

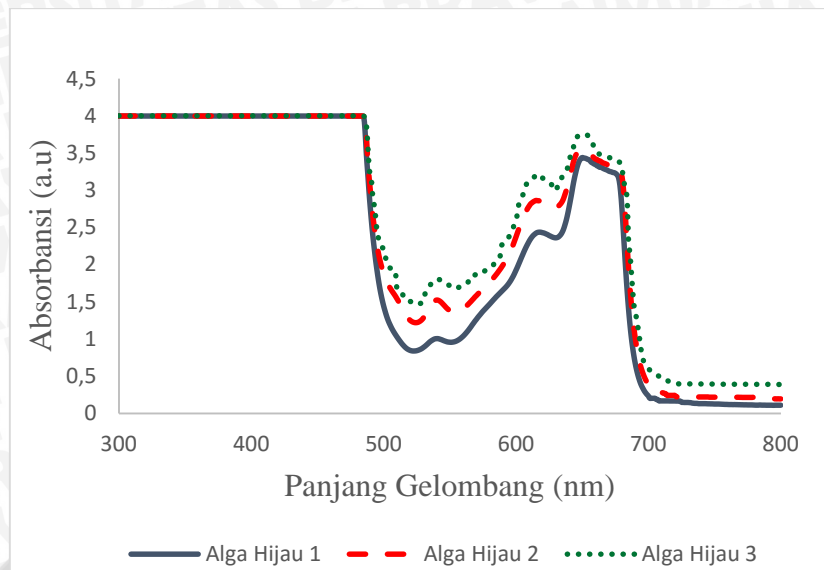
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan analisis performansi sensor optik berbahan *dye* dan TiO_2 dilakukan untuk mengetahui apakah sistem bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian untuk menghasilkan keluaran elektris dilakukan saat sensor dengan sisi fotoelektroda yang telah direndam dalam konsentrasi *dye* yang berbeda diberikan spektrum cahaya dari lampu merkuri sebagai sumber cahaya. Selain pengujian keluaran sensor, terlebih dulu dilakukan pengujian terhadap absorbansi dari masing-masing konsentrasi *dye*. Pengujian juga dilakukan untuk menghasilkan karakteristik sensor meliputi sensitivitas, linearitas dan ketidakpastian.

4.1 PENGUJIAN ABSORBANSI KLOOROFIL (*DYE*)

Pengujian absorbansi ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kemampuan *dye* yang telah dilakukan variasi konsentrasi dalam menyerap cahaya pada spektrum panjang gelombang Antara 300nm sampai 800nm. Dalam pengujian ini, digunakan alat Spectrophotometer UV-VIS Visible dengan tipe UV-1800 dari Shimadzu dan dilakukan di Laboratorium Farmasi Jurusan Farmasi Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya. Pengujian absorbansi klorofil alga hijau ini dilakukan pada panjang gelombang 300nm sampai 800nm.

Hasil pengujian absorbansi klorofil dengan variasi perbandingan massa daun dengan volume pelarut ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Pengujian absorbansi klorofil alga hijau dengan perbandingan massa daun dan volume pelarut. Alga Hijau 1 perbandingan 3:5; Alga Hijau 2 perbandingan 4:5; dan Alga Hijau3 perbandingan 6:5

Dapat dilihat dalam Gambar 4.1 bahwa pada panjang gelombang 300 nm sampai kurang lebih 480 nm memiliki absorbansi atau penyerapan cahaya sebesar 4(a.u) untuk semua jenis *dye* dengan variasi konsentrasi yang berbeda. Namun, pada panjang gelombang 500nm sampai 680nm terlihat bahwa variasi konsentrasi terbesar (alga hijau 3 perbandingan 6:5) memiliki tingkat absorbansi paling tinggi dibanding larutan lainnya. Hal tersebut sesuai dengan Persamaan (2-16) dimana hubungan antara konsentrasi larutan dan absorbansi sebanding. Pengujian absorbansi yang dilakukan dengan *spectrophotometer* ini didapatkan data penyerapan cahaya (OD) oleh klorofil atau biasanya disebut Raw Data dari setiap titik panjang gelombang yang digunakan. Dalam penelitian ini menginginkan perhitungan jumlah klorofil yang terkandung dalam larutan, sehingga sesuai rumus Wintermans & De Mots dalam Persamaan (2-13); (2-14); dan (2-15) maka penyerapan cahaya pada panjang gelombang 649 nm dan 665 nm dapat diketahui dari raw data.

4.1.1 PERHITUNGAN JUMLAH KLOORIFIL PADA VARIASI PERBANDINGAN 3:5

Pada pengujian larutan *dye* dengan perbandingan 3 : 5 (massa terlarut : volume pelarut) didapatkan data penyerapan cahaya pada OD665 = 3,303 dan OD 649 = 3,426. Dari data tersebut, kemudian dilakukan perhitungan jumlah klorofil sebagai berikut:

Klorofil a:

$$13,7 (\text{OD}665) - 5,76 (\text{OD}649) = (13,7 \times 3,303) - (5,76 \times 3,426) \\ = 45,251 - 19,734$$

$$= 25,517 \text{ mg/l}$$

Klorofil b:

$$\begin{aligned} 25,8 \text{ (OD649)} - 7,60 \text{ (OD665)} &= (25,8 \times 3,426) - (7,60 \times 3,303) \\ &= 88,391 - 25,103 \\ &= 63,288 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Klorofil total:

$$\begin{aligned} 20,0 \text{ (OD649)} + 6,10 \text{ (OD665)} &= (20,0 \times 3,426) + (6,10 \times 3,303) \\ &= 68,520 + 20,148 \\ &= 88,668 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Pada larutan *dye* dengan perbandingan 3 : 5 didapat jumlah klorofil a sebanyak 25,517 mg/l, klorofil b sebanyak 63,288 mg/l dan klorofil total sebanyak 88,668 mg/l.

4.1.2 PERHITUNGAN JUMLAH KLOORIFIL PADA VARIASI PERBANDINGAN 4 : 5

Pada pengujian larutan *dye* dengan perbandingan 4 : 5 (massa terlarut : volume pelarut) didapatkan data penyerapan cahaya pada OD665 = 3,376 dan OD 649 = 3,543. Dari data tersebut, kemudian dilakukan perhitungan jumlah klorofil sebagai berikut:

Klorofil a:

$$\begin{aligned} 13,7 \text{ (OD665)} - 5,76 \text{ (OD649)} &= (13,7 \times 3,376) - (5,76 \times 3,543) \\ &= 46,251 - 20,407 \\ &= 25,843 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Klorofil b:

$$\begin{aligned} 25,8 \text{ (OD649)} - 7,60 \text{ (OD665)} &= (25,8 \times 3,543) - (7,60 \times 3,376) \\ &= 91,409 - 25,658 \\ &= 65,751 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Klorofil total:

$$\begin{aligned} 20,0 \text{ (OD649)} + 6,10 \text{ (OD665)} &= (20,0 \times 3,543) + (6,10 \times 3,376) \\ &= 70,860 + 20,593 \\ &= 91,453 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Pada larutan *dye* dengan perbandingan 4 : 5 didapat jumlah klorofil a sebanyak 25,843 mg/l, klorofil b sebanyak 65,751 mg/l dan klorofil total sebanyak 91,453 mg/l.

