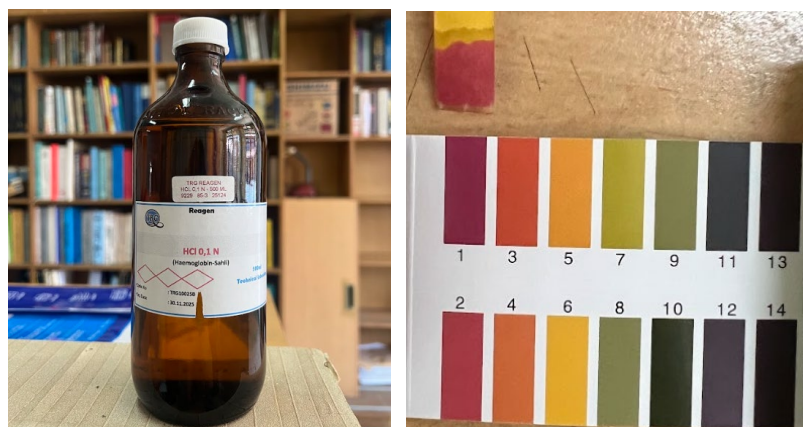
## 2.3 Pengujian 3 – Durabilitas Reaktor terhadap Nilai pH

### 2.3.1 Langkah Pengujian

Tabel 3 Verifikasi spesifikasi #3

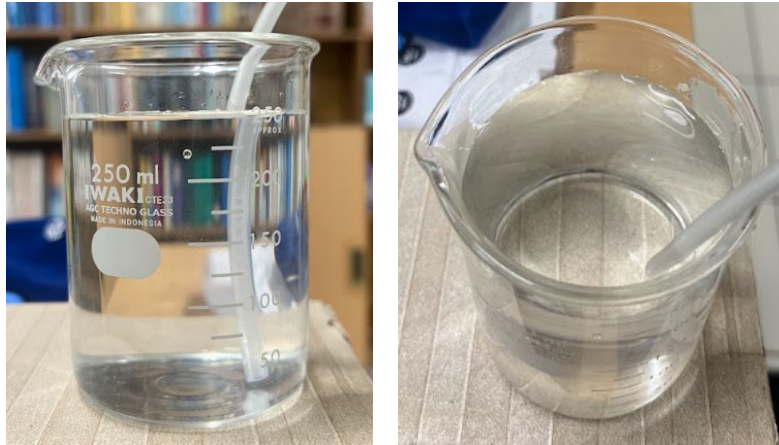
Hal	Durabilitas pH Reaktor
Rincian	Tahan terhadap larutan dengan pH 1 – 10
Metode Pengujian	HCl dan Larutan <i>Buffer</i>
Prosedur Pengujian	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Untuk larutan pH 1, digunakan larutan HCl 0,1 M</li><li>2. pH HCl dipastikan bernilai 1 terlebih dahulu dengan pH <i>universal indicator</i></li><li>3. HCl dituangkan sebanyak 250 mL ke dalam gelas beaker dengan selang pompa juga berada di dalamnya</li><li>4. Larutan dibiarkan selama beberapa jam dan kondisi gelas beaker beserta selang pompa dievaluasi</li><li>5. Untuk larutan pH 10, digunakan larutan <i>buffer</i></li><li>6. pH <i>buffer</i> dipastikan bernilai 10 terlebih dahulu dengan pH <i>universal indicator</i></li><li>7. <i>Buffer</i> dituangkan sebanyak 250 mL ke dalam gelas beaker dengan selang pompa juga berada di dalamnya</li><li>8. Larutan dibiarkan selama beberapa jam dan kondisi gelas beaker beserta selang pompa dievaluasi</li></ol>

### 2.3.2 Hasil Pengujian



Gambar 2-3-1 HCl 0,1 M dan *Universal Indicator Paper* pH 1

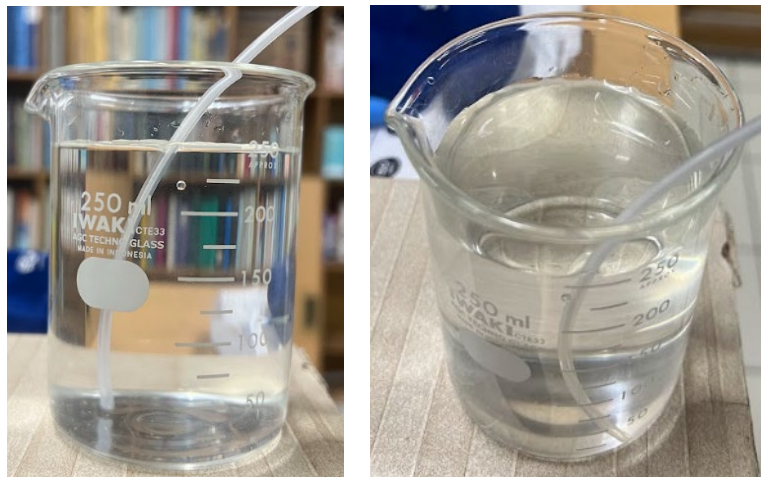




**Gambar 2-3-2 Pengujian Durabilitas Reaktor Terhadap pH 1 (Kondisi Setelah 8 Jam)**



**Gambar 2-3-3 Larutan *buffer* dan *Universal Indicator Paper* pH 10**



**Gambar 2-3-4 Pengujian Durabilitas Reaktor Terhadap pH 10**

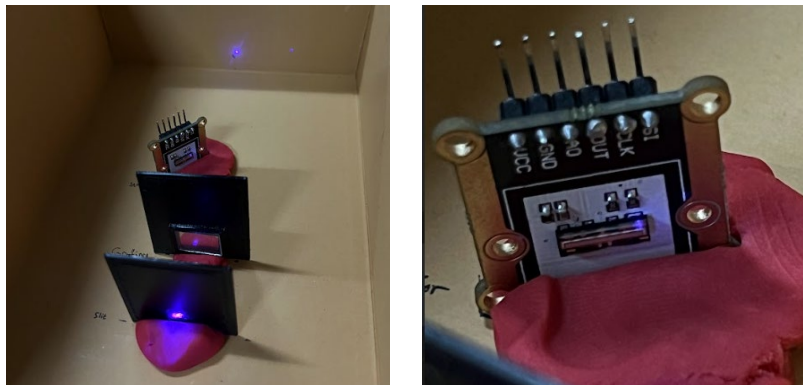
## 2.4 Pengujian 4 – Spektrum Pengukuran

### 2.4.1 Langkah Pengujian

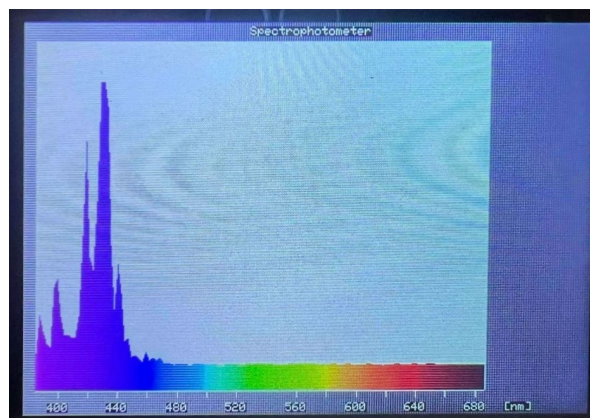
Tabel 4 Verifikasi spesifikasi #4

Hal	Spektrum Pengukuran
Rincian	Rentang spektrum <i>visible light</i> (380 – 700 nm)
Metode Pengujian	Laser dan Sensor Cahaya
Prosedur Pengujian	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Pertama sensor cahaya ditembak dengan laser dengan berbagai panjang gelombang (biru <math>\sim 405 \pm 10</math> nm, hijau <math>\sim 532 \pm 10</math> nm, dan merah <math>\sim 680 \pm 10</math> nm) untuk memastikan sensor dapat membaca intensitas cahaya berbagai warna</li><li>2. Setelah sensor dipastikan dapat mengukur intensitas cahaya, sensor dikalibrasi dengan ketiga laser yang dilewatkan pada kisi difraksi sehingga ketiga laser jatuh pada titik yang sesuai di sensor</li><li>3. Kemudian diberikan sumber cahaya polikromatik (misalnya lampu halogen)</li></ol>

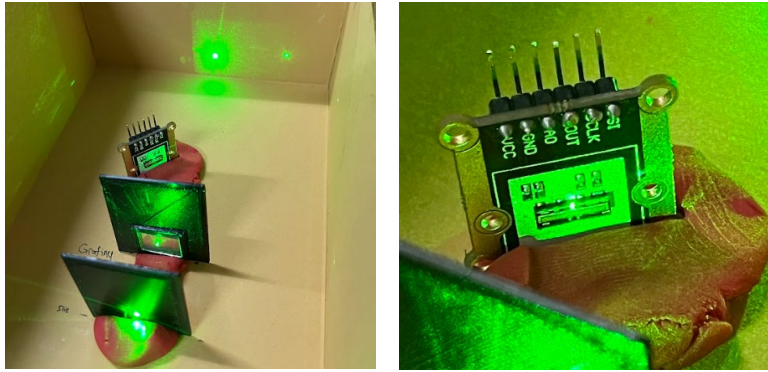
### 2.4.2 Hasil Pengujian



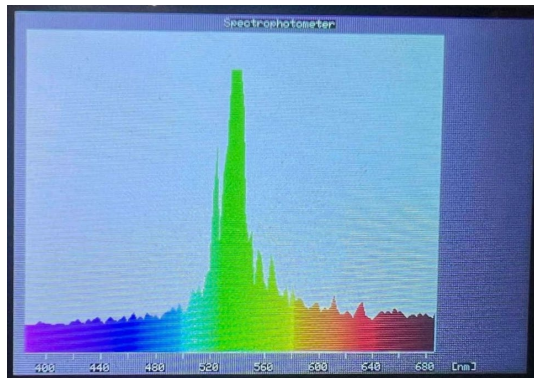
Gambar 2-4-1 Sinyal Laser Biru ( $\sim 405$  nm)



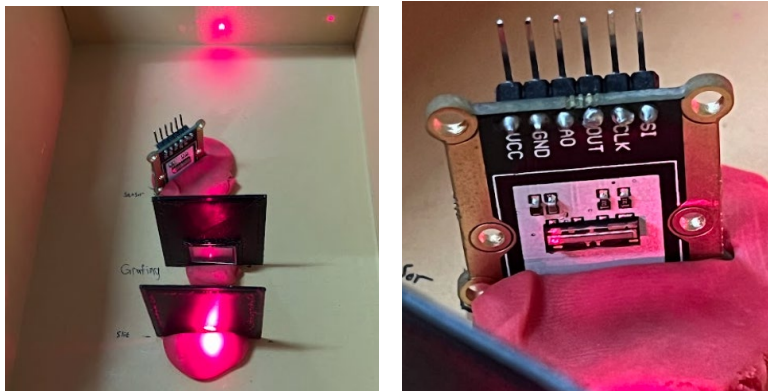
Gambar 2-4-2 Rentang Spektrum Laser Biru ( $\sim 405$  nm)



