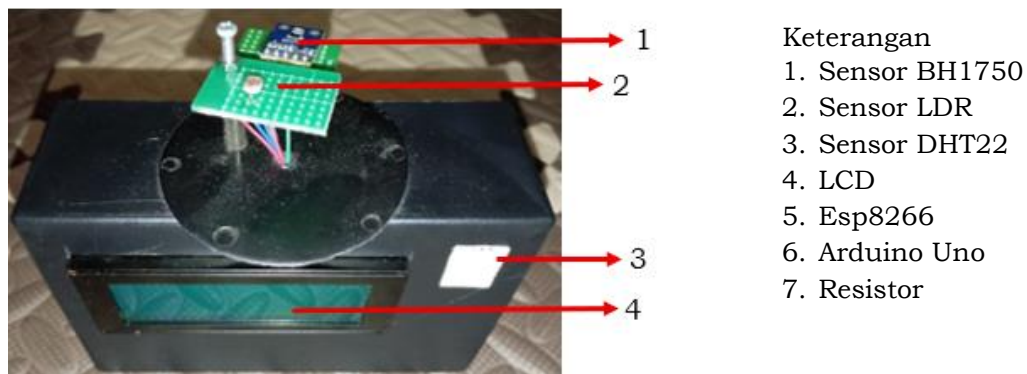


IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

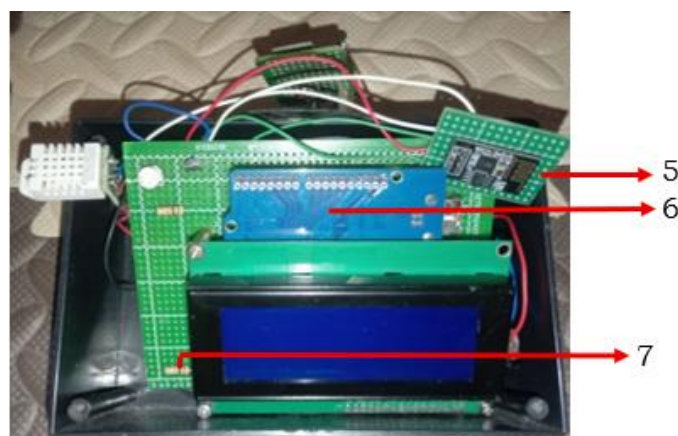
Dari penelitian ini telah selesai dirancang sistem pengukuran intensitas cahaya dalam ruangan yang dinamakan *Optisense*. Sistem ini berfungsi untuk mengukur tingkat intensitas cahaya di dalam ruangan dengan sensor LDR (Light Dependent Resistor) sebagai sensor utama. Sistem ini dirancang menggunakan modul arduino uno sebagai pengontrol sistem, sensor DHT22 sebagai pendeteksi suhu dan Kelembaban serta dilengkapi dengan Esp8266 sebagai modul *wifi*.

4.1 Perancangan Sistem Pengukuran Intensitas Cahaya

Sistem pengukuran intensitas cahaya dalam ruangan ini dirancang menggunakan arduino uno sebagai modul yang berfungsi sebagai pengendali sistem dan sensor LDR sebagai sensor utama yang berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya. Sistem ini diprogram menggunakan perangkat lunak Arduino IDE.



(a)



(b)

Gambar 14. Sistem Pengukuran Intensitas Cahaya (a) tampak depan. (b) tampak belakang

Gambar 14 memperlihatkan rangkaian sistem yang telah dirakit menggunakan papan PCB, yang terdiri dari arduino uno dan sensor LDR sebagai komponen

utama, LCD sebagai tampilan untuk menampilkan hasil pengukuran, sensor BH1750 sebagai alat pembanding, DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban dan juga digunakan resistor sebagai pembagi tegangan pada sensor LDR. Seluruh komponen tersebut terhubung pada arduino uno dan memperoleh daya dari power supply sebesar 5V.