4.1.3 PERHITUNGAN JUMLAH KLOORIFIL PADA VARIASI PERBANDINGAN 6 : 5

Pada pengujian larutan *dye* dengan perbandingan 6 : 5 (massa terlarut : volume pelarut) didapatkan data penyerapan cahaya pada OD665 = 3,475 dan OD 649 = 3,748. Dari data tersebut, kemudian dilakukan perhitungan jumlah klorofil sebagai berikut:

Klorofil a:

$$\begin{aligned} 13,7 \text{ (OD665)} - 5,76 \text{ (OD649)} &= (13,7 \times 3,475) - (5,76 \times 3,748) \\ &= 47,607 - 21,588 \\ &= 26,019 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Klorofil b:

$$\begin{aligned} 25,8 \text{ (OD649)} - 7,60 \text{ (OD665)} &= (25,8 \times 3,748) - (7,60 \times 3,475) \\ &= 96,698 - 26,410 \\ &= 70,288 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Klorofil total:

$$\begin{aligned} 20,0 \text{ (OD649)} + 6,10 \text{ (OD665)} &= (20,0 \times 3,748) + (6,10 \times 3,475) \\ &= 74,960 + 21,197 \\ &= 96,157 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Pada larutan *dye* dengan perbandingan 6 : 5 didapat jumlah klorofil a sebanyak 26,019 mg/l, klorofil b sebanyak 70,288 mg/l dan klorofil total sebanyak 96,157 mg/l.

Data hasil perhitungan jumlah klorofil pada larutan *dye* dengan variasi perbandingan massa terlarut dan volume pelarut secara keseluruhan ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Perhitungan Jumlah Klorofil pada Larutan *Dye* dengan Variasi Perbandingan Massa Terlarut dan Volume Pelarut

Massa Terlarut : Volume Pelarut	Klorofil a (mg/l)	Klorofil b (mg/l)	Klorofil total (mg/l)
30gr : 50ml	25,517	63,288	88,668
40gr : 50ml	25,843	65,751	91,453
60gr : 50ml	26,019	70,288	96,157

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa larutan *dye* dengan perbandingan 6:5 (massa terlarut : volume pelarut) memiliki jumlah klorofil a, klorofil, b dan klorofil total terbanyak disbanding dengan lainnya yakni berturut-turut sebanyak 26,019 mg/l; 70,288 mg/l; dan 96,157 mg/l. Hal ini disebabkan karena semakin banyak massa daun yang di ekstrak, maka

akan semakin banyak pula jumlah klorofil yang berhasil di ekstrak atau larut dan terikat dalam pelarut ethanol.

4.2 PENGUJIAN PERFORMANSI SENSOR OPTIK

Pengujian performansi sensor optik berbahan *dye* dan TiO₂ ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik elektris dan karakteristik sensor. Karakteristik elektris dilakukan dengan melakukan pengujian keluaran berupa tegangan dan arus sedangkan karakteritik sensor berupa sensitivitas sensor, ketidakpastian sensor dan lainnya.

Pengujian tegangan dan arus dilakukan dengan cara menghubungkan sensor dengan rangkaian uji kemudian diukur tegangan dan arus dengan multimeter SANWA CD800. Ilustrasi pengujian dapat dilihat dalam Gambar 3.13.

4.2.1 PENGUJIAN TEGANGAN SENSOR OPTIK

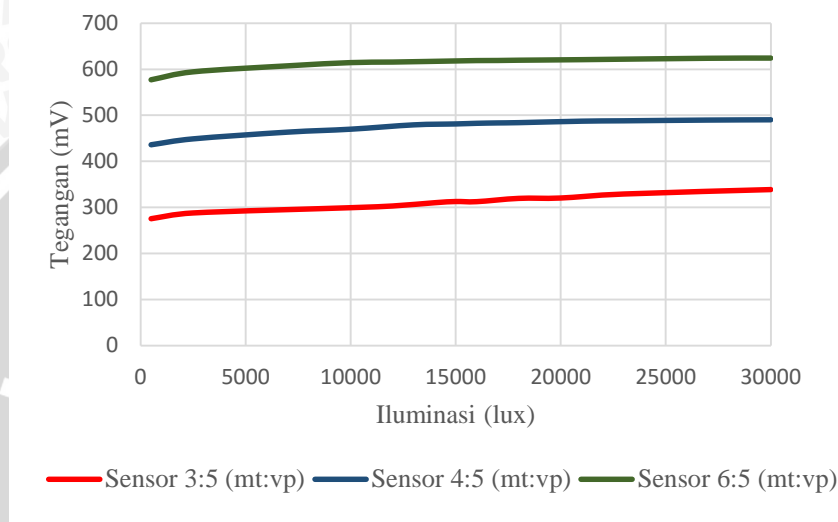
Pengujian tegangan sensor optik menggunakan lampu merkuri 250 Watt sebagai sumber cahaya. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara tegangan keluaran dan iluminasi serta tegangan keluaran dan suhu (daerah sekitar sensor optik). Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian tegangan sensor optik dengan variasi konsentrasi klorofil.

Tabel 4. 2 Hasil pengujian tegangan sensor optik dengan variasi konsentrasi klorofil

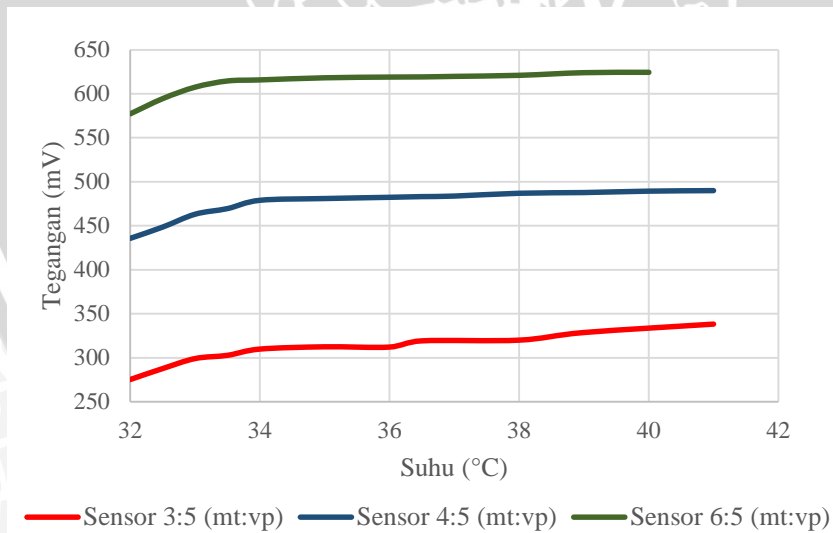
Sensor Optik dengan <i>Dye</i> 3:5 (Mt : Vp)	Iluminasi (Lux)	Suhu (°C)	Tegangan (mV)
	500	32	275,2
	10000	33	299,1
	15000	35	312,5
	18000	36,5	319,3
	27000	40	326,6
Sensor Optik dengan <i>Dye</i> 4:5 (Mt : Vp)	Iluminasi (Lux)	Suhu (°C)	Tegangan (mV)
	500	32	435,8
	10000	33,5	469,6
	15000	35	481
	18000	37	483,8
	27000	40	489,4
Sensor Optik dengan <i>Dye</i> 6:5 (Mt : Vp)	Iluminasi (Lux)	Suhu (°C)	Tegangan (mV)
	500	32	577,4
	10000	33,5	614,6
	15000	35	618,2
	18000	37	619,8
	27000	39	624
	30000	40	624,4