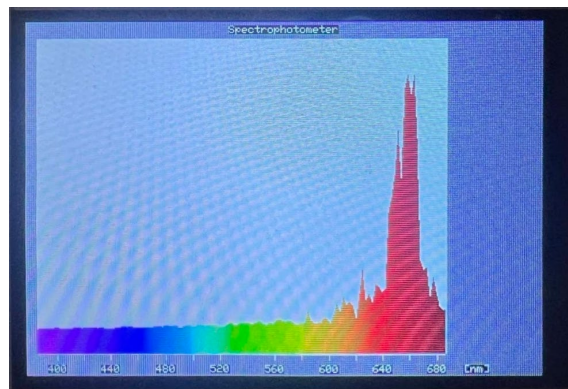
**Gambar 2-4-3 Sinyal Laser Hijau (~532 nm)**



**Gambar 2-4-4 Rentang Spektrum Laser Hijau (~532 nm)**



**Gambar 2-4-5 Sinyal Laser Merah (~680 nm)**



**Gambar 2-4-6 Rentang Spektrum Laser Merah (~650 nm)**

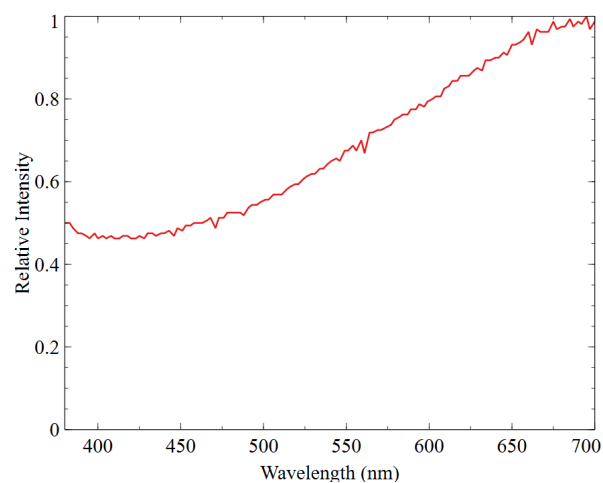




**Gambar 2-4-7 Pengujian dengan Sumber Cahaya Polikromatik (Lampu Halogen)**



**Gambar 2-4-8 Spektrum Warna Lampu Halogen**



**Gambar 2-4-9 Intensitas Cahaya pada Spektrum Warna Lampu Halogen**

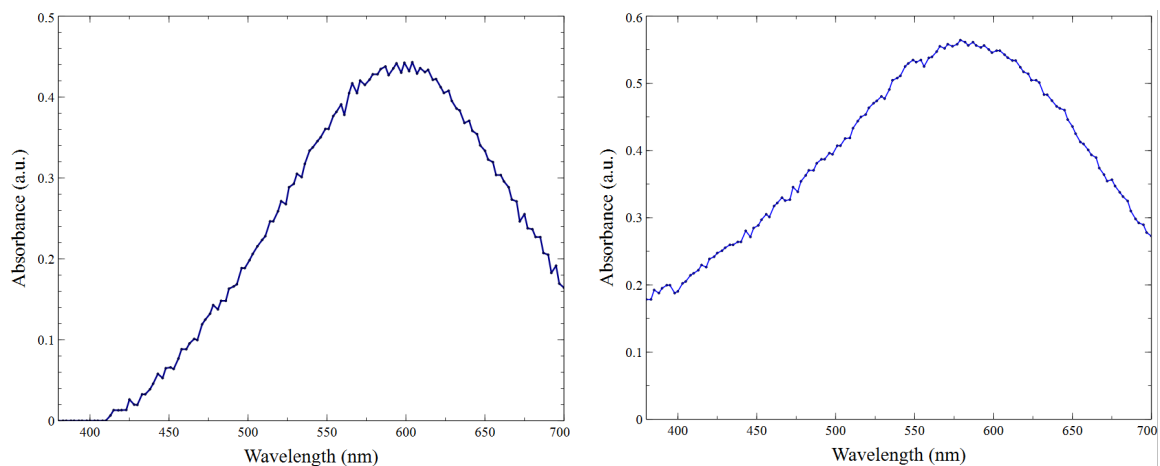
## 2.5 Pengujian 5 – Nilai Absorbansi Terukur

### 2.5.1 Langkah Pengujian

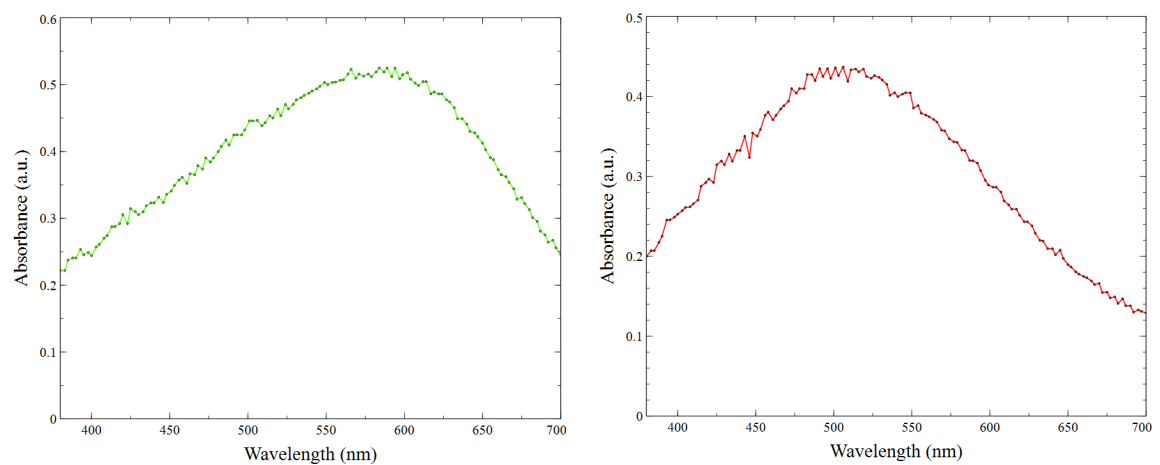
Tabel 5 Verifikasi spesifikasi #5

Hal	Metode dan Hasil Pengukuran
Rincian	Sistem pengukuran dapat mengukur hingga nilai absorbansi 0,5 a.u.
Metode Pengujian	Spektrofotometer Konvensional
Prosedur Pengujian	Membandingkan hasil pengukuran dari produk dengan hasil pengukuran sampel Indigo Carmine dari spektrofotometer konvensional.

### 2.5.2 Hasil Pengujian



Gambar 2-5-1 Absorbansi Sampel Indigo Carmine dan Biru



Gambar 2-5-2 Absorbansi Sampel Hijau dan Merah

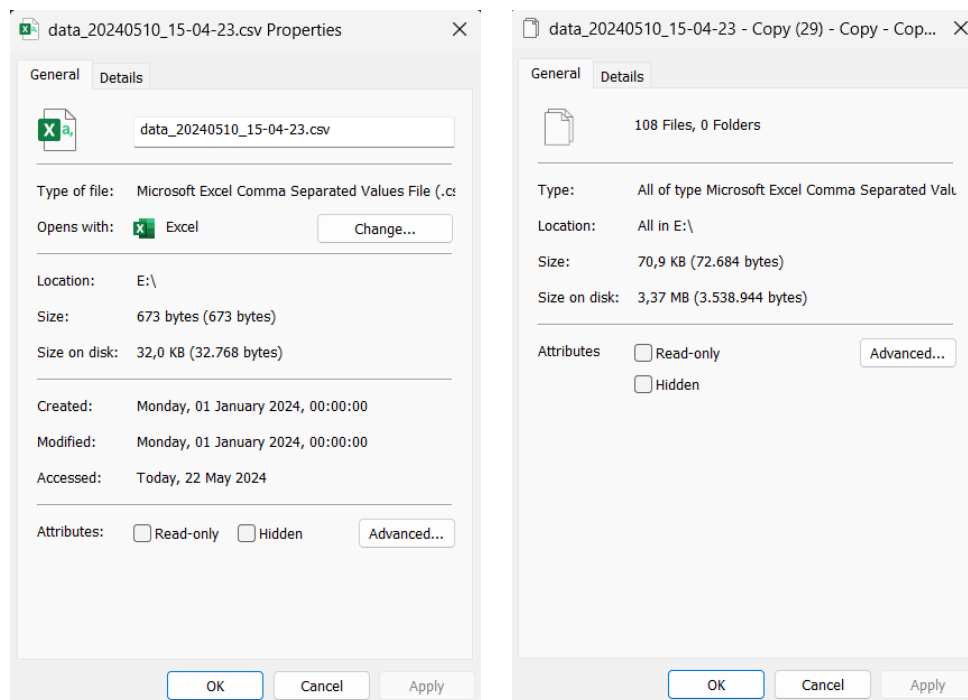
## 2.6 Pengujian 6 – Penyimpanan Data Hasil Pengukuran

### 2.6.1 Langkah Pengujian

Tabel 6 Verifikasi spesifikasi #6

Hal	Penyimpanan Data
Rincian	Menyimpan data untuk ~100 kali pengukuran dengan size ~100kB untuk satu hasil pengukuran
Metode Pengujian	Pengujian transfer data
Prosedur Pengujian	Dilakukan pengujian absorbansi berulang kali hingga diperoleh kumpulan data hasil pengukuran yang akan disimpan dalam memori pada mikrokontroler.

### 2.6.2 Hasil Pengujian



Gambar 2-6-1 Tangkapan layar file hasil pengukuran (kiri) dan total ukuran dari 108 file hasil pengukuran terbesar yang dapat dihasilkan (kanan)

## 2.7 Pengujian 7 – Kendali Proses Pemfilteran

### 2.7.1 Langkah Pengujian



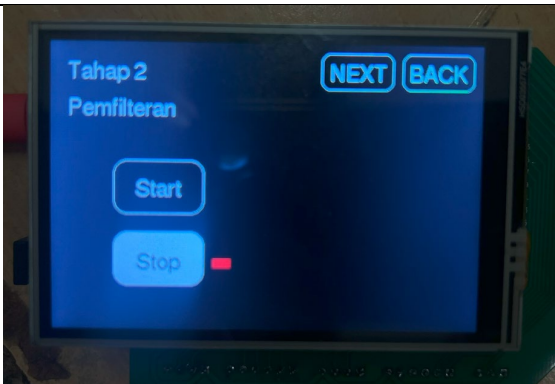

Tabel 7 Verifikasi spesifikasi #7

Hal	Keberjalanan Proses Pemfilteran
Rincian	Proses filtrasi dapat diatur oleh pengguna dengan ‘start’ dan ‘stop’
Metode Pengujian	Pengujian Manual <i>Start &amp; Stop</i>
Prosedur Pengujian	Melakukan pengujian secara manual dengan harapan saat menekan tombol ‘start’ proses pemfilteran mulai bekerja, sedangkan saat menekan tombol ‘stop’ proses pemfilteran berhenti bekerja. Pengujian dapat berbentuk log data dari pemakaian alat, atau perhitungan waktu yg dibutuhkan dari alat start hingga selesai eksperimen.

