ELIJITA *e- ISSN : 3123-4429*
Jurnal Teknik Elektro Universitas Tulungagung
Journal Home Page: https://journal.unita.ac.id/index.php/elijita/
Volume 02, Nomor 01, 2026

Karakterisasi Hubungan Arus Injeksi Terhadap Intensitas Emisi Cahaya Pada Light Emitting Diode

(Characterization Of The Relationship Between Injection Current And Light Emission Intensity In Light-Emitting Diodes)

Ivan Joan Diantha[1], Umam Si Baweh[2], Dwi Ari Suryaningrum[3]

[1,2,3] Program Studi Teknik Elektro-Fakultas Teknik –Universitas Tulungagung
Alamat korespondensi :
Jl. Ki Mangun Sarkoro Beji, Kec. Boyolangu, Kab. Tulungagung 66233
email: ivanjoan90@gmail.com.

Abstract

Light-Emitting Diodes (LEDs) are widely used optoelectronic devices in modern lighting systems due to their high energy efficiency and long operational lifetime. The performance of LEDs is strongly influenced by the injection current, which directly affects the intensity of light emission. This study aims to characterize the effect of injection current on the light emission intensity of LEDs. An experimental method was employed by varying the injection current supplied to the LED through a DC power source and a current-limiting resistor. The current values were measured using a digital multimeter, while the emitted light intensity was recorded using a light sensor under different operating conditions. The collected data were analyzed by plotting the relationship between injection current and light emission intensity. The results indicate that increasing the injection current leads to an increase in the emitted light intensity. The relationship between these parameters is nearly linear within a certain current range but shows a reduced rate of increase at higher currents due to thermal effects. It can be concluded that injection current is a critical factor affecting the light emission characteristics of LEDs and should be optimized to achieve efficient device performance.
Keywords: *Light-Emitting Diode (LED), injection current, light emission intensity, optoelectronics, characterization.*

Abstrak

Light Emitting Diode (LED) merupakan salah satu divais optoelektronika yang banyak digunakan pada sistem pencahayaan modern karena efisiensi energi dan umur pakainya yang tinggi. Kinerja LED dipengaruhi oleh arus injeksi yang diberikan, yang berhubungan langsung dengan intensitas cahaya yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi pengaruh arus injeksi terhadap intensitas emisi cahaya pada LED. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan memberikan variasi arus injeksi pada LED menggunakan rangkaian sumber tegangan DC dan resistor pembatas arus. Nilai arus diukur menggunakan multimeter, sedangkan intensitas cahaya diukur menggunakan sensor cahaya pada berbagai kondisi operasi. Data yang diperoleh dianalisis dalam bentuk grafik hubungan antara arus injeksi dan intensitas emisi cahaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan arus injeksi menyebabkan peningkatan intensitas cahaya yang dipancarkan LED. Hubungan antara kedua parameter menunjukkan kecenderungan yang hampir linier pada rentang arus tertentu, namun mulai mengalami penurunan laju peningkatan pada arus yang lebih tinggi akibat efek pemanasan. Dapat disimpulkan bahwa arus injeksi merupakan faktor penting yang memengaruhi karakteristik emisi cahaya LED dan perlu dioptimalkan untuk memperoleh kinerja yang efisien.
Kata kunci: Light Emitting Diode (LED), arus injeksi, intensitas emisi cahaya, optoelektronika, karakterisasi.

PENDAHULUAN

Light emitting diode (led) merupakan salah satu divais optoelektronika berbasis semikonduktor yang mengubah energi listrik menjadi cahaya melalui proses elektroluminesensi. Dalam beberapa dekade terakhir, led telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sistem pencahayaan umum, teknologi tampilan, dan komunikasi optik karena memiliki efisiensi tinggi, umur pakai yang panjang, serta konsumsi daya yang rendah. Hal ini menjadikan led sebagai komponen penting dalam pengembangan teknologi hemat energi modern.

Kinerja optik led sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi listriknya, khususnya arus injeksi. Arus injeksi menentukan jumlah pembawa muatan yang mengalami rekombinasi pada daerah aktif semikonduktor, sehingga secara langsung memengaruhi intensitas cahaya yang dihasilkan. Namun, peningkatan arus yang berlebihan dapat menyebabkan efek termal yang berpotensi menurunkan efisiensi dan kinerja led.

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa intensitas cahaya led umumnya meningkat seiring bertambahnya arus injeksi hingga mencapai batas operasi tertentu. Meskipun demikian, karakterisasi eksperimental mengenai hubungan tersebut masih penting untuk memahami perilaku led secara praktis, terutama dalam skala laboratorium dasar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi pengaruh arus injeksi terhadap intensitas emisi cahaya pada led secara eksperimen. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai karakteristik led serta mendukung optimasi kondisi operasinya dalam aplikasi praktis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mengkarakterisasi hubungan antara arus injeksi dan intensitas emisi cahaya pada light emitting diode (led). Objek penelitian yang digunakan adalah led standar berbagai warna dengan spesifikasi umum yang digunakan pada percobaan elektronika dasar.

