

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam penelitian ini digunakan beberapa jurnal penelitian terkait untuk mendukung penelitian yang dapat dilihat pada tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Tinjauan Pustaka

No Literatur	Penulis	Tahun	Judul
Literatur 1	Sapto Wibowo, Gatot Joelianto dan Ony Ramadhan Gholib	2019	Desain dan Implementasi <i>Solar Tracker</i> pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Kecil Menggunakan Kontroler <i>Propotional-Integral (PI)</i>
Literatur 2	Tahan Prahara, Suryono dan Jatmiko Endro Suseno	2018	Sistem Kontrol Cerdas Pelacak Sumber Cahaya Menggunakan Kontrol <i>Proportional Integral Derivative (Pid)</i>
Literatur 3	Novia Utami Putri1, Fajar Santoso2 dan Fika Trisnawati	2022	Rancang Bangun Solar Tracking System Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno

No Literatur	Penulis	Tahun	Judul
Literatur 4	Alfis Mandala Putra dan Aslimeri	2020	Sistem Kendali Solar Tracker Satu Sumbu berbasis Arduino dengan sensor LDR
Literatur 5	Fachrur Razy Rahman, Mohammad Wirandi dan Yusdianto	2020	Simulasi Perbandingan Respon Sistem Kendali Kecepatan Motor Bldc Menggunakan Pengendali P, Pi, dan Pid pada Prototipe Kendaraan Otonom (Pko)
Literatur 6	Doni Gunawan, Yuwaldi Away, Ira Devi Sara dan Andri Novandri	2022	Komparasi Performansi antara Proportional <i>Integral Derivative</i> Controller (Pid) dan Fuzzy Logic Controller (Flc) pada Penjejak Cahaya Dengan Tiga Sensor
Literatur 7	Esa Apriaskar1, Fahmizal, Nur Azis Salim dan Dhidik Prastiyanto	2019	Performance Evaluation of Balancing Bicopter using P, PI, and PID Controller

2.1.1. Literatur 1

Sapto Wibowo, Gatot Joelianto dan Ony Ramadhan Gholib pada tahun 2019 melakukan penelitian dengan judul “Desain dan Implementasi *Solar Tracker* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Kecil Menggunakan Kontroler *Propotional-Integral* (PI)”. Masalah yang diuraikan pada penelitian tersebut adalah

posisi sudut matahari yang selalu berubah dari timur ke barat setiap waktunya dan didukung dengan adanya gerak semu matahari mengakibatkan kurang optimalnya energi yang dihasilkan oleh panel surya. Oleh karena itu dirancang perangkat solar tracker pada pembangkit listrik tenaga surya menggunakan *PI controller*.

Hasil dari penelitian tersebut berhasil merancang perangkat *solar tracker* menggunakan kontrol PI dengan hasil pengujian nilai efisiensi dari percobaan *solar cell statis* lebih besar dari nilai efisiensi percobaan *solar tracker* dinamis, dikarenakan pada solar tracker dinamis daya yang diperoleh akan di salurkan ke baterai dan motor dc. Sedangkan pada *solar cell statis* daya yang di hasilkan hanya di salurkan ke baterai [8].

2.1.2. Literatur 2

Tahan Prahara, Suryono dan Jatmiko Endro Suseno pada tahun 2018 melakukan penelitian dengan judul “Sistem Kontrol Cerdas Pelacak Sumber Cahaya Menggunakan Kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID)”. Masalah yang diuraikan pada penelitian tersebut adalah kurang optimalnya penggunaan panel surya tradisional yang tidak mengikuti arah gerak matahari menjadi masalah yang diuraikan dalam penelitian ini. Untuk mengatasi masalah tersebut, dirancang suatu perangkat kontrol cerdas yang menggunakan *fuzzy logic* dan sistem kontrol PID dengan tujuan meningkatkan akurasi dalam menjejak sumber cahaya.

Hasil dari penelitian tersebut berhasil membuat sebuah sistem cerdas untuk melacak sumber cahaya menggunakan kontrol PID dan berdasarkan data pengujian, sistem kontrol pelacakan sumber cahaya dapat meningkatkan tingkat keakuratan

dalam menyesuaikan posisi panel surya dengan perubahan posisi sumber cahaya, sehingga menghasilkan efisiensi penyerapan energi matahari yang optimal [9].