### 2.7.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian manual *Start & Stop* disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 8 Hasil pengujian spesifikasi #7

User Interface	Reaktor Filter
 <p>Start</p>	 <p>Reaktor Menyala</p>
 <p>Stop</p>	 <p>Reaktor Mati</p>

## 2.8 Pengujian 8 – Parameter Energi Kinetik

### 2.8.1 Langkah Pengujian

Tabel 9 Verifikasi spesifikasi #8

Hal	Energi Kinetik
Rincian	Pengaduk dengan kecepatan hingga 2000 rpm
Metode Pengujian	Tachometer
Prosedur Pengujian	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Gelas beaker reaktor filter diletakkan di atas pengaduk dengan isi filter MOF dan air sebanyak 250 mL</li><li>2. Label penanda tachometer dihubungkan pada motor pengaduk</li><li>3. Pengaduk diatur untuk berbagai kecepatan dari minimal hingga maksimal untuk memastikan 2000 rpm dapat tercapai</li></ol>

### 2.8.2 Hasil Pengujian

Hasil yang didapatkan adalah kecepatan putaran sebesar 2183,6 rpm saat potensiometer pengaduk diputar sampai 80 persen.



Gambar 2-8-1 Pengujian Spesifikasi #8 menggunakan tachometer laser digital DT-2324C+.



## 2.9 Pengujian 9 – Parameter Temperatur

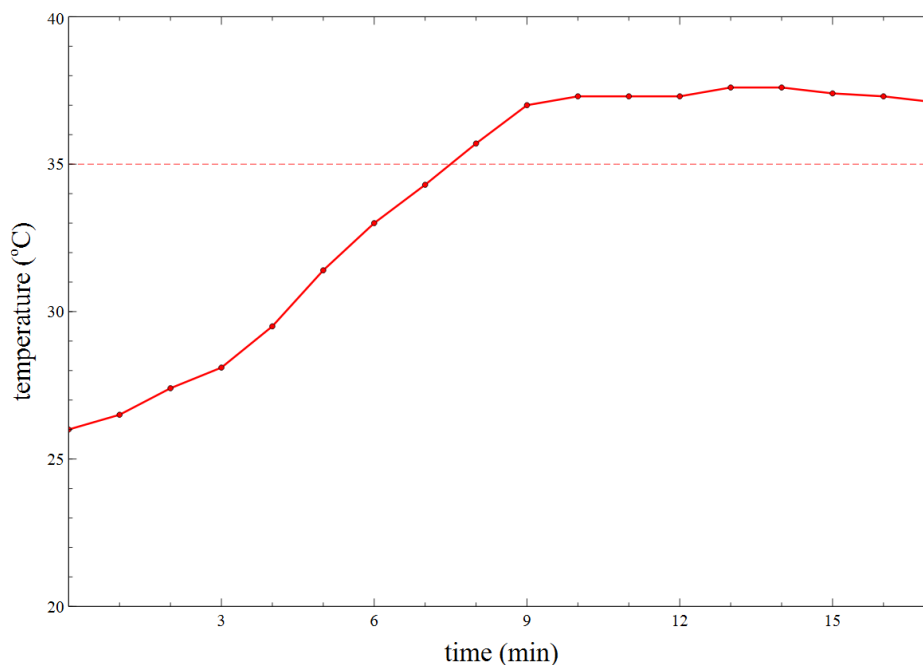
### 2.9.1 Langkah Pengujian

Tabel 10 Verifikasi spesifikasi #9

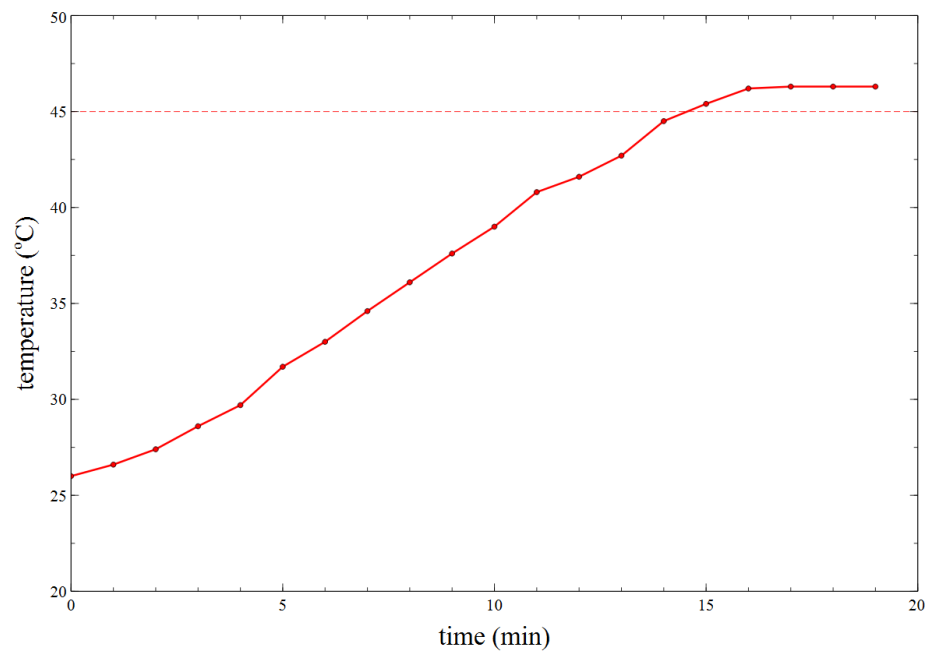
Hal	Pengendalian Temperatur
Rincian	Rentang temperatur 25°C – 55°C
Metode Pengujian	Pengujian dengan sensor temperatur
Prosedur Pengujian	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Gelas beaker reaktor filter diletakkan di atas PTC <i>heater</i> dengan air sebanyak 250 mL</li><li>2. PTC <i>heater</i> terhubung dengan modul kendali temperatur W1209</li><li>3. <i>Setpoint heater</i> diatur untuk berbagai nilai temperatur dari 25°C – 55°C</li></ol>

### 2.9.2 Hasil Pengujian

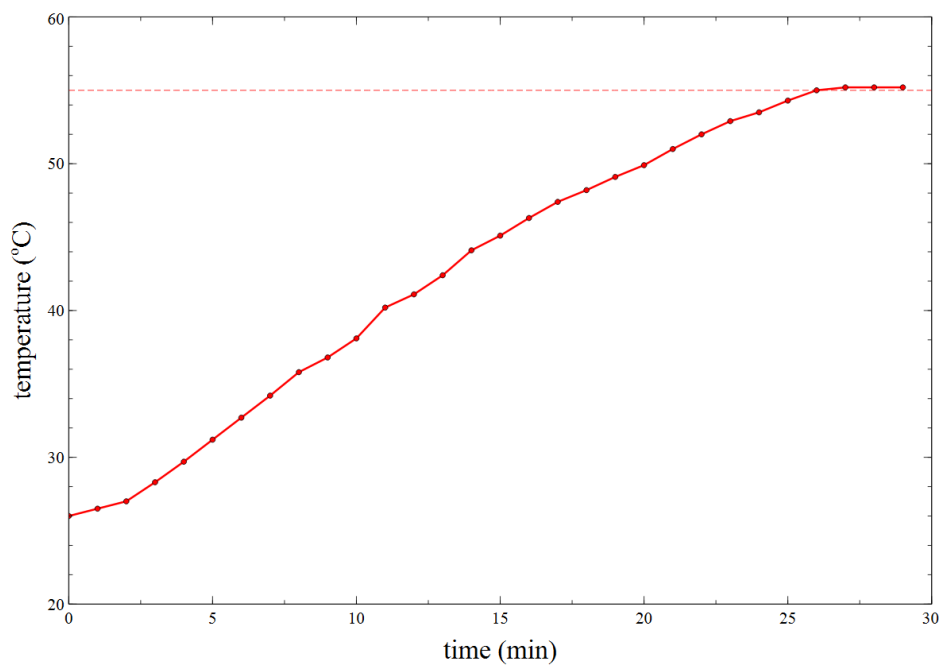
Hasil pengujian pengendalian temperatur disajikan dalam grafik-grafik berikut.



Gambar 2-9-1 Grafik Pemanasan Air dengan Kendali Temperatur (Set point 35° C)



**Gambar 2-9-2 Grafik Pemanasan Air dengan Kendali Temperatur (Set point 45° C)**



**Gambar 2-9-3 Grafik Pemanasan Air dengan Kendali Temperatur (Set point 55° C)**

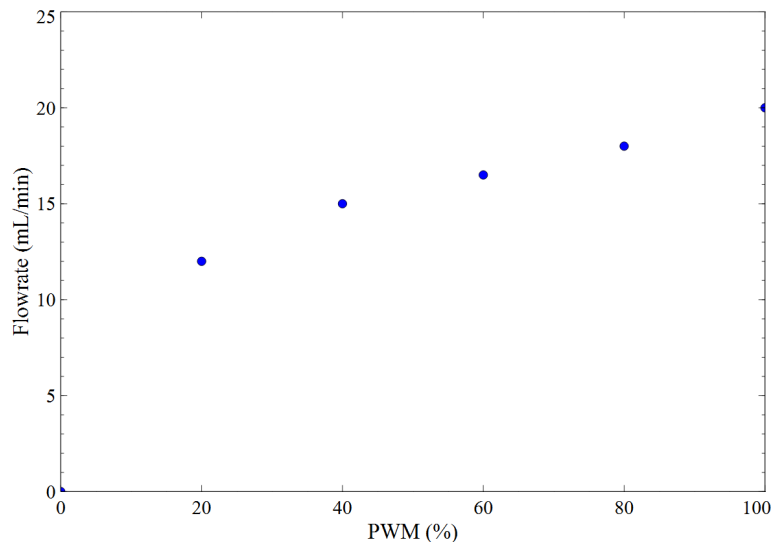
## 2.10 Pengujian 10 – Parameter Kecepatan Alir

### 2.10.1 Langkah Pengujian

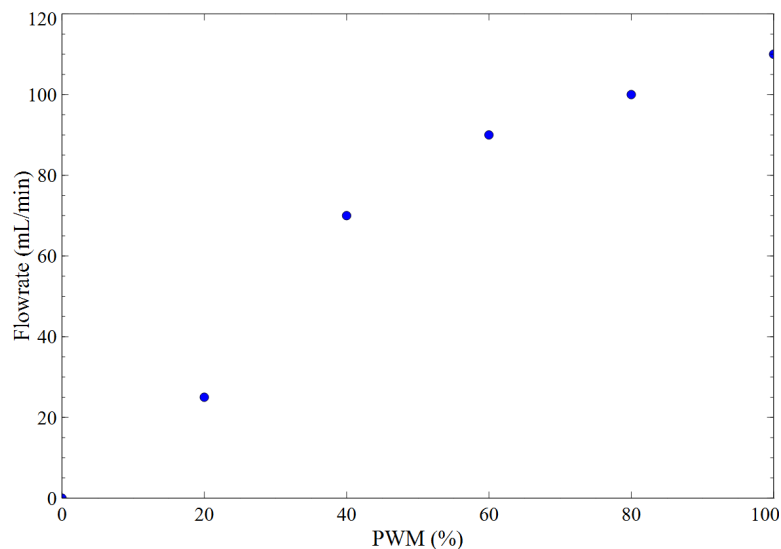
Tabel 11 Verifikasi spesifikasi #10

Hal	Debit Sampel
Rincian	Kecepatan alir inlet dan outlet dalam rentang 0,05 – 2 mL/s
Metode Pengujian	Gelas Ukur
Prosedur Pengujian	Melakukan pengukuran secara manual dengan mengalirkan sampel inlet dan/atau outlet ke dalam gelas ukur dalam satu rentang waktu kemudian mengukur debit dengan persamaan $V/t$ .