Nilai tegangan pada Tabel 4.2 merupakan nilai rata-rata tegangan dalam 5 (lima) kali pengukuran. Nilai tegangan keluaran sensor optik dengan *dye* 3:5 (massa terlarut : volume pelarut) memiliki nilai tegangan yang lebih kecil, yakni sebesar 275,2 mV pada iluminasi 500 lux sedangkan sensor dengan *dye* 4:5 memiliki tegangan sebesar 435,8 mV dan sensor dengan *dye* 6:5 memiliki nilai tegangan sebesar 577,4 mV pada iluminasi yang sama.

Hubungan tegangan keluaran terhadap sensor ditunjukkan dalam Gambar 4.3 dan hubungan tegangan keluaran terhadap suhu ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4. 2. Hubungan Tegangan Keluaran (mV) terhadap Sensor dengan Variasi Konsentrasi Klorofil



Gambar 4. 3 Hubungan Tegangan Keluaran (mV) terhadap Suhu (°C)

Berdasarkan Gambar 4.3, terlihat bahwa sensor optik yang direndam dalam *dye* variasi 6:5 (massa terlarut : volume terlarut) memiliki tegangan keluaran yang lebih besar dibandingkan lainnya. Nilai tegangan keluaran sebanding dengan nilai iluminasi. Artinya, nilai iluminasi semakin besar maka nilai tegangan keluaran sensor optik juga semakin besar.

Dalam Gambar 4.4, perubahan suhu juga mempengaruhi tegangan keluaran sensor optik. Hubungan antara keduanya sebanding, sehingga semakin besar perubahan suhu maka semakin besar pula tegangan keluarannya begitupun sebaliknya. Pada suhu yang sama, terlihat bahwa sensor optik yang direndam menggunakan *dye* 6:5 (mt:vp) memiliki tegangan keluaran yang lebih tinggi dibandingkan tegangan keluaran sensor optik dengan *dye* 3:5 dan 4:5.

4.2.2 PENGUJIAN ARUS SENSOR OPTIK

Pengujian arus sensor optik juga menggunakan lampu merkuri 250 Watt sebagai sumber cahaya. Pengujian arus bertujuan untuk mengetahui hubungan antara arus keluaran dan iluminasi serta tegangan keluaran dan suhu (daerah sekitar sensor optik). Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian arus sensor optik dengan variasi konsentrasi klorofil.

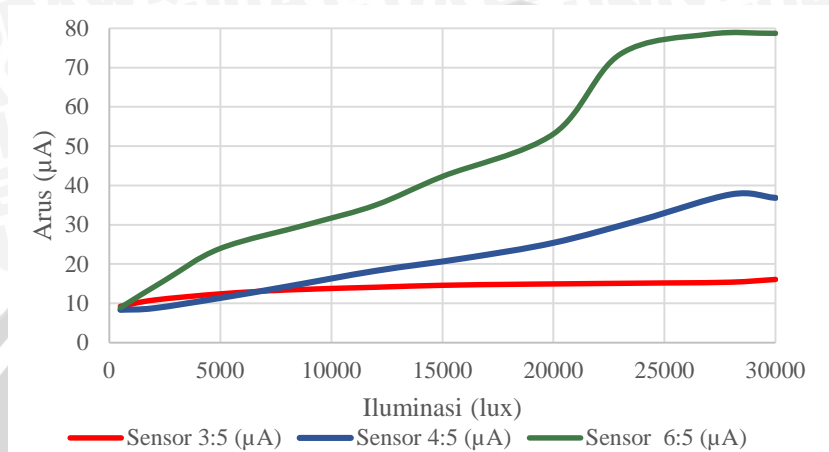
Tabel 4. 3 Hasil pengujian arus optik dengan variasi konsentrasi klorofil

Sensor Optik dengan <i>Dye</i> 3:5 (Mt : Vp)	Iluminasi (Lux)	Suhu (°C)	Arus (µA)
	500	31	9,2
	8000	32	13,4
	15000	35	14,6
	25000	39	15,2
	28000	39	15,4
Sensor Optik dengan <i>Dye</i> 4:5 (Mt : Vp)	Iluminasi (Lux)	Suhu (°C)	Arus (µA)
	500	30	8,4
	8000	32	14,3
	16000	35	21,5
	24000	40	31,3
	27000	42	37,7
Sensor Optik dengan <i>Dye</i> 6:5 (Mt : Vp)	Iluminasi (Lux)	Suhu (°C)	Arus (µA)
	500	31	8,9
	9000	32,5	30,18
	15000	34	42,28
	23000	38	73,36
	27000	39	78,46
	30000	41	78,68

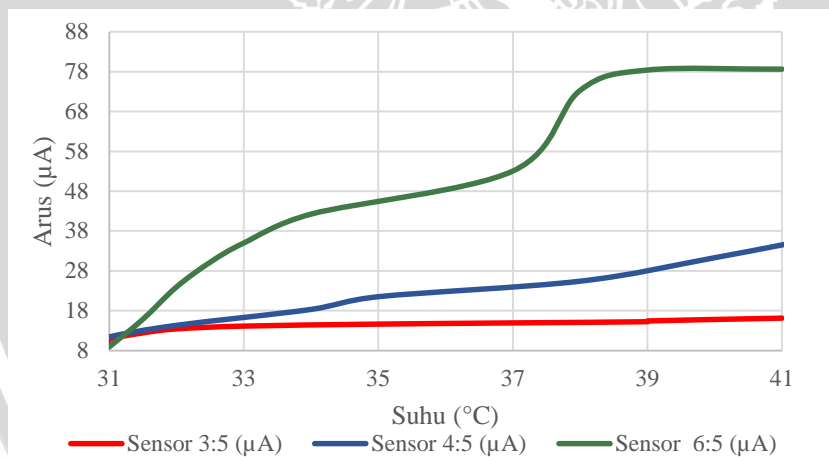
Nilai arus pada Tabel 4.3 merupakan nilai rata-rata arus dalam 5 (lima) kali pengukuran. Nilai tegangan keluaran sensor optik dengan *dye* 3:5 (massa terlarut : volume pelarut) memiliki nilai arus yang lebih kecil, yakni sebesar 16,1 µA pada iluminasi 30000 lux

sedangkan sensor dengan *dye* 4:5 memiliki arus sebesar 35,5 μA dan sensor dengan *dye* 6:5 memiliki nilai arus sebesar 78,68 μA pada iluminasi yang sama.