2.1.3. Literatur 3

Novia Utami Putri, Fajar Santoso dan Fika Trisnawati pada tahun 2022 melakukan penelitian dengan judul “Rancang Bangun Solar Tracking System Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno”. Masalah yang diuraikan pada penelitian tersebut adalah kebutuhan masyarakat Indonesia akan listrik yang sangat tinggi, Dalam beberapa wilayah pedesaan, terdapat sejumlah rumah yang belum tersambung dengan jaringan listrik yang disediakan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Oleh karena itu, sebagai solusi alternatif, memanfaatkan energi matahari dapat menjadi upaya yang efektif dalam memenuhi kebutuhan energi di desa-desa tersebut.

Berdasarkan hasil penelitian, perangkat *solar tracker* berhasil dirancang menggunakan *microcontroller* Arduino UNO dan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) untuk membaca intensitas cahaya matahari, serta actuator berupa servo yang dapat mengikuti arah cahaya matahari. Pada pengujian, ditemukan bahwa data *mean* harian yang dihasilkan oleh panel surya dengan penggunaan solar tracker adalah tegangan sebesar 19,94 Volt, arus sebesar 5,07 *Ampere*, dan daya sebesar 88,69 Watt. Sementara itu, pada pengujian tanpa penggunaan solar tracker, ditemukan bahwa data *mean* harian adalah tegangan sebesar 18,7 Volt, arus sebesar 3,77 *Ampere*, dan daya sebesar 70,9 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *solar tracker* memberikan hasil yang jauh lebih optimal dibandingkan tanpa penggunaan *solar tracker* [2].

2.1.4. Literatur 4

Alfis Mandala Putra dan Aslimeri pada tahun 2020 melakukan penelitian dengan judul “Sistem Kendali Solar Tracker Satu Sumbu berbasis Arduino dengan sensor LDR, merancang sebuah sistem kendali *single axis solar tracker* Berbasis arduino uno”. Masalah yang diuraikan pada penelitian tersebut adalah sulitnya *solar cell* dalam menyerap energi matahari secara efisien karena matahari bergerak dari arah timur ke barat seiring berjalannya waktu. Penyerapan energi matahari akan efisien jika *solar cell* tegak lurus ke arah matahari.

Berdasarkan hasil penelitian, berhasil dirancang sebuah perangkat solar tracker yang berfungsi untuk mengikuti sudut matahari sehingga meningkatkan daya yang masuk ke panel surya secara maksimal. Pada pengujian, terlihat perbandingan yang signifikan antara penggunaan solar tracker dan solar cell statis. Dalam hal ini, *solar tracker* memberikan peningkatan daya sebesar 13,41 Watt yang lebih baik dibandingkan dengan solar *cell* statis. Hal ini menunjukkan bahwa *solar tracker* dapat memaksimalkan penerimaan energi matahari pada panel surya, sehingga memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan penggunaan *solar cell* statis [11].

2.1.5. Literatur 5

Bagus Caesar Muharam, Muhammad Rivai dan Fajar Budiman pada tahun 2020 melakukan penelitian dengan judul “Simulasi Perbandingan Respon Sistem Kendali Kecepatan Motor Bldc Menggunakan Pengendali P, Pi, dan Pid pada Prototipe Kendaraan Otonom (Pko)”. Masalah yang diuraikan pada penelitian tersebut adalah upaya pengembangan Kendaraan Otonom untuk keperluan

pengangkutan barang pada area tertentu yang masih terlus dilakukan sehingga penelitian ini dilakukan untuk membantu upaya tersebut.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, hasilnya mencakup simulasi sistem kendali menggunakan kontrol PD, PI, dan PID. Dalam simulasi menggunakan *software* SIMULINK/MATLAB, hasil terbaik diperoleh dari penggunaan kontrol PI. Hal ini dapat diamati dari respon sistem yang lebih baik dalam menyesuaikan dengan setpoint yang diberikan, menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam melakukan penjejukan [12].

2.1.6. Literatur 6

Doni Gunawan, Yuwaldi Away, Ira Devi Sara dan Andri Novandri pada tahun 2022 melakukan penelitian dengan judul “Komparasi Performansi antara *Proportional Integral Derivative* Controller (Pid) dan Fuzzy Logic Controller (Flc) pada Penjejak Cahaya Dengan Tiga Sensor”. Masalah yang diuraikan pada penelitian tersebut adalah banyaknya penelitian yang membandingkan *controll* PID dan *Fuzzy Logic*, namun tidak ada yang membahas tingkat akurasi respon sistem kedua algoritma dalam mendeteksi keberadaan cahaya.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tingkat akurasi antara algoritma *Proportional, Integral, Derivative controller* (PID) dan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dalam mendeteksi keberadaan cahaya matahari. Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan terhadap respon sistem kedua algoritma tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa FLC memberikan peningkatan nilai kecepatan sebesar 29%, peningkatan nilai akurasi sebesar 35%, dan peningkatan nilai presisi sebesar 26% dibandingkan dengan algoritma PID dalam penjejak cahaya [10].