### 2.10.2 Hasil Pengujian



Gambar 2-10-1 Flowrate Pompa Peristaltik 1 x 3 mm



Gambar 2-10-2 Flowrate Pompa Peristaltik 3 x 5 mm

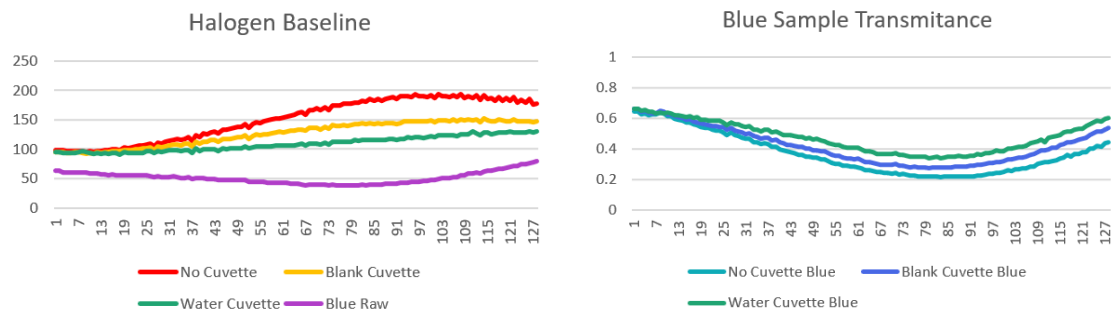
## 2.11 Pengujian 11 – Frekuensi Pengukuran Berulang

### 2.11.1 Langkah Pengujian

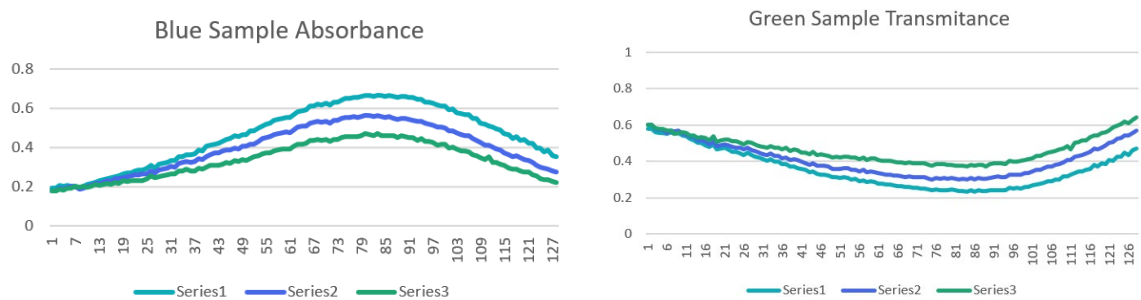
Tabel 12 Verifikasi spesifikasi #11

Hal	Frekuensi Pengukuran Berulang
Rincian	Pengukuran dalam satu sesi pengujian dan pengujian total
Metode Pengujian	<i>Reliability Testing</i>
Prosedur Pengujian	Menggunakan produk untuk satu sesi pengujian dan lebih kemudian mengevaluasi kemampuan produk untuk melakukan pengukuran berulang dan memetakan grafik <i>failure rate</i> untuk analisis lebih lanjut.

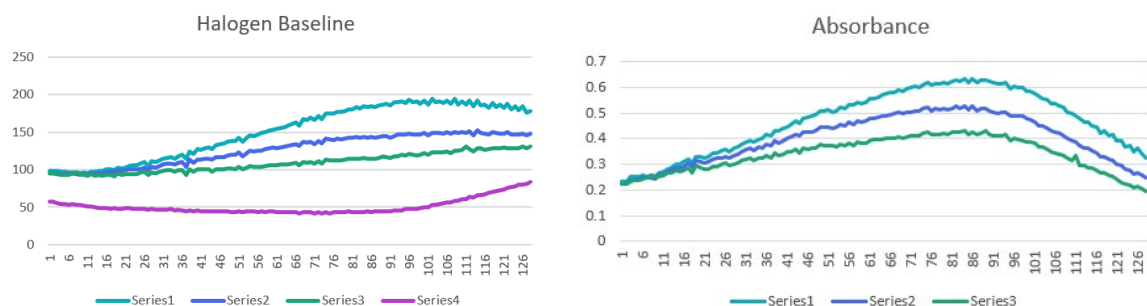
### 2.11.2 Hasil Pengujian



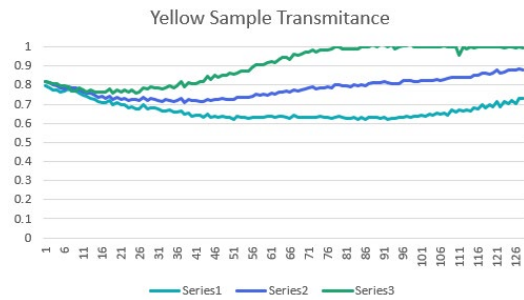
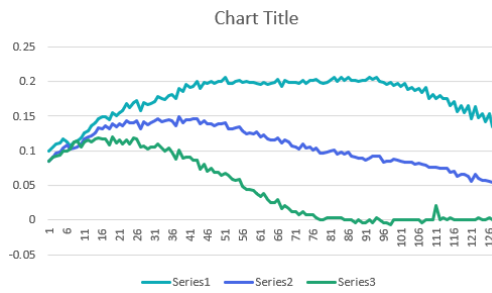
Gambar 2-11-1 Pengujian Pengukuran Berulang 1



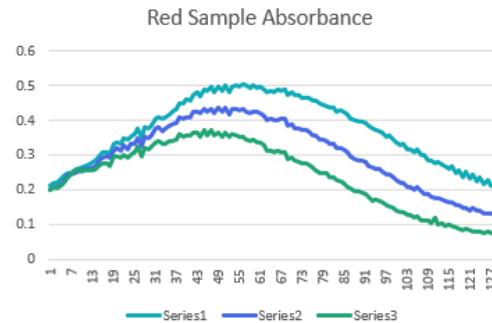
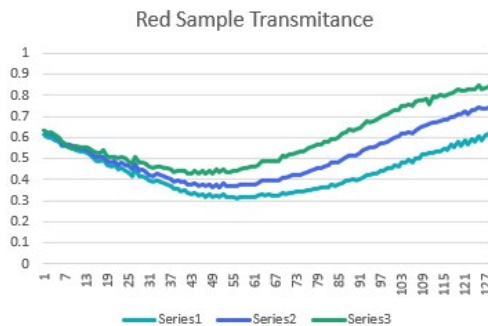
Gambar 2-11-2 Pengujian Pengukuran Berulang 2



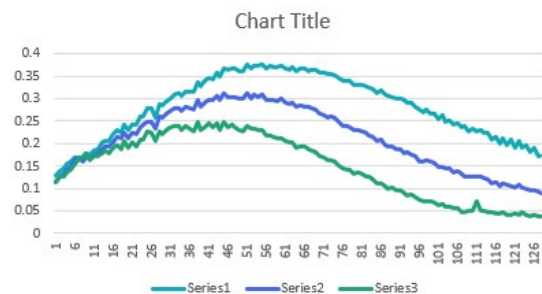
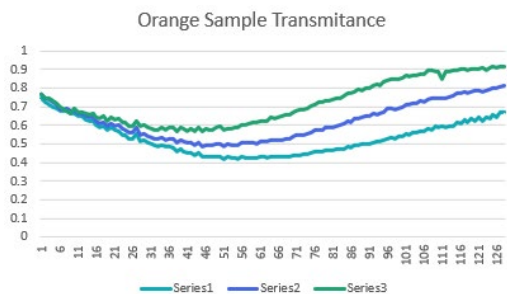
Gambar 2-11-3 Pengujian Pengukuran Berulang 3



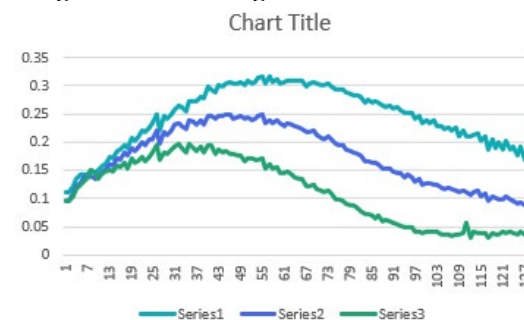
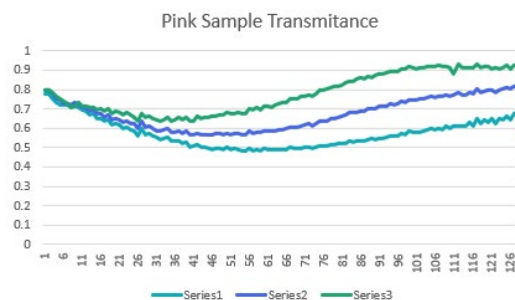
**Gambar 2-11-4 Pengujian Pengukuran Berulang 4**



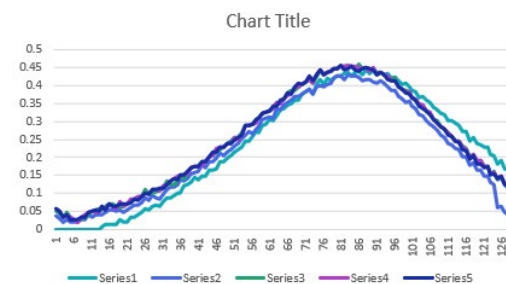
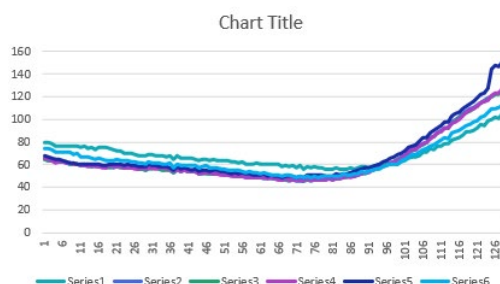
**Gambar 2-11-5 Pengujian Pengukuran Berulang 5**



