

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Cahyono, 2019), Penelitian tersebut bertujuan untuk mengkarakterisasi sensor LDR yang nantinya akan digunakan sebagai dasar dalam aplikasi perancangan sistem deteksi tingkat kekeruhan air. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor LDR memiliki sensitivitas sebesar 0,0082 mV per *lux*. Setelah diaplikasikan kedalam sistem, sensor memiliki presisi 92,58% dan tingkat akurasi hasil pengukuran pengukuran sebesar 87,89%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Muharnis & Khairudinsyah, 2017), dengan judul “Analisa Perbandingan Pengukuran Intensitas cahaya *Peaktech Type 5035* dengan Sensor LDR Berbasis *Mikrokontroller Atmega 8535* di gedung Teknik Elektro Politeknik Negeri Bengkalis”, pada penelitian tersebut dilakukan Analisa dengan membandingkan hasil pengukuran sensor LDR dengan *Luxmeter* merk *PeakTech* tipe 5035, kemudian dilakukan perbandingan nilai *error* (persentase kesalahan). Hasil akhir menunjukkan bahwa alat ukur intensitas cahaya (*luxmeter*) dengan menggunakan sensor LDR ini mencapai tingkat akurasi pengukuran sebesar 89,332% dan persentase kesalahannya sebesar 11,74%.

2.2 Prinsip Kerja *Luxmeter*

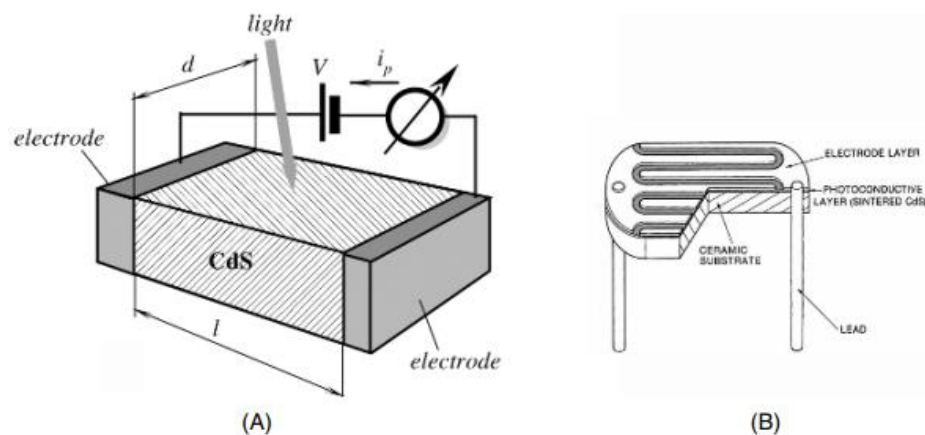
Luxmeter adalah alat yang dirancang untuk mengukur tingkat pencahayaan di suatu area dan hasilnya diukur dalam satuan *lux* (Syamsi et al., 2024). Prinsip kerja *luxmeter* adalah mengubah energi cahaya menjadi arus listrik, kemudian diukur dan ditampilkan dalam satuan *lux*. *Luxmeter* bekerja berdasarkan hubungan antara fluks cahaya dan luas permukaan. Fluks cahaya adalah total daya optik yang dipancarkan oleh sumber cahaya, sedangkan luas permukaan adalah luas area yang diterangi oleh cahaya. Sensor yang mengubah Cahaya menjadi energi Listrik *Photodiode*, *phototransistor*, *photoresistor*. *lux* meter menggunakan sensor yang disebut *Photodiode*. *Photodiode* adalah semikonduktor yang mengubah cahaya yang masuk menjadi arus Listrik (Fraden, 2016)



Gambar 1. *Luxmeter* (Suoth et al., 2018)