4.2 Pengujian Alat Ukur *Optisense* Di Dalam Ruang Uji

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh filter Kalman terhadap kinerja alat ukur *Optisense* dalam hal akurasi dan presisi saat digunakan di lingkungan tertutup. Pengujian ini dilakukan di dalam ruangan tertutup berukuran (100 x 100 x 100) cm yang dirancang untuk meminimalisir gangguan cahaya dari luar. Sumber cahaya berasal dari lampu yang ditempatkan di tengah langit-langit ruangan, sehingga cahaya menyebar ke seluruh area ruangan. Alat ukur *Optisense* diletakan tepat di tengah permukaan lantai untuk melakukan pembacaan intensitas cahaya. Pertama dilakukan pengujian akurasi sebelum dilakukan penerapan filter Kalman yang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Tingkat Akurasi Alat Ukur *Optisense* Tanpa Filter Kalman

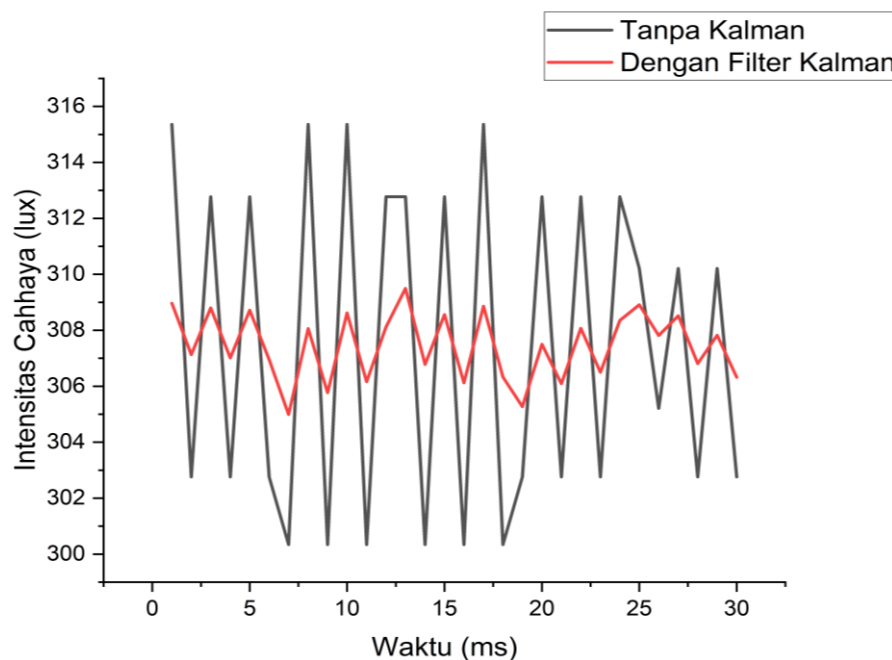
Waktu (ms)	<i>Optisense</i> (Lux)	Alat Pembanding (Lux)	% <i>Error</i>	% Akurasi
12:30:07	315.36	400	21.16	78.84
12:30:07	302.76	402.5	24.78	75.22
12:30:07	312.77	400.83	21.96	78.03
12:30:08	302.76	402.5	24.78	75.22
12:30:08	312.77	400.83	21.97	78.03
12:30:08	302.76	401.67	24.62	75.38
12:30:09	300.34	399.17	24.76	75.24
12:30:09	315.36	400.83	21.32	78.68
12:30:09	300.34	400	24.92	75.09
12:30:10	315.36	401.67	21.49	78.51
Rata-rata			23.18	76.82

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada tabel 3, hasil pengujian sistem tanpa filter Kalman menunjukkan bahwa sensor LDR hanya mampu mencapai akurasi rata-rata sekitar 76.8% dengan *error* relatif lebih dari 23%. Angka ini mengidentifikasikan bahwa pembacaan sensor masih jauh dari nilai alat pembanding.

Penerapan Filter Kalman

Alat ukur *Optisense* dilengkapi dengan filter kalman yang berfungsi untuk menyaring *noise* dan meredam fluktuasi sinyal *output* sensor agar sensor LDR

lebih stabil. Filter kalman merupakan metode estimasi optimal yang digunakan untuk mengurangi *noise* pada data pengukuran dengan memanfaatkan dua parameter utama, yaitu Q (*process noise covariance*) dan R (*measurement noise covariance*). Nilai Q dan R dalam filter ini ditentukan melalui pendekatan *trial and error* yang disesuaikan berdasarkan karakteristik sensor LDR dan mengacu pada beberapa jurnal referensi yang relevan.



Gambar 15. Grafik Data Pengujian Filter Kalman

Pada gambar 15, data menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara pembacaan sensor LDR sebelum dan sesudah penerapan filter Kalman. Data LDR asli sebelum penerapan filter kalman cenderung mengalami fluktuasi yang tinggi di pencahayaan konstan sedangkan, data pembacaan sensor LDR yang menggunakan filter Kalman menjadi lebih stabil dan tetap mengikuti pola atau karakteristik asli dari data pengukuran. Hal ini menandakan bahwa filter kalman berhasil menyaring *noise* dari sensor LDR tanpa menghilangkan karakteristik asli dari sensor LDR.