**Gambar 2-11-6 Pengujian Pengukuran Berulang 6**



**Gambar 2-11-7 Pengujian Pengukuran Berulang 7**



**Gambar 2-11-8 Pengujian Pengukuran Berulang 8**

## 2.12 Pengujian 12 – Akurasi Pengukuran

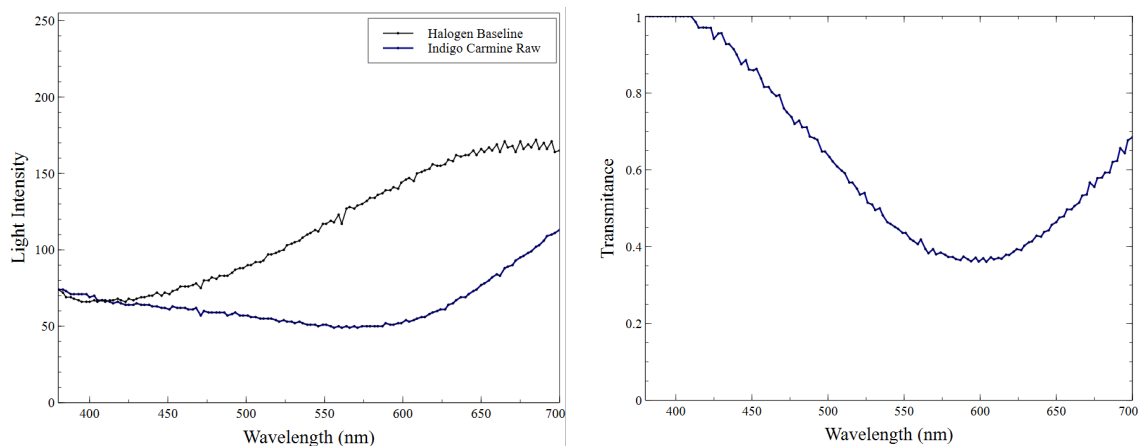
### 2.12.1 Langkah Pengujian

Tabel 13 Verifikasi spesifikasi #12

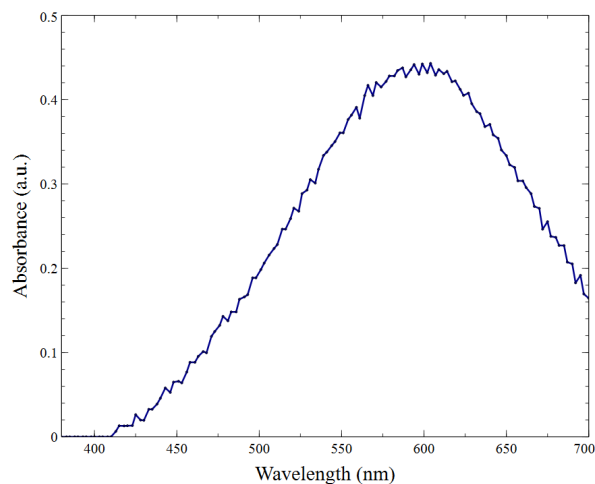
Hal	Akurasi hasil pengukuran absorbansi cahaya
Rincian	Minimal 90%
Metode Pengujian	Perbandingan dengan Spektrofotometer Konvensional
Prosedur Pengujian	Membandingkan hasil pengukuran menggunakan produk dengan hasil pengukuran dari spektrofotometer konvensional.