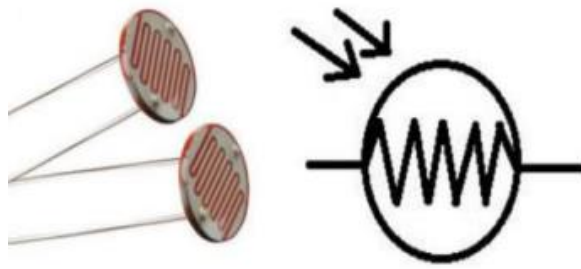
2.3 Light dependent resistor

Light dependent resistor merupakan *photoconductive*. Bahan yang paling umum untuk pembuatannya adalah *kadmium sulfida (CdS)* dan *kadmium selenida (CdSe)*, yang merupakan semikonduktor yang resistansinya berubah ketika cahaya memasuki permukaan. Untuk pengoperasiannya, fotoresistor membutuhkan sumber daya karena tidak menghasilkan arus foto, efek foto dimanifestasikan dalam perubahan listrik material resistensi (Fraden, 2016). *Photoresistor* tidak terpolarisasi, bekerja pada berbagai macam input, dan merespons cahaya dari berbagai panjang gelombang (warna) seperti halnya penglihatan manusia



Gambar 2. Struktur fotoresistor (A) dan fotoresistor berlapis plastik yang memiliki bentuk ular (B). (Fraden, 2016).

Gambar 2. (A) menunjukkan diagram skematik sel fotoresistif. Sebuah elektroda dipasang pada setiap ujung fotokonduktor. Dalam kegelapan, resistansi material tinggi. Oleh karena itu, tegangan V yang diterapkan menghasilkan arus gelap kecil yang disebabkan oleh efek suhu. Ketika cahaya mengenai permukaan, arus i_p mengalir. Dapat ditunjukkan bahwa untuk sensitivitas yang lebih baik dan resistansi sel yang lebih rendah, jarak l antara elektroda harus dikurangi, dan lebar d sensor harus ditingkatkan. Hal ini menunjukkan bahwa sensor harus sangat pendek dan sangat lebar. Untuk tujuan praktis, hal ini dilakukan dengan membuat sensor dalam bentuk ular (Gambar 2. (B)) di mana elektroda dihubungkan ke kabel. Pada proses pembuatannya, sel fotoresistif dapat dibagi menjadi tipe sinter, tipe kristal tunggal, dan tipe penguapan. Dari semua ini, tipe sinter menawarkan sensitivitas tinggi dan fabrikasi yang lebih mudah untuk area sensitif yang luas, yang pada akhirnya diterapkan ke dalam perangkat yang lebih murah.



Gambar 3. Light dependent resistor (LDR) (Desmira, 2022)

Kadmium sulfida diendapkan sebagai pola benang pada isolator, dan karena panjang pola ini mempengaruhi sensitivitas, bentuknya biasanya berupa garis zig-zag. Sel kemudian dibungkus dalam resin transparan atau dibungkus dalam kaca untuk melindungi *kadmium sulfida* dari kontaminasi atmosfer (Fraden, 2016).

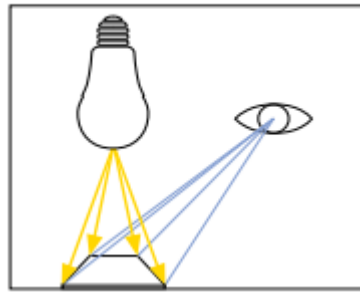
2.4 Cahaya

Menurut Newton (1642-1727) cahaya adalah partikel-partikel berukuran kecil yang dipancarkan dari sumber ke segala arah dengan kecepatan yang sangat tinggi. Cahaya merupakan salah satu bagian dari berbagai gelombang elektromagnetik. Spektrum elektromagnetik mencakup rentang yang sangat luas, mulai dari gelombang radio dengan panjang gelombang satu meter atau lebih, hingga sinar-X dengan panjang gelombang kurang dari sepemiliar meter (Ryer, 1997). Kecepatan cahaya adalah laju cahaya merambat melalui ruang hampa udara. Kecepatan cahaya diwakili oleh c dan merupakan konstanta yang sama dengan sekitar $3,00 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$, laju rambat yang lebih cepat daripada medium lainnya. Indeks pembiasan suatu media adalah rasio kecepatan cahaya dalam ruang hampa udara terhadap kecepatan cahaya dalam medium (Palmer & Grant, 2010).