Hubungan arus keluaran terhadap sensor dengan variasi konsentrasi klorofil ditunjukkan dalam Gambar 4.4 dan hubungan arus keluaran terhadap suhu ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4. 4. Hubungan Arus Keluaran (μA) terhadap Sensor dengan Variasi Konsentrasi Klorofil



Gambar 4. 5. Hubungan Arus Keluaran (μA) terhadap Suhu ($^{\circ}\text{C}$)

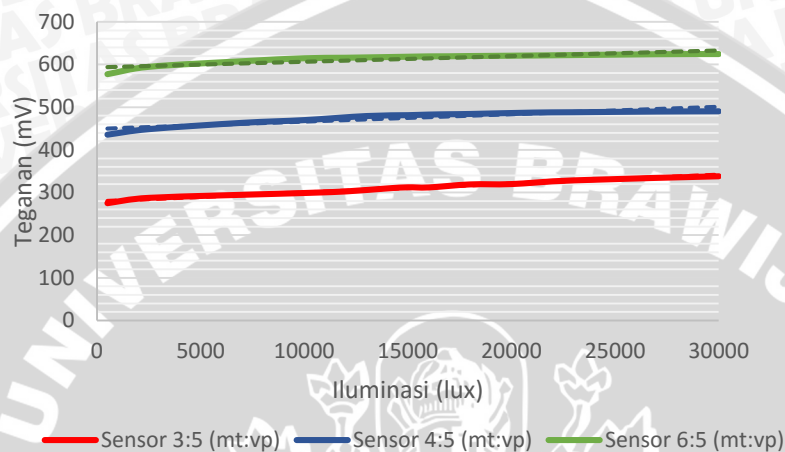
Berdasarkan Gambar 4.4, terlihat bahwa sensor optik yang direndam dalam *dye* variasi 6:5 (massa terlarut : volume terlarut) memiliki arus keluaran yang lebih besar dibandingkan lainnya. Nilai arus keluaran sebanding dengan sensor dengan variasi konsentrasi klorofil. Artinya, sensor dengan konsentrasi klorofil yang semakin besar menunjukkan nilai arus keluaran sensor optik juga semakin besar.

Dalam Gambar 4.5, perubahan suhu juga mempengaruhi arus keluaran sensor optik. Hubungan antara keduanya sebanding, sehingga semakin besar perubahan suhu maka semakin besar pula arus keluarannya begitupun sebaliknya. Pada suhu yang sama, terlihat

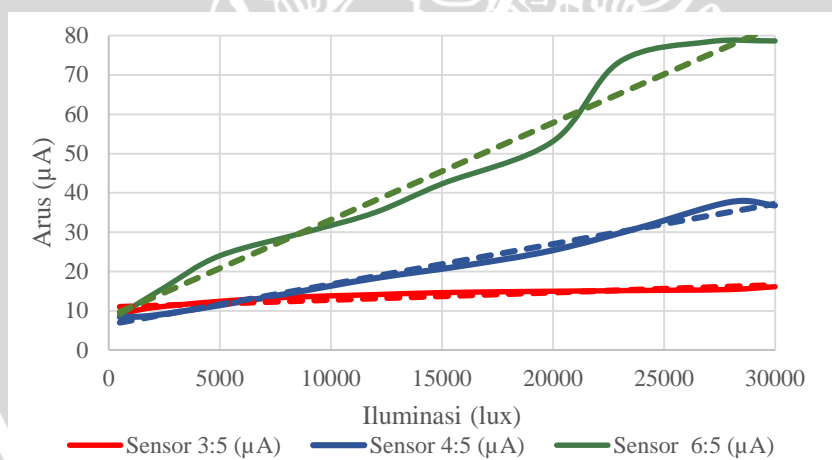
bahwa sensor optik yang direndam menggunakan *dye* 6:5 (mt:vp) memiliki tegangan keluaran yang lebih besar dibandingkan tegangan keluaran sensor optik dengan *dye* 3:5 dan 4:5.

4.2.3 PENGUJIAN LINEARITAS SENSOR OPTIK

Pengujian linearitas sensor diketahui dengan membandingkan perubahan keluaran dengan masukkan yang ditunjukkan Gambar 4.6 untuk pengujian tegangan dan Gambar 4.7 untuk pengujian arus.



Gambar 4. 6 Linearitas sensor optik pada pengujian tegangan



Gambar 4. 7 Linearitas sensor optik pada pengujian arus

Berdasarkan Gambar 4.6 dan Gambar 4.7, dicari setiap persamaan garis dan koefisien determinasi yang terbentuk dari masing-masing perulangan pengujian tegangan menggunakan bantuan Ms. Exel. Hasil pengujian tegangan dan arus ditunjukkan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Linearitas terhadap Tegangan dan Arus Keluaran

	Sensor	Persamaan Garis	Koefisien Determinasi (R^2)
Pengujian Tegangan	3:5	$y = 11,9\ln(x) + 503,09$	$R^2 = 0,9946$
	4:5	$y = 14,548\ln(x) + 340,13$	$R^2 = 0,9633$
	6:5	$y = 0,0021x + 279,01$	$R^2 = 0,9794$
	Sensor	Persamaan Garis	Koefisien Determinasi (R^2)
Pengujian Arus	3:5	$y = 0,0025x + 8,4369$	$R^2 = 0,9757$
	4:5	$y = 0,001x + 6,4591$	$R^2 = 0,9878$
	6:5	$y = 0,0002x + 10,922$	$R^2 = 0,8275$

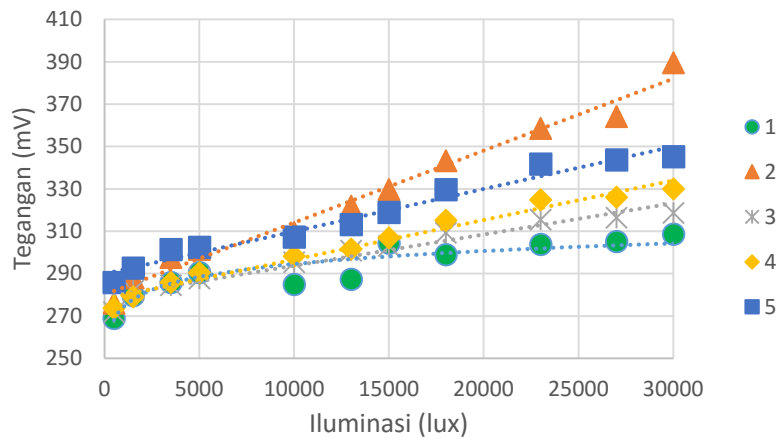
Berdasarkan Tabel 4.4, nilai koefisien determinasi (R^2) yang mendekati nilai 1 menunjukkan bahwa iluminasi sangat berpengaruh terhadap tegangan dan arus keluaran sensor optik. Pada pengujian tegangan, sensor optik dengan *dye* 3:5 memiliki tingkat kelinearitasnya lebih tinggi dibanding sensor lainnya. Pada pengujian arus keluaran, kelinearitas paling tinggi terdapat pada sensor optik dengan variasi konsentrasi klorofil 4:5.