### 2.12.2 Hasil Pengujian

#### 2.12.2.1 Sampel Indigo Carmine (Ungu)

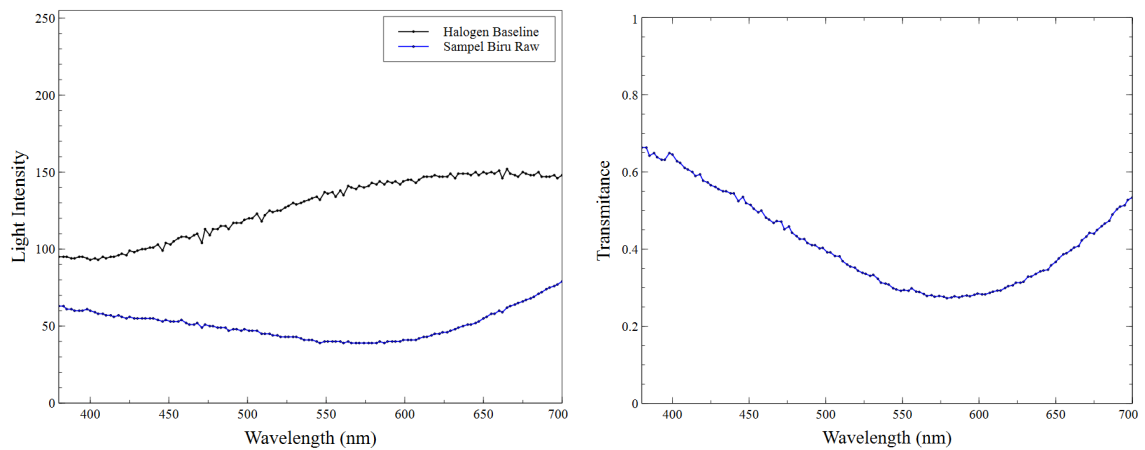


Gambar 2-12-1 Transmittansi Sampel Indigo Carmine

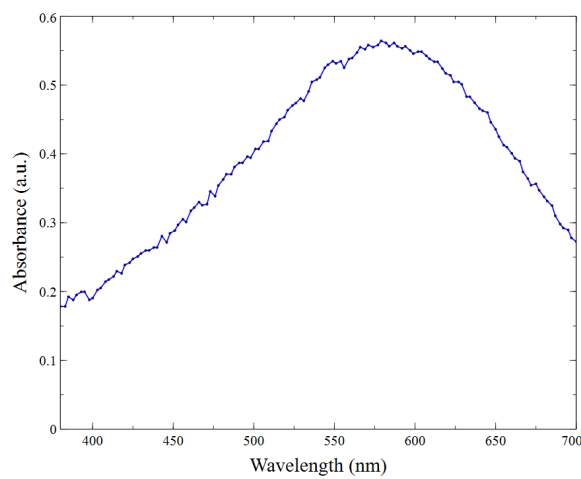


Gambar 2-12-2 Absorbansi Sampel Indigo Carmine

### 2.12.2.2 Sampel Biru

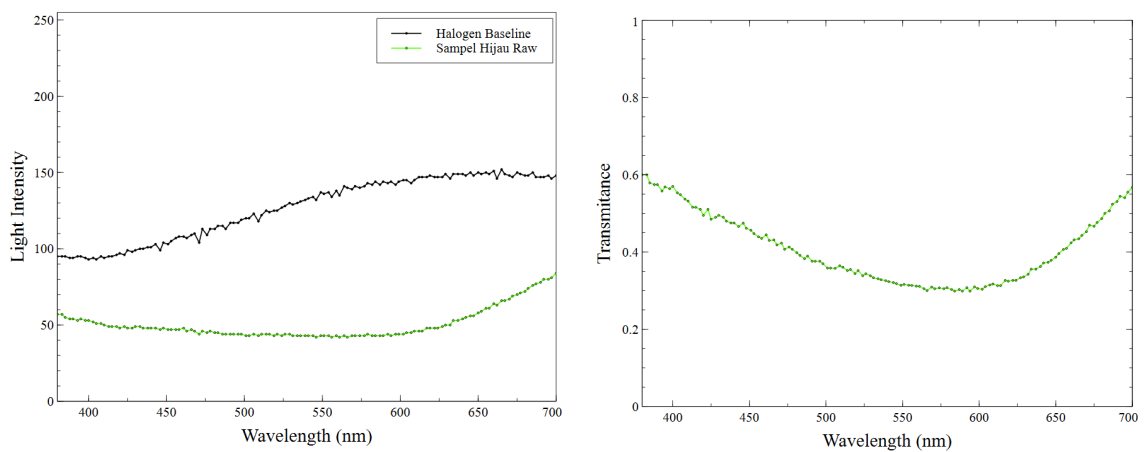


**Gambar 2-12-3 Transmittansi Sampel Biru**

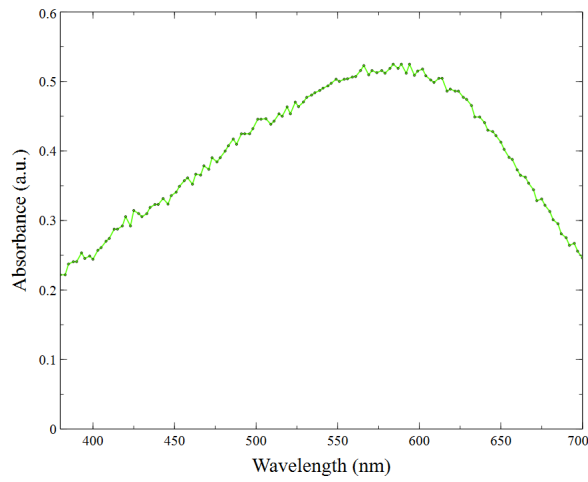


**Gambar 2-12-4 Absorbansi Sampel Biru**

### 2.12.2.3 Sampel Hijau

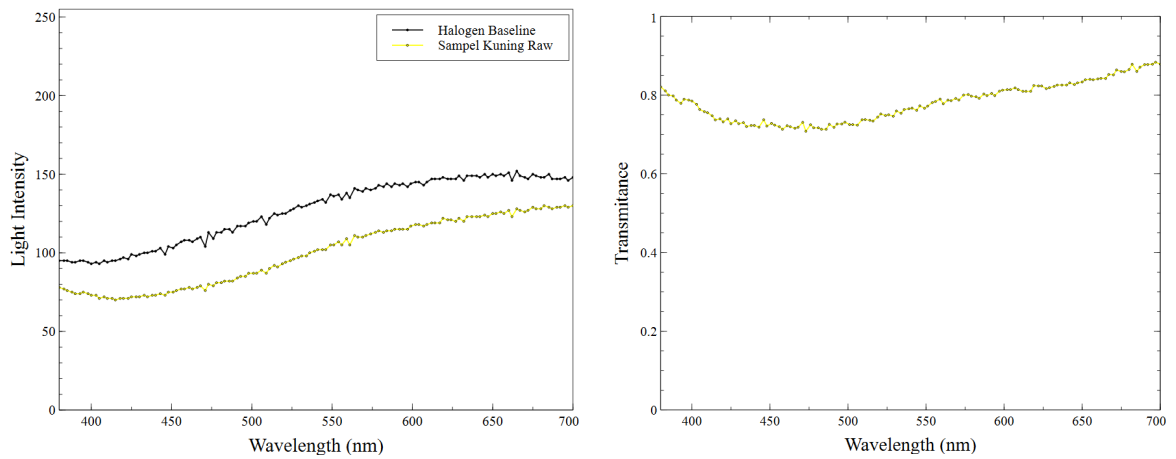


**Gambar 2-12-5 Transmittansi Sampel Hijau**

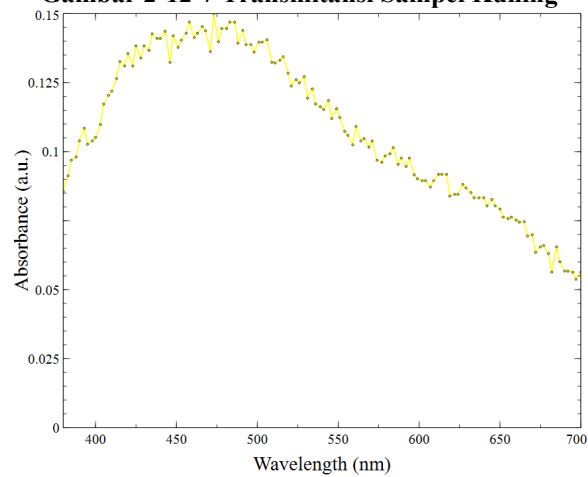


**Gambar 2-12-6 Absorbansi Sampel Hijau**

#### 2.12.2.4 Sampel Kuning



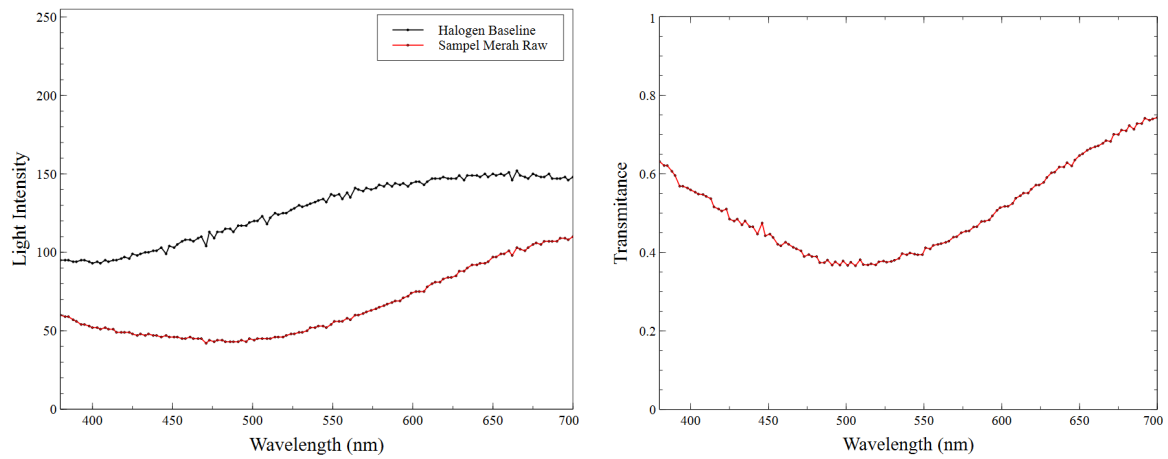
**Gambar 2-12-7 Transmittansi Sampel Kuning**



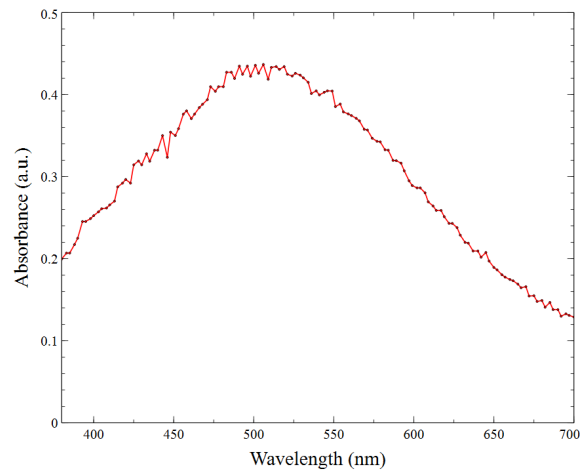
**Gambar 2-12-8 Absorbansi Sampel Kuning**



### 2.12.2.5 Sampel Merah

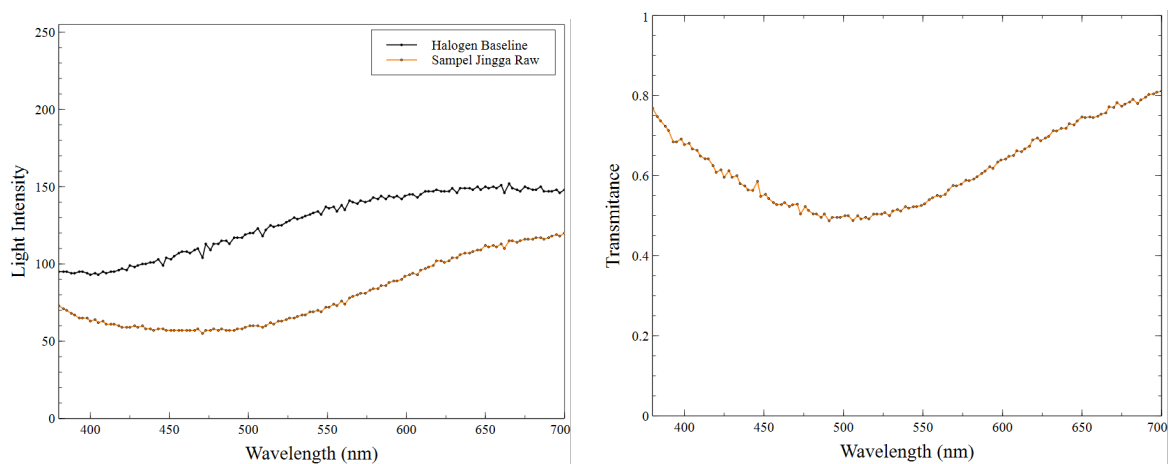


**Gambar 2-12-9 Transmittansi Sampel Merah**

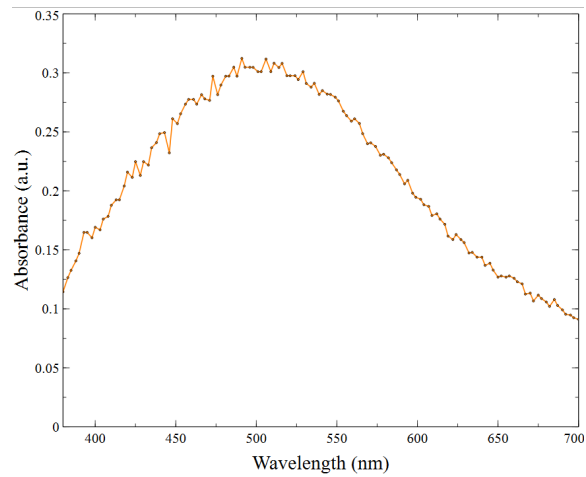


**Gambar 2-12-10 Absorbansi Sampel Merah**

### 2.12.2.6 Sampel Jingga

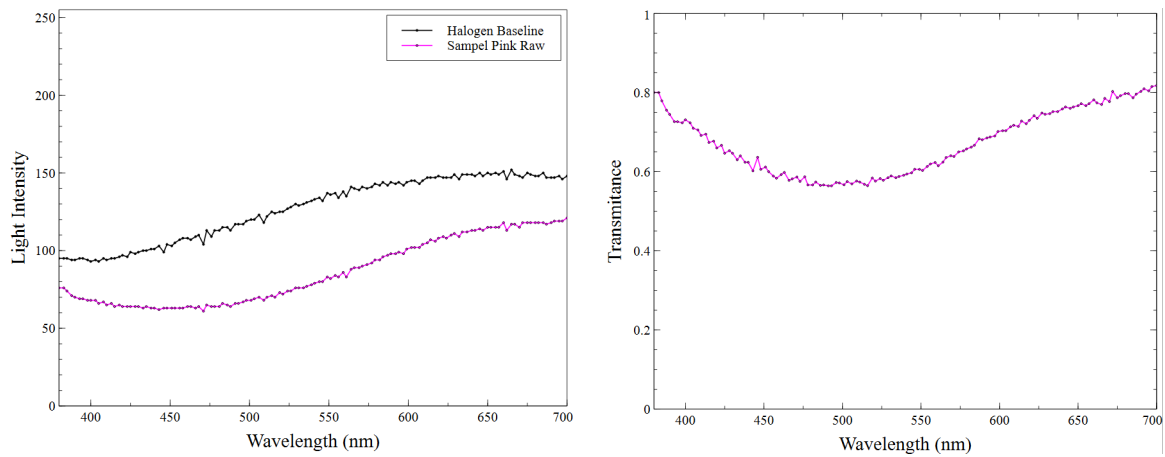


**Gambar 2-12-11 Transmittansi Sampel Jingga**

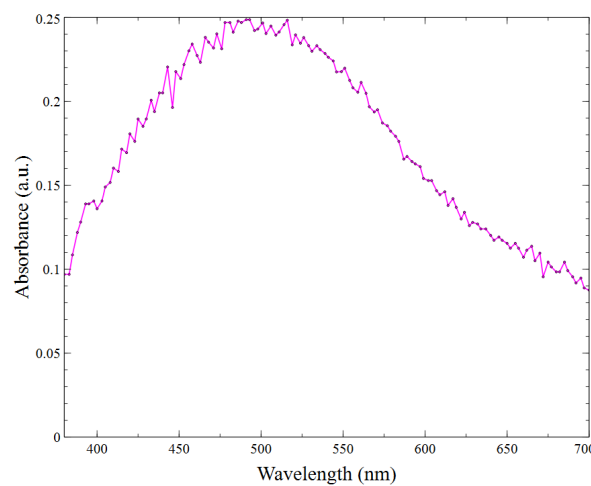


**Gambar 2-12-12 Absorbansi Sampel Jingga**

### 2.12.2.7 Sampel Merah Muda



**Gambar 2-12-13 Transmittansi Sampel Merah Muda**



**Gambar 2-12-14 Absorbansi Sampel Merah Muda**

### 3 Analisis Hasil Pengujian

#### 3.1 Analisis Hasil Pengujian 1

Spesifikasi volume penyimpanan sampel diperlukan untuk memungkinkan cukup sampel sehingga proses filtrasi dan/atau proses pengukuran dapat diulang untuk satu *batch* sampel air limbah.

Pada Gambar 2-1-1, dapat dilihat digunakan gelas ukur untuk menguji volume yang dapat ditampung oleh penyimpanan sampel. Gelas ukur diisi sebanyak 250 mL kemudian dituangkan ke dalam gelas beaker penyimpanan sampel. Pada Gambar 2-1-1 pula, dapat dilihat gelas beaker dapat menampung keseluruhan volume air dari gelas ukur sebanyak 250 mL.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan volume penyimpanan sampel dapat menampung hingga 250 mL untuk kebutuhan filtrasi ataupun pengukuran berulang dalam satu *batch* sampel.

#### 3.2 Analisis Hasil Pengujian 2

Spesifikasi volume reaktor filter diperlukan untuk memungkinkan sampel dipompa dari penyimpanan sampel (harus minimal sama agar tidak terjadi *overflow*) dan memungkinkan pengukuran berulang untuk satu *batch* sampel air limbah hasil filtrasi.

Pada Gambar 2-2-1, dapat dilihat gelas beaker sudah diisi sebanyak 250 mL. Gelas beaker kemudian diletakkan di atas *magnetic stirrer*. *Magnetic stirrer* dinyalakan dan diputar hingga kecepatan maksimum untuk melihat apakah ada air yang tumpah atau tidak. Dapat dilihat kembali pada Gambar 2-2-1, saat nilai rpm *magnetic stirrer* maksimum, gelas beaker reaktor filter masih dapat menampung sampel filtrasi sebanyak 250 mL tanpa tumpah.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan volume reaktor filter dapat menampung hingga 250 mL untuk kebutuhan filtrasi ataupun pengukuran berulang dalam satu *batch* sampel filtrasi.