2.1.7. Literatur 7

Esa Apriaskar, Fahmizal, Nur Azis Salim, dan Dhidik Prastiyanto pada tahun 2019 melakukan penelitian dengan judul “Performance Evaluation of Balancing Bicopter using P, PI, and PID Controller”. Masalah yang diuraikan pada penelitian tersebut adalah pengendalian sistem *bicopter* yang kompleksitasnya berkaitan dengan model dinamika matematis. Pengendalian yang dirancang harus mampu menstabilkan *bicopter* dengan *response time* yang dapat diterima dan mengatasi *oscillation effect* pada saat yang sama sehingga dapat mempertahankan lintasan yang diinginkan.

Hasil dari penelitian tersebut adalah membuat Model *bicopter* penyeimbang dan penentuan parameter kendali menggunakan metode Ziegler-Nichols, menyajikan bagaimana pengendali bekerja, termasuk perbandingan kinerja antara pengontrol P, PI, dan PID yang disetel dengan metode Ziegler-Nichol [7].

2.2. Sistem Kendali

Sistem adalah Dengan menggabungkan makna kata "sistem" dan "kendali", sistem kendali dapat diartikan sebagai kumpulan komponen yang saling terhubung dan berfungsi bersama-sama untuk mencapai tujuan pengendalian suatu sistem [6]. Dalam penelitian ini, sistem kontrol digunakan untuk mengendalikan gerakan panel surya berdasarkan rotasi matahari, dengan tujuan untuk mencapai penyerapan energi maksimal. Secara umum, sistem kontrol dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu sistem kontrol *open loop* dan sistem kontrol *close loop*.

2.2.1. Sistem Kendali *Open Loop*

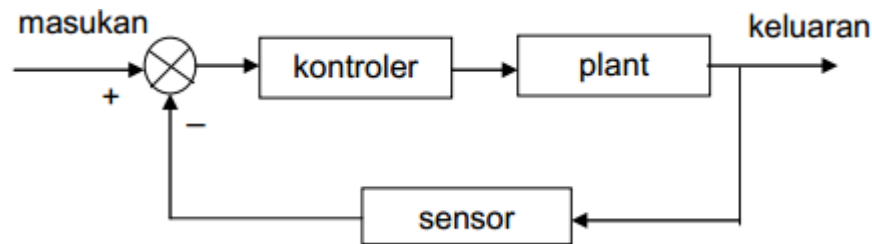
Open Loop adalah jenis sistem kendali di mana nilai keluarannya tidak memberikan pengaruh terhadap besaran masukan. Hal ini disebabkan kurangnya umpan balik dalam sistem sehingga sistem ini masih membutuhkan kontrol manusia untuk bertindak sebagai pengontrol dasar [6]. Contoh Sistem *open loop* adalah *blender* dimana kecepatan motor dapat dikendalikan oleh satu orang. Adapun rangkaian blok diagram *open loop* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 blok diagram *open loop*

2.2.2. Sistem Kendali *Close Loop*

Sistem kendali *close loop*, juga dikenal sebagai sistem kendali umpan balik, adalah jenis sistem kendali di mana nilai keluarannya memberikan pengaruh terhadap nilai masukan, sehingga nilai keluaran pada rangkaian *close loop* sangat diperlukan agar pengendalian dapat sesuai dengan nilai *setpoint* pada sistem. Contoh dari sistem *close loop* adalah pengatur suhu otomatis, dimana sensor membandingkan nilai suhu yang terbaca dan membandingkannya dengan nilai *setpoint* sehingga sistem dapat menggerakkan *actuator* agar dapat memberikan nilai suhu *setpoint*. Adapun rangkaian blok diagram *close loop* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 blok diagram *close loop*