2.5 Luminasi

Luminasi adalah daya per satuan luas dan satuan sudut padat yang dibobotkan oleh respon *spectral* mata, satuannya adalah candela per meter persegi (cd.m^{-2}). 'Iluminasi' adalah daya per satuan luas yang dibobotkan oleh fungsi yang sama; satuannya adalah lumen per meter kuadrat (lm.m^{-2}) (Palmer & Grant, 2010).

Luminance L

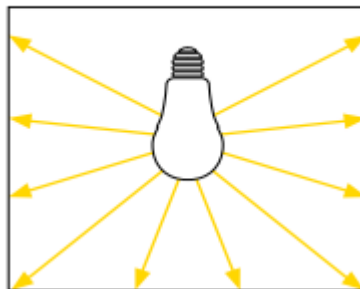


Gambar 4. Ilustrasi Konsep Luminasi (DiLaura et al., 2018)

2.6 Fluks Cahaya

Jumlah fluks cahaya yang terkandung dalam sudut padat tertentu (Ω), mengindikasikan densitas cahaya yang memancar dari sumber dalam kisaran arah yang diwakili oleh sudut padat tertentu (Simons & Bean, 2001). Fluks cahaya menggambarkan kuantitas cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Efisiensi cahaya adalah rasio fluks cahaya terhadap daya listrik yang dikonsumsi (lmW^{-1}) (Thollander et al., 2020).

Luminous flux Φ

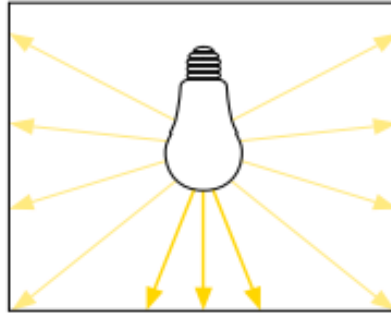


Gambar 5. Ilustrasi Konsep Fluks Cahaya (DiLaura et al., 2018)

2.7 Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya adalah besaran yang menggambarkan kekuatan sumber cahaya untuk memancarkan cahaya ke arah tertentu. Perbedaan antara fluks cahaya dan intensitas adalah, bahwa fluks cahaya adalah total semua cahaya yang dipancarkan dalam satu detik, sedangkan intensitas adalah sebagian kecil cahaya yang dipancarkan ke arah tertentu, atau ke sudut tertentu (Jacobs, 2004).

Luminous intensity I



Gambar 6. Ilustrasi Konsep Intensitas Cahaya (DiLaura et al., 2018)

Intensitas cahaya dinyatakan dalam satuan *candela* (cd). Hasil bagi fluks yang terkandung dalam sudut padat dengan sudut padat tersebut, disebut intensitas cahaya rata-rata dalam kisaran arah tersebut, yaitu

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (1)$$

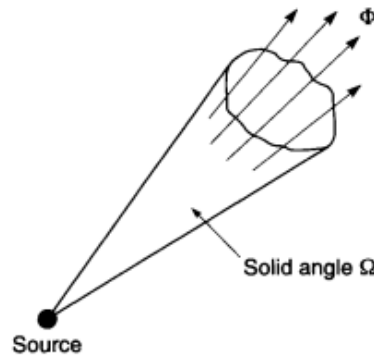
dimana, I = Intensitas Cahaya (Cd), Φ = Fluks cahaya (lm) dan Ω = satuan sudut ruang (Sr). Satuan fluks cahaya (*lumen*) dalam *candela* didefinisikan;

$$1 \text{ lumen} = 1 \text{ candela} \times 1 \text{ steradian} \quad (2)$$

sehingga intensitas cahaya dalam *candela* sama dengan fluks cahaya dalam lumen yang terkandung dalam sudut solid yang dipertimbangkan dibagi dengan sudut solid tersebut dalam steradian (Simons & Bean, 2001). Steradian (Ω) didefinisikan sebagai sudut padat yang memiliki titik puncak di pusat bola, memotong area yang sama dengan kuadrat jari-jarinya. Sudut padat (Ω), dalam steradian, sama dengan luas permukaan bola, dibagi dengan kuadrat jari-jari.