### 3.3 Analisis Hasil Pengujian 3

Spesifikasi durabilitas reaktor filter terhadap fluktuasi pH diperlukan karena kondisi ideal dalam proses filtrasi *Metal Organic Framework* (MOF) dapat berlangsung di luar rentang pH netral. Oleh karena itu, dibutuhkan reaktor filter yang tahan terhadap fluktuasi pH.

Pada Gambar 2-3-1 dapat dilihat larutan HCl 0,1 M yang digunakan untuk pengujian durabilitas reaktor filter terhadap pH 1. Secara teoritis, nilai pH larutan HCl 0,1 M dapat dihitung seperti berikut.

$$pH_{HCl\ 0,1\ M} = -\log[H^+]$$

$$pH_{HCl\ 0,1\ M} = -\log[0,1]$$

$$pH_{HCl\ 0,1\ M} = 1$$

Pada Gambar 2-3-1 pula, dapat dilihat pH untuk HCl 0,1 M dikonfirmasi dengan pH *universal indicator* berkisar di nilai 1. Larutan HCl yang sudah terkonfirmasi pH-nya dituang ke gelas beaker sebanyak 250 mL bersamaan dengan selang pompa yang dicelupkan ke dalam gelas beaker.

Pada Gambar 2-3-2, dapat dilihat kondisi reaktor filter setelah direndam larutan pH 1 selama 8 jam. Gelas beaker dan selang tidak mengalami kerusakan dan masih dapat beroperasi dengan normal (selanjutnya teruji pada spesifikasi 10).

Pada Gambar 2-3-3 dapat dilihat larutan *buffer* yang digunakan untuk pengujian durabilitas reaktor filter terhadap pH 10. Pada Gambar 2-3-3 pula, dapat dilihat pH untuk *buffer* dikonfirmasi dengan pH *universal indicator* berkisar di nilai 10. Larutan *buffer* yang sudah terkonfirmasi pH-nya dituang ke gelas beaker sebanyak 250 mL bersamaan dengan selang pompa yang dicelupkan ke dalam gelas beaker (sama dengan pH 1 sebelumnya).

Pada Gambar 2-3-4, dapat dilihat kondisi reaktor filter setelah direndam larutan pH 10 selama 8 jam. Gelas beaker dan selang tidak mengalami kerusakan dan masih dapat beroperasi dengan normal.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan reaktor filter dari segi gelas beaker ataupun selang pompa peristaltik tahan terhadap fluktuasi pH dan dapat dioperasikan dalam kondisi pH ideal untuk filtrasi dengan filter *Metal Organic Framework* (MOF).

### 3.4 Analisis Hasil Pengujian 4

Spesifikasi spektrum pengukuran diperlukan karena filter limbah cair tekstil yang akan dikembangkan diperuntuk spektrum cahaya tampak (380 – 700 nm). Oleh karena itu dibutuhkan sistem pengukuran yang dapat mengukur dalam spektrum cahaya tampak.

Pertama dilakukan pengujian apakah sensor dapat membaca intensitas cahaya dari berbagai warna dalam spektrum cahaya tampak dengan laser biru, hijau, dan merah. Diperoleh sensor dapat membaca intensitas cahaya untuk ketiganya, kemudian sensor disusun dalam konfigurasi fisik untuk difraksi cahaya agar keseluruhan spektrum cahaya tampak jatuh dalam zona aktif sensor. Penurunan sudut dan jarak disajikan sebagai berikut.

$$n \cdot \lambda = d \cdot \sin(\theta)$$

dengan  $n$  adalah orde difraksi,  $\lambda$  panjang gelombang,  $d$  garis/mm kisi difraksi, dan  $\theta$  adalah sudut difraksi.

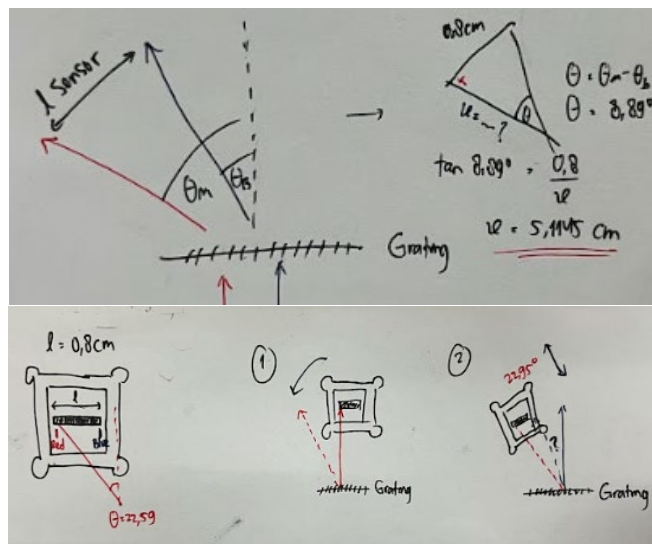
$$1 \cdot 680 \cdot 10^{-9} = \frac{1}{600} \cdot \sin(\theta_{\text{merah}})$$

$$\theta_{\text{merah}} = 22,95^\circ$$

$$1 \cdot 405 \cdot 10^{-9} = \frac{1}{600} \cdot \sin(\theta_{\text{biru}})$$

$$\theta_{\text{biru}} = 14,06^\circ$$

Mula-mula, ujung kiri daerah aktif sensor ditempatkan tepat di laser merah terang pusat. Kemudian sensor diubah sudutnya tanpa mengubah jarak hingga ujung kiri daerah aktif sensor berada pada laser merah difraksi orde 1 (sesuai perhitungan sebelumnya). Selanjutnya, sensor dimajukan atau dimundurkan hingga jarak yang sesuai. Perhitungan untuk jarak disajikan sebagai berikut.



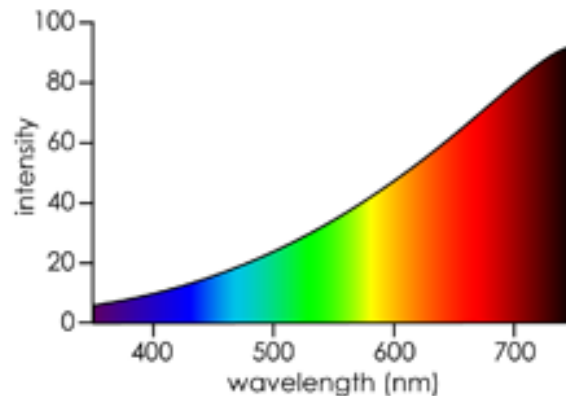
Gambar 3-4-1 Ilustrasi Perhitungan Sudut dan Jarak Sensor

$$\tan(\theta_{\text{merah}} - \theta_{\text{biru}}) = \frac{\text{daerah aktif sensor}}{x}$$

$$x = \frac{0,8 \text{ cm}}{\tan(8,89^\circ)} = 5,1145 \text{ cm}$$

Setelah konfigurasi fisik untuk sensor cahaya selesai, diperoleh spektrum intensitas cahaya untuk ketiga laser seperti pada Gambar 2-4-2 hingga Gambar 2-4-6. Laser biru memiliki puncak pada panjang gelombang ~405 nm, laser hijau memiliki puncak pada panjang gelombang ~532 nm, dan laser merah memiliki puncak pada panjang gelombang ~680 nm.

Selanjutnya, lampu halogen dijadikan sebagai sumber cahaya untuk melihat respons sensor pada spektrum cahaya tampak. Pada Gambar 2-4-7 dapat dilihat warna-warna yang terdapat pada lampu halogen, dari ungu violet hingga merah. Respons spektrumnya dapat dilihat pada Gambar 2-4-8. Apabila dibandingkan dengan referensi, hasil yang diperoleh sudah sesuai.



**Gambar 3-4-2 Referensi Rentang Spektrum Lampu Halogen**

Dari hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan sistem pengukuran dapat mengukur untuk rentang cahaya tampak.

### 3.5 Analisis Hasil Pengujian 5

Spesifikasi pengukuran absorbansi diperlukan karena filter yang dikembangkan tidak dapat membuat semua sampel air limbah menjadi sama sekali bening (tidak memiliki absorbansi untuk semua rentang cahaya tampak). Oleh karena itu dibutuhkan sistem pengukuran yang masih dapat mengukur sampel yang relatif pekat hingga yang relatif bening tetapi masih berwarna. Pengukuran absorbansi menggunakan persamaan berikut.

$$\text{absorbance (a.u.)} = \log\left(\frac{1}{T}\right) = 2 - \log(\%T)$$

$$T = \frac{I}{I_0}$$

dengan  $I$  adalah intensitas cahaya transmitansi sampel dan  $I_0$  adalah intensitas cahaya transmitansi *blank* (kuvet kosong).

Pada Gambar 2-5-1 dan 2-5-2 dapat dilihat pengujian absorbansi untuk berbagai sampel (Indigo Carmine, biru, hijau, dan merah). Dari keempat grafik tersebut dapat dilihat sistem pengukuran memiliki kapabilitas untuk mengukur absorbansi dari 0 a.u. hingga 5 a.u. (bahkan hingga 5,64 a.u.). Resolusi nilai absorbansi sensor dapat diperoleh sebagai berikut.

$$\text{Resolution} = 2 \text{ a.u.} / 256 = 0,0078125 \text{ a.u.}$$

Hasil yang diperoleh menunjukkan sistem pengukuran dapat mengukur sampel hasil filtrasi dengan rentang nilai absorbansi sebesar 0 – 5,64 a.u dengan resolusi 0,0078125 a.u.

### 3.6 Analisis Hasil Pengujian 6

Ukuran maksimum file hasil pengukuran mode spektrum adalah 673 bytes. Nilai ini didapatkan dengan membuat sebuah file dengan 128 baris nilai transmisi. Nilai maksimum intensitas cahaya yang digunakan untuk pengukuran oleh spektrofotometer yang dikembangkan sebesar 255. Ukuran file maksimum didapatkan dengan membuat sebuah file dengan 128 set nilai transmisi yang memiliki nilai tiga digit.

Produk disertai dengan sebuah kartu SD eksternal dengan ukuran 32 GB. Kapasitas penyimpanan hasil spektrofotometer dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

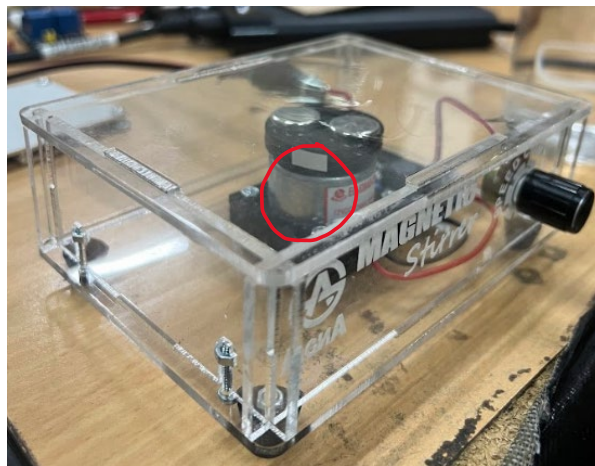
$$\text{Kapasitas} = \frac{32 \times 10^9 \text{ bytes}}{673 \text{ bytes}} = 47.197.640 \text{ percobaan}$$

Dapat disimpulkan bahwa spesifikasi #6 terpenuhi. Akan tetapi, masih terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan lebih lanjut dari sisi kapasitas penyimpanan, salah satunya adalah pengaturan metadata saat menyimpan file ke kartu SD eksternal, seperti menambah data tanggal, waktu, dan keterangan nama user. Mekanisme pengaturan metadata pada modul SD Card kurang tepat, di mana tanggal file dibuat otomatis mengikuti tanggal default yaitu 1 Januari 2024.