4.2.4 PENGUJIAN SENSITIVITAS SENSOR OPTIK

Pengujian sensitivitas sensor optik memanfaatkan perulangan dalam pengujian tegangan dan arus. Dalam setiap pengujian tegangan maupun arus dilakukan 5 (lima) kali pengukuran pada masing-masing sensor optik. Hasil pengukuran kemudian ditampilkan dalam grafik sehingga terlihat hubungan iluminasi dan tegangan maupun arus keluaran sensor. Data pengukuran tersebut menghasilkan persamaan garis linier atau persamaan garis logaritmik dengan persamaan umum seperti Persamaan (2-1) dan (2-2):

4.2.4.1 PENGUJIAN SENSITIVITAS SENSOR OPTIK DENGAN *DYE* 3 : 5 (MASSA TERLARUT : VOLUME PELARUT)

Hasil pengujian tegangan keluaran dengan 5 (lima) kali perulangan ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4. 8. Pengujian tegangan keluaran dari sensor optik dengan *dye* 3:5 (mt : vp)

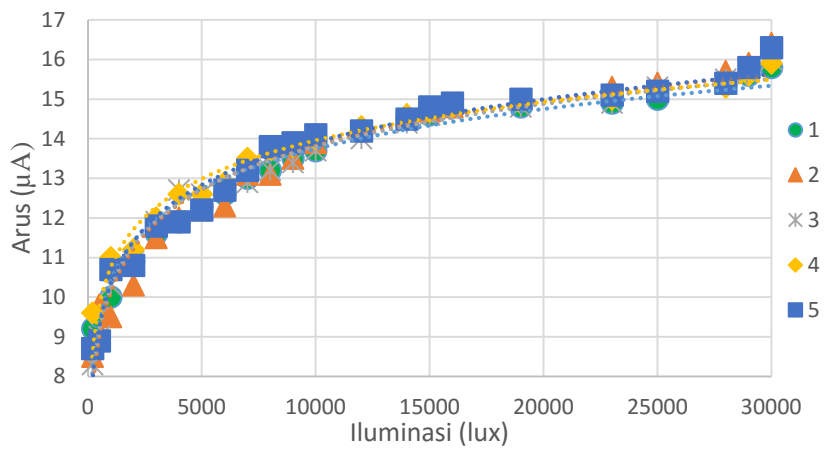
Berdasarkan Gambar 4.8, dicari setiap persamaan garis dan koefisien determinasi yang terbentuk dari masing-masing perulangan pengujian tegangan menggunakan bantuan Ms. Exel. Hasil pengujian tegangan pada sensor optik dengan *dye* 3:5 (mt: vp) ditunjukkan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4. 5. Pengujian tegangan pada sensor optik dengan *dye* 3:5 (mt : vp)

Pengujian V ke	Persamaan Garis	R ²
1	$y = 8,8235\ln(x) + 213,29$	R ² = 0,8382
2	$y = 0,0034x + 280,16$	R ² = 0,9809
3	$y = 0,0015x + 278,9$	R ² = 0,9484
4	$y = 0,0019x + 277,99$	R ² = 0,9749
5	$y = 0,002x + 289,84$	R ² = 0,9688

Pada Tabel 4.5 ditunjukkan nilai persamaan garis dan nilai koefisien determinasi (R²). Pengujian tegangan ke 2 memiliki nilai koefisien determinasi yang paling mendekati nilai 1, bisa dikatakan bahwa pengujian tersebut memiliki kecocokan yang sempurna. Oleh karena itu, persamaan garis pada pengujian ke 2 yang dijadikan acuan dalam dijadikan fungsi alih, agar tercipta hubungan keluaran dan masukan atau bisa disebut dengan nilai sensitivitas. Fungsi alih atau fungsi transfer dari pengujian ke 2 dengan menggunakan Persamaan (2-1) didapatkan hasil, $= 280,16 + 0,0034s$, sehingga sensitivitas sensor sebesar 0,0034mV/lux. Artinya, setiap ada kenaikan 1 luxnya akan merubah nilai tegangan keluaran sebesar 0,0034mV.

Nilai sensitivitas juga didapatkan dalam pengujian arus. Hasil pengujian arus pada sensor optik dengan *dye* 3:5 (mt : vp) ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Pengujian arus keluaran dari sensor optik dengan *dye* 3:5 (mt : vp) Nilai persamaan garis dan koefisien determinasi ditunjukkan dalam Tabel 4.6.

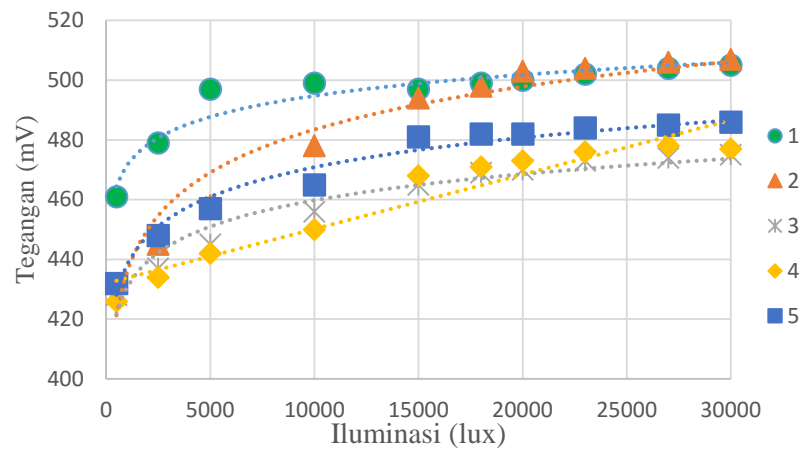
Tabel 4. 6. Pengujian arus pada sensor optik dengan *dye* 3:5 (mt : vp)

Pengujian I ke	Persamaan Garis	R ²
1	$y = 1,451\ln(x) + 0,381$	R ² = 0,9611
2	$y = 1,6235\ln(x) - 1,1142$	R ² = 0,9523
3	$y = 1,5494\ln(x) - 0,4677$	R ² = 0,9849
4	$y = 1,3962\ln(x) + 1,0981$	R ² = 0,9616
5	$y = 1,5611\ln(x) - 0,4622$	R ² = 0,9669

Pengujian arus ke 3 memiliki nilai R² paling mendekati satu (lihat Tabel 4.6) sehingga persamaan garis dijadikan acuan untuk mendapatkan nilai sensitivitas. Fungsi alih dari persamaan garis pengujian arus ke 3 dengan Persamaan (2-2) didapatkan, $= -0,4677 + 1,5494 \ln(x)$, dengan $b = \frac{dS(s_0)}{ds}$ dengan perubahan sensor (ds) sebesar 10 lux. Berdasarkan perhitungan, didapatkan nilai sensitivitas sensor sebesar 0,15494 μA/10lux, artinya pada sensor dengan *dye* 3:5 terjadi perubahan arus sebesar 0,15494 μA untuk setiap 10 lux.