Rangkaian percobaan disusun menggunakan sumber tegangan dc yang dihubungkan dengan led melalui resistor pembatas arus untuk mengatur besar arus injeksi yang diberikan. Variasi arus dilakukan dengan mengubah tegangan masukan secara bertahap sehingga diperoleh beberapa nilai arus operasi pada led. Nilai arus injeksi diukur menggunakan multimeter digital yang dipasang secara seri dalam rangkaian.

Intensitas cahaya yang dihasilkan led diukur menggunakan sensor cahaya (lux meter atau sensor cahaya berbasis perangkat sederhana) dengan posisi dan jarak pengukuran dibuat konstan untuk setiap percobaan agar data yang diperoleh konsisten. Setiap pengukuran dilakukan beberapa kali untuk mengurangi kesalahan pengukuran dan meningkatkan akurasi data.

Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara kuantitatif dengan membuat grafik hubungan antara arus injeksi dan intensitas cahaya. Analisis dilakukan untuk melihat pola hubungan serta kecenderungan perubahan intensitas cahaya terhadap variasi arus yang diberikan.

A. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada karakterisasi hubungan antara arus injeksi dan intensitas emisi cahaya pada light emitting diode (led). Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah led standar yang umum digunakan pada praktikum elektronika dasar tanpa modifikasi struktur material.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah arus injeksi yang diberikan pada led, sedangkan variabel terikat adalah intensitas cahaya yang dihasilkan. Variabel kontrol meliputi jenis led, jarak pengukuran, kondisi lingkungan (pencahayaan sekitar), serta alat ukur yang digunakan agar hasil pengukuran tetap konsisten.

Pengambilan data dilakukan pada kondisi operasi arus rendah hingga menengah untuk menghindari kerusakan pada led akibat efek termal berlebih. Penelitian ini tidak membahas secara mendalam aspek rekayasa material semikonduktor, melainkan hanya difokuskan pada karakteristik fisis hubungan arus dan intensitas cahaya pada skala eksperimen sederhana di laboratorium.

B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. variabel bebas dalam penelitian ini adalah arus injeksi yang diberikan pada light emitting diode (led). arus injeksi ini divariasikan secara bertahap untuk melihat pengaruhnya terhadap keluaran optik led.

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah intensitas emisi cahaya yang dihasilkan oleh led. intensitas cahaya diukur menggunakan alat ukur lux meter atau sensor cahaya pada kondisi pengukuran yang sama. variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi jenis led yang digunakan, jarak

antara led dan sensor cahaya, kondisi lingkungan (pencahayaan ruangan), serta alat ukur yang digunakan. variabel-variabel ini dijaga tetap konstan agar hasil pengukuran hanya dipengaruhi oleh perubahan arus injeksi·

C. Kerangka Teoritis

Light emitting diode (LED) merupakan divais semikonduktor yang bekerja berdasarkan prinsip elektroluminesensi, yaitu proses emisi cahaya akibat rekombinasi radiatif antara elektron dan hole pada daerah aktif (active region) ketika diberi bias maju (Schubert, 2018). Struktur dasar LED terdiri atas simpang p-n yang dibentuk dari material semikonduktor dengan celah pita (bandgap) tertentu, seperti GaAs, GaP, atau GaN. Besarnya energi foton yang dihasilkan setara dengan celah pita material aktif, sehingga panjang gelombang emisi LED dapat dirancang melalui pemilihan material yang sesuai (Sedra & Smith, 2020). Ketika LED diberi tegangan maju, pembawa muatan minoritas akan diinjeksikan melewati daerah deplesi dan mengalami rekombinasi yang melepaskan energi dalam bentuk foton.

Arus injeksi yang mengalir pada LED berbanding lurus dengan jumlah pembawa muatan yang terlibat dalam proses rekombinasi radiatif. Pada rentang arus operasi rendah hingga menengah, intensitas emisi cahaya meningkat secara hampir linier terhadap arus injeksi karena sebagian besar pembawa muatan mengalami rekombinasi radiatif (Floyd, 2018). Hubungan linier ini dapat dinyatakan sebagai $P_{optik} \approx \eta_{ext} \cdot h\nu \cdot I/q$, dengan P_{optik} adalah daya optik keluaran, η_{ext} adalah efisiensi kuantum eksternal, $h\nu$ adalah energi foton, I adalah arus injeksi, dan q adalah muatan elektron (Schubert, 2018). Pada arus injeksi yang lebih tinggi, laju peningkatan intensitas cahaya mulai menurun akibat fenomena yang dikenal sebagai efficiency droop, yang umumnya disebabkan oleh rekombinasi Auger, kebocoran pembawa muatan (carrier leakage), serta efek pemanasan junction (Piprek, 2010; Cho et al., 2013).