### 3.7 Analisis Hasil Pengujian 7

Berdasarkan Tabel 8, dapat dilihat bahwa reaktor menyala saat tombol “Start” ditekan oleh user pada layar LCD. Begitu sebaliknya saat ditekan tombol “Stop” pada LCD, di mana reaktor mati. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa spesifikasi 7 terpenuhi. Akan tetapi, terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan lebih lanjut, yaitu kendali manual *start/stop* untuk masing-masing komponen reaktor filter (pengaduk, pemanas, dan pengendali suhu). Selain itu, spesifikasi juga dapat dikembangkan lebih lanjut agar dapat memberikan keleluasan pengguna untuk mendapatkan hasil yang ideal dalam pemfilteran.

### 3.8 Analisis Hasil Pengujian 8

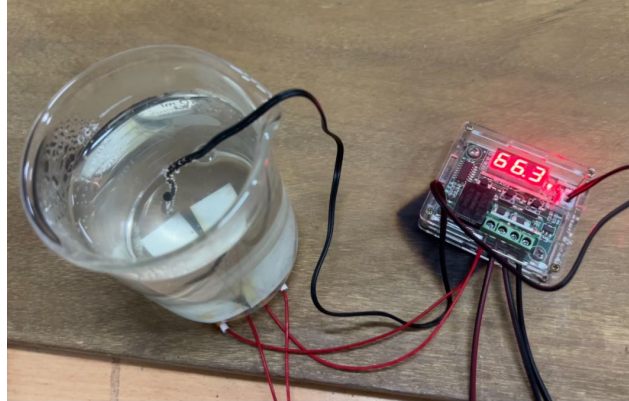


Gambar 3-8-1 Tempelan reflektif pada motor pengaduk.

Pengujian kecepatan pengaduk dilakukan dengan tachometer laser digital DT-2324C+ yang diarahkan ke tempelan reflektif pada samping motor DC agar dapat mengukur kecepatan motor pengaduk. Hasil menunjukkan bahwa spesifikasi #8 dapat terpenuhi. Spesifikasi ini dapat dikembangkan lebih lanjut agar dapat menampilkan kecepatan aduk dalam waktu nyata saat pemfilteran dilakukan.

### 3.9 Analisis Hasil Pengujian 9

Dilakukan beberapa pengujian untuk sistem pemanas, yaitu pengujian temperatur maksimum PTC *heater*, akurasi modul pengendalian temperatur W1209, dan pengujian waktu pemanasan untuk tiga setpoint temperatur. Ketiga pengujian dilakukan dengan sampel air keran sebanyak 250 mL.



Gambar 3-9-1 Temperatur Maksimum dari PTC Heater

PTC *heater* dinyalakan memanaskan air sebanyak 250 mL (temperatur awal ~26° C) dan dibiarkan hingga pembacaan temperatur pada modul pengendali temperatur W1209 stagnan. Setelah diuji coba selama 45 menit, diperoleh temperatur maksimum dari penggunaan 2 PTC *heater* sebesar 66,3° C. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa spesifikasi #9 dapat terpenuhi. Spesifikasi ini dapat dikembangkan lebih lanjut di mana dapat diimplementasikan algoritma pengendalian dengan PID agar kendali suhu lebih akurat.

### 3.10 Analisis Hasil Pengujian 10

Pengujian *flowrate* dilakukan dengan memutar potensiometer yang berperan sebagai rangkaian dimmer dengan rentang persentase putaran sebesar 20 persen hingga 100 persen, karena motor pompa berada dalam kondisi stall di bawah 20 persen akibat arus yang tidak cukup. Selang pompa diarahkan untuk memompa gelas beaker 250 mL menuju gelas beaker 100 mL selama satu menit.

Persamaan yang digunakan untuk menjalankan pompa peristaltik diturunkan dari rentang pompa bekerja, yaitu dari nilai 51 – 255. Sedangkan dari potensio, pembacaan berada pada rentang 0 – 1023. Oleh karena itu, agar pompa dapat langsung bekerja (*flowrate* minimum) saat potensio tepat diputar, pembacaan potensio dikonversikan sebagai berikut.

$$f = \frac{\text{potensio}}{5} + 51 \text{ (untuk bacaan potensio} > 0 \text{)}$$

Berdasarkan hasil yang diperoleh (Gambar 2-10), dapat disimpulkan bahwa spesifikasi #10 dapat terpenuhi. Spesifikasi ini namun dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur pengendalian arah putaran pompa untuk memudahkan sistem *flushing*.



### 3.11 Analisis Hasil Pengujian 11

Spesifikasi frekuensi pengukuran berulang diperlukan karena pengembangan filter membutuhkan iterasi, tidak cukup satu atau hanya beberapa kali penelitian. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pengukuran dengan reliabilitas yang tinggi, memungkinkan pengukuran berulang dalam satu sesi dan dapat digunakan kembali untuk banyak sesi.

Dalam pengembangan dan pengujian sistem pengukuran spektrofotometer, telah dilakukan banyak pengukuran untuk berbagai macam sampel. Secara tidak langsung sistem pengukuran sudah teruji seiring pengembangannya.

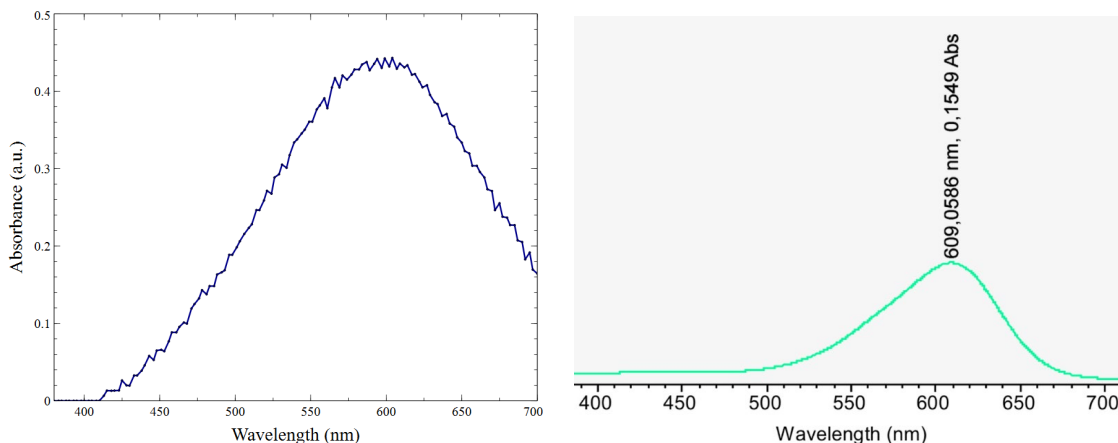
Pertama untuk pengukuran berulang dalam satu sesi pengujian sampel dapat dilihat pada Gambar 2-11-8. Pada kedua gambar, terdapat 6 kali dan 5 kali pengukuran untuk sampel yang sama. Hasil transmitansi yang diperoleh untuk kedua grafik juga dapat dikatakan hampir sama, bahkan sama. Hal ini menunjukkan sistem pengukuran memiliki reliabilitas/presisi untuk melakukan pengukuran berulang dalam satu sesi pengujian sampel.

Selanjutnya untuk pengukuran berulang untuk banyak sesi pengujian sampel berbeda dapat dilihat pada Gambar 2-11-1 hingga Gambar 2-11-8, dapat dilihat sedikitnya sudah terdapat sebanyak 59 total pengukuran dengan 8 sesi yang berbeda-beda. Hasil yang diperoleh untuk seluruhnya juga konsisten (tidak sama karena sampel yang digunakan berbeda), menunjukkan karakteristik warna sampel hasil filtrasi. Hal ini menunjukkan sistem pengukuran memiliki reliabilitas untuk melakukan pengukuran berulang dalam banyak sesi pengujian.

### 3.12 Analisis Hasil Pengujian 12

Spesifikasi akurasi pengukuran diperlukan untuk memastikan spektrum absorbansi sampel yang diperoleh valid dan dapat digunakan untuk pengembangan filter limbah cair industri tekstil. Hasil yang diperoleh dari sistem pengukuran dibandingkan dengan spektrofotometer konvensional. Namun, data sampel yang sudah dimiliki hanya sampel Indigo Carmine sehingga untuk sampel warna lainnya dibandingkan karakteristik warnanya.

Pada Gambar 3-12-1, dapat dilihat nilai transmitansi sampel Indigo Carmine yang tinggi pada warna biru dan relatif tinggi pada warna merah, karena Indigo Carmine memang terbentuk dari kedua warna tersebut. Kemudian untuk warna dengan transmitansi terendah berada pada rentang 600 nm (warna jingga). Hal ini sesuai dikarenakan secara teoritis Indigo Carmine menyerap warna jingga. Selanjutnya pada Gambar 3-12-2 dapat dilihat absorbansi Indigo Carmine yang tinggi pada rentang 600 nm pula. Apabila dibandingkan dengan referensi dapat dilihat sebagai berikut.



**Gambar 3-12-1 Spektrum Absorbansi Indigo Carmine**

Akurasi titik puncak panjang gelombang diperoleh sebagai berikut.

$$error = \frac{609,0586 - 600}{609,0586} \cdot 100\% = 1,487\%$$

$$Akurasi = 98,513\%$$

Untuk akurasi nilai absorbansi belum dapat dibandingkan dikarenakan konsentrasi sampel Indigo Carmine yang berbeda pada kedua pengukuran dan sampel yang sudah terkontaminasi sehingga tidak dapat digunakan lagi. Perlu dibeli pewarna Indigo Carmine baru dan diukur kembali baru dibandingkan.

Selanjutnya, untuk warna-warna lainnya sudah sesuai dengan karakteristik warnanya dengan referensinya sebagai berikut.

Wavelength Absorbed (nm)	Color Observed	Color Absorbed
400-435	Yellow- Green	Violet
435-480	Yellow	Blue
480-490	Orange	Green-Blue
490-500	Red	Blue-Green
500-560	Purple	Green
560-580	Violet	Yellow- Green
580-595	Blue	Yellow
595-605	Green-Blue	Orange
605-700	Blue-Green	Red

**Gambar 3-12-2 Referensi Absorbansi Warna**

Hasil yang diperoleh menunjukkan sistem pengukuran sudah dapat melakukan pengukuran dengan akurasi lebih dari 90% untuk panjang gelombang puncak pada sampel Indigo Carmine, namun belum dapat dilakukan untuk nilai absorbansi dan untuk sampel-sampel warna lainnya.

## 4 Lampiran