4.2.4.2 PENGUJIAN SENSITIVITAS SENSOR OPTIK DENGAN DYE 4 : 5 (MASSA TERLARUT : VOLUME PELARUT)

Pengujian sensor optik dengan *dye* 4:5 dilakukan dengan 5 (lima) kali pengukuran, hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 4.10 dan untuk nilai persamaan garis serta nilai koefisien determinasi akan ditunjukkan dalam Tabel 4.7.



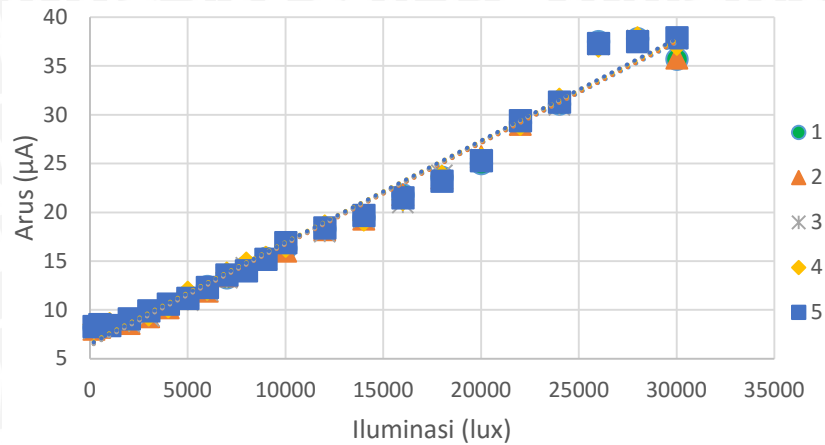
Gambar 4. 10 Hasil pengujian tegangan pada sensor optik dengan *dye* 4:5 (mt : vp)

Tabel 4. 7 Pengujian tegangan pada sensor optik dengan *dye* 4:5 (mt : vp)

Pengujian V ke	Persamaan Garis	R ²
1	$y = 10,156\ln(x) + 401,23$	R ² = 0,9231
2	$y = 20,771\ln(x) + 292,15$	R ² = 0,9409
3	$y = 12,686\ln(x) + 342,95$	R ² = 0,9488
4	$y = 0,0018x + 432$	R ² = 0,9144
5	$y = 14,272\ln(x) + 339,41$	R ² = 0,9674

Pengujian tegangan ke 5 memiliki nilai R² paling mendekati satu (lihat Tabel 4.7) sehingga persamaan garis dijadikan acuan untuk mendapatkan nilai sensitivitas. Fungsi alih dari persamaan garis pengujian tegangan ke 5 dengan Persamaan (2-2) didapatkan, = $339,41 + 14,272 \ln(x)$, dengan $b = \frac{dS(s_0)}{ds}$ dengan perubahan sensor (ds) sebesar 10 lux. Berdasarkan perhitungan, didapatkan nilai sensitivitas sensor sebesar 1,4272mV/10lux, artinya pada sensor dengan *dye* 4:5 terjadi perubahan tegangan sebesar 1,4272mV untuk setiap 10 lux.

Hasil pengujian arus dengan 5 (lima) kali perulangan ditunjukkan dalam Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Hasil pengujian arus pada sensor optik dengan *dye* 4:5 (mt : vp)

Berdasarkan Gambar 4.11, dicari setiap persamaan garis dan koefisien determinasi yang terbentuk dari masing-masing perulangan pengujian tegangan menggunakan bantuan Ms. Exel. Hasil pengujian arus pada sensor optik dengan *dye* 4:5 (mt: vp) ditunjukkan dalam Tabel 4.8.

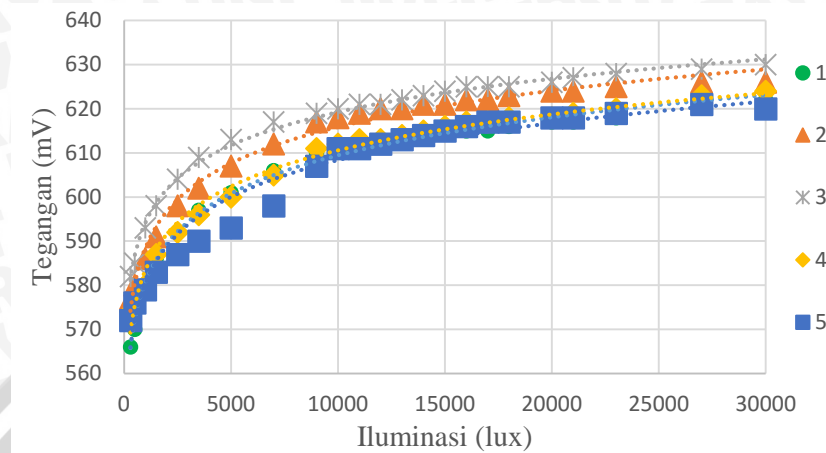
Tabel 4. 8. Pengujian arus pada sensor optik dengan *dye* 4:5 (mt : vp)

Pengujian I ke	Persamaan Garis	R ²
1	$y = 0,001x + 6,4693$	R ² = 0,9795
2	$y = 0,001x + 6,3063$	R ² = 0,9813
3	$y = 0,001x + 6,2781$	R ² = 0,9826
4	$y = 0,001x + 6,5568$	R ² = 0,982
5	$y = 0,001x + 6,4638$	R ² = 0,9821

Pada Tabel 4.8 ditunjukkan nilai persamaan garis dan nilai koefisien determinasi (R²). Pengujian arus ke 3 memiliki nilai koefisien determinasi yang paling mendekati nilai 1, bisa dikatakan bahwa pengujian tersebut memiliki kecocokan yang sempurna. Oleh karena itu, persamaan garis pada pengujian ke 3 yang dijadikan acuan dalam dijadikan fungsi alih, agar tercipta hubungan keluaran dan masukan atau bisa disebut dengan nilai sensitivitas. Fungsi alih atau fungsi transfer dari pengujian ke 3 dengan menggunakan Persamaan (2-1) didapatkan hasil, $= 6,2781 + 0,001s$, sehingga sensitivitas sensor sebesar 0,001µA/lux. Artinya, setiap ada kenaikan 1 luxnya akan merubah nilai arus keluaran sebesar 0,001µA.