Intensitas emisi cahaya LED dapat diukur secara fisis menggunakan besaran fotometri maupun radiometri. Pada pengukuran fotometri, satuan yang umum digunakan adalah lux untuk iluminansi atau lumen untuk fluks luminus, yang telah memperhitungkan responsivitas mata manusia terhadap panjang gelombang cahaya (Zukauskas et al., 2002). Sebaliknya, pengukuran radiometri menggunakan satuan W/m^2 yang merepresentasikan daya radiasi tanpa pembobotan visual. Nilai intensitas yang terukur dipengaruhi oleh jarak pengukuran, sudut pancaran (viewing angle) LED, serta sensitivitas spektral sensor yang digunakan (Saleh & Teich, 2019). Pada pengukuran karakterisasi, sensor fotodioda umumnya digunakan karena memiliki responsivitas yang linier terhadap intensitas cahaya dalam rentang operasi yang luas.

Karakterisasi eksperimental hubungan antara arus injeksi dan intensitas emisi cahaya LED menjadi penting untuk memahami perilaku divais pada kondisi operasi nyata. Krames et al. (2007) menyatakan bahwa karakterisasi L-I (light-current) merupakan salah satu parameter kunci dalam mengevaluasi kinerja LED untuk aplikasi pencahayaan solid-state. Selain itu, Mottier (2009) menekankan bahwa karakterisasi eksperimental perlu dilakukan pada berbagai kondisi arus untuk memetakan daerah operasi linier dan daerah terjadinya droop. Hasil karakterisasi ini kemudian dapat digunakan untuk menentukan titik operasi optimal yang menyeimbangkan intensitas cahaya, efisiensi konversi, serta keandalan jangka panjang LED (Khanh et al., 2015). Dengan demikian, pemahaman teoritis mengenai hubungan arus injeksi dan intensitas emisi cahaya menjadi dasar penting dalam perancangan sistem pencahayaan berbasis LED yang efisien.

D. Alat Pemantau / Monitoring.

Alat pemantau yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk mengamati dan mengukur besaran listrik serta intensitas cahaya yang dihasilkan oleh LED selama proses eksperimen berlangsung. Alat utama yang digunakan untuk pemantauan arus injeksi adalah multimeter digital yang dihubungkan secara seri dalam rangkaian. Multimeter digital bekerja berdasarkan prinsip pengukuran tegangan referensi dan konversi analog-ke-digital (ADC) dengan resolusi tertentu, sehingga mampu menampilkan nilai arus dengan tingkat ketelitian tinggi (Malvino, 2016). Pengukuran arus secara seri memungkinkan pembacaan nilai arus yang mengalir melalui LED pada setiap variasi tegangan yang diberikan.

Untuk pemantauan intensitas cahaya, digunakan lux meter atau sensor fotodioda yang mampu mendeteksi perubahan intensitas cahaya yang dipancarkan oleh LED. Posisi sensor dibuat tetap terhadap sumber cahaya dengan jarak dan sudut pengukuran yang konstan untuk menjaga konsistensi hasil pengukuran (Saleh & Teich, 2019). Selain itu, sumber tegangan DC digunakan sebagai alat pengatur input daya yang diberikan pada rangkaian LED. Perubahan tegangan pada sumber ini menghasilkan variasi arus injeksi yang menjadi variabel utama dalam penelitian. Penggunaan alat-alat pemantau yang tepat memungkinkan proses pengambilan data dilakukan secara sistematis sehingga hubungan antara arus injeksi dan intensitas cahaya LED dapat diamati dan dianalisis dengan baik (Sutrisno, 2017).

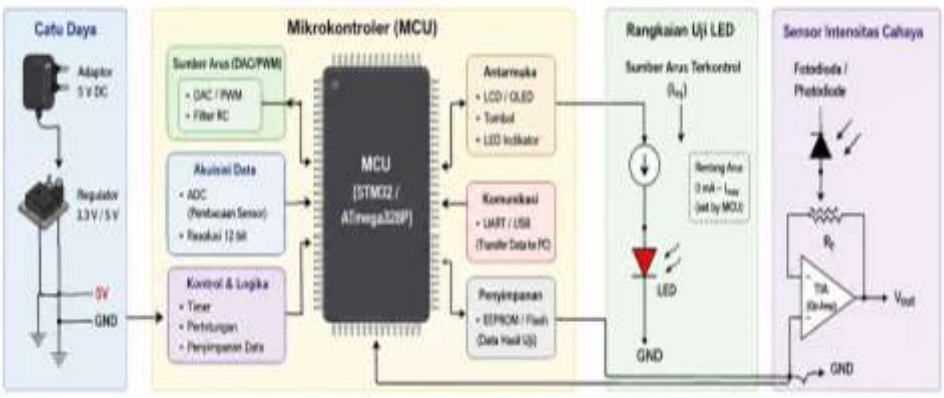
Penggunaan sistem pemantauan berbasis mikrokontroler memungkinkan akuisisi data dilakukan secara otomatis dan kontinu, sehingga meminimalkan kesalahan pembacaan manual (Budiharto, 2019). Sistem ini juga memungkinkan pencatatan data dalam interval waktu singkat dan penyimpanan data ke komputer untuk dianalisis lebih lanjut. Karakterisasi yang dilakukan secara terautomasi memberikan hasil yang lebih reliabel dan reproducible dibandingkan pengukuran manual, terutama ketika jumlah titik pengukuran banyak dan rentang variasi arus lebar (Karlicek et al., 2017).

E. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan perangkat utama dalam sistem akuisisi data pada penelitian ini yang berfungsi untuk membaca, mengolah, dan menampilkan data hasil pengukuran secara otomatis. Penggunaan mikrokontroler bertujuan untuk meningkatkan akurasi serta efisiensi dalam proses pemantauan hubungan antara arus injeksi dan intensitas emisi cahaya pada LED (Budiharto, 2019). Mikrokontroler umumnya mengintegrasikan unit pemroses (CPU), memori program (flash), memori data (SRAM), serta periferal input/output dalam satu chip tunggal, sehingga cocok digunakan untuk aplikasi instrumentasi sederhana.

Mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini adalah Arduino Uno yang berbasis chip ATmega328P. Papan Arduino Uno memiliki 14 pin digital input/output, 6 pin analog input dengan resolusi ADC 10-bit, serta clock speed 16 MHz (Banzi & Shiloh, 2022). Resolusi ADC 10-bit memberikan 1024 tingkat diskritisasi tegangan masukan, yang cukup untuk membaca sinyal dari sensor fotodioda maupun sensor arus dengan tingkat ketelitian yang memadai. Pada sistem ini, mikrokontroler menerima sinyal analog dari sensor fotodioda untuk memantau intensitas cahaya yang dipancarkan LED.

Data yang diperoleh dari sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan secara real-time melalui Serial Monitor pada komputer atau ditampilkan pada LCD. Data tersebut juga dapat disimpan ke komputer dalam format yang sesuai untuk dianalisis lebih lanjut dalam bentuk grafik hubungan antara arus injeksi dan intensitas cahaya. Dengan menggunakan mikrokontroler, proses pengambilan data menjadi lebih sistematis, kontinu, dan meminimalkan kesalahan manusia dalam pembacaan nilai, sehingga hasil penelitian menjadi lebih akurat dan reliabel (Budiharto, 2019; Banzi & Shiloh, 2022).



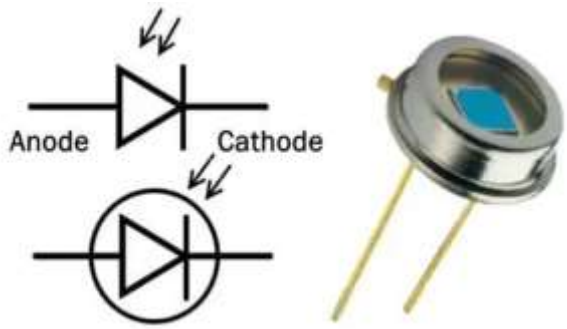
Gambar 1. Struktur Mikrokontroler

F. Sensor Fotodioda.

Fotodioda adalah sensor cahaya semikonduktor yang bekerja berdasarkan prinsip efek fotolistrik internal pada simpang p-n. Ketika cahaya dengan energi foton melebihi celah pita material fotodioda mengenai daerah deplesi, akan terbentuk pasangan elektron-hole yang kemudian terpisah oleh medan listrik internal dan menghasilkan arus fotolistrik (Saleh & Teich, 2019). Pada karakterisasi hubungan arus injeksi terhadap intensitas emisi cahaya LED, fotodioda digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang dipancarkan LED. Arus fotolistrik yang dihasilkan sebanding dengan intensitas cahaya yang diterima, sehingga dapat digunakan sebagai indikator kuantitatif intensitas emisi LED (Schubert, 2018).

Arus keluaran fotodioda umumnya berada pada orde mikroampere hingga nanoampere, sehingga memerlukan rangkaian transimpedance amplifier (TIA) untuk mengubah arus menjadi tegangan yang dapat dibaca oleh ADC mikrokontroler (Floyd, 2018). Responsivitas (responsivity) fotodioda dinyatakan dalam satuan A/W dan bergantung pada panjang gelombang cahaya yang diterima. Fotodioda memiliki keunggulan berupa sensitivitas tinggi, respons waktu yang cepat (orde nanosecond), linearitas yang baik dalam rentang dinamis yang luas, serta tingkat akurasi yang baik sehingga sangat cocok digunakan dalam penelitian maupun praktikum pengukuran cahaya (Saleh & Teich, 2019). Dengan menggunakan fotodioda, hubungan antara arus injeksi LED dan intensitas emisi cahaya dapat dianalisis secara kuantitatif dan menghasilkan data yang lebih akurat dibandingkan sensor berbasis LDR yang memiliki respons nonlinier (Sutrisno, 2017).