2.3. Sistem Kendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID)

2.3.1. Kendali *Proportional*

Kendali Proportional memiliki nilai yang seimbang dengan deviasi (*error*). Ketika nilai K_p di atur rendah maka kontrol hanya akan mampu mengoreksi error yang kecil tetapi jika nilai terlalu tinggi maka mengakibatkan sistem tidak stabil. Oleh karena itu, nilai K_p harus sesuai untuk menghasilkan respon sistem yang stabil. Nilai keluaran kendali *proportional* merupakan hasil dari perkalian antara konstanta *proportional* (K_p) dengan masukannya. Sehingga jika terjadi perubahan pada nilai masukan, sistem akan secara langsung menaikkan nilai keluaran sebesar konstanta pengalinya [14]. Berikut persamaan matematis kendali *proportional*.

$$P = K_p \cdot e(t)$$

Keterangan :

- P adalah kontribusi proporsional pada keluaran.
- K_p adalah konstanta proporsional (*gain proporsional*), yang menentukan seberapa besar pengaruh *error* terhadap keluaran.
- $e(t)$ adalah selisih antara setpoint dan nilai aktual.

2.3.2. Kendali *Integral*

Kendali *integral* berfungsi untuk mengkoreksi nilai keluaran dengan mengintegrasikan nilai *error*. Koreksi *integral* dapat mengakulasi *error* di setiap pembacaan sehingga mendapatkan error sama dengan 0. Kendali *integral* jarang digunakan sendiri tetapi dikombinasikan dengan kendali *proportional* atau *proportional derivative*. Pemberian nilai pada konstanta K_i tidak sama dengan K_p , diperlukan penambahan nilai yang tidak besar di karenakan jika nilai K_i terlalu besar maka sistem akan cepat merespon dan akan meningkatkan *offset*, tetapi semakin besar nilai K_i akan mempercepat osilasi pada sistem [15]. Berikut persamaan matematis kendali *integral*.

$$I = K_i \left[\int_0^t e(t) dt \right]$$

Keterangan :

- I adalah kontribusi integral pada keluaran.
- K_i adalah konstanta integral (*gain integral*), yang menentukan seberapa besar pengaruh kesalahan kumulatif terhadap keluaran.
- $\int_0^t e(t) dt$ adalah integral dari *error* terhadap waktu, yang mencatat akumulasi *error* seiring waktu.

2.3.3. Kendali *Derivative*

Kendali *Derivative* merupakan nilai keluaran *proportional* terhadap rate perubahan error. Kendali *Derivative* bekerja pada saat peralihan, keluaran Kendali *derivative* akan 0 jika tidak ada perubahan *error*. Kendali *derivative* memiliki fungsi

untuk meredam atau memperbaiki lonjakan (*overshoot*) pada sistem [15]. Berikut persamaan matematis kendali *derivative*.

$$D = Kd \frac{d e(t)}{dt}$$

Keterangan :

- D adalah kontribusi derivatif pada keluaran.
- Kd adalah konstanta derivatif (*gain derivatif*), yang menentukan seberapa besar pengaruh perubahan cepat *error* terhadap keluaran.
- $\frac{d e(t)}{dt}$ adalah turunan *error* terhadap waktu, yang mengukur laju perubahan *error*.

2.4. Metode Komparatif

Metode komparatif merupakan pendekatan penelitian yang melakukan perbandingan terhadap kondisi satu variabel atau lebih antara dua atau lebih sampel data yang berbeda, atau pada sampel yang sama namun pada waktu yang berbeda [10].

2.5. Sel Surya

Energi surya memiliki potensi besar untuk diubah menjadi energi listrik melalui penggunaan sel surya yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Namun, dalam produksi panel surya, penting untuk memastikan adanya koneksi elektrik yang baik antara sel-sel surya. Selain itu, perlindungan terhadap kerusakan mekanis pada sel surya juga sangat penting, karena kerusakan tersebut dapat mengurangi efisiensi panel surya secara signifikan dan mengurangi