4.2.4.3 PENGUJIAN SENSITIVITAS SENSOR OPTIK DENGAN *DYE* 6 : 5 (MASSA TERLARUT : VOLUME PELARUT)

Hasil pengujian tegangan pada sensor optik dengan *dye* 6:5 ditunjukkan dalam Gambar 4.12



Gambar 4. 12. Hasil pengujian tegangan pada sensor optik dengan *dye* 6:5 (mt : vp)

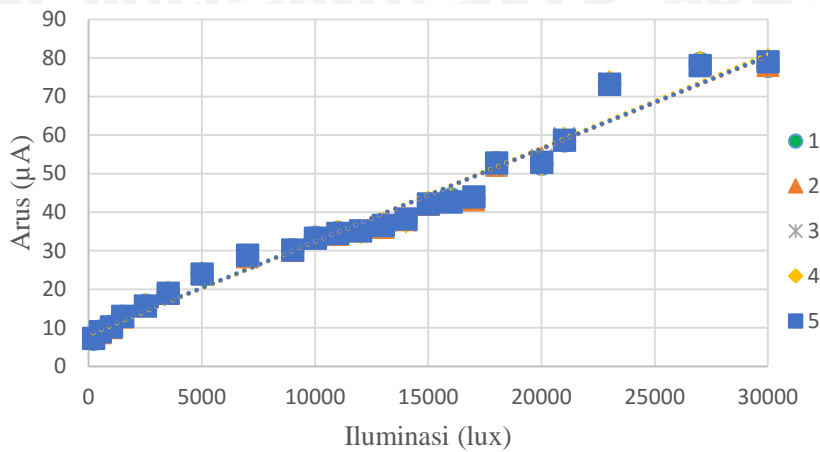
Mendapatkan nilai sensitivitas sensor dengan mencari fungsi alih pengujian tegangan tersebut, sebelum itu dicari terlebih dulu persamaan garis dan koefisien determinasi yang ditunjukkan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil pengujian tegangan pada sensor optik dengan *dye* 6:5 (mt : vp)

Pengujian V ke	Persamaan Garis	R ²
1	$y = 12,459\ln(x) + 494,68$	R ² = 0,9942
2	$y = 11,886\ln(x) + 506,4$	R ² = 0,9891
3	$y = 10,875\ln(x) + 519,09$	R ² = 0,996
4	$y = 11,797\ln(x) + 501,93$	R ² = 0,9877
5	$y = 12,102\ln(x) + 496,9$	R ² = 0,9585

Berdasarkan Tabel 4.9 pengujian tegangan ke 3 pada sensor dengan *dye* 6:5 memiliki nilai koefisien determinasi R^2 yang menunjukkan nilai yang paling mendekati 1. Persamaan pengujian tegangan ke-3 menjadi acuan analisis perhitungan sensitivitas sensor optik. Fungsi transfer dalam pengujian ke-3 berbentuk logaritmik $S = a + b \ln s$, yakni sebesar $S = 519,09 + 10,875 \ln s$, sehingga untuk mencari sensitivitas sensor mengacu pada Persamaan (2-2), $b = \frac{dS(s_0)}{ds}$ dengan perubahan sensor (ds) adalah 10 lux. Dari perhitungan diatas sensor optik dengan *dye* 6:5 memiliki sensitivitas sebesar 1,0875mV/10lux. Sensor optik ini setiap 10 lux nya mengalami perubahan tegangan sebesar 1,0875 mV.

Pengujian arus untuk mengetahui nilai sensitivitas ditunjukkan dalam Gambar 13.



Gambar 4. 13. Hasil pengujian arus sensor optik dengan *dye* 6:5 (mt : vp)

Nilai persamaan garis dan nilai koefisien determinasi pada pengujian arus sensor optik dengan *dye* 6:5 (mt : vp) ditunjukkan dalam Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil pengujian arus sensor optik dengan *dye* 6:5 (mt : vp)

Pengujian I ke	Persamaan Garis	R ²
1	$y = 0,0024x + 8,4108$	R ² = 0,9738
2	$y = 0,0024x + 8,2661$	R ² = 0,9741
3	$y = 0,0024x + 8,0658$	R ² = 0,9746
4	$y = 0,0024x + 8,1922$	R ² = 0,973
5	$y = 0,0024x + 8,3037$	R ² = 0,9753

Berdasarkan Tabel 4.10, pengujian arus ke 5 memiliki nilai R² yang mendekati nilai 1. Persamaan pengujian arus ke 5 menjadi acuan dalam analisis perhitungan sensitivitas sensor optik. Fungsi transfer dalam pengujian ke-5 berbentuk linier dengan Persamaan (2-1), yakni sebesar $=8,3037+0,0024s$, sehingga sensitivitas sensor ini sebesar 0,0024 μA/lux. Artinya, sensor akan mengalami perubahan arus sebesar 0,0024 μA setiap terjadi kenaikan intensitas cahaya sebesar 1 lux.

Nilai sensitivitas dengan melakukan perulangan pengujian tegangan dan arus keluaran pada sensor optik yang telah direndam dalam klorofil dengan variasi konsentrasi ditunjukkan dalam Tabel 4. 11.

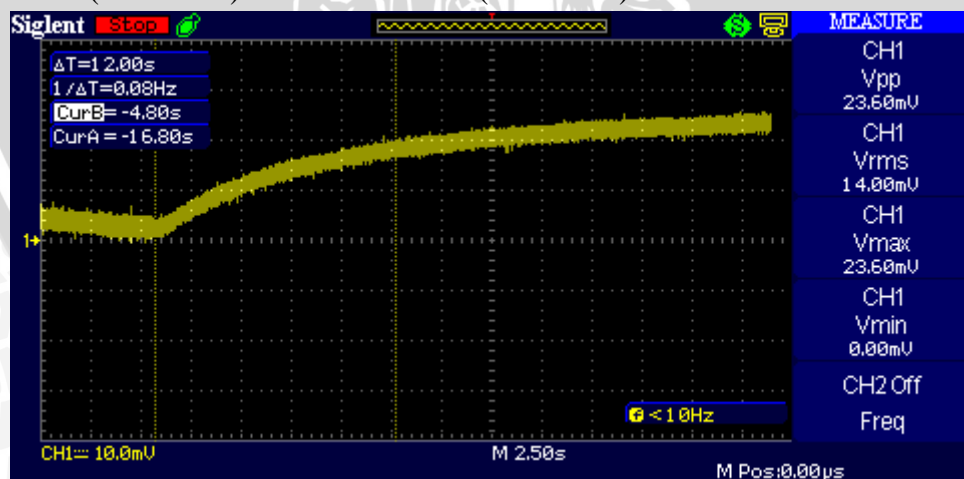
Tabel 4. 11. Hasil perhitungan sensitivitas dalam pengujian tegangan dan arus sensor optik

Sensor Optik dengan <i>dye</i> 3:5 (mt : vp)	Pengujian Keluaran	Sensitivitas
		Tegangan
	Arus	0,15494 μ A/10lux
Sensor Optik dengan <i>dye</i> 4:5 (mt : vp)	Pengujian Keluaran	Sensitivitas
		Tegangan
	Arus	0,001 μ A/lux
Sensor Optik dengan <i>dye</i> 6:5 (mt : vp)	Pengujian Keluaran	Sensitivitas
		Tegangan
	Arus	0,0024 μ A/lux