Pemilihan fotodioda sebagai sensor pengukuran dalam penelitian ini didasarkan pada pertimbangan kesesuaian spektral antara panjang gelombang emisi LED yang diuji dengan rentang responsivitas fotodioda. Mayoritas fotodioda silikon (Si) memiliki rentang responsivitas 200–1100 nm dengan puncak sekitar 850 nm, sehingga cocok untuk LED warna visible hingga near-infrared (Saleh & Teich, 2019). Selain itu, fotodioda dapat dioperasikan dalam mode fotovoltaik maupun photoconductive, masing-masing dengan karakteristik noise dan linearitas yang berbeda. Mode photoconductive dengan reverse bias umumnya dipilih untuk aplikasi yang membutuhkan respons cepat dan linearitas tinggi (Zukauskas et al., 2002).



Gambar 2. Sensor Fotodioda

G. Step Down LM2596

Step-down converter (buck converter) adalah modul atau rangkaian elektronik yang berfungsi untuk menurunkan tegangan DC dari nilai yang lebih tinggi menjadi lebih rendah secara efisien menggunakan teknik switching. Prinsip kerja buck converter didasarkan pada pemutusan dan penyambungan arus melalui induktor dengan duty cycle tertentu, sehingga tegangan keluaran dapat diatur melalui kontrol PWM (Pulse Width Modulation) (Floyd, 2018). Pada sistem karakterisasi hubungan arus injeksi terhadap intensitas emisi cahaya LED, step-down digunakan untuk menurunkan tegangan keluaran power supply 12V menjadi 5V atau 3,3V agar sesuai dengan kebutuhan operasi mikrokontroler Arduino Uno, sensor fotodioda, dan komponen pendukung lainnya.

Salah satu modul step-down yang umum digunakan adalah LM2596, yang merupakan IC switching regulator keluarga SIMPLE SWITCHER dari Texas Instruments. Modul ini mampu menerima tegangan masukan hingga 40V dan menghasilkan tegangan keluaran yang dapat diatur antara 1,23V hingga 37V dengan arus keluaran maksimum 3A (Malvino, 2016). LM2596 bekerja pada frekuensi switching tetap 150 kHz dan memiliki efisiensi konversi sekitar 80% sehingga menghasilkan disipasi daya yang relatif rendah dibandingkan regulator linier. Penggunaan step-down penting karena sebagian besar mikrokontroler dan sensor tidak dapat menerima tegangan 12V secara langsung. Dengan adanya step-down, sistem dapat bekerja dengan aman, mengurangi risiko kerusakan komponen, serta meningkatkan efisiensi penggunaan daya listrik (Sedra & Smith, 2020).



Gambar 3. Step Down LM2596

H. Power Supply Modul 12v

Power supply adalah perangkat elektronik yang berfungsi sebagai sumber daya listrik untuk menyuplai tegangan dan arus ke seluruh komponen dalam suatu sistem. Pada sistem karakterisasi hubungan arus injeksi terhadap intensitas emisi cahaya LED, power supply digunakan untuk menyediakan energi listrik yang stabil bagi mikrokontroler, LED uji, sensor fotodioda, dan komponen pendukung lainnya (Sutrisno, 2017). Power supply 12V DC dipilih karena mampu memberikan tegangan yang cukup untuk mengoperasikan rangkaian, kemudian tegangannya dapat diturunkan menggunakan modul step-down sesuai kebutuhan masing-masing komponen.

Kestabilan tegangan yang dihasilkan power supply sangat penting agar proses pengukuran berlangsung akurat dan hasil karakterisasi tidak dipengaruhi oleh fluktuasi tegangan (Sedra & Smith, 2020). Fluktuasi tegangan sumber dapat menyebabkan variasi arus injeksi yang tidak terkontrol pada LED, sehingga mengganggu konsistensi data pengukuran. Oleh karena itu, power supply yang digunakan umumnya dilengkapi dengan rangkaian regulator dan filter kapasitor untuk meredam ripple tegangan maupun derau listrik. Dengan demikian, power supply berperan sebagai sumber energi utama yang menjamin seluruh sistem dapat bekerja dengan baik dan andal selama proses pengujian (Malvino, 2016).