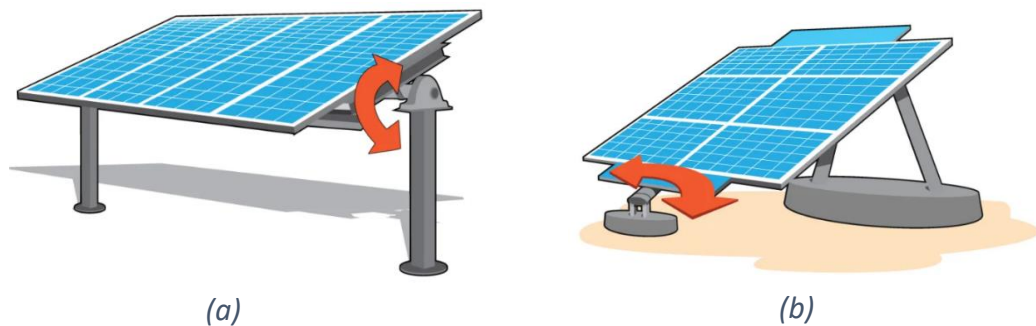
masa pakai yang diharapkan. Meskipun ada kemajuan teknologi, sebagian besar panel surya komersial saat ini hanya mencapai tingkat efisiensi sebesar 15%. Hal ini menjadi alasan utama mengapa industri energi surya masih kesulitan bersaing dengan penggunaan bahan bakar fosil yang lebih dominan [8]. Adapun gambar panel surya dapat dilihat pada gambar 2.3 sebagai berikut.



Gambar 2.3 Panel Surya

2.6. Sistem Penggerak Single Axis Solar Tracker

Sistem penggerak sumbu tunggal (*single axis*) merupakan sistem penggerak dengan satu derajat kebebasan dengan tujuan untuk mengoptimalkan energi yang dihasilkan oleh sel surya. Mekanisme sistem penggerak sel surya ini dapat mengubah posisi sel surya agar selalu tegak lurus dengan arah datangnya sinar matahari, sistem penggerak harus dapat mengenali jumlah besaran cahaya matahari sehingga sel surya dapat secara otomatis bergerak mengikuti arah rotasi matahari [10]. Pergerakan dari *single axis* sistem dibagi menjadi *horizontal* dan *vertical axis* yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 (a) Horizontal Axis, (b) Vertikal Axis

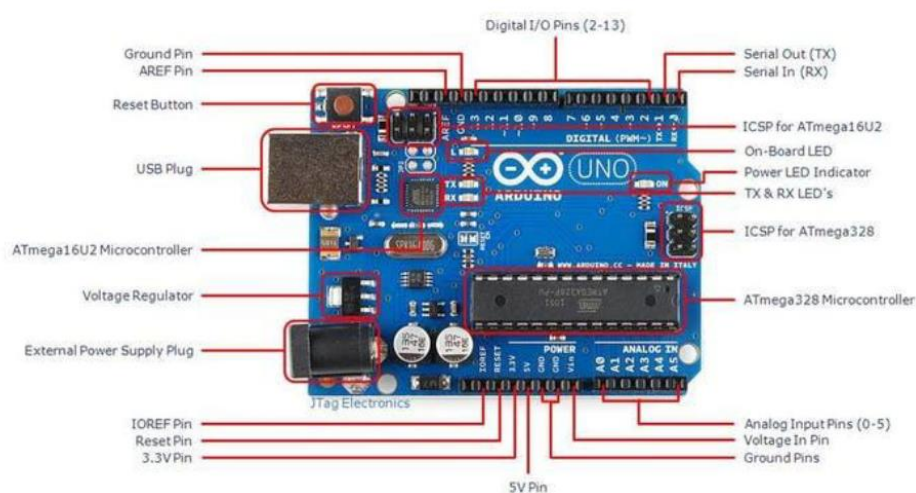
Keterangan :

- a. Sudut Horizontal (*Horizontal Axis*) : Perangkat horizontal mengacu pada suatu sistem atau mekanisme yang memiliki kemampuan untuk bergerak atau mengarahkan dirinya sepanjang sumbu horizontal. Dalam konteks solar tracker, perangkat horizontal memungkinkan panel surya untuk bergerak dari timur ke barat sepanjang hari. Ini memungkinkan panel surya untuk menghadap matahari sepanjang waktu, memaksimalkan penyerapan energi matahari selama periode pencahayaan. Panel surya akan terus mengikuti pergerakan matahari dari waktu matahari terbit hingga terbenam.
- b. Sudut Vertikal (*Vertical Axis*) : Perangkat vertikal adalah sistem yang dapat bergerak atau mengarahkan dirinya sepanjang sumbu vertikal. Dalam konteks solar tracker, perangkat vertikal memungkinkan panel surya untuk bergerak dari utara ke selatan. Dengan orientasi vertikal ini, panel surya akan memantulkan cahaya matahari secara optimal tergantung pada posisi matahari di langit. Pergeseran ini membantu dalam mengoptimalkan penyerapan energi matahari selama berbagai kondisi sinar matahari. [5].

Pada penelitian ini akan dirancang perangkat *single-axis solar tracker* dengan *horizontal axis*.