Analisis Karakteristik Statik

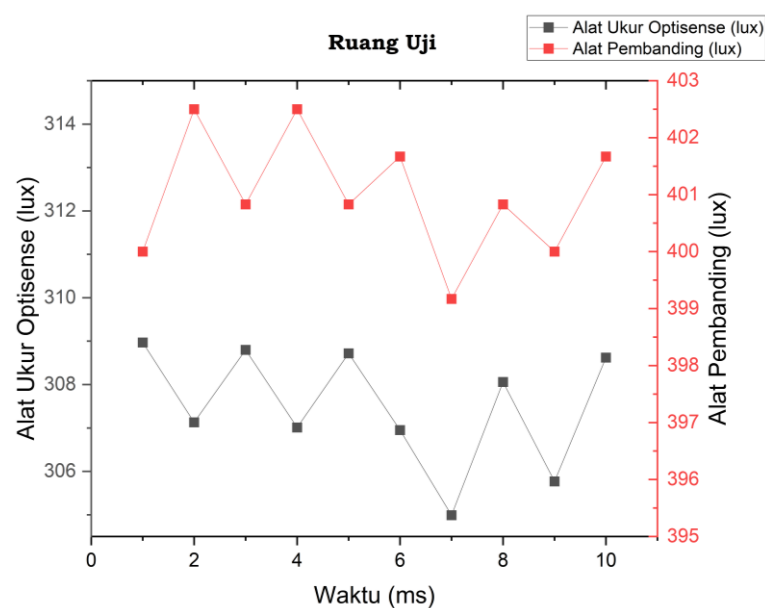
Dalam penelitian ini ada dua karakteristik statis yang akan dianalisis yaitu, akurasi dan presisi. Akurasi merupakan tingkat kedekatan nilai hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya atau nilai referensi. Dalam penelitian ini yang dimaksud dengan nilai hasil pengukuran adalah nilai yang didapat dari pembacaan *output* alat ukur *Optisense* dan nilai sebenarnya adalah nilai dari pembacaan *output* alat pembanding. Hasil percobaan menunjukkan bahwa alat

ukur *Optisense* berhasil mengukur intensitas cahaya dengan tingkat akurasi rata-rata yang dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Tingkat Akurasi Alat Ukur *Optisense* Dengan Filter Kalman

Waktu (ms)	<i>Optisense</i> (Lux)	Alat Pembanding (Lux)	% Error	% Akurasi
12:30:07	308.97	400	22.75	77.24
12:30:07	307.13	402.5	23.69	76.30
12:30:07	308.8	400.83	22.95	77.04
12:30:08	307.01	402.5	23.72	76.27
12:30:08	308.72	400.83	22.97	77.02
12:30:08	306.95	401.67	23.58	76.42
12:30:09	304.99	399.17	23.59	76.41
12:30:09	308.06	400.83	23.14	76.85
12:30:09	305.77	400	23.55	76.44
12:30:10	308.62	401.67	23.16	76.83
Rata-rata			23.31	76.68

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada tabel 4, diperoleh akurasi alat ukur *Optisense* dengan filter kalman sebesar 76.68% dan *error* sebesar 23.32%. hal ini menunjukkan bahwa setelah penerapan filter kalman tingkat akurasi alat ukur *Optisense* memiliki selisih pembacaan yang terpaut jauh di bawah alat pembanding.