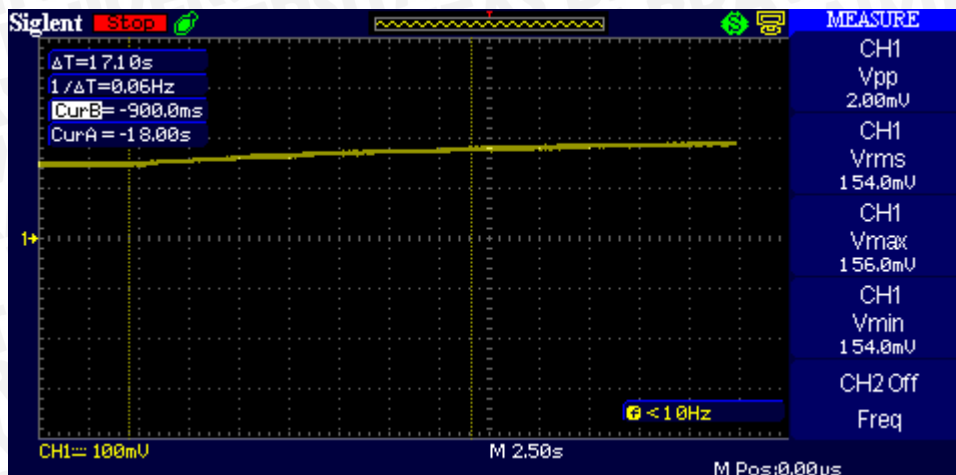
Berdasarkan Tabel 4. 11 terlihat bahwa sensor optik dengan *dye* 4:5 (mt : vp) memiliki nilai sensitivitas terbesar pada pengujian tegangan keluaran yakni, 1,4272mV/10lux, sedangkan pada pengujian arus keluaran sensor optik dengan *dye* 3:5 (mt : vp) yang memiliki nilai sensitivitas terbesar, yakni 0,15494 μ A/10lux. Nilai sensitivitas yang besar menandakan bahwa sensor optik lebih cepat merespon adanya perubahan keluaran.

4.2.5 PENGUJIAN TANGGAPAN WAKTU SENSOR OPTIK

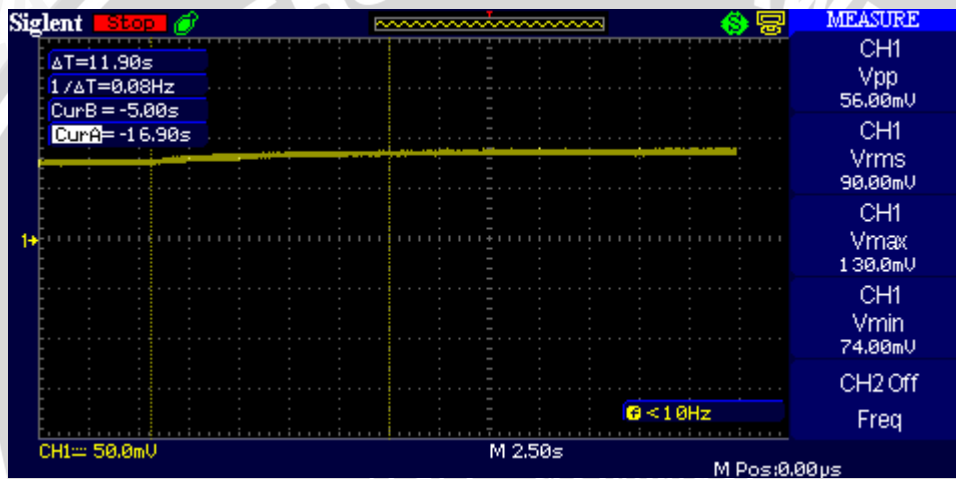
Hasil pengujian tanggapan waktu sensor optik ditunjukkan dalam Gambar 4.14 (sensor 3:5), Gambar 4.15 (sensor 4:5) dan Gambar 4.16 (sensor 6:5).



Gambar 4. 14 Tanggapan Tegangan Keluaran (mV) terhadap Waktu (s) pada Sensor 3:5



Gambar 4. 15 Tanggapan Tegangan Keluaran (mV) terhadap Waktu (s) pada Sensor 4:5



Gambar 4. 16 Tanggapan Tegangan Keluaran (mV) terhadap Waktu (s) pada Sensor 6:5

Sensor yang telah dirancang mempunyai tanggapan waktu yang berbeda. Sensor yang belum dikenai cahaya kemudian dikenai cahaya seketika akan memberikan tanggapan. Berdasarkan Gambar 4.14, 4.15 dan 4.16, sensor yang menggunakan *dye* konsentrasi tinggi 6:5 membutuhkan 11 detik untuk mencapai *steady state*, sedangkan sensor dengan *dye* 3:5 kurang lebih membutuhkan lebih dari 20 detik dan sensor dengan *dye* 4:5 membutuhkan waktu 17 detik. Dapat dikatakan bahwa, sensor dengan *dye* konsentrasi klorofil yang tinggi semakin cepat tanggapannya terhadap perubahan masukan.

4.2.6 PENGUJIAN KETIDAKPASTIAN SENSOR OPTIK

Dalam suatu pengukuran selalu disertai oleh ketidakpastian, mengingat banyaknya penyebab ketidakpastian yang mengganggu proses pengukuran. Ketidakpastian dibagi menjadi dua yaitu ketidakpastian mutlak dan ketidakpastian relatif. Dalam analisa penelitian ini menggunakan ketidakpastian relatif dengan menggunakan rumus yang ditunjukkan dalam Persamaan (2-4), (2-5), (2-6), (2-7) dan (2-8).

Perhitungan ketidakpastian dalam pengukuran sensor optik ditunjukkan dalam Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Hasil perhitungan ketidakpastian relatif (%) dalam pengujian tegangan dan arus sensor optik

Sensor Optik dengan <i>dye</i> 3:5 (mt : vp)	Pengujian Keluaran	Ketidakpastian Relatif (%)
	Tegangan	1,844
	Arus	0,881
Sensor Optik dengan <i>dye</i> 4:5 (mt : vp)	Pengujian Keluaran	Ketidakpastian Relatif (%)
	Tegangan	1,601
	Arus	0,720
Sensor Optik dengan <i>dye</i> 6:5 (mt : vp)	Pengujian Keluaran	Ketidakpastian Relatif (%)
	Tegangan	0,367
	Arus	0,481

Berdasarkan Tabel 4.12 terlihat bahwa sensor optik yang telah direndam dengan *dye* 6:5 (mt : vp) memiliki nilai ketidakpastian relatif yang terkecil pada pengujian tegangan dan arus dibanding nilai ketidakpastian sensor optik lainnya. Sensor optik dengan *dye* 6:5 (mt : vp) memiliki nilai ketidakpastian relatif sebesar 0,367% pada pengujian tegangan dan - 0,481% pada pengujian arus. Artinya semakin kecil nilai ketidakpastian suatu pengukuran maka semakin besar ketelitian yang dicapai dalam pengukuran tersebut.

