

STUDI PENGARUH FILTER KALMAN PADA PENGUKURAN INTENSITAS CAHAYA DALAM SISTEM SMART HOME

STUDY OF THE EFFECT USING KALMAN FILTERS ON THE MEASUREMENT OF LIGHT INTENSITY IN A SMART HOME SYSTEM

Muhammad Pandu Aryo Gumilang¹, Dr. Ery Djunaedy², Reza Fauzi Iskandar, S.Pd., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Panduaryogumilang@gmail.com¹, erydjunaedy@gmail.com², rezafauzii@gmail.com³

Abstrak

Sistem Smart Home merupakan informasi dan teknologi terintegrasi yang berbasis hardware dan software dengan fokus untuk memaksimalkan keamanan serta kenyamanan pemilik hunian tempat tinggal. Rumah yang nyaman adalah rumah yang memiliki pencahayaan yang baik di setiap ruangnya, pencahayaan dalam rumah dibutuhkan untuk optimalisasi setiap aktivitas, perbedaan aktivitas manusia dalam suatu rumah membutuhkan intensitas cahaya tertentu. Standar Nasional Indonesia memiliki nilai referensi intensitas cahaya untuk menjadikan ruangan yang nyaman, untuk ruang tamu, ruang makan, dan ruang kerja adalah 120 ~ 250 lux. Untuk membuat smart home yang memiliki pencahayaan yang baik maka dibutuhkan tolak ukur pencahayaan di dalam rumah, salah satu sensor cahaya yang dapat dijadikan alat ukur adalah sensor LDR (Light Dependent Resistor), Sensor LDR memiliki kekurangan yaitu hasil sensor yang berfluktuasi, data yang dihasilkan sensor LDR belum baik untuk sistem pengukuran dan akan menyulitkan sistem smart home itu sendiri. maka dari itu dibutuhkan filter kalman yaitu filter yang dapat memprediksi nilai sehingga didapatkan hasil yang stabil, hasil akhir menunjukkan bahwa filter kalman mampu menghilangkan fluktuasi dengan error 7.57% sehingga akurasi relative pengukuran adalah 92.43% lebih baik dibanding tidak menggunakan filter kalman, untuk correlation pearson 0.995 dan nilai standar deviasi 19.88.

Kata Kunci: Smart Home, Smart House, eHome, Intensitas Cahaya, Filter Kalman

Abstrak

The Smart Home system is information and integrated technology based on hardware and software with a focus on maximizing the security and comfort of residential dwellers. A comfortable house is a house that has good lighting in each room, lighting in the house is needed to optimize each activity, the difference in human activity in a house requires a certain intensity of light. The Indonesian National Standard has a light intensity reference value to make the room comfortable, for the living room, dining room, and work space is 120 ~ 250 lux. To make a smart home that has good lighting, a lighting measurement is needed in the house, one of the light sensors that can be used as a measuring instrument is the LDR (Light Dependent Resistor) sensor, the LDR sensor has a fluctuating sensor result, the data generated by the sensor LDR is not good for measurement systems and will complicate the smart home system itself. Therefore it is necessary to use the Kalman filter which is a filter that can predict values so that a stable result is obtained, the final result shows that the Kalman filter is able to eliminate fluctuations with an error of 7.57% so that the relative accuracy of measurement is 92.43% better than not using the Kalman filter, for Pearson correlation 0.995 and the standard deviation value of 19.88.

Keywords: Smart Home, Smart House, eHome, Light Intensity, Kalman Filter, Logarithmic

1. Pendahuluan

Smart home kadang disebut smart house atau eHome merupakan salah satu sistem otomatis dimana salah satu fiturnya adalah mengendalikan intensitas cahaya [1], sampai saat ini sudah berkembang hingga dapat mengamati kelembaban, power, dan keamanan. tujuan dari smart home sendiri adalah untuk menyediakan manajemen smart home dan lingkungan hidup yang nyaman [2].

Rumah yang nyaman adalah rumah yang memiliki penerangan yang baik di setiap ruangnya. Pencahayaan yang tidak sesuai akan mengakibatkan gangguan penglihatan. Pencahayaan juga mempengaruhi psikologi seseorang, sebuah kantor di Malaysia membuktikan pencahayaan pada lingkungan seseorang yang baik dapat mengatur reaksi tertekan dan memberdayakan karyawan [3]. Kenyamanan, emosional, serta produktivitas dapat dipengaruhi oleh penerangan pada ruangan tersebut.

Standar Nasional Indonesia memiliki nilai referensi intensitas cahaya untuk menjadikan ruangan yang nyaman, untuk ruang tamu, ruang makan, dan ruang kerja adalah 120 ~ 250 lux [4]. Nilai referensi dengan intensitas tersebut harus dijaga untuk kenyamanan penghuni rumah. Untuk membuat smart home yang memiliki pencahayaan yang baik maka dibutuhkan tolak ukur pencahayaan di dalam rumah, salah satu sensor cahaya yang dapat dijadikan alat ukur adalah sensor LDR (Light Dependent Resistor), karena sensor LDR akan berefek pada resistansi sehingga dapat dikonversi ke intensitas cahaya [5].

Sensor LDR memiliki kekurangan yaitu hasil sensor yang berfluktuasi, data yang dihasilkan sensor LDR belum dapat dikatakan baik untuk sistem pengukuran dan akan menyulitkan sistem smart home itu sendiri. Maka dari itu dibutuhkan filter kalman yaitu filter yang dapat memprediksi nilai sehingga didapatkan hasil yang stabil, filter kalman akan membandingkan hasil data yang diperbaharui dengan hasil data estimasi dengan kalman [6]. Dengan menggunakan filter kalman diharapkan pengukuran akan lebih stabil.

Dengan meningkatkan kestabilan pengukuran intensitas cahaya, akan menunjang sistem smart home dari sisi penerangan dan tercipta penerangan yang nyaman di setiap ruangan. Berdasarkan uraian tersebut, maka fokus penelitian ini adalah “Studi Pengaruh Penggunaan Filter Kalman pada Pengukuran Intensitas Cahaya dalam Sistem Smart Home”.