Gambar 4. Power Supply Modul 12v

I. Arduino Ide

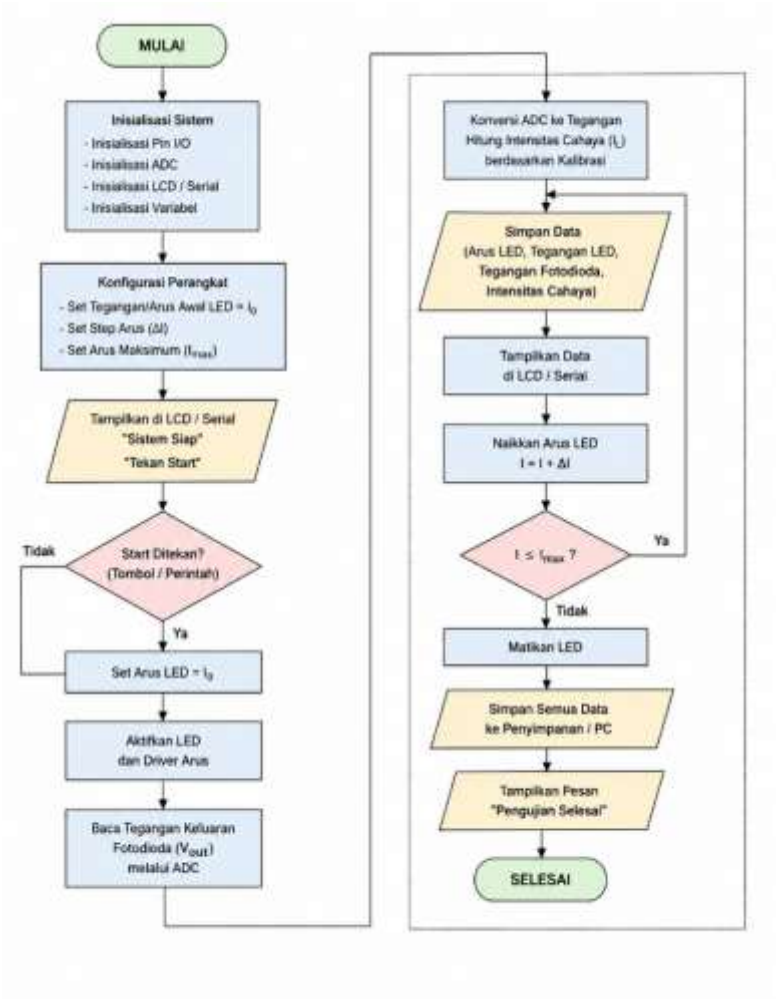
Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah perangkat lunak sumber terbuka yang digunakan untuk menulis, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler Arduino. Arduino IDE menyediakan editor kode, compiler avr-gcc, dan fitur upload program dalam satu aplikasi yang sederhana dan mudah digunakan, sehingga memudahkan proses pengembangan sistem berbasis mikrokontroler (Banzi & Shiloh, 2022). Pada sistem karakterisasi hubungan arus injeksi terhadap intensitas emisi cahaya LED, Arduino IDE digunakan untuk membuat program yang mengendalikan proses pembacaan data dari sensor fotodioda melalui pin analog, mengolah data yang diterima menggunakan fungsi analogRead() dan konversi tegangan, serta mengirimkan hasil pengukuran ke komputer melalui komunikasi serial.

Arduino IDE juga dilengkapi dengan Serial Monitor yang dapat digunakan untuk memantau data pengukuran secara real-time, sehingga pengamat dapat melihat perubahan nilai intensitas cahaya saat arus injeksi divariasikan (Budiharto, 2019). Bahasa pemrograman yang digunakan dalam Arduino IDE merupakan varian C/C++ yang telah disederhanakan dengan struktur setup() dan loop(), sehingga cocok untuk pemula maupun peneliti yang ingin mengembangkan sistem instrumentasi sederhana. Selain itu, Arduino IDE mendukung berbagai library siap pakai untuk sensor dan aktuator, yang mempercepat proses pengembangan sistem akuisisi data pada penelitian ini (Banzi & Shiloh, 2022).



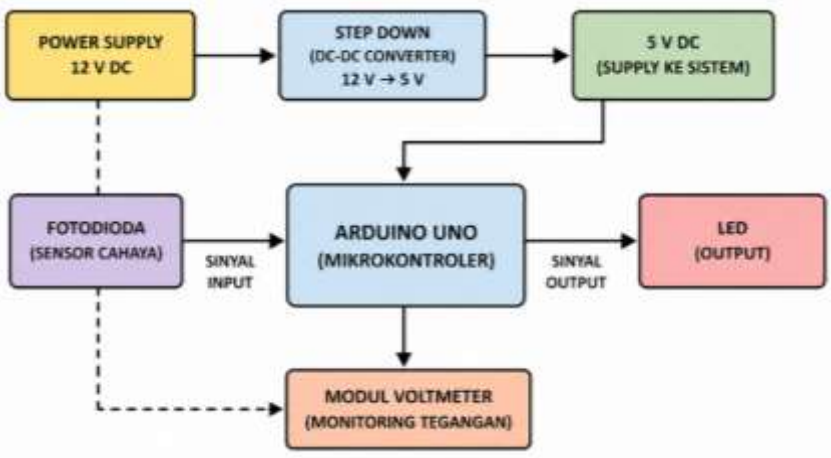
Gambar 5. Tampilan Utama Software Arduino Ide