2.7. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan sebuah papan mikrokontroler yang dikembangkan oleh Arduino.cc dan memiliki sifat open source. Papan mikrokontroler ini didesain menggunakan mikrochip ATmega328P dan telah dilengkapi dengan berbagai komponen dan fitur yang dibutuhkan untuk mendukung operasional mikrokontroler. Arduino Uno dapat digunakan untuk mengembangkan berbagai proyek elektronik dan memberikan fleksibilitas serta kemudahan dalam pemrograman dan penggunaannya. Selain itu, sebagai proyek open source, Arduino Uno juga memberikan akses terbuka kepada pengembang dan pengguna untuk memodifikasi, memperbaiki, dan membagikan desain dan perangkat lunaknya [8]. Adapun Arduino Uno dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan sebuah papan pengembangan yang memiliki berbagai fitur. Papan ini dilengkapi dengan 14 pin digital I/O yang dapat berfungsi

sebagai input atau output, dimana 6 di antaranya dapat digunakan sebagai Output PWM (Pulse Width Modulation). Selain itu, terdapat juga 6 pin input analog, serta 2x3 pin ICSP (In-Circuit Serial Programming) dan kabel USB yang digunakan untuk komunikasi dengan perangkat lain. Untuk menjalankan Arduino Uno, diperlukan tegangan input sebesar 5V. Berikut ini adalah spesifikasi untuk Arduino Uno yang dikutip dari <https://store.Arduino.cc/usa/Arduino-uno-rev3>. Dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino UNO

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Input (Rekomendasi)	7-12V
Tegangan Input (Limit)	6-20V
Pin Digital I/O	14 (6 Pin <i>Output</i> PWM)
Pin Analog Input	6
Arus DC tiap Pin I/O	20mA
Arus DC pin 3.3V	50mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328p)
SRAM	2KB (ATmega328p)
EEPROM	1KB (ATmega328P)
Clock Speed	16MHz
Panjang	68,6 mm
Lebar	53,4 mm
Berat	25

2.8. Sensor *Light Dependent Resistor*

Light Dependent Resistor (LDR) merupakan jenis resistor yang memiliki tingkat resistansi atau hambatan yang berubah-ubah berdasarkan intensitas cahaya yang diterimanya. Pada intensitas cahaya rendah, nilai hambatan LDR menjadi besar, bahkan mencapai $10\text{M}\Omega$. Namun, pada intensitas cahaya tinggi, nilai hambatan LDR menjadi rendah, bahkan mencapai $1\text{K}\Omega$. Dengan kata lain, hambatan LDR memiliki hubungan terbalik dengan intensitas cahaya yang diterimanya. Untuk memanfaatkan LDR sebagai sensor, digunakan rangkaian pembagi tegangan. Dalam perhitungan manual, digunakan rumus yang sesuai untuk menghitung tegangan atau resistansi yang terkait dengan perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh LDR [11].

$$\text{Nilai LDR} = 1024 \times \frac{5V}{1024} \times \text{Sensitivitas} [16].$$

Adapun LDR dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Sensor *Light Dependent Resistor*

2.9. Motor Servo

Motor servo merupakan sebuah perangkat keluaran atau aktuator yang dirancang dengan menggunakan sistem kendali berbasis umpan balik tertutup (*closed feedback*). Hal ini memungkinkan motor servo dapat diatur dan disetel

untuk menentukan posisi sudut poros keluarannya. Motor servo terdiri dari 3 komponen sebagai berikut :

1. Motor : Bagian ini menghasilkan gerakan mekanis. Biasanya, motor servo menggunakan motor DC atau motor *brushless* untuk menggerakkan mekanisme.
2. *Gearbox* : *Gearbox* digunakan untuk mereduksi kecepatan motor dan meningkatkan torsi (momentum) yang dihasilkan. Ini memungkinkan motor servo untuk menghasilkan gerakan yang lebih lambat namun dengan torsi yang lebih besar.
3. Kontroler : Kontroler adalah otak dari motor servo. Ini menerima sinyal kontrol, yang dapat berupa posisi yang diinginkan, dan menggerakkan motor servo agar mencapai posisi tersebut. Kontroler juga membantu motor servo dalam menjaga posisi yang diinginkan bahkan dalam kondisi beban yang bervariasi.

Adapun motor *sevo* dapat dilihat pada gambar 2.7 sebagai berikut.



Gambar 2.7 Motor Servo