2. Dasar Teori

2.1. Pendekatan Fungsional

Sangat sedikit sensor dengan *output* linier, setidaknya nonlinier akan selalu ada, terutama untuk rentang input yang luas. Dalam banyak kasus ketika nonlinier tidak dapat ditoleransi, fungsi transfer dapat didekati oleh banyak fungsi matematika linier [7].

Model simple dari fungsi transfer linier :

$$E = A + B s \quad (1)$$

Dimana ;

E = Keluaran Pengukuran

B = Slope

A = Intercept

s = Sinyal Masukan

2.2. Regresi Linier

Jika pengukuran *input* kalibrasi tidak dapat dilakukan dengan konsisten untuk menghasilkan akurasi yang tinggi dan dapat diperkirakan memiliki *error* yang besar, untuk mengatasi berbagai macam *error* dalam proses kalibrasi, metode regresi linier dapat menentukan *intercept* dan *slope* [8].

$$A = \frac{\sum E \sum s^2 - \sum s \sum sE}{k \sum s^2 - (\sum s)^2} \quad (2)$$

$$B = \frac{k \sum sE \sum - \sum s \sum E}{k \sum s^2 - (\sum s)^2} \quad (3)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

E = Sinyal Keluaran

A = Intercept

k = Jumlah Data

s = Sinyal Masukan

B = Slope

2.3. Cahaya

Cahaya adalah energi berbentuk gelombang elektromagnetik berupa cahaya tampak dengan panjang gelombang sekitar 380–750 nm. Pada bidang fisika, cahaya adalah radiasi elektromagnetik, baik dengan panjang gelombang cahaya tampak maupun yang tidak. Selain itu, cahaya adalah paket partikel yang disebut foton.

2.3.1. Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya (*luminous intensity*) (I) adalah arus cahaya (ϕ) yang dipancarkan per satuan sudut ruangan (ω). Sudut ruangan sebesar satu steradian dapat dianalogikan sebagai sudut yang dibentuk oleh batas-batas ruang TABCD dan permukaan [9].

Dengan satuan pengukuran :

$$\text{cd} = \frac{\text{lm}}{\text{sr}} \quad (4)$$

2.4. Filter Kalman

Jadi secara umum, *Kalman Filter* merupakan optimal estimator, yaitu menyimpulkan parameter data dari *input* yang tidak akurat dan tidak pasti. Hal ini rekursif sehingga didapatkan hasil yang optimal dari proses tersebut. Untuk memperoleh kualitas data masukan yang baik perlu digunakan filter digital untuk mengurangi *noise* dari keluaran sensor.

2.4.1. Algoritma Kalman Filter Diskrit

Filter Kalman memperkirakan proses dengan menggunakan bentuk kontrol umpan balik: filter memperkirakan proses keadaan pada suatu waktu dan kemudian memperoleh umpan balik dalam bentuk (*noisy*) pengukuran. Dengan demikian, persamaan untuk filter Kalman dibagi menjadi dua kelompok: persamaan *time update* dan *measurement update* persamaan. Persamaan *time update* berhubungan untuk memproyeksi nilai kedepan (dalam waktu) perkiraan nilai aktual dan error aktual untuk mendapatkan estimasi untuk langkah waktu berikutnya. Persamaan *measurement update* berhubungan untuk umpan balik yaitu untuk menggabungkan *new measurement* ke dalam perkiraan aktual untuk memperoleh perkiraan pengukuran yang lebih baru lagi [10].

Persamaan *a posteriori estimate* adalah :

$$\hat{x}_k^- = \hat{x}_{k-1} \quad (5)$$

Persamaan *a posteriori estimate error covariance* adalah :

$$\hat{p}_k^- = p_{k-1} + Q \quad (6)$$

Persamaan *gain* adalah :

$$\begin{aligned} k_k &= p_k^- (p_k^- + R)^{-1} \\ &= \frac{p_k^-}{p_k^- + R} \end{aligned} \quad (7)$$

Persamaan *estimate* adalah :

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + k_k (z_k - \hat{x}_k^-) \quad (8)$$

Persamaan *a posteriori estimate error covariance* adalah :

$$p_k = (1 + k_k) p_k^- \quad (9)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

$\hat{x}_k^-$ = A Priori Estimate

k_k = Gain

$\hat{p}_k^-$ = A Priori Estimate Error Covariance

R = Measurement noise covariance

Q = Process Noise Covariance

z_k = Pengukuran Aktual

$\hat{x}_k$ = Estimate

p_k = A Posteriori Estimate Error Covariance

Pada pertama kali dijalankan $\hat{x}_k^-$ dan $\hat{p}_k^-$ masing masing bernilai 0 dan 2 karena belum ada pengukuran sama sekali sedangkan untuk $\hat{p}_k^-$ bernilai 2 yang diasumsikan bahwa terdapat error dalam pengukuran tersebut. Lalu $\hat{p}_k^-$ digunakan untuk mengetahui besaran *Gain* sehingga $\hat{x}_k$ dapat diketahui dan menggantikan nilai yang lama $\hat{x}_k^-$. setelah itu nilai $\hat{p}_k^-$ diperbaharui dan di ganti dengan error yang baru p_k . Nilai p_k dan $\hat{x}_k$ akan selalu diperbarui sesuai dengan nilai error yang diestimasi.

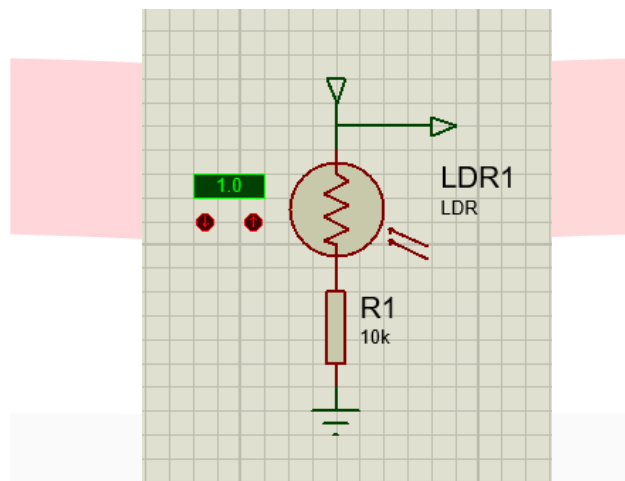
2.5. Sensor

Sensor adalah Sebuah sirkuit yang biasa menerima suatu masukan dari mekanis, magnetism, panas, kimia dan sinar yang akan dirubah menjadi energi listrik dan diproses untuk menghasilkan keluaran tertentu.