Berikut Flowchart Diagram Sistemnya:



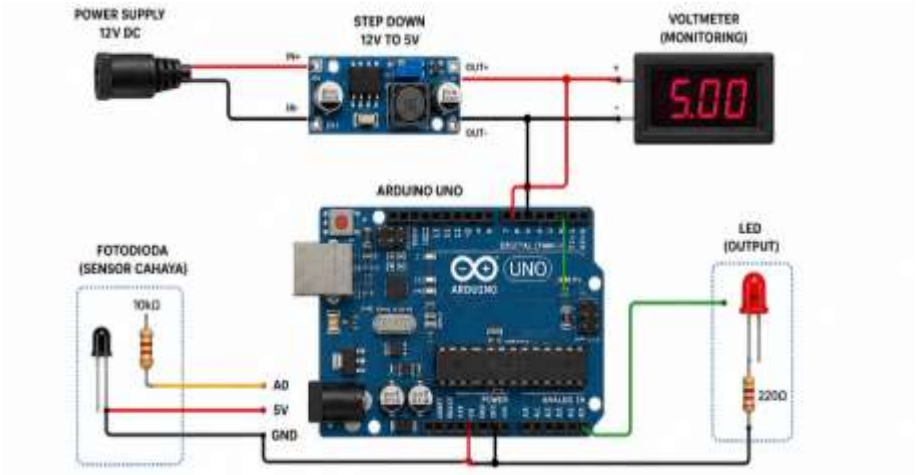
Gambar 6. Flowchat Diagram Sistem.

Berikut Diagram Blok Sistemnya;



Gambar 7. Diagram Blok Sistem.

Berikut Diagram Hardware Sistemnya:

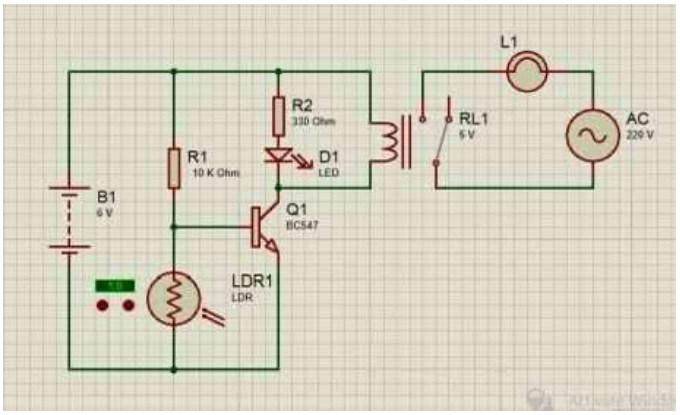


Gambar 8. Diagram Hardware Sistem.

J. Skema Rangkaian

Skema rangkaian sistem karakterisasi LED pada penelitian ini menggunakan power supply 12V DC sebagai sumber tegangan utama yang kemudian diturunkan menjadi 5V menggunakan modul step-down LM2596 untuk mensuplai Arduino Uno. LED uji dihubungkan ke sumber arus melalui resistor pembatas arus dengan nilai yang disesuaikan agar arus injeksi dapat divariasikan dalam rentang operasi yang aman. Nilai arus yang mengalir melalui LED diukur menggunakan sensor arus atau multimeter digital yang terhubung secara seri pada jalur LED (Floyd, 2018). Sementara itu, sensor fotodioda ditempatkan pada jarak dan sudut tetap terhadap LED uji untuk mendeteksi intensitas cahaya yang dipancarkan.

Output tegangan dari fotodioda diproses melalui rangkaian transimpedance amplifier sebelum masuk ke pin analog Arduino Uno (A0) untuk dikonversi menjadi nilai digital oleh ADC 10-bit (Saleh & Teich, 2019). Data hasil pengukuran dari sensor arus dan sensor fotodioda kemudian diproses oleh Arduino dan dikirimkan ke komputer melalui komunikasi serial USB untuk ditampilkan pada Serial Monitor dan disimpan dalam berkas data. Selain itu, modul voltmeter digital dapat ditambahkan untuk memantau tegangan keluaran power supply agar sistem bekerja dengan stabil. Dengan konfigurasi ini, variasi arus injeksi pada LED dapat dikendalikan secara terukur dan intensitas emisi cahaya yang dihasilkan dapat dicatat secara sistematis untuk dianalisis dalam bentuk grafik hubungan L-I (light-current) (Schubert, 2018; Krames et al., 2007).



Gambar 9. Skematik Rangkaian Sistem.