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (3)$$

Jumlah steradian dalam sebuah sinar sama dengan area yang diproyeksikan dibagi dengan kuadrat jarak. Jadi, 1 steradian memiliki area proyeksi sebesar 1 Meter persegi pada jarak 1 meter. Oleh karena itu, sumber cahaya 1 *candela* (1 lm.sr^{-1}) juga akan menghasilkan 1 lumen per kaki persegi pada jarak 1 kaki, dan 1 *lumen* per meter persegi pada jarak 1 meter (Ryer, 1997)



Gambar 7. Konsep Dasar Sudut Ruang (Simons & Bean, 2001)

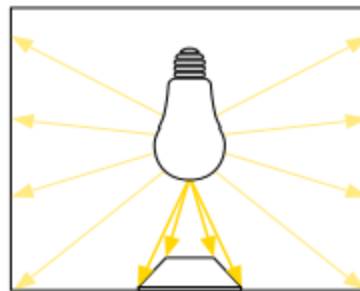
2.8 Intensitas Penerangan

Efek intensitas cahaya pada jarak yang berbeda dari sumber cahaya ditunjukkan oleh densitas area fluks cahaya pada titik tertentu dalam ruang. Densitas fluks ini disebut sebagai Iluminasi (E) atau biasa disebut intensitas penerangan:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (4)$$

dimana E = Intensitas Penerangan (lux), Φ = Fluks cahaya (lm) dan A = luas area yang disinari cahaya (m^2) (Simons & Bean, 2001). Intensitas penerangan adalah fluks cahaya yang jatuh pada $1 m^2$ dari sebuah bidang ($1 lux = 1 lumen m^2$) (Dermawan, 2017).

Illuminance E



Gambar 8. Ilustrasi Konsep Intensitas Penerangan (DiLaura et al., 2018)

Persamaan diatas hanya dipakai untuk kondisi ideal. Dalam kondisi nyata terdapat faktor pemakaian dan faktor penurunan pencahayaan lampu, maka persamaan tersebut harus menyesuaikan di kondisi di lapangan.

$$E = \frac{\Phi \times CU \times LLF}{A} \quad (5)$$

Dengan CU = Coefficient of Utilization, LLF = Light Loss Factor, Φ = Fluks cahaya yang dihasilkan oleh sumber cahaya dan A = luar area.

2.9 Filter Kalman

Filter kalman merupakan sebuah metode prediksi. Metode ini pertama kali dipublikasikan oleh Rudolf Kalman pada maret tahun 1960 dalam artikelnya yang berjudul “A New Approach Linier Filtering and Prediction Problems” (Kalman, 1960). Cara kerja Filter Kalman yaitu memprediksi suatu proses pengukuran melalui mekanisme *feedback control*. Filter ini membutuhkan state awal dari suatu proses pada satu waktu kemudian mendapatkan umpan balik berupa nilai hasil pengukuran yang bercampur *noise* (Firmansyah, 2018)(Hudati et al., 2021).

Tahap Prediksi

$$\hat{x}_{t|t-1} = F_t \hat{x}_{t-1|t-1} + B_t u_t \quad (6)$$

$$p_{t|t-1} = F_t P_{t-1|t-1} F_t^T + Q_t \quad (7)$$

Tahap Koreksi

$$K_k = P_{t|t-1} H_t^T (H_t P_{t|t-1} H_t^T + R_t)^{-1} \quad (8)$$

$$\hat{x}_{t|t} = \hat{x}_{t|t-1} + K_t (y_t - H_t \hat{x}_{t|t-1}) \quad (9)$$

$$P_{t|t} = (I - K_t H_t) P_{t|t-1} \quad (10)$$

dimana menurut (Ma'arif et al., 2019), x adalah *estimated state*, F adalah matriks transisi *state*, u adalah variabel Kontrol, B adalah matriks kontrol, P adalah matriks varian *state*, Q adalah matriks varian proses, y adalah variabel pengukuran, H adalah matriks pengukuran, K adalah *Kalman gain*, R adalah matriks pengukuran, $t|t-1$ adalah *intermediate steps*.