2.5.1. Sensor LDR

Light Dependent Resistor atau biasa disebut LDR adalah alah satu jenis resistor yang dapat mengalami perubahan resistansinya apabila mengalami perubahan penerimaan cahaya. Besarnya nilai hambatan pada sensor cahaya LDR (Light Dependent Resistor) tergantung pada besar kecilnya cahaya yang diterima oleh LDR itu sendiri. Semakin besar cahaya yang diterima maka semakin kecil resistansi pada LDR. LDR terbuat dari Cadmium Sulfida yaitu merupakan bahan semikonduktor yang resistansnya berubah-ubah menurut banyaknya cahaya yang mengenainya.

Pada saat gelap atau cahaya redup, bahan dari cakram tersebut menghasilkan elektron bebas dengan jumlah yang relatif kecil.

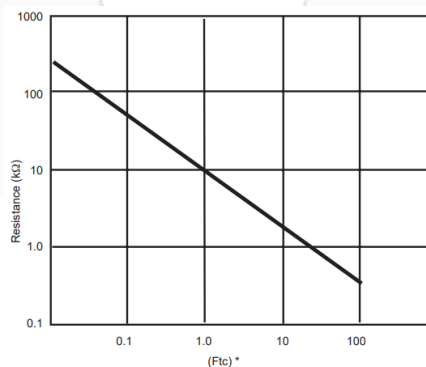


Gambar 2. 1 Rangkaian sensor LDR (Light Dependent Resistor)

Gambar 2.1 merupakan rangkaian sensor LDR, dari gambar tersebut dapat kita gunakan persamaan berikut :

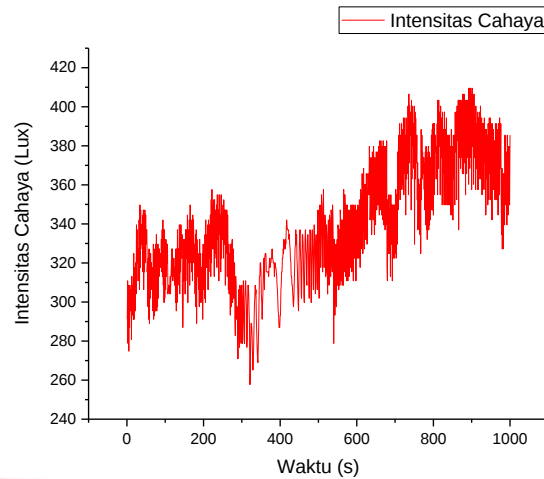
$$V_{out} = V_{cc} \cdot \frac{R_{LDR}}{R_{Resistor} + R_{LDR}} \quad (10)$$

Setiap peningkatan nilai resistansi dari LDR akan mengakibatkan nilai pembacaan voltasenya semakin meningkat. Begitu juga pada saat cahaya



Gambar 2. 2 Resistansi Sebagai Fungsi Intensitas Cahaya [5]

Semakin terang, maka resistansi akan semakin mengecil sehingga menyebabkan V_{out} yang diukur semakin kecil. Pada sensor LDR intensitas cahaya akan berbanding terbalik dengan resistansi, ketika cahaya redup maka resistansi akan tinggi, begitu juga sebaliknya ketika cahaya terang resistansi akan menurun.



Gambar 2. 3 Noise Sensor LDR.

Tabel 2. 1 Spesifikasi Sensor LDR (Light Dependent Resistor) [5].

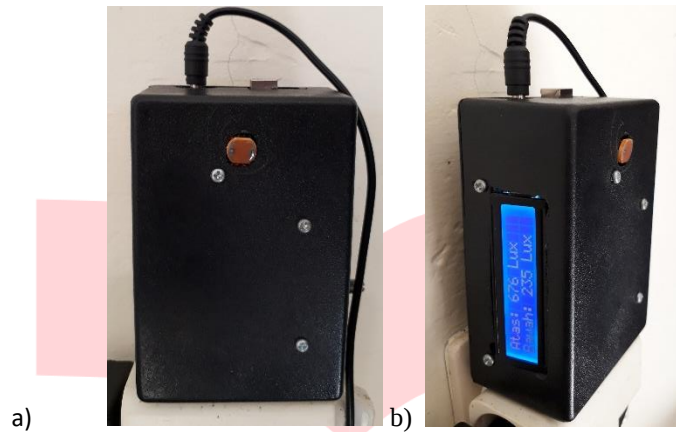
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	1000 lux	-	400	-	Ω
	10 lux	-	9	-	$k\Omega$
Dark resistance	-	1.0	-	-	$M\Omega$
Dark capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise time 1	1000 lux	-	2.8	-	ms
	10 lux	-	18	-	ms
Fall time 2	1000 lux	-	48	-	ms
	10 lux	-	120	-	ms

Dari Tabel 2.1 Merupakan datasheet dan spesifikasi dan kemampuan operasi sistem dari LDR.