Tabel 1. Alat Dan Bahan Yang Digunakan

No	Nama Komponen	Jumlah	Fungsi
1	Baterai 6V (B1)	1 buah	Sumber tegangan rangkaian
2	LDR (Light Dependent Resistor)	1 buah	Sensor cahaya
3	Transistor BC547 (Q1)	1 buah	Penguat dan saklar elektronik
4	Resistor 10 kΩ (R1)	1 buah	Pembatas arus dan pembagi tegangan
5	Resistor 330 Ω (R2)	1 buah	Pembatas arus LED
6	LED (D1)	1 buah	Indikator kerja rangkaian
7	Relay 5V (RL1)	1 buah	Saklar otomatis untuk beban AC
8	Lampu AC (L1)	1 buah	Beban/output yang dikendalikan relay
9	Sumber AC 220V	1 buah	Sumber daya lampu AC
10	Kabel Penghubung	Secukupnya	Menghubungkan komponen
11	PCB/Breadboard	1 buah	Media perakitan rangkaian

Keterangan: Rangkaian ini bekerja menggunakan sensor LDR yang mendeteksi intensitas cahaya. Saat kondisi gelap, transistor BC547 akan mengaktifkan relay sehingga lampu AC dapat menyala secara otomatis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan berisi hasil-hasil temuan penelitian beserta pembahasannya. Bagian pembahasan memaparkan hasil pengolahan data, menginterpretasikan penemuan secara logis, mengaitkan dengan sumber rujukan yang relevan dan membandingkan temuan penelitian dengan kajian ilmiah atau studi terdahulu. Temuan-temuan ilmiah menjelaskan secara saintifik, dan tidak hanya deskriptif, meliputi: Apakah temuan ilmiah yang diperoleh? Mengapa hal itu bisa terjadi? Mengapa trend variabel seperti itu?
Hasil penelitian dapat dilengkapi dengan tabel dan gambar. Tabel dan gambar diletakkan di dalam kelompok teks sesudah tabel atau gambar tersebut dirujuk.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian rangkaian lampu otomatis berbasis sensor LDR, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sensor LDR mampu mendeteksi perubahan intensitas cahaya dengan baik sebagai input sistem.
2. Transistor BC547 dan relay dapat bekerja sesuai fungsinya, yaitu mengendalikan nyala dan mati lampu secara otomatis.
3. Lampu menyala saat kondisi gelap dan mati saat kondisi terang, sehingga tidak memerlukan pengoperasian secara manual.
4. Rangkaian bekerja secara otomatis dan responsif terhadap perubahan kondisi cahaya di lingkungan sekitar.
5. Sistem dapat membantu menghemat penggunaan energi listrik karena lampu hanya menyala saat dibutuhkan.
6. Rangkaian memiliki desain yang sederhana, mudah dibuat, dan ekonomis, sehingga cocok diterapkan pada sistem penerangan otomatis.

DAFTAR PUSTAKA

Banzi, M., & Shiloh, M. (2022). Getting Started with Arduino (4th ed.). Sebastopol, CA: Maker Media.

Budiharto, W. (2019). Dasar-Dasar Elektronika dan Mikrokontroler. Yogyakarta: Andi Publisher.

Cho, J., Schubert, E. F., & Kim, J. K. (2013). Efficiency droop in light-emitting diodes: Challenges and countermeasures. Laser & Photonics Reviews, 7(3), 408–421.

Floyd, T. L. (2018). Electronic Devices: Conventional Current Version. New York: Pearson Education.

Karlicek, R., Sun, C. C., Zissis, G., & Ma, R. (Eds.). (2017). Handbook of Advanced Lighting Technology. Cham: Springer.

Khanh, T. Q., Bodrogi, P., Vinh, Q. T., & Winkler, P. (2015). LED Lighting: Technology and Perception. Weinheim: Wiley-VCH.

Krames, M. R., Shchekin, O. B., Mueller-Mach, R., Mueller, G. O., Zhou, L., Harbers, G., & Craford, M. G. (2007). Status and future of high-power light-emitting diodes for solid-state lighting. Journal of Display Technology, 3(2), 160–175.

Malvino, A. P. (2016). Prinsip-Prinsip Elektronika. Jakarta: Erlangga.

Mottier, P. (2009). LEDs for Lighting Applications. London: ISTE Ltd. and John Wiley & Sons.

Piprek, J. (2010). Efficiency droop in nitride-based light-emitting diodes. Physica Status Solidi (a), 207(10), 2217–2225.

Saleh, B. E. A., & Teich, M. C. (2019). Fundamentals of Photonics (3rd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Schubert, E. F. (2018). Light-Emitting Diodes (3rd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Sedra, A. S., & Smith, K. C. (2020). Microelectronic Circuits. New York: Oxford University Press.

Sutrisno. (2017). Elektronika Dasar: Teori dan Penerapannya. Bandung: CV Pustaka Setia.

Zukauskas, A., Shur, M. S., & Gaska, R. (2002). Introduction to Solid-State Lighting. New York: John Wiley & Sons.