

TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN ARRAY SENSOR FOTODIODA GUNA MENDETEKSI INTENSITAS CAHAYA SECARA EFISIEN MENGUNAKAN REGRESI *LINEAR*

*Diajukan untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

ADELIA FEBRINA BR SEMBIRING
2207220115P



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Adelia Febrina Br Sembiring
NPM : 2207220115P
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun *Array* Sensor Fotodioda Guna Mendeteksi
Intensitas Cahaya Secara Efisien Menggunakan Regresi
Linear
Bidang ilmu : Sistem Kontrol

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Agustus 2024

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Rahmat Fauzi Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji I



Ir. Abdul Aziz Hutasuht, M.M

Dosen Peguji II



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Adelia Febrina Br Sembiring

Tempat /Tanggal lahir : Lau Gunung/ 26 Juli 2000

NPM : 2207220115P

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

“Rancang Bangun *Array* Sensor Fotodioda Guna Mendeteksi Intensitas Cahaya Secara Efisien Menggunakan Regresi *Linear*”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh Tim Fakultas yng dibentuk untuk melakukan verivikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Progam Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah sumatera Utara

Medan, Agustus 2024

Saya yang menyatakan,



Adelia Febrina Br Sembiring

**RANCANG BANGUN ARRAY SENSOR FOTODIODA GUNA
MENDETEKSI INTENSITAS CAHAYA SECARA EFISIEN
MENGUNAKAN REGRESI *LINEAR***

ABSTRAK

Teknologi sensor fotodiode menjadi bagian penting dalam berbagai aplikasi yang melibatkan pengukuran intensitas cahaya. Sensor fotodiode digunakan dalam berbagai bidang, termasuk pengukuran intensitas cahaya, peralatan optoelektronik, dan perangkat otomatisasi. Pendeteksian cahaya yang lebih baik dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas pengukuran dan sistem otomatisasi. Hal ini memerlukan penggunaan teknologi yang lebih canggih seperti *array* sensor fotodiode, yang memungkinkan pengumpulan data dari beberapa fotodiode secara bersamaan. Dengan cara ini, informasi intensitas cahaya di lingkungan tertentu diperoleh lebih lengkap dan akurat. Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah merancang dan membangun *array* sensor fotodiode yang memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi. Untuk mencapai tingkat sensitivitas yang tinggi, dilakukan perancangan sensor *array* fotodiode berbasis 6 *array* dan menggunakan rangkaian *summing amplifier* dan *non-inverting amplifier* sebagai *signal conditioning*. Setelah perancangan dilakukan, selanjutnya menentukan fungsi regresi linier. Fungsi regresi linier diambil berdasarkan kalibrasi dan jumlah percobaan yang dilakukan. Perancangan *array* sensor fotodiode ini telah berhasil dilakukan dimana telah diperoleh dua fungsi regresi linier yang diimplementasikan pada *array* sensor fotodiode dalam dua mode, yaitu pada mode normal dan mode sensitif. Pada mode normal, *array* sensor fotodiode ini memiliki tingkat akurasi yang cukup buruk dengan rata-rata nilai tingkat akurasi pada mode normal sebesar 69,31 % dan pada mode sensitif *array* sensor fotodiode memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dengan rata-rata nilai tingkat akurasi sebesar 93,47 %. Sensitivitas *array* sensor fotodiode sangat baik dalam mendeteksi intensitas cahaya khususnya pada mode sensitif. Pada *array* sensor fotodiode implementasi dengan metode fungsi regresi linier dapat digunakan sebagai metode yang presisi dan akurat dalam pendeteksian cahaya.

Kata Kunci: *Array Sensor Fotodiode, Regresi Linier, Kalibrasi, Signal Conditioning*

ABSTRACT

Photodiode sensor technology has become an important part of various applications involving light intensity measurement. Photodiode sensors are used in a variety of fields, including light intensity measurement, optoelectronic equipment, and automation devices. Better light detection is needed to improve the quality of measurement and automation systems. This requires the use of more sophisticated technologies such as photodiode sensor arrays, which allow the collection of data from multiple photodiodes simultaneously. In this way, information on light intensity in a given environment is obtained more completely and accurately. The purpose of this study is to design and build an array of photodiode sensors that have a high level of sensitivity. To achieve a high level of sensitivity, a *6-array-based photodiode* array sensor was designed and used a summing *amplifier circuit* and a *non-inverting amplifier* as *signal conditioning*. After the design is done, it further determines the linear regression function. The linear regression function is taken based on calibration and the number of experiments performed. The design of this photodiode sensor array has been successfully carried out where two linear regression functions have been obtained which are implemented in the photodiode sensor array in two modes, namely in normal mode and sensitive mode. In normal mode, this photodiode sensor array has a fairly poor accuracy rate with an average accuracy rate value of 69.31%, and in sensitive mode, the photodiode sensor array has a very good accuracy rate with an average accuracy rate value of 93.47%. The sensitivity of the photodiode sensor array is very good at detecting light intensity, especially in sensitive mode. In the photodiode sensor array, the implementation with the linear regression function method can be used as a precise and accurate method in light detection.

Keywords: Array Sensor Photodiode, Regression Linear, Calibration, Signal Conditioning

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Rancang Bangun *Array* Sensor Fotodioda guna Mendeteksi Intensitas Cahaya Secara Efisien Menggunakan Regresi *Linear*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus kepada :

1. Ayahanda tercinta Johan Sembiring, Ibunda tercinta Nurlina, serta seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil serta nasehat dan doanya untuk penulis demi selesainya Tugas Akhir ini
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan perhatian sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik
3. Bapak Dr. Ade Faisal M. Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Affandi, S.T., M.T., selaku Wakil III Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
6. Ibu Elvy Sahnur, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
7. Bapak Rahmat Fauzi Siregar, S.T., M.T., selaku Pembimbing dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik
8. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

9. Seluruh staff Tata Usaha di biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
10. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Akhir ini

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis mengharapkan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amiin ya rabbal alamin.

Wasssalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Medan, Agustus 2024



Adelia Febrina Br Sembiring

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	4
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 Sensor Cahaya	7
2.2.2 <i>Array</i> Sensor	9
2.2.3 Regresi Linier	10
2.2.4 <i>Signal Conditioning</i>	11
2.2.5 ADC (<i>Analog to Digital Converter</i>).....	13
2.2.6 Arduino	14
2.2.7 Arduino IDE	16
2.2.8 Sistem Kontrol <i>Close-loop</i>	17

2.2.9 EasyEDA	19
2.2.10 Proteus	20
2.2.11 Software SPSS	21
2.2.12 Liquid Cristal Display (LCD).....	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	24
3.2.1 Alat	25
3.2.2 Bahan	25
3.3 Studi Literatur	26
3.4 Rancangan <i>Array</i> Fotodioda	26
3.5 Sistem Kontrol <i>Closed Loop</i>	28
3.6 Kalibrasi.....	29
3.7 Menentukan Konstanta Regresi Linier	29
3.8 Algoritma Sistem	30
3.9 Diagram Alir Prinsip Kerja Alat.....	32
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sensor LDR.....	8
Gambar 2. 2 Simbol dan bentuk fisik dari fotodioda.....	9
Gambar 2. 3 Kurva Regresi Linier.....	11
Gambar 2. 4 Rangkaian Non-Inverting Amplifier.....	12
Gambar 2. 5 Rangkaian Summing Amplifier	13
Gambar 2. 6 Arduino Nano 328	15
Gambar 2. 7 Sistem Closed Loop	17
Gambar 2. 8 Software EasyEDA	20
Gambar 2. 9 Software Proteus	21
Gambar 2. 10 Software SPSS	22
Gambar 2. 11 Liquid Cristal Display (LCD)	23
Gambar 3. 1 Rangkaian Array Sensor Fotodioda	27
Gambar 3. 2 Layout 3D Array Sensor Fotodioda.....	27
Gambar 3. 3 Sistem Kontrol Closed Loop.....	28
Gambar 3. 4 Deklarasi Variable Input dan Output	30
Gambar 3. 5 Deklarasi Variabel Input	31
Gambar 3. 6 Inisialisasi komunikasi serial	31
Gambar 3. 7 Menunjukkan Reading Sensor Array Sensor Fotodioda.....	31
Gambar 3. 8 Persamaan Regresi Linear Untuk Tiap Sensor Fotodioda	32
Gambar 3. 9 Algoritma Program Untuk Menampilkan Nilai Sensor Dalam Serial Monitor	32
Gambar 3. 10 Diagram Alir Rancang Bangun Array Sensor Fotodioda	33

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Perencanaan Kegiatan Penelitian.....	24
Tabel 3. 2 Peralatan yang digunakan	25
Tabel 3. 3 Bahan yang digunakan.....	25

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi fotodioda telah menjadi salah satu aspek penting dalam dunia teknologi *modern*. Teknologi yang berhubungan dengan fotodioda seperti pencahayaan LED, peralatan optoelektronik, dan perangkat otomatisasi telah berkembang pesat. Contohnya Penggunaan sensor fotodioda sebagai sensor cahaya dalam pemilahan warna kemasan kotak dapat menguntungkan bagi suatu industri, karena proses produksi akan lebih singkat, akurat serta menghasilkan produk yang layak bagi konsumen. Jika proses produksi tersebut dilakukan secara otomatis akan menguntungkan bagi perusahaan karena dengan otomatisasi dalam proses produksi akan menimbulkan proses yang membutuhkan waktu yang lebih singkat, akurat, serta keuntungan yang diperoleh perusahaan akan lebih tinggi (Roza & Nuralam, 2019).

Dalam era *modern* ini, teknologi sensor fotodioda telah menjadi bagian penting dalam berbagai aplikasi yang melibatkan pengukuran intensitas cahaya. Sensor fotodioda digunakan dalam berbagai bidang, termasuk pengukuran intensitas cahaya, peralatan optoelektronik, dan perangkat otomatisasi. Namun, untuk mengukur intensitas cahaya yang efisien dan akurat dalam berbagai aplikasi, penting untuk mengatasi beberapa tantangan teknis.

Salah satu tantangan utama adalah memaksimalkan efisiensi dalam mendeteksi intensitas cahaya. Dalam banyak situasi, pendeteksian cahaya yang lebih baik dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas pengukuran dan sistem otomatisasi. Hal ini memerlukan penggunaan teknologi yang lebih canggih, seperti *array* sensor fotodioda, yang memungkinkan pengumpulan data dari beberapa fotodioda secara bersamaan. Dengan cara ini, informasi intensitas cahaya di lingkungan tertentu diperoleh lebih lengkap dan akurat.

Selain itu, untuk menganalisis data yang dihasilkan oleh *array* sensor fotodioda dengan lebih baik, diperlukan metode analisis yang tepat. Regresi linier adalah salah satu metode statistik yang dapat digunakan untuk memahami hubungan antara variabel *input* (intensitas cahaya) dan variabel *output* (tegangan yang dihasilkan oleh sensor fotodioda). Penerapan regresi linear, digunakan untuk

mengidentifikasi pola dan tren dalam data, serta mengoptimalkan kinerja sistem dalam mendeteksi intensitas cahaya.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membangun sebuah *array* sensor fotodioda yang dapat mendeteksi intensitas cahaya dengan tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan fotodioda tunggal?
2. Bagaimana menerapkan fungsi matematis regresi *linear* untuk menganalisis data yang dihasilkan oleh *array* sensor fotodioda dan meningkatkan akurasi pengukuran intensitas cahaya?
3. Bagaimana merancang *array* sensor fotodioda yang memiliki sensitifitas yang tinggi?
4. Bagaimana pengembangan teknologi *array* sensor fotodioda dan penggunaan regresi *linear* dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan aplikasi pengukuran intensitas cahaya?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun sebuah *array* sensor fotodioda yang dapat mendeteksi intensitas cahaya dengan tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan fotodioda tunggal
2. Mengetahui penerapan fungsi matematis regresi *linear* untuk menganalisis data yang dihasilkan oleh *array* sensor fotodioda dan meningkatkan akurasi pengukuran intensitas cahaya.
3. Merancang *array* sensor fotodioda yang memiliki sensitifitas yang tinggi.
4. Mengetahui pengembangan teknologi *array* sensor fotodioda dan penggunaan regresi *linear* dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan aplikasi pengukuran intensitas cahaya.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan wawasan mahasiswa terkait teknologi sensor fotodiode dan cara merancang dan membangun *array* sensor fotodiode.
2. Melalui penggunaan regresi linear dalam penelitian ini, mahasiswa akan memahami konsep statistik dan analisis data yang penting dalam berbagai disiplin ilmu, seperti ilmu sosial, ekonomi, dan ilmu komputer.
3. Mahasiswa dapat mengembangkan ide-ide kreatif dan inovatif dalam merancang *array* sensor fotodiode. Fokus pada aspek kreatif ini dapat memberikan kontribusi signifikan pada kemajuan teknologi sensor dan mendorong pemikiran inovatif dalam desain.
4. Implementasi teknologi sensor fotodiode yang efisien dapat meningkatkan keamanan masyarakat melalui pemanfaatan dalam berbagai aplikasi, seperti kamera pemantauan, pengawasan lalu lintas, atau deteksi gerak malam hari, yang dapat memberikan pemantauan yang lebih baik di berbagai lokasi.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun Batasan Masalah pada penelitian ini adalah:

1. Terdapat 6 *Array* sensor fotodiode yang dimana pada tiap *array* terdiri dari 6 sensor fotodiode.
2. Metode kontrol menggunakan regresi linier (diperhitungkan melalui program C++ dengan arduino ide).