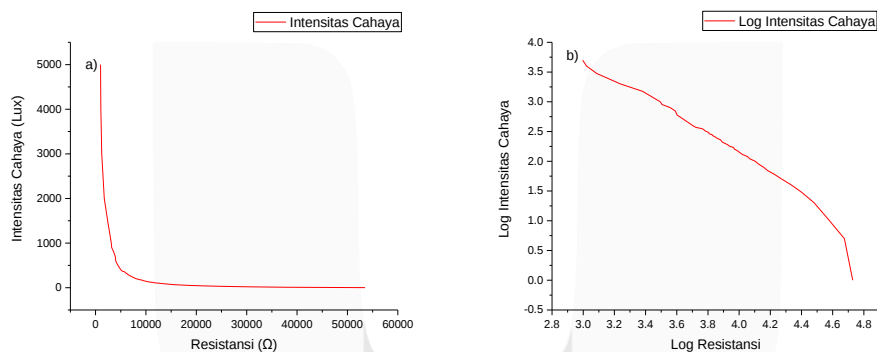
3. Pembahasan

3.1 Metode Analitis

Pada metode ini yakni metode analitis mengubah nilai keluaran menjadi nilai satuan yang sebenarnya. Sensor LDR digunakan sebagai input. Pada gambar 4.2 grafik ini menunjukkan bahwa resistansi menurun secara eksponen saat kecerahan cahaya meningkat. Pada akhirnya adalah menentukan bagaimana input resistansi digunakan untuk mendapatkan nilai intensitas cahaya, tetapi sedikit rumit dan untuk mendapatkan persamaan dari grafik eksponen.



Gambar 4. 1 Alat Ukur Tampak Depan b) Alat Ukur Tampak Samping



Gambar 4. 2 a) Data Intensitas Cahaya Terhadap Resistansi b) Hasil Konversi Data Eksponen Menjadi Linier

Akan lebih mudah bila grafik berupa linier, untuk mendapatkan grafik linier yang berasal dari grafik eksponen maka digunakan pendekatan secara eksponen sehingga menghasilkan data yang linier. Pada gambar 4.3 adalah hasil konversi data eksponen menjadi linier.

Dari hasil data linier tersebut didapatkan *slope* -1.76 dan *intercept* 1373777389 yang menghasilkan persamaan.

$$\log_{10}(E) = -1.76 \times \log_{10}(s) + 1373777389 \quad (11)$$

Untuk menjadikan $E = \text{Output}$, persamaan tersebut diolah dengan sedikit aljabar untuk memanipulasi persamaan agar lebih sesuai dengan satuan tingkat pencahayaan.

$$\log_{10}(E) = B \times \log_{10}(s) + A \quad (12)$$

$$10^{\log_{10}(E)} = 10^{B \times \log_{10}(s) + A} \quad (13)$$

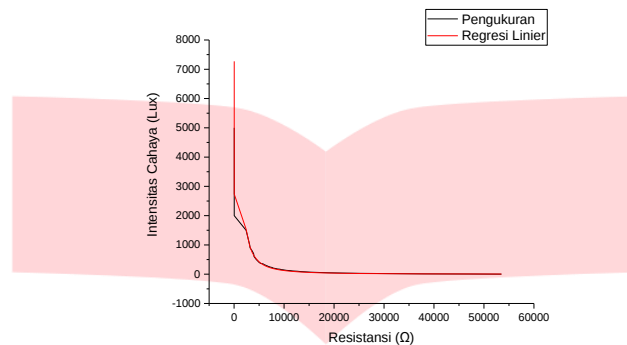
$$E = 10^{B \times \log_{10}(s) + A} \quad (14)$$

$$E = 10^{(\log_{10}(s))^B + A} \quad (15)$$

$$E = s^B + 10^A \quad (16)$$

Dengan persamaan tersebut maka setiap masukan berupa s akan menghasilkan E dengan satuan Lux.

$$E = s^{-1.76} + 10^{1373777389} \quad (17)$$



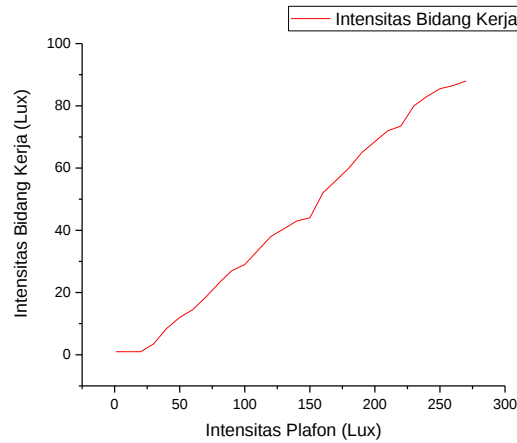
Gambar 4. 3 Perbandingan Data Pengukuran Terhadap Hasil Pendekatan eksponen.

Tabel 4. 1 Korelasi Pearson Hasil Regresi Linier

		Pengukuran	Regresi Linier
Pengukuran	<i>Pearson Correlation</i>	1	.99**
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		.000
	N	54	54
Regresi Linier	<i>Pearson Correlation</i>	.99**	1
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	.000	
	N	54	54

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari fungsi dari grafik linier tersebut dibandingkan dengan data pengukuran, dan didapatkan hasil yang menyerupai data pengukuran seperti gambar 4.3, Dari tabel 4.1 dapat diperoleh korelasi pearson 0.99 artinya hubungan yang signifikan antara pengukuran dan hasil dari eksponen.



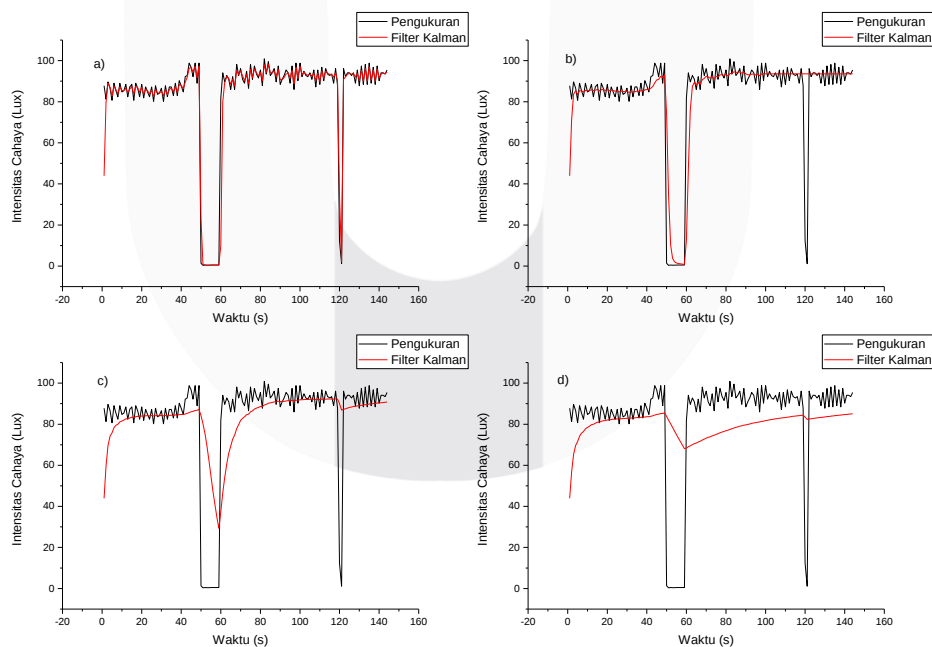
Gambar 4. 4 Linieritas Bidang Kerja dengan Plafon