Kalman filter terdiri dari dua tahap yaitu prediksi dan koreksi, Dimana filter ini menerima informasi yang bercampur noise dan menyaring informasi tersebut untuk meminimalisir noise. Filter Kalman menggunakan informasi (*state*) untuk memprediksi satu Langkah ke depan (Sholehurrohman et al., 2023). Pada tahap prediksi menggunakan perkiraan kondisi dari waktu sebelumnya untuk mendapat nilai perkiraan pada saat ini. Tahap prediksi dimulai dengan mengasumsikan nilai awal untuk perkiraan keadaan dan *error covariance*. Dilanjutkan dengan tahap koreksi (*update*) yaitu menghitung *kalman gain*, *update* perkiraan kondisi dan *update error covariance* (Iswanto et al., 2019)(Tengger & Ropiudin, 2019).

Filter Kalman harus disesuaikan terlebih dahulu sebelum digunakan. Berikut merupakan model filter Kalman yang telah disesuaikan menurut (Ma'arif et al., 2019).

Tahap Prediksi

$$\hat{x}_{t|t-1} = \hat{x}_{t-1|t-1} \quad (11)$$

$$p_{t|t-1} = P_{t-1|t-1} + Q_t \quad (12)$$

Tahap Update

$$K_k = P_{t|t-1}(P_{t|t-1} + R_t)^{-1} \quad (13)$$

$$\hat{x}_{t|t} = \hat{x}_{t|t-1} + K_t(y_t - \hat{x}_{t|t-1}) \quad (14)$$

$$P_{t|t} = (I - K_t)P_{t|t-1} \quad (15)$$

Penyesuaian dilakukan dengan mensubstitusi $F_t = 1$ pada persamaan (6) dan (7) karena tidak ada transisi state dan $H_t = 1$ pada persamaan (8)-(9) karena data sensor hanya terdiri dari satu pembacaan sensor serta mengurangi komponen input sistem B_t karena sistem tidak memiliki input u_t .

2.10 Karakteristik Statis

karakteristik statis adalah parameter respon sensor terhadap perubahan masukan yang terjadi secara perlahan atau stabil (Islam, 2020). Karakteristik ini mencakup berbagai aspek yaitu;

Akurasi

Akurasi didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai yang ukur dan nilai sebenarnya dari suatu parameter dan umumnya disajikan dalam bentuk error maksimum dalam pengukuran. Akurasi biasanya dinyatakan sebagai persentase dari output tertinggi sebuah sensor (Artiola et al., 2004).

Presisi

Presisi adalah istilah yang menggambarkan tingkat kebebasan instrumen dari kesalahan acak. Presisi yang tinggi tidak selalu menunjukkan bahwa suatu pengukuran akurat. Sebuah instrumen yang sangat tinggi dapat memiliki akurasi yang rendah (Morris, 2001). Instrumen dengan presisi yang tinggi menghasilkan sebaran data yang sangat kecil (Artiola et al., 2004).

2.11 Arduino Uno

Arduino uno adalah papan mikrokontroler yang berbasis *ATmega328*. Papan ini merupakan perangkat keras yang bersifat “*open source*” dengan tujuan untuk memudahkan eksperimen atau perwujudan berbagai peralatan yang berbasis mikrokontroler. arduino uno memiliki 14 pin input dari output digital Dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset(Lubis et al., 2019).



Gambar 9. Arduino Uno (Agustanti et al., 2022)