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian mengenai Rancang Bangun Alat Ukur Tingkat Kekeruhan Air Menggunakan Fotodioda *Array* Berbasis Mikrokontroler ATmega328, alat pengukur kekeruhan air dirancang dengan menggunakan serangkaian fotodioda. *Array* fotodioda terdiri dari 5 fotodioda paralel. Alat ukur ini bekerja berdasarkan metode *Nephelometry* dengan susunan fotodioda ditempatkan pada sudut 90° terhadap sumber cahaya. Sumber cahaya yang digunakan berasal dari buah LED berwarna merah dengan panjang gelombang 650 nm. Tegangan keluaran rangkaian fotodioda diproses oleh mikrokontroler dan kemudian ditampilkan menggunakan layar LCD 2×16. LCD menampilkan nilai tingkat kekeruhan air dalam NTU (*Nephelometric Turbidity Units*). Pengukuran kekeruhan air meter diperoleh berkisar antara 17,57 NTU sampai dengan 189,55 NTU, rata-rata error perancangan kekeruhan air meter sebesar 2,964% (Putri & Harmadi, 2018).

Penelitian mengenai Rancang Bangun Sistem Pengukuran Diameter Butiran Air Menggunakan Fotodioda *Array* dan *Transceiver* nRF24L01+, sistem pengukuran diameter tetesan air dirancang menggunakan susunan fotodioda dan *transceiver* RF24L01+. Sistem pengukuran diameter tetesan air meliputi laser dioda, susunan fotodioda, mikrokontroler Arduino Uno R3 dan *transceiver* nRF24L01+. *Array* fotodioda mengubah cahaya menjadi sinyal listrik berupa tegangan keluaran dan diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno R3. Data yang dihasilkan dikirim melalui telemetri nirkabel menggunakan *transceiver* nRF24L01+ dan ditampilkan di layar PC dan LCD sebagai hasil pengukuran. Sistem mempunyai jarak pengiriman maksimum 1 (Awaluddin et al., 2019). Pada tahun yang sama juga dilakukan penelitian mengenai Perancangan dan Implementasi Sistem Penerima *Indoor Visible Light Communication* Menggunakan Sel Surya dan Susunan Fotodetektor, sistem ini menerapkan teknologi komunikasi cahaya tampak di dalam ruangan dengan bagian transmisi data menggunakan lampu LED dan bagian penerimaan data menggunakan sel surya dan susunan fotodetektor. Dengan menggunakan sistem komunikasi VLC, *receiver* dapat menangkap cahaya tampak dari kedua perangkat sebagai sinyal

informasi data digital yang diubah menjadi biner atau heksadesimal, menggunakan USB to TTL dengan *software Install Realterm*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa keberhasilan pengujian diukur dari nilai jarak, sudut dan ukuran gambar yang diterima (Ajrina Aulia et al., 2019).

Penelitian mengenai Implementasi Alat Pendeteksi Warna Benda Menggunakan *Fuzzy Logic* dengan Sensor TCS3200 Berbasis Arduino, Pengukuran perubahan warna umumnya dilakukan dengan menggunakan LDR atau fototransistor. Warna terdiri dari warna primer, salah satunya dikhususkan untuk cahaya primer merah, hijau, dan biru (RGB), dan parameter warna ini memiliki gelombang cahaya yang berbeda. Kemajuan teknologi elektronik telah memungkinkan untuk mengenali dan mengukur warna berdasarkan warna primer penyusunnya. Salah satunya adalah sensor TCS3200. Penelitian ini tentang pengembangan alat yang dapat mendeteksi warna dengan menggunakan sensor TCS3200. Alat ini menggunakan perubahan arus yang besarnya sebanding dengan parameter warna dasar cahaya yang mengenai sensor, dan arus tersebut diubah menjadi sinyal gelombang persegi dengan frekuensi berikut: Nilai yang sebanding dengan frekuensi diubah menjadi besaran arus. Hasil pengujian menunjukkan keakuratan alat sudah baik. Hal ini didasarkan pada sensitivitas sensor warna TCS3200, yang mengubah warna cahaya menjadi frekuensi warna putih, putih, hitam, primer dan sekunder (Zulkarnain et al., 2019).

Penelitian mengenai *Design and simulation of ultra-thin and high-efficiency silicon-based trichromatic PIN photodiode arrays for visible light communication*, Komunikasi cahaya tampak menyediakan sumber daya spektrum yang melimpah, yang dapat mengatasi kekurangan sumber daya spektrum komunikasi nirkabel yang ada, dan keamanan sistem sangat andal. Penelitian ini mengemukakan susunan fotodioda (PD) baru dengan struktur optik mikro-nano, yang meningkatkan efisiensi penyerapan PD pada cahaya biru, hijau, dan merah. Efisiensi penyerapan cahaya biru, hijau dan merah ditingkatkan secara signifikan dengan susunan fotodioda. Lampu merah pada panjang gelombang pusat mencapai efisiensi kuantum masing-masing sebesar 96,8%, 97,5%, dan 98,6%, yang menunjukkan peningkatan kinerja perangkat. Selain itu, perangkat ini mengintegrasikan tiga fotodioda warna ke dalam struktur silikon-on-isolator yang

sangat tipis, sehingga meningkatkan integrasi perangkat dan kecepatan respons. Struktur ultra-tipis dari fotodiode meningkatkan *bandwidth* respons hingga tingkat GHz (Gao et al., 2020).

Penelitian mengenai *Optimum Distance Planning of Wireless Sensor Network Using Linear Regression Method*, Penelitian ini sangat penting untuk mengetahui kinerja dan kemampuan ESP-01 sebagai node sensor dalam perencanaan jaringan melalui penerapan Wireless Sensor Network (WSN). Jarak antar node yang optimal direkam dengan bantuan perangkat lunak *wireshark*. Pendekatan regresi linier diterapkan dalam membangun sistem prediksi jarak dengan metrik *packet loss* dan *delay*. Pengamatan dilakukan melalui simulasi menggunakan *Network Simulator* dan pengukuran langsung menggunakan *Wireshark*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak optimal untuk kualitas jaringan yang optimal adalah 34 meter dengan kategori baik (Ubaidillah et al., 2021).

Penelitian mengenai *Development of a fluorescence microplate reader using an organic photodiode array with a large light receiving area*, penelitian ini telah dikembangkan pembaca pelat mikro fluoresensi yang dilengkapi dengan sembilan susunan fotodiode organik (OPD). Area penerimaan cahaya setiap OPD sangat besar yaitu 9,62mm². Karena susunan fotodiode berada diatas pelat kaca datar, maka susunan ini dapat diposisikan langsung di bawah *microwell* untuk mendeteksi fluoresensi yang dipancarkan di seluruh permukaan bagian bawah *microwell*. Kinerja analitis perangkat dievaluasi dengan mengukur larutan resorufin. Batas deteksi (LOD) resorufin (0,01–0,05 μM) lebih rendah dibandingkan yang diperoleh pada penelitian sebelumnya dengan pembaca pelat yang dilengkapi dengan susunan 9 fotodiode organik (0,30 μM) dan pelat mikro yang tersedia secara komersial (0,16 μM). Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi deteksi sistem meningkat dengan area fokus yang lebih besar menggunakan susunan fotodiode. Selain itu, pembaca yang dikembangkan berhasil menilai imunoglobulin A (IgA) dalam air liur manusia. Batas deteksi (LOD) untuk IgA diperkirakan 1,2 ng/mL, menunjukkan bahwa batas tersebut cukup rendah untuk menilai stres pada manusia secara objektif (Morioka et al., 2022).

2.2 Landasan Teori

Landasan teori ini membentuk dasar pemahaman yang diperlukan untuk mengimplementasikan dan mengevaluasi Rancang Bangun *Array* Sensor Fotodiode Guna Mendeteksi Intensitas Cahaya Secara Efisien Menggunakan Regresi *Linear*.

2.2.1 Sensor Cahaya

Sensor cahaya merupakan suatu komponen elektronika yang dapat memberikan perubahan besaran listrik ketika terjadi perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh sensor cahaya. Dilihat dari perubahan keluaran sensor cahayanya, sensor cahaya dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu sensor cahaya jenis fotovoltaik dan sensor cahaya jenis fotokonduktif.

1. Fotovoltaik

Sensor cahaya tipe fotovoltaik adalah sensor cahaya yang dapat memberikan perubahan tegangan pada *output* sensor cahaya tersebut apabila sensor tersebut menerima intensitas cahaya. Sensor cahaya tipe Fotovoltaik adalah alat sensor cahaya yang mengubah energi cahaya langsung menjadi energi listrik (Sasmita & Widyartono, 2020).

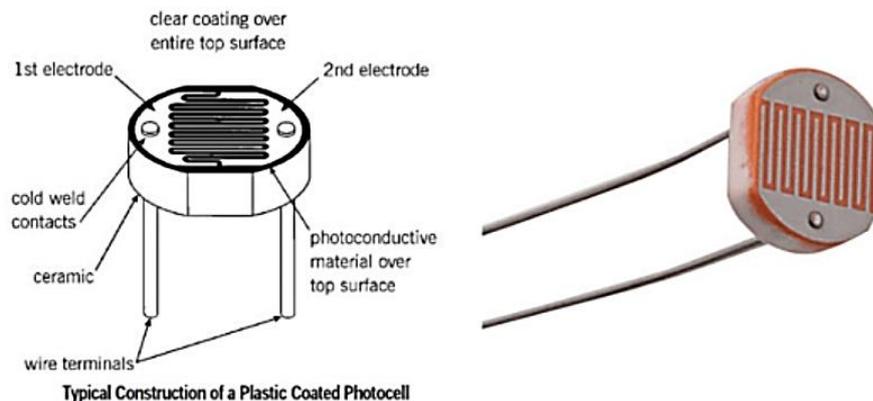
2. Fotokonduktif

Sensor cahaya tipe fotokonduktif akan memberikan perubahan resistansi pada terminal *output*-nya sesuai dengan perubahan intensitas cahaya yang diterimanya. Sensor cahaya tipe fotokonduktif ini ada beberapa jenis diantaranya adalah:

a. LDR (*Light Dependent Resistor*)

Jika LDR (*Light Dependent Resistor*) menerima cahaya maka nilai konduktansi antara kedua kakinya akan bertambah (resistansi turun). Semakin besar cahaya yang diterima, semakin tinggi nilai konduktivitasnya (semakin rendah nilai resistansinya). Salah satu penerapan LDR adalah lampu jalan yang otomatis menyala ketika cahaya matahari mulai meredup. Prinsip kerja LDR (*Light Dependent Resistance*) yaitu resistansi sensor cahaya LDR (*Light Dependent Resistor*) akan berubah seiring perubahan intensitas cahaya yang mengenainya atau yang ada di sekitar LDR. Dalam

kondisi gelap, resistansi LDR sekitar $10\text{ M}\Omega$ dan dalam kondisi terang sebesar $1\text{ K}\Omega$ atau kurang. LDR terbuat dari bahan semikonduktor seperti kadmium sulfida (Kurnia AR, 2023). Sensor LDR dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Sensor LDR

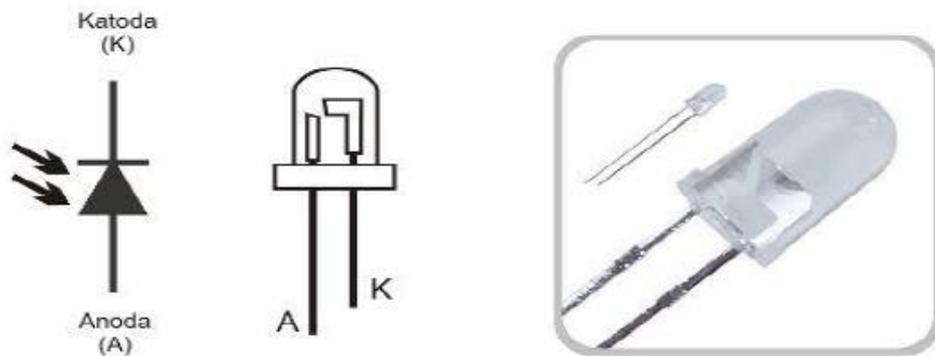
b. Phototransistor

Fototransistor adalah suatu transistor yang memiliki resistansi antara kaki kolektor dan emitor dapat berubah sesuai intensitas cahaya yang diterimanya. Fototransistor memiliki 2 terminal *output* dengan nama emitor dan kolektor, dimana nilai resistansi emitor dan kolektor tersebut akan semakin rendah apabila intensitas cahaya yang diterima fototransistor semakin tinggi. Prinsip kerja Fototransistor sama halnya dengan transistor pada umumnya, fungsi bias tegangan basis pada transistor biasa digantikan dengan besaran cahaya yang diterima fototransistor. Pada saat fototransistor menerima cahaya maka nilai konduktansi kaki kolektor dan emitor akan naik (resistansi kaki kolektor-emitor turun). Arus yang mengalir dari kolektor ke emitor akan semakin besar apabila terminal basis pada *phototransistor* menerima intensitas cahaya yang tinggi.

c. Fotodiode

Salah satu sensor cahaya jenis fotokonduktif adalah sensor fotodiode. Sensor fotodiode dapat merespon stimulus berupa cahaya tampak maupun

tidak tampak dan mengkonversi intensitas cahaya yang terdeteksi menjadi arus. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Simbol dan bentuk fisik dari fotodioda

Fotodioda adalah suatu jenis dioda yang resistansinya akan berubah-ubah apabila terkena sinar cahaya. Resistansi dari fotodioda dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterimanya, semakin banyak cahaya yang diterima maka semakin kecil resistansi dari fotodioda dan begitupula sebaliknya jika semakin sedikit intensitas cahaya yang diterima oleh sensor fotodioda maka semakin besar nilai resistansinya. Sensor fotodioda sama seperti sensor LDR, mengubah besaran cahaya yang diterima sensor menjadi perubahan konduktansi (kemampuan suatu benda menghantarkan arus listrik dari suatu bahan) (Siregar, 2020).

2.2.2 Array Sensor

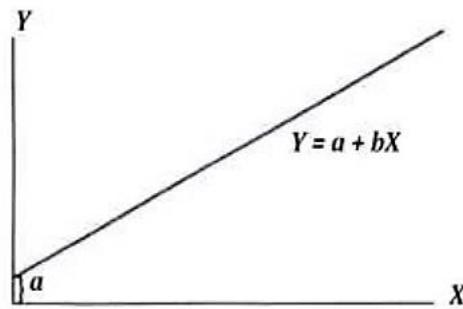
Array sensor mengacu pada kumpulan atau susunan sensor-sensor yang diatur dalam satu rangkaian. Pada penelitian ini dirancang beberapa sensor fotodioda dalam satu rangkaian atau susunan tertentu yang bertujuan untuk mendeteksi intensitas cahaya dengan cara yang lebih efisien. Penggunaan *array* sensor bertujuan untuk meningkatkan sensitivitas, resolusi, dan rentang deteksi terhadap berbagai intensitas cahaya. *Array* sensor *fotodioda* terdiri dari beberapa sensor fotodioda yang terintegrasi dalam satu sistem. Setiap sensor fotodioda dalam *array* ini bekerja secara independen untuk mendeteksi cahaya di lokasi yang ditentukan. Biasanya, sensor-sensor ini ditempatkan dalam susunan tertentu,

baik dalam baris, kolom, atau konfigurasi matriks yang lebih kompleks. Keuntungan dari menggunakan *array* sensor fotodiode, antara lain:

1. Peningkatan Resolusi, dengan menggunakan beberapa sensor dalam *array*, resolusi spasial (pemisahan lokasi) dari sumber cahaya dapat ditingkatkan, memungkinkan identifikasi dengan lebih tepat.
2. Rentang deteksi yang Lebih Luas, kombinasi dari beberapa sensor dengan sensitivitas yang berbeda dapat meningkatkan rentang deteksi dari cahaya lemah hingga cahaya intens.
3. Penyesuaian Terhadap Variasi Cahaya, beberapa sensor dapat diatur untuk beroperasi dengan sensitivitas yang berbeda, memungkinkan adaptasi terhadap perubahan intensitas cahaya.
4. Redundansi dan Keandalan, jika salah satu sensor mengalami kerusakan atau gangguan, sensor lain dalam *array* dapat mengambil alih, meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.
5. Desain *array* sensor fotodiode akan mempertimbangkan faktor seperti susunan fisik sensor, jarak antarsensor, konfigurasi koneksi, dan teknik pengolahan data yang dibutuhkan untuk menggabungkan informasi dari sensor-sensor tersebut (Putri & Harmadi, 2018).

2.2.3 Regresi Linier

Dalam Statistik regresi *linear* merupakan pendekatan untuk memodelkan hubungan antara suatu (satu atau lebih) variabel dependen dengan satu (regresi linear sederhana) atau lebih variabel independen (regresi linier banyak). Salah satu aplikasi dari regresi linier adalah untuk melakukan prediksi berdasarkan data-data yang telah dimiliki sebelumnya. Dengan asumsi hubungan di antara variabel-variabel tersebut dapat didekati oleh suatu persamaan garis lurus, maka model yang mendekati hubungan antar variabel di data tersebut disebut sebagai model regresi linier (Harsiti et al., 2022) Seperti yang terlihat pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Kurva Regresi Linier

Regresi linier sederhana secara matematik dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$Y = a + bX \quad (2.1)$$

Dimana, Y adalah variabel dependen (variabel terikat), X adalah variabel independen (variable bebas), a adalah konstanta, dan b adalah koefisien regresi (Siregar, 2020).

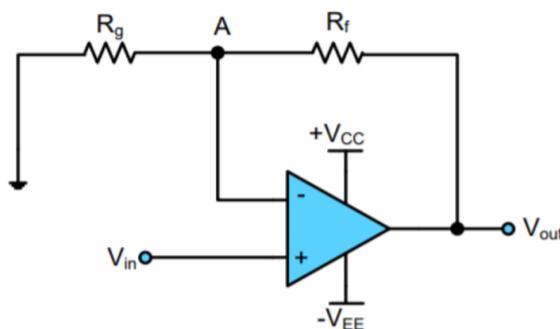
2.2.4 *Signal Conditioning*

Signal Conditioning atau Pengkondisi sinyal merupakan suatu operasi elektronik untuk mengkonversi sinyal tersebut menjadi sinyal yang sesuai dengan komponen elektronik lain yang diperlukan di dalam sistem kontrol. Pengkondisian sinyal dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengkondisi sinyal secara analog dan secara digital. Pengkondisian secara analog menghasilkan sinyal keluaran yang masih merepresentasikan sinyal analog yang variabel. Pada aplikasi pemrosesan digital, beberapa pengkondisi sinyal analog tertentu dilakukan sebelum konversi analog ke digital. Sistem pengkondisi sinyal harus mengkonversi sinyal arus ke sinyal tegangan. Pengkondisi sinyal umumnya digunakan untuk menghilangkan beban. Untuk mengetahui fungsi pengkondisi sinyal lebih luas adalah sebagai berikut.

1. Penguatan (Amplification), Karena di dunia nyata sinyal biasanya sangat kecil ukurannya. Amplifier menaikkan level sinyal masukan untuk lebih cocok dengan jangkauan, sehingga dapat meningkatkan resolusi dan sensitivitas pengukuran. Amplifikasi ini diperlukan apabila output sensor terlalu rendah untuk langsung bermanfaat pada pengukuran atau pada sistem pengendali.

2. Peredaman (Attenuation), Peredaman adalah kebalikan dari penguatan. Bentuk pengkondisian sinyal ini mengurangi tegangan dari sinyal input sehingga sinyal AC berada dalam jangkauan sebelum pengukuran. Peredaman diperlukan untuk pengukuran tegangan tinggi.
3. Penyaringan (Filter), Pengkondisi sinyal meliputi filter yang dapat menolak noise yang tidak diinginkan dalam kisaran frekuensi tertentu. Kegunaan umum yang lain dari filter adalah untuk mencegah keterlambatan sinyal. Sebuah fenomena yang muncul ketika sinyal undersampled (sample terlalu terlambat).
4. Isolasi, Grounding yang tidak tepat dari sistem adalah salah satu penyebab paling umum untuk masalah pengukuran, termasuk noise dan perangkat pengukuran yang rusak. Pengkondisi sinyal dengan isolasi dapat mencegah sebagian besar masalah ini. Perangkat tersebut melewati sinyal dari sumbernya ke perangkat pengukuran tanpa hubungan fisik dengan menggunakan transformator.

Salah satu jenis pengkondisi sinyal analog ke analog adalah menggunakan rangkaian penguat *non-inverting*. Penguat *Non-Inverting* adalah suatu rangkaian penguat yang berfungsi menguatkan sinyal dan hasil sinyal yang dikuatkan tetap sefasa dengan sinyal *input*-nya. Pada dasarnya penguat *non-inverting* digunakan sebagai pengkondisi sinyal *input*-an sensor yang terlalu kecil sehingga dibutuhkan penguatan untuk diproses. Penguat *non-inverting* ke balikkan dari penguat *inverting*. Hasil dari sinyal *input* dan *output* rangkaian *non-inverting* dapat dilihat pada Gambar 2.4

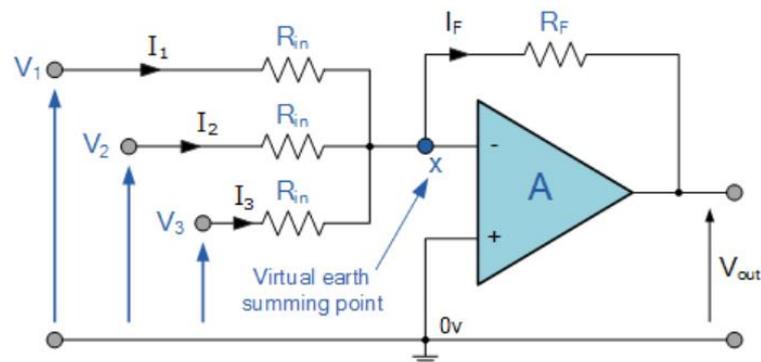


Gambar 2. 4 Rangkaian Non-Inverting Amplifier

Penguat *Non-Inverting* secara matematik dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$V_{in} = \frac{R_g}{R_g + R_f} \times V_{out} \quad (2.2)$$

Dimana, V_{in} adalah tegangan masukan, V_{out} adalah tegangan keluaran, R_g adalah resistansi *ground* dan R_f adalah resistansi *feedback*. Jenis lainnya pengkondisi sinyal *analog* ke *analog* adalah *Summing Amplifier*. *Summing Amplifier* merupakan penguat sinyal yang dapat digunakan untuk menambahkan sinyal listrik dengan cara merangkainya sebagai penguat jumlah. Penguat jumlah adalah rangkaian *op amp* dimana terdapat beberapa *input* tegangan, *output*-nya adalah penjumlahan dari sinyal *input*. Tegangan *input* (sinyal *input*) dihubungkan dengan pin *inverting*, pin ini dapat menerima lebih dari satu *input* pada waktu yang bersamaan. Rangkaian *op amp* sebagai penguat penjumlah dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2. 5 Rangkaian Summing Amplifier

Summing Amplifier secara matematik dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$-V_{out} = \frac{R_f}{R_{in}} \times (V_1 + V_2 + V_3 \dots n) \quad (2.3)$$

Dimana, V adalah tegangan masukan, V_{out} adalah tegangan keluaran, R_{in} adalah resistansi masukan dan R_f adalah resistansi *feedback* (Nuryanto, 2017).

2.2.5 ADC (*Analog to Digital Converter*)

Analog to Digital Converter (ADC) adalah perangkat elektronika yang berfungsi mengubah sinyal analog menjadi kode – kode digital. Prinsip kerja

ADC adalah mengkonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal *input* dan tegangan referensi. ADC (Analog to Digital Converter) memiliki 2 karakter prinsip, yaitu kecepatan sampling dan resolusi. Kecepatan sampling suatu ADC menyatakan seberapa sering sinyal analog dikonversikan ke bentuk sinyal digital pada selang waktu tertentu. Kecepatan sampling biasanya dinyatakan dalam sample per second (SPS). Resolusi ADC menentukan ketelitian nilai hasil konversi ADC. ADC 8 bit akan memiliki output 8 bit data digital, dimana sinyal input dapat dinyatakan dalam 255 ($2^n - 1$) nilai diskrit. ADC 12 bit memiliki 12 bit output data digital, ini berarti sinyal input dapat dinyatakan dalam 4096 nilai diskrit. Berdasarkan pernyataan diatas, ADC 12 bit akan memberikan ketelitian nilai hasil konversi yang jauh lebih baik daripada ADC 8 bit (Siregar et al., 2024).

Proses konversi nilai *output* dari *signal conditioning* menjadi nilai ADC dapat dituliskan dengan persamaan matematis sebagai berikut:

$$ADC = \left(\frac{V_{in}}{V_{ref}} \times \text{Resolusi ADC} \right) - 1 \quad (2.4)$$

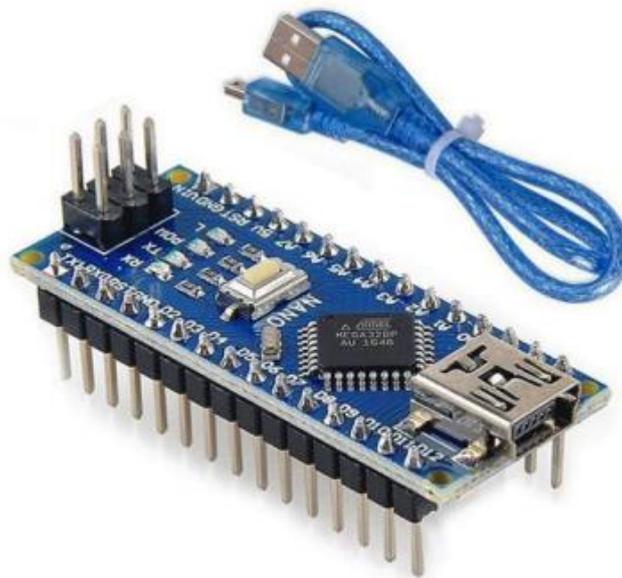
Dimana V_{in} adalah tegangan *input*, V_{ref} adalah tegangan referensi, Resolusi ADC adalah menentukan ketelitian nilai hasil konversi ADC (Oktrialdi et al., 2023).

2.2.6 Arduino

Arduino adalah *platform prototyping open-source hardware* yang digunakan untuk membuat proyek berbasis pemrograman. Modul dari Arduino memiliki prosesor mikrokontroler ATmega yang diproduksi oleh Atmel AVR, namun perangkat lunak yang digunakan memiliki bahasa pemrograman tersendiri. Arduino dibuat untuk memudahkan pengguna mengembangkan peralatan elektronik interaktif berdasarkan *hardware* dan *software* yang fleksibel dan mudah digunakan.

Arduino berkembang kemudian menghasilkan berbagai jenis *board*. Pada tugas akhir ini jenis papan yang digunakan adalah Arduino Nano, dimana jenis ini menggunakan *chip* ATmega328. Arduino Nano tidak dilengkapi dengan soket catu daya, tetapi terdapat pin untuk catu daya luar atau dapat menggunakan catu daya dari mini USB port. Memiliki ukuran kecil dan sangat sederhana, serta

menyimpan banyak fasilitas. Sudah dilengkapi dengan FTDI untuk pemrogramannya melalui *Micro* USB. Arduino Nano dapat dengan mudah diprogram dengan menggunakan software Arduino (sketch). Pada menu program, pilih tool – board kemudian pilih jenis board yang akan diprogram. Untuk memprogram board Arduino dapat memilih tipe board Arduino diecimila atau duemilanove atau langsung memilih Nano W/atmega168 atau Nano W/atmega328. Arduino Nano sudah dilengkapi dengan program boatloader, sehingga programmer dapat langsung meng-up-load kode program langsung ke board Arduino Nano tanpa melalui boardperantara atau hardware lain. Komunikasi ini menggunakan protokol STK500 keluaran ATMEL. Programmer juga dapat meng-upload program ke board Arduino Nano tanpa menggunakan boatloader, tetapi melalui ICSP (in-circuit serial programming) header yang sudah tersedia di board Arduino Nano. (Asmi & Candra, 2020) Seperti yang terlihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Arduino Nano 328

2.2.7 Arduino IDE

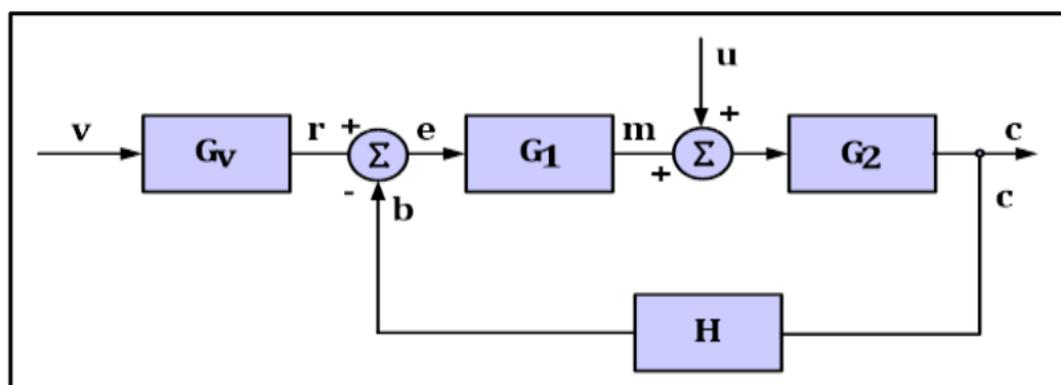
Integrated Development Environment (IDE). IDE merupakan perangkat lunak yang memainkan peran yang sangat penting dalam pemrograman, kompilasi biner, dan unduhan memori mikrokontroler. Selain banyak modul pendukung (sensor, monitor, pembaca, dll.). Bahasa pemrograman yang digunakan Arduino adalah bahasa tersendiri yang menyerupai bahasa C yang disederhanakan dengan bantuan pustaka-pustaka (libraries). IC mikrokontroler Arduino telah ditanamkan suatu program bernama *Bootlader* yang berfungsi sebagai penengah antara *compiler* dengan mikrokontroler. Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) dibuat dari bahasa pemrograman JAVA dan dilengkapi dengan *library C/C++* yang disebut *wiring* yang membuat operasi masukan dan keluaran menjadi lebih mudah. Arduino IDE dikembangkan dari *software processing* yang dirombak menjadi Arduino IDE khusus untuk pemrograman menggunakan Arduino.

Arduino IDE pada penelitian ini digunakan untuk melakukan konfigurasi sebuah program yang nantinya akan dimasukkan ke Arduino. Program tersebut bersifat *opensource* dalam lingkup Bahasa pemrograman Bahasa Arduino dapat bekerja pada sistem operasi Windows 10x64 yang digunakan dalam penelitian ini. Berikut adalah sintaks-sintaks yang terdapat pada pemrograman Arduino IDE

1. // (*single line comment*): kode ini berfungsi untuk membuat catatan pada program. Sehingga ketikan apapun setelah tanda // tersebut tidak akan dibaca oleh program.
2. /**/ (*multi line comment*): kode ini berfungsi untuk membuat catatan pada program dengan kata atau kalimat yang cukup banyak. Sehingga ketikan apapun diantara dua tanda ini tidak akan dijalankan oleh program.
3. {} (kurung kurawal): kode ini berfungsi untuk mendefinisikan awal ({} dan akhir (}) dari kode program.
4. ; (*semicolon*): kode ini harus digunakan untuk mengakhiri setiap baris *code*. Apabila tidak digunakan maka program yang telah dibuat tidak dapat di-*compile* (Asmi & Candra, 2020).

2.2.8 Sistem Kontrol *Close-loop*

Sistem kontrol atau sistem kendali adalah kumpulan dari beberapa komponen yang terhubung satu sama lainnya, sehingga membentuk suatu tujuan tertentu yaitu mengendalikan atau mengatur suatu sistem. Sistem kontrol disebut juga teknik pengaturan, sistem pengendalian, atau sistem pengontrolan. Ditinjau dari segi peralatan, sistem kontrol terdiri dari berbagai susunan komponen fisis yang digunakan untuk mengarahkan aliran energi ke suatu mesin atau proses agar dapat menghasilkan kinerja yang diinginkan. Tujuan utama dari suatu sistem kontrol adalah untuk mendapatkan optimasi. Dimana hal ini dapat diperoleh berdasarkan fungsi dari pada sistem kontrol itu sendiri, yaitu Pengukuran (measurement), Perbandingan (comparison), Pencatatan dan perhitungan, dan Perbaikan (correction). Sistem kontrol dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu sistem kontrol loop terbuka dan sistem kontrol loop tertutup. Sistem *closed loop* merupakan sistem pengaturan yang keluaran sistem tersebut memiliki pengaruh langsung terhadap aksi pengaturan. Karena itu sistem *closed loop* juga disebut sistem umpan balik. Sesuai gambar 2.7 pada sistem *closed loop*, kesalahan berupa selisih antara sinyal masukan dengan sinyal umpan balik dimasukkan kembali menuju kontroler untuk memperkecil kesalahan sehingga keluaran sistem mendekati nilai yang diinginkan. Sistem *closed loop* dapat dilihat pada Gambar 2.7 (González et al., 2021).



Gambar 2. 7 Sistem Closed Loop

Berdasarkan Gambar 2.7 Terdapat beberapa bagian dalam konfigurasi sistem kontrol. Berikut adalah bagian-bagian dalam konfigurasi pada sistem kontrol

1. Elemen Sistem Kontrol

Suatu sistem kontrol dapat dinyatakan dengan diagram blok yang terdiri dari beberapa blok. Diketahui bahwa secara umum elemen sebuah sistem kontrol jaringan tertutup terdiri dari:

- a) Elemen input acuan (reference input element, G_v), Elemen ini berfungsi sebagai pengkonversi/pengubah besaran yang dikendalikan menjadi signal input acuan (r) sehingga dapat dipakai oleh sistem kontrol.
- b) Kontroler (controller, G_1) Elemen ini berfungsi untuk memproses kesalahan (error, e) yang terjadi dan kemudian digunakan untuk mengendalikan proses.
- c) Proses (G_2) Elemen ini dapat berupa proses mekanis, elektrik, hidrolis, pneumatis, maupun kombinasinya.
- d) Elemen umpan balik (feed back element, H) Elemen ini berfungsi untuk mengukur output yang dikendalikan dan kemudian mengubahnya menjadi signal umpan balik.

2. Variabel/Parameter Sistem Kontrol

Berdasarkan jumlah elemen yang menyusun suatu sistem kontrol, terdapat beberapa variabel/parameter. Diketahui parameter sebuah sistem kontrol jaringan tertutup terdiri dari:

- a) Set point (v) Adalah parameter input yang diatur, yang nilainya sesuai dengan nilai variabel output yang diinginkan.
- b) Input acuan (reference input, r) Signal aktual yang masuk ke dalam sistem kontrol, yang merupakan hasil konversi signal v oleh elemen G_v sehingga dapat dipakai oleh sistem kontrol.

- c) Output yang dikontrol (controlled output, c) Nilai aktual variabel output yang ditunjukkan oleh alat pencatat, yang harus dikendalikan oleh sistem kontrol agar sesuai dengan nilai yang diharapkan.
- d) Variabel yang dimanipulasi (manipulated variable, m) Signal yang keluar dari elemen kontroler dan berfungsi sebagai signal pengontrol agar signal output yang dihasilkan sesuai dengan nilai yang diinginkan. Dalam hal ini belum diperhitungkan adanya gangguan (u).
- e) Signal umpan balik (feedback signal, b) Signal yang dirubah oleh elemen umpan balik yang merupakan fungsi dari signal output.
- f) Kesalahan (error, e) Merupakan selisih antara signal acuan (r) dengan signal umpan balik (b). Signal ini adalah signal yang dimasukkan ke dalam elemen kontroler G1 dan dirubah menjadi signal m.
- g) Signal gangguan (disturbance, u); merupakan signal tambahan yang tidak diinginkan. Gangguan ini disebabkan oleh perubahan beban sistem, misalnya perubahan kondisi lingkungan, derau (noise), getaran, dan lainlainnya.

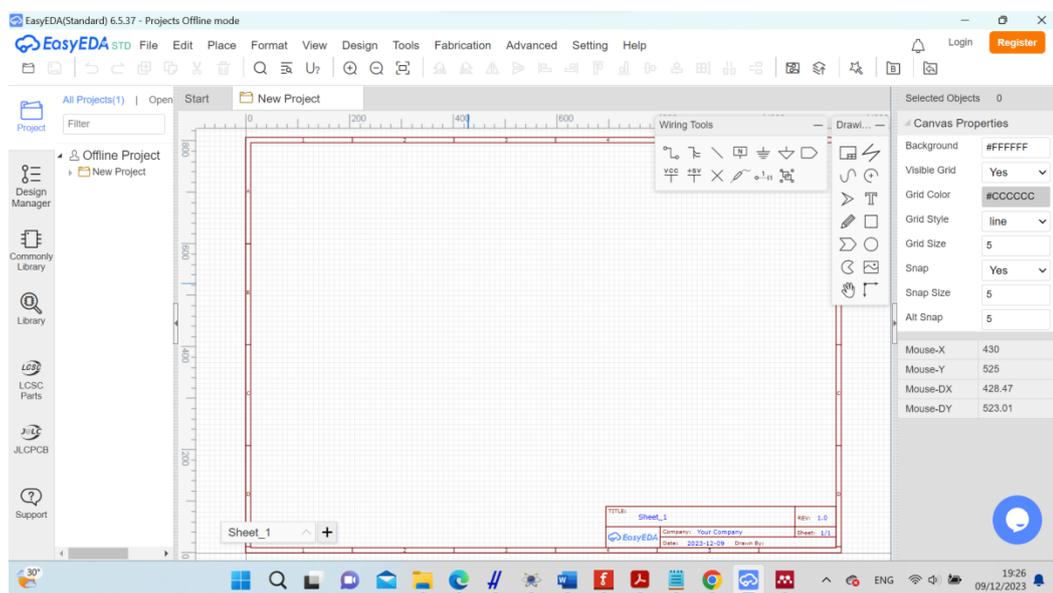
2.2.9 EasyEDA

EasyEDA merupakan *software* desain PCB. Berikut beberapa kelebihan dari EasyEDA:

1. *Online Editor* : akses desainmu dari mana saja, dari perangkat apa saja, karena *online editor* ini bisa kita akses dari *browser* kesayangan kita, jadi tidak terbatang di sistem operasi yang kita gunakan. baik Mac OS, Linux, dan tentu Windows.
2. *Free Libraries* : adalah lebih dari 1 juta *library* gratis yang bisa kita gunakan, dan sesuaikan dengan PCB yang akan kita buat. bahkan kamu juga bisa membuat dan meng – *import library* buatanmu sendiri.
3. *Integrated JLC PCB* : Setelah kamu selesai mendesain PCB mu kamu bisa langsung memesannya di salah satu pembuat PCB terbaik di china, yaitu JLCPCB.
4. *Integrated LCSC Component Catalog* : Buat kamu yang belum tahu LCSC, itu adalah nama dari salah satu distributor komponen elektronik terbesar di china,

dan EasyEDA mendukung integrasi *real-time* ke database lebih dari 200.000 stok komponen yang mereka jual dengan . Kamu bisa memperkirakan biaya untuk rangkaian elektronik yang dibuat bahkan langsung memesannya kapanpun.