4.2 Filter Kalman

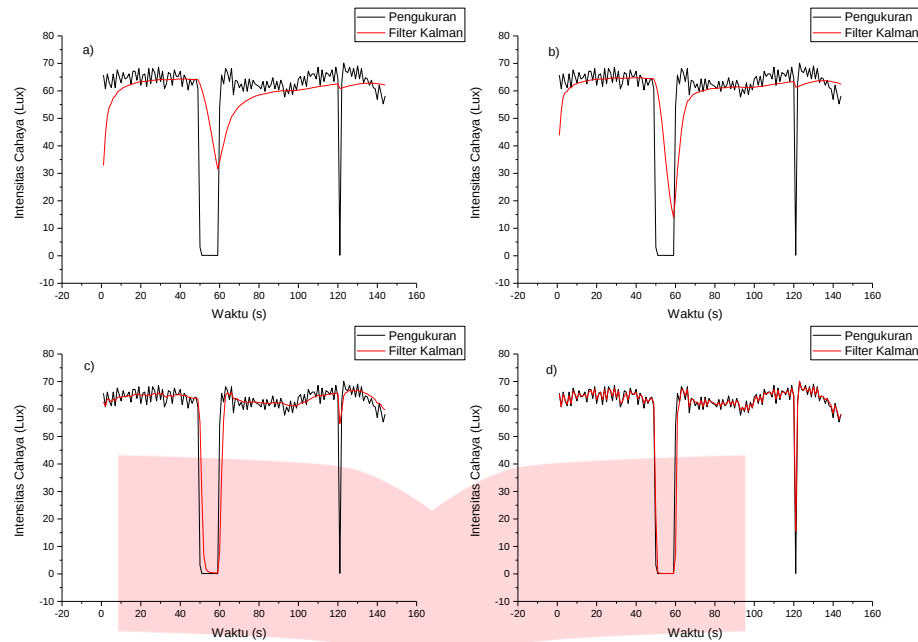
Pada penelitian kali ini alat ukur yang mengimplementasikan filter kalman untuk meningkatkan kestabilan pengukuran intensitas cahaya dalam sistem *smart home* melakukan *tuning* untuk mengetahui nilai yang sesuai dengan alat ukur dan uji respon untuk melihat hasil *tuning* sebelumnya.

4.2.1 Tuning Parameter

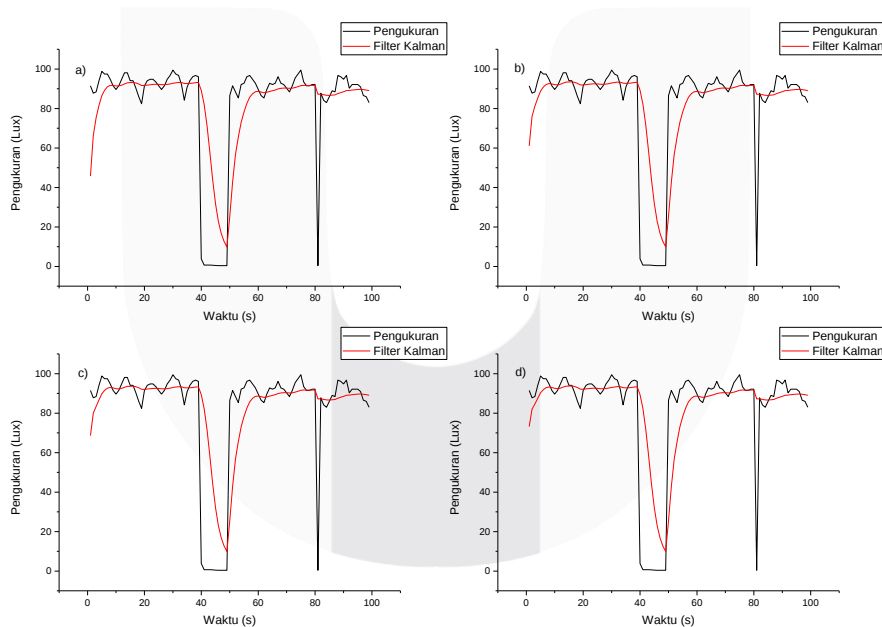
Penelitian ini melakukan *tuning* dengan melihat respon filter kalman dengan nilai yang berbeda dan pengambilan data bersamaan.



Gambar 4. 5 a) *Process Noise Covariance* = 1 b) *Process Noise Covariance* = 0.1 c) *Process Noise Covariance* = 0.01 d) *Process Noise Covariance* = 0.001



Gambar 4. 6 a) *Measurement Noise Covariance* = 2 b) *Measurement Noise Covariance* = 1 c) *Measurement Noise Covariance* = 0.1 d) *Measurement Noise Covariance* = 0.01

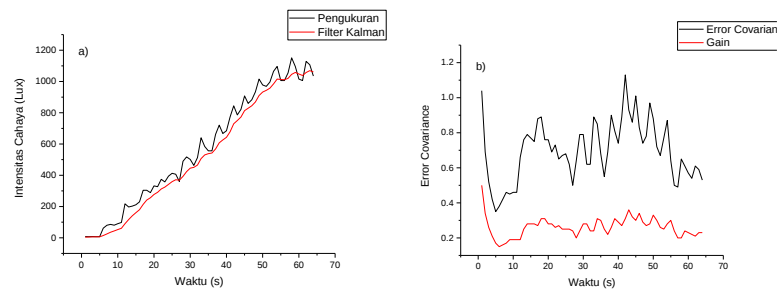


Gambar 4. 7 a) *A Priori Estimate Error Covariance* = 1 b) *A Priori Estimate Error Covariance* = 2 c) *A Priori Estimate Error Covariance* = 3 d) *A Priori Estimate Error Covariance* = 4

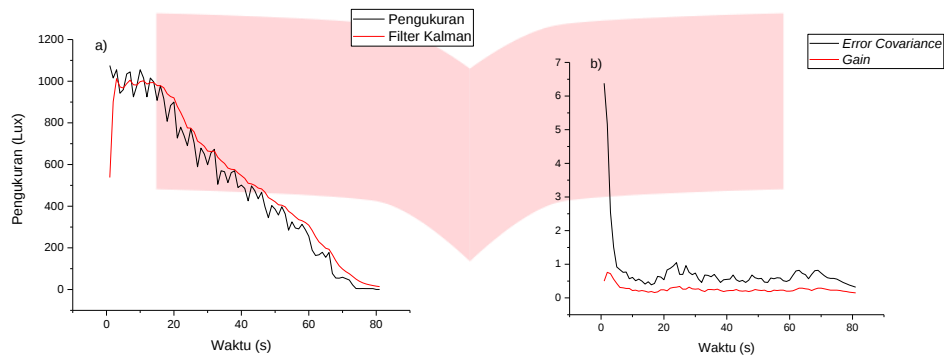
Pengaturan yang direkomendasikan untuk *Process Noise Covariance*, *Measurement Noise Covariance*, dan *A Priori Estimate Error Covariance* pada penelitian ini berdasarkan membandingkan respon yaitu *Process Noise Covariance* = 0.01, *Measurement Noise Covariance* = 2 dan *A Priori Estimate Error Covariance* = 2.

4.2.2 Analisis Respon Filter Kalman

Penelitian ini menguji respon pada kondisi yang berbeda, dengan melihat perbandingan antara nilai pengukuran dengan hasil dari filter kalman.

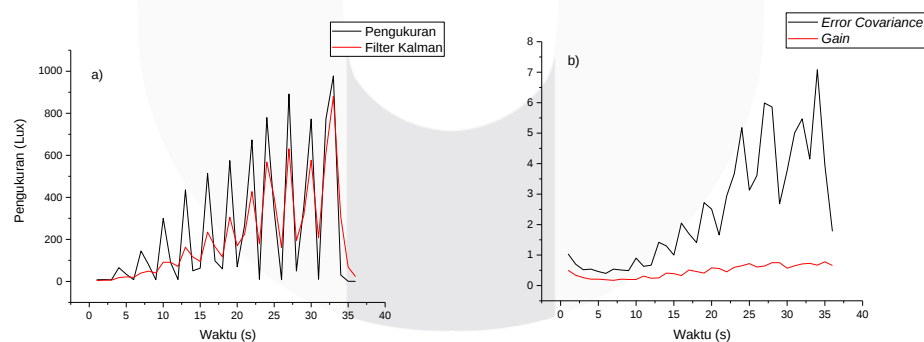


Gambar 4. 8 a) Grafik Kenaikan Intensitas Cahaya per 10% b) Grafik Gain Kenaikan Intensitas Cahaya per 10%

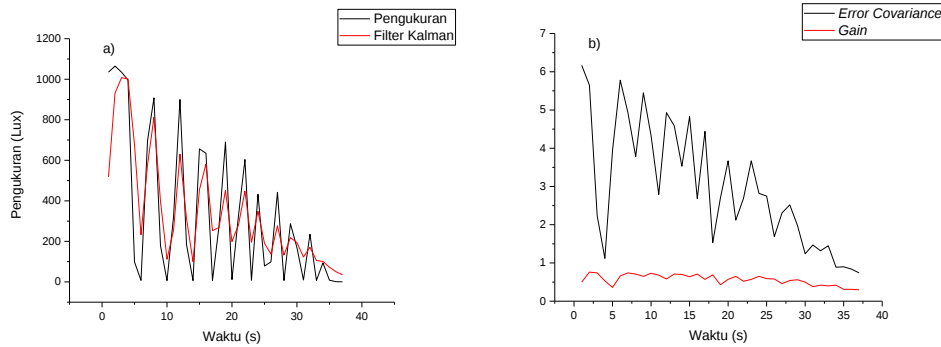


Gambar 4. 9 a) Grafik Penurunan Intensitas Cahaya per 10% b) Grafik Gain Penurunan Intensitas Cahaya per 10%

Gambar 16 menunjukkan *Gain* meningkat tajam yang berakibat respon alat ukur filter kalman membutuhkan waktu 3 detik untuk mendekati nilai sebenarnya. Grafik yang dihasilkan dari filter kalman lebih stabil, walaupun intensitas cahaya bergerak sinusoidal menurun.



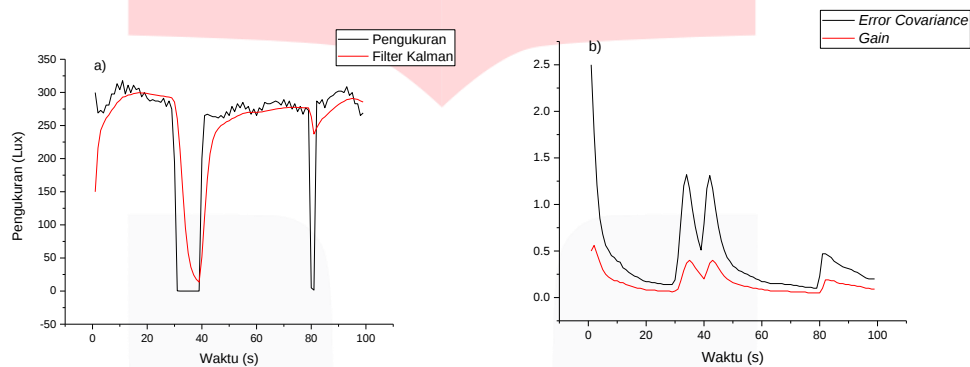
Gambar 4. 10 a) Grafik Kenaikan Berulang Intensitas Cahaya per 10% b) Grafik Gain Kenaikan Berulang Intensitas Cahaya per 10%



Gambar 4. 11 a) Grafik Penurunan Berulang Intensitas Cahaya per 10% b) Grafik Gain Penurun Berulang Intensitas Cahaya per 10%

Gambar 17 dan 18 menunjukkan respon filter kalman baik dengan nilai akselerasi *rise time* yang cepat walaupun nilai input dari sensor berubah drastis, respon dari filter kalman selalu mengestimasi dari perubahan nilai input sensor sehingga filter kalman dapat meredam input dari sensor.

4.2.3 Analisa Karakteristik



Gambar 4. 12 a) Grafik Respon Noise Cepat dan Lambat b) Grafik Gain Respon Noise Cepat dan Lambat

Pada gambar 19 Nilai filter kalman lebih stabil dibanding data pengukuran yang berasal dari sensor LDR, fluktuasi pada grafik data pengukuran juga dapat diredam oleh filter kalman. Berdasarkan karakteristik dinamis dengan nilai *steady state* adalah 284 lux, *rise time* adalah 9 detik, *time constant* adalah 2 detik, dan *settling time* adalah 5 detik.

- Akurasi adalah tingkat kedekatan pengukuran kuantitas terhadap nilai yang sebenarnya. Nilai akurasi diperoleh dari absolut error (Ea) dan relatif error (Er) :

$$Ea = \Delta N \quad (18)$$

$$Er = \frac{\Delta N}{N} \times 100 \quad (19)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

ΔN = Kesalahan Mutlak
 N = Nilai Sesungguhnya

Tabel 4. 2 Analisis Akurasi

Luxmeter	Pengukuran	Filter Kalman	Abs Error		Relatif Error	
100	112.64	108.73	12.64	8.73	12.64%	8.73%
200	205.84	199.08	5.84	0.92	2.91%	0.46%
300	318.98	316.13	18.98	16.13	6.33%	5.37%
400	439.25	434.1	39.25	34.1	9.81%	8.52%
500	579.01	573.77	79.01	73.77	15.8%	14.75%
Rata-rata			31.14	26.73	9.5%	7.57%

Data diatas diperoleh dari data pengukuran dan hasil error, besar absolut error rata-rata alat ukur adalah sebesar 26.73 sehingga akurasi absolut adalah 73.27 dan rata-rata relative error adalah 7.57 sehingga 92.43. akurasi dari filter kalman lebih baik dibanding pengukuran tanpa filter kalman.

- Presisi adalah Merupakan sejauh mana pengulangan pengukuran dalam kondisi yang tidak berubah mendapatkan hasil yang sama [12]. Sedangkan untuk menghitung presisi didapat hitung dari standar deviasi :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (20)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

s = Standar Deviasi

$\bar{x}$ = Rata-Rata Nilai Pembacaan Sensor

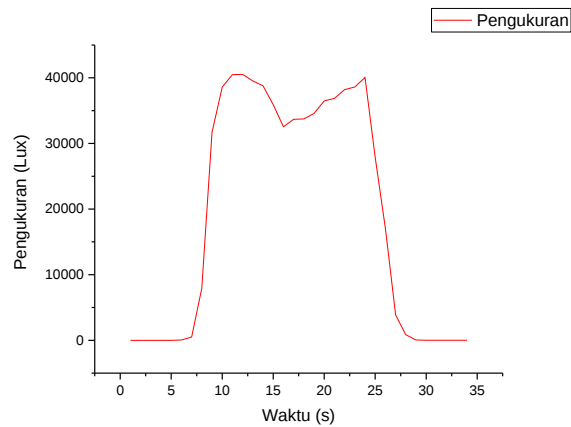
x_i = Nilai Pembacaan Sensor

n = Jumlah Data

Tabel 4. 3 Standar Deviasi

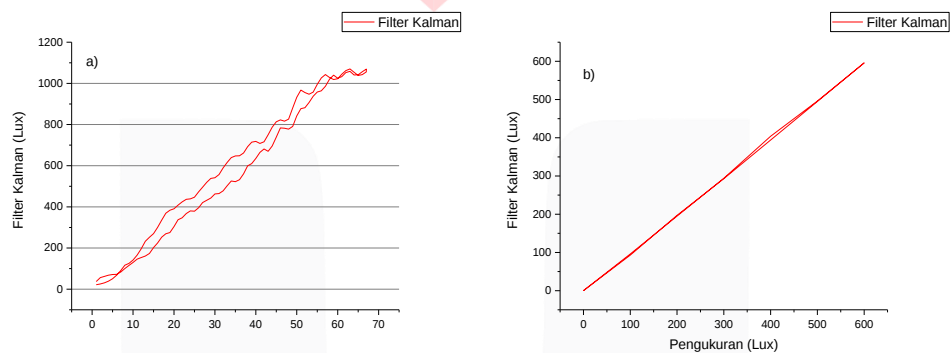
Luxmeter	SD Pengukuran	SD Filter Kalman
100	5.56	6.99
200	11.75	14.94
300	15.85	18.56
400	23.58	25.61
500	32.00	33.3
rata-rata	17.75	19.88

- Sensitivitas menunjukkan seberapa jauh kepekaan terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas sering dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan “perubahan keluaran dibanding perubahan masukan” yaitu $\Delta O/OI$. Nilai sensitivitas alat ukur ini adalah 1,07.



Gambar 4. 13 Grafik Pengukuran Maksimum

- Range menyatakan jangkauan pengukuran sebuah instrument. Sedangkan span adalah selisih nilai maksimum yang dapat di ukur oleh alat. berdasarkan gambar 20 span dari alat ukur adalah 40.000 Lux dengan range yaitu 0-40.000 Lux
- Histeresis adalah ketergantungan sebuah sistem, tidak hanya pada keadaannya sekarang, tetapi juga pada keadaannya pada masa lalu. Ketergantungan ini muncul karena sistem tersebut dapat berada di lebih dari satu kondisi internal.



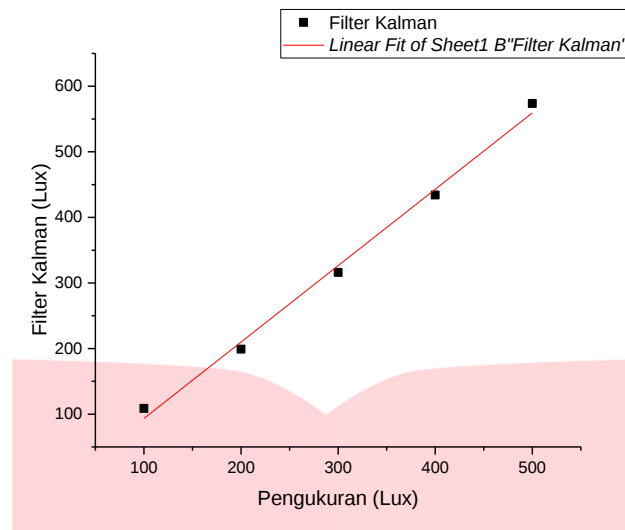
Gambar 4. 14 a) Grafik Kenaikan dan Penurunan Intensitas Cahaya per 10% b) Error Hysterisis

Tabel 4. 4 Histerisis

Intensitas cahaya	Pengukuran	Error
0	0.06	0.06
100	93	7
200	197	3
300	293	7
400	394	6
500	495	5
600	596	4
500	496	4
400	404	4
300	294	6
200	195	5
100	96	4
0	0.04	0.04

Error hysteresis adalah penyimpangan output sensor pada titik tertentu Dari sinyal input ketika didekati dari arah berlawanan [7]. Dari grafik tersebut terdapat error histerisis pada titik 400lux sebesar 12lux.

- Pengukuran ideal adalah jika hubungan antara input pengukuran (nilai sesungguhnya) dengan output pengukuran (nilai yang ditunjukkan alat ukur) adalah berbanding lurus, dan dinyatakan dalam persamaan garis. Linieritas disini bersangkut paut dengan nilai korelasi.



Gambar 4. 15 Linieritas Pengukuran

Tabel 4. 5 Analisis Linier

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Filter Kalman
Weight	No Weighting
Intercept	-3.36 ± 1.77
Slope	0.99 ± 0.005
Residual Sum of Squares	33.802
Pearson's r	0.999
R-Square(COD)	0.999
Adj. R-Square	0.999

Dari grafik tersebut *intercept* memiliki *error* ± 1.77 dan *slope* memiliki *error* ± 0.005 , R-square mendekati 1 yang dapat diartikan nilai sangat dekat dengan garis linier.

- Korelasi Pearson

Dari tabel 4.6 menggunakan data pada gambar 14 dapat diperoleh korelasi pearson 0.99 artinya artinya pengukuran tidak menyimpang jauh dari pendekatan grafik. Hubungan korelasi antara pengukuran dan filter kalman adalah sangat kuat yang ditunjukkan dengan nilai korelasi mendekati +1. Dengan P-value / Sig. sama dengan $0.000 < 0,05$ dapat disimpulkan terdapat hubungan yang signifikan antara kedua variabel. Tanda positif menunjukkan bahwa korelasi yang terjadi antara pengukuran dan filter kalman adalah hubungan yang “Berbanding Lurus”. Jadi dapat disimpulkan bahwa hubungan pengukuran dengan filter kalman adalah sangat kuat, signifikan, dan searah.

Tabel 4. 6 Korelasi Pearson Respon Alat Ukur

		Pengukuran	Filter Kalman
Pengukuran	Pearson Correlation	1	.995**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	64	64
Filter Kalman	Pearson Correlation	.99**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	64	64

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, pengukuran intensitas cahaya oleh sensor LDR dengan mengimplementasikan filter kalman menghasilkan tingkat akurasi relative 92.43% dan standar deviasi 19.88, akurasi meningkat karena filter kalman selalu mengestimasi menggunakan eror dari pengukuran sebelumnya. Nilai korelasi pearson mendekati +1 yang artinya antara pengukuran dengan hasil filter kalman memiliki hubungan yang signifikan dengan nilai pengukuran.

5. Referensi

- [1] D. Bregman, 2010, "Smart Home Intelligence - The eHome that Learns," The Collage of Management Academic Studies, Israel.
- [2] W. Lee, S. Cho, P. Chu, H. Vu, S. Helal, W. Song, Y.-S. Jeong and a. K. Cho, 2015, "Automatic Agent Generation for IoT- based Smart House Simulator," Dongguk University, Soul.
- [3] L. Gene-Harn, N. I. M. Keumala and N. A. Ghafar, 2016, "Energy Saving Potential and Visual Comfort of Task Light Usage for Offices in Malaysia,"
- [4] B. S. Nasional, 2000, SNI 03-6197-2000 Konservasi energi pada sistem pencahayaan.
- [5] E. Enterprises, 2014, Electronics Projects, EFY Enterprises Pvt. Ltd.
- [6] R. Zhi, 2016, A Drift Eliminated Attitude & Position Estimation Algorithm In 3D, Amerika Serikat: The University of Vermont.
- [7] J. Fraden, 2010, Handbook of Modern Sensors, New York: Springer Science+Business Media.
- [8] J. Fraden, 2016, Hand Book of Modern Sensors : Physics, Designs, and Applications. Fifth Edition, New York: Springer International.
- [9] N. Latifa, 2015, Fisika Bangunan, Jakarta Timur: Penebar Swadaya Grup.
- [10] G. Welch and G. Bishop, 2006, An Introduction to the Kalman Filter, Chapel Hill: University of North Carolina.
- [11] 1997, "NSL 19-M51 Light Dependent Resistor" RS Component, Northants.
- [12] E. O.Doebelin,1990, Measurement Systems, Departement of Mechanical Engineering The Ohio State University.