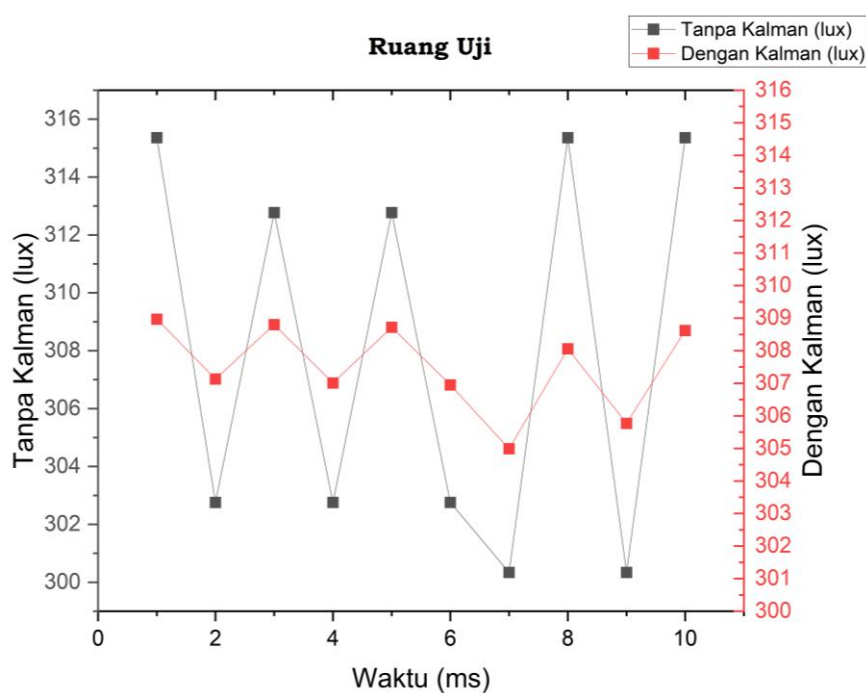
Gambar 16. Grafik Pengukuran alat ukur *Optisense* Setelah Penerapan Filter Kalman

Pada gambar 16 dapat terlihat bahwa hasil pengukuran alat ukur *Optisense* konsisten berada dibawah nilai alat pembanding, dapat disimpulkan bahwa filter Kalman belum mampu meningkatkan akurasi melainkan hanya membantu menstabilkan hasil pengukuran. Berikut merupakan tabel presisi setelah penerapan filter Kalman.

Tabel 5. Tingkat Presisi alat ukur *Optisense*

Waktu (ms)	Tanpa Kalman (Lux)	Dengan Kalman (Lux)
12:30:07	315.36	308.97
12:30:07	302.76	307.13
12:30:07	312.77	308.8
12:30:08	302.76	307.01
12:30:08	312.77	308.72
12:30:08	302.76	306.95
12:30:09	300.34	304.99
12:30:09	315.36	308.06
12:30:09	300.34	305.77
12:30:10	315.36	308.62
Mean	308.05	307.50
Standar Deviasi	6.73	1.37
Presisi	97.8%	99.6%

Setelah penerapan filter kalman, terjadi perubahan signifikan pada aspek presisi. Berdasarkan hasil pengolahan data pada tabel 4, penerapan filter kalman menunjukkan perubahan signifikan. Hasil pengukuran tanpa filter kalman memiliki variasi cukup besar dengan Nilai standar deviasi 6.73 sebaliknya, setelah diterapkan filter kalman variasi data menjadi jauh lebih kecil dengan standar deviasi sebesar 1.37. Perbedaan ini berdampak signifikan terhadap tingkat presisi yang awalnya 97.8% meningkat menjadi 99.6% setelah penerapan filter kalman. Visualisasi data pengukuran sebelum filter kalman dan setelah penerapan filter kalman dapat dilihat pada gambar 17.

**Gambar 17.** Grafik Presisi Setelah Penerapan Filter Kalman

berdasarkan gambar 17 dapat dilihat bahwa setelah penerapan filter Kalman, hasil pengukuran menjadi lebih stabil dan konsisten. Hasil ini mengindikasikan bahwa filter Kalman sangat efektif dalam meredam fluktuasi data dan meningkatkan konsistensi hasil pengukuran sistem.

4.3 Kalibrasi Sensor Light Dependent Resistor

Kalibrasi sensor LDR merupakan proses penting untuk memastikan nilai output sistem akurat atau sesuai dengan alat pembanding. Kalibrasi dilakukan menggunakan metode regresi eksponensial karena Prinsip dasar sensor LDR adalah nilai resistansi nya berbanding terbalik dengan intensitas cahaya. Kalibrasi ini dilakukan dengan menggunakan data nilai resistansi pembacaan sensor LDR dan data intensitas cahaya alat pembanding.

Prosedur Kalibrasi

Model regresi eksponensial yang diperoleh pada proses kalibrasi sebagai berikut:

$$y = ae^{bx} \quad (15)$$

dengan y adalah hasil kalibrasi, x adalah nilai resistansi, a dan b adalah konstanta hasil fitting regresi (Kusuma et al., 2023). Pengambilan data untuk kalibrasi ini dilakukan di ruang tertutup berukuran (100 x 100 x 100) cm yang bertujuan untuk meminimalisir gangguan cahaya dari luar. Kalibrasi ini menggunakan data resistansi dari *output* alat ukur *Optisense* dan akan dibandingkan dengan data intensitas cahaya dari alat pembanding. Data yang telah diambil akan dikonversi ke bentuk linier dengan logaritma natural ($\ln$) untuk mempermudah analisis.

$$\ln(y) = \ln(ae^{bx}) \quad (16)$$

$$\ln(y) = \ln(a) + bx \ln(e), \ln(e) = 1 \quad (17)$$

$$\ln(y) = \ln(a) + bx \quad (18)$$

Dengan:

$\ln(y)$ = variabel dependen (y)

x = variabel independen

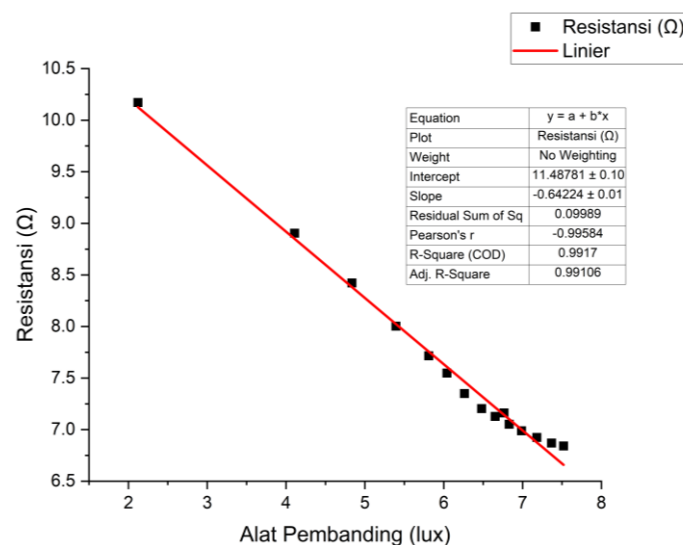
$\ln(a)$ = intercept (b)

B = slope (a)

Tabel 6. Data Kalibrasi Sensor LDR

Alat Pembanding (Lux)	Resistansi Optisense (Ω)	ln (Alat Pembanding)	ln (Resistansi)
8.33	26150.63	2.119863	10.17163
60.83	7368.111	4.108083	8.904917
125.83	4545.868	4.834932	8.421974
220	2992.937	5.393628	8.00401
333.33	2244.467	5.809133	7.716224
420	1896.885	6.040255	7.547969
525	1556.953	6.263398	7.350486
652.5	1344.339	6.480811	7.203658
775	1246.634	6.652863	7.128202
866.67	1289.457	6.764658	7.161977
925.83	1155.562	6.830691	7.052342
1082.5	1084.928	6.987028	6.989269
1313.33	1016.425	7.180321	6.924047
1583.33	963.6697	7.367286	6.870749
1844.17	936.2595	7.519785	6.841893

selanjutnya data yang telah diubah ke bentuk linier akan diplot menggunakan scatter plot dan dianalisis menggunakan regresi linier.

**Gambar 18.** Grafik Regresi Linier

dari regresi linier dihasilkan persamaan

$$y = ax + b \quad (19)$$

$$y = -0.6422 + 11.488 \quad (20)$$

dimana:

$$\text{slope (a)} = -0.6422$$

$$\text{intercept (b)} = 11.488$$

penentuan parameter untuk model regresi eksponensial adalah

$$A = e^b \quad (21)$$

$$A = 97538.26 \quad (22)$$

$$B = a = -0.6422 \quad (23)$$

sehingga dihasilkan model regresi eksponensial

$$y = 97538.26e^{-0.6422x} \quad (24)$$

4.4 Pengujian Alat *Optisense* Setelah Kalibrasi

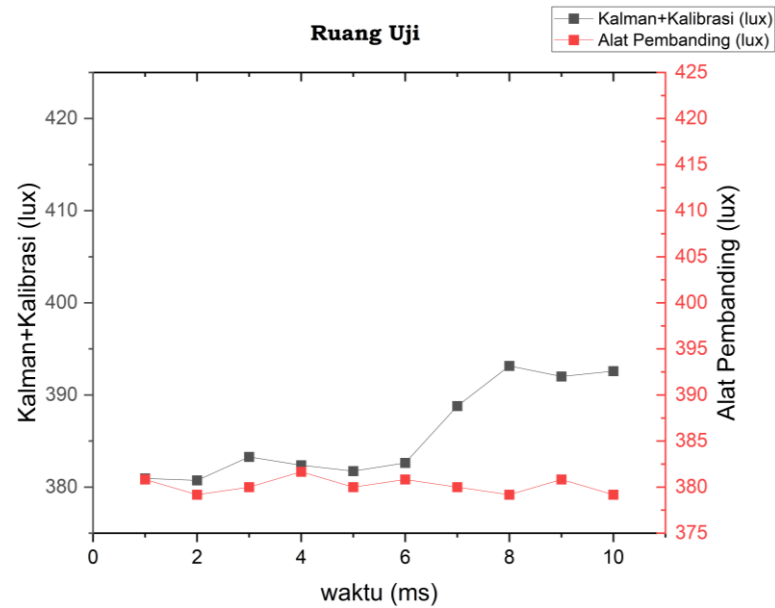
Pengujian ini dilakukan sebagai tahap lanjutan dari proses kalibrasi sistem pengukuran intensitas cahaya yang dilaksanakan di ruang tertutup. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik statik alat *Optisense* yang telah dikembangkan agar dapat mengetahui performa sensor setelah proses kalibrasi.

Analisis Karakteristik Statik

Tabel 7. Tingkat Akurasi Setelah Kalibrasi

Waktu (ms)	<i>Optisense</i> (Lux)	Alat Pembanding (Lux)	%Error	%Akurasi
12:40:21	380.94	380.83	0.03	99.97
12:40:21	380.73	379.17	0.41	99.59
12:40:21	383.27	380	0.86	99.14
12:40:22	382.37	381.67	0.18	99.82
12:40:23	381.74	380	0.46	99.54
12:40:23	382.63	380.83	0.47	99.53
12:40:23	388.79	380	2.31	97.69
12:40:24	393.15	379.17	3.69	96.31
12:40:24	392.01	380.83	2.94	97.06
12:40:24	392.59	379.17	3.54	96.46
Rata-rata			1.49	98.51

Pengujian akurasi ini dilakukan setelah proses kalibrasi menggunakan regresi eksponensial di ruang tertutup untuk memastikan kondisi lingkungan yang lebih stabil dan terkendali. Dari data terlihat bahwa nilai hasil pengukuran *Optisense* menunjukkan kedekatan yang sangat tinggi dengan alat pembanding. Selisih keduanya relatif kecil, dengan *error* terendah hanya 0.03% dan *error* tertinggi sebesar 3.69%. Nilai akurasi rata-rata yang diperoleh setelah kalibrasi meningkat signifikan mencapai 98.51%.



Gambar 19. Grafik Akurasi Setelah Kalibrasi

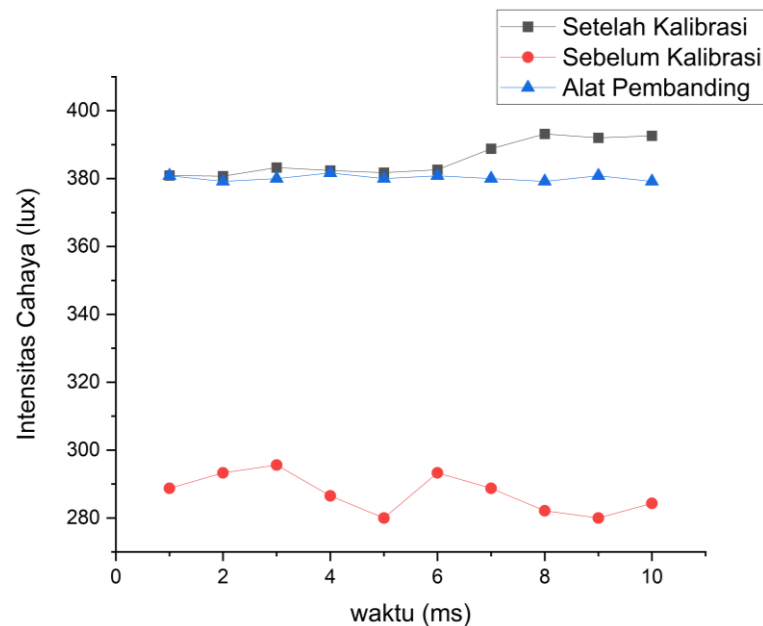
Grafik pada gambar 19 menunjukkan ilustrasi mengenai perbandingan hasil pengukuran *Optisense* setelah kalibrasi dengan alat pembanding. Pola yang ditampilkan memperlihatkan bahwa nilai *Optisense* mengikuti tren alat pembanding secara lebih konsisten, dengan perbedaan yang jauh lebih kecil dibandingkan sebelum kalibrasi. Hal ini membuktikan bahwa penerapan regresi eksponensial sebagai metode kalibrasi berhasil memperbaiki akurasi sistem *Optisense*.

Tabel 8. Tingkat Presisi Setelah Kalibrasi

Waktu (ms)	<i>Optisense (Lux)</i>	Alat Pemandang (Lux)
12:40:21	380.94	380.83
12:40:21	380.73	379.17
12:40:21	383.27	380
12:40:22	382.37	381.67
12:40:23	381.74	380
12:40:23	382.63	380.83
12:40:23	388.79	380
12:40:24	393.15	379.17
12:40:24	392.01	380.83
12:40:24	392.59	379.17
Rata-rata	385.82	380.17
SD	5.18	0.86
Presisi	98.65698	99.774

Berdasarkan hasil pengolahan data pada tabel 8 menunjukkan bahwa kalibrasi menggunakan regresi eksponensial tidak hanya meningkatkan akurasi tetapi juga meningkatkan nilai presisi menjadi 98.7%. setelah kalibrasi Standar deviasi juga mengalami penurunan menjadi 5.18 yang menandakan bahwa

pembacaan alat *Optisense* menjadi lebih stabil dan konsisten terhadap pencahayaan yang tetap.



Gambar 20. Grafik *Optisense* Setelah Kalibrasi

Pada gambar 20 dapat dilihat perbandingan hasil pengukuran intensitas cahaya antara *Optisense* sebelum kalibrasi, setelah kalibrasi dan alat pembanding. Terlihat bahwa sata sebelum kalibrasi berada cukup jauh dibawah nilai pengukuran alat pembanding, dengan rintang sekitar 280-295 *lux*. Hal ini menandakan ketidakakuratan sistem sebelum dilakukan proses kalibrasi. Data setelah kalibrasi menunjukkan pola yang jauh lebih mendekati alat pembanding. Nilai pengukuran *optisense* setelah kalibrasi berada pada kisaran 380-390 *lux* yang hampir berhimpitan dengan data alat pembanding. Ini memperlihatkan bahwa kalibrasi berhasil memperbaiki sistem menjadi lebih akurat dan konsisten.

4.5 Pengujian Alat *Optisense* Di laboratorium

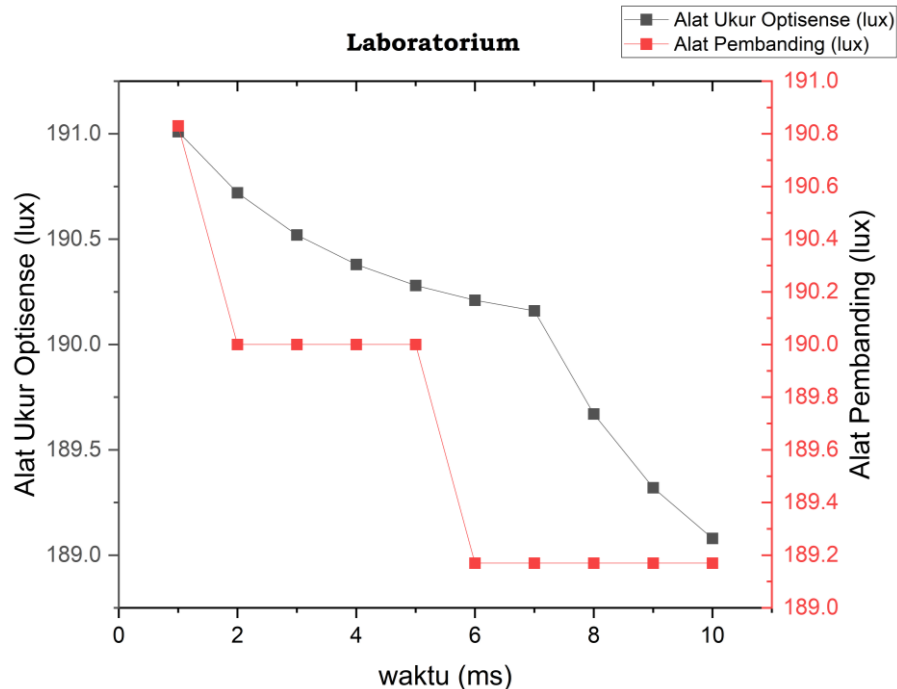
Pengujian sistem di laboratorium dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dari alat yang telah dikembangkan pada kondisi penggunaan nyata. Setelah proses kalibrasi dan pengujian awal di dalam ruang tertutup berukuran (100 x 100 x 100) cm, sistem kemudian diuji di lingkungan laboratorium yang memiliki kondisi cahaya dan faktor eksternal yang tidak sepenuhnya terkontrol, seperti cahaya yang masuk dari luar ruangan.

Tujuan utama dari pengujian ini ialah untuk mengetahui tingkat akurasi dan stabilitas dari respon sistem dalam pengukuran di kondisi pencahayaan yang umum digunakan sehari-hari. Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan sistem di beberapa titik di dalam ruangan laboratorium dan kemudian membandingkan hasil pengukuran dengan alat pembanding.

Tabel 9. Tingkat Akurasi Di Laboratorium

Waktu (ms)	Optisense (Lux)	Alat Pembanding (Lux)	%error	%akurasi
07:37:15	191.01	190.83	0.09	99.91
07:37:36	190.72	190	0.38	99.62
07:37:58	190.52	190	0.27	99.73
07:38:20	190.38	190	0.2	99.8
07:38:41	190.28	190	0.15	99.85
07:39:03	190.21	189.17	0.55	99.45
07:39:24	190.16	189.17	0.52	99.48
07:39:46	189.67	189.17	0.26	99.76
07:40:07	189.32	189.17	0.08	99.92
07:40:29	189.08	189.17	0.05	99.95
Rata-rata			0.26	99.74

Hasil pengujian akurasi sensor *Optisense* terhadap alat pembanding pada kondisi pencahayaan nyata ditunjukkan pada tabel 9 nilai *error* yang dihasilkan berkisar 0.04% hingga 0,55% dengan rata-rata *error* sebesar 0.26%. hal ini menunjukkan bahwa selisih pembacaan sistem *Optisense* terhadap alat pembanding sangat kecil. Nilai akurasi yang diperoleh memiliki rata-rata sebesar 99.74%. angka ini menunjukkan bahwa sistem *Optisense* memiliki kemampuan pengukuran yang sangat mendekati alat standar.

**Gambar 21.** Grafik Pengukuran *Optisense* di Laboratorium

Grafik pada gambar 21 memperkuat informasi dari tabel 9 dengan menyajikan tren visual perbandingan antara *Optisense* dan alat pembanding.

Terlihat bahwa data *Optisense* mengikuti pola penurunan nilai yang hampir sama dengan alat pembanding dengan sedikit deviasi di beberapa titik tetapi tidak terlalu mempengaruhi tingkat akurasi. Hasil ini menunjukkan bahwa *Optisense* memiliki kinerja yang sangat baik saat diuji di laboratorium sebagai lingkungan dengan kondisi nyata.

Tabel 10. Tingkat Presisi Di Laboratorium

Waktu (ms)	<i>Optisense</i> (Lux)	Alat Pembanding (Lux)
07:37:15	191.01	190.83
07:37:36	190.72	190
07:37:58	190.52	190
07:38:20	190.38	190
07:38:41	190.28	190
07:39:03	190.21	189.17
07:39:24	190.16	189.17
07:39:46	189.67	189.17
07:40:07	189.32	189.17
07:40:29	189.08	189.17
Rata-rata	190.14	189.67
Standar deviasi	0.61	0.58
presisi	99.68	99.69

Berdasarkan hasil pengujian ini diperoleh data perbandingan alat *Optisense* dan alat pembanding pada tabel 10. Nilai hasil pengukuran *Optisense* berada pada rentang 191.01 hingga 189.08 *lux*, sedangkan alat pembanding menunjukkan rentang hasil yang relatif seragam yaitu antara 190.83 hingga 189.17 *lux*. Secara umum, hasil pengukuran keduanya sangat berdekatan dan dapat disimpulkan bahwa *Optisense* mampu bekerja dengan baik.

Dilihat dari data yang ditunjukkan pada tabel 10, hasil standar deviasi yang diperoleh alat *Optisense* sebesar 0.61 dan alat pembanding sebesar 0.58. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat keragaman data pada sensor *Optisense* sedikit lebih tinggi dibandingkan alat pembanding dengan perbedaan yang relatif kecil. Berdasarkan standar deviasi, tingkat presisi *Optisense* yang dihitung menunjukkan nilai yang sangat baik sebesar 99.68% dan untuk alat pembanding sebesar 99.69% hasil ini menunjukkan bahwa kedua alat tersebut memiliki tingkat konsistensi pengukuran yang sangat baik. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa alat ukur *Optisense* yang dikembangkan memiliki kinerja yang baik mendekati kinerja alat pembanding dalam kondisi pencahayaan nyata baik dari segi akurasi dan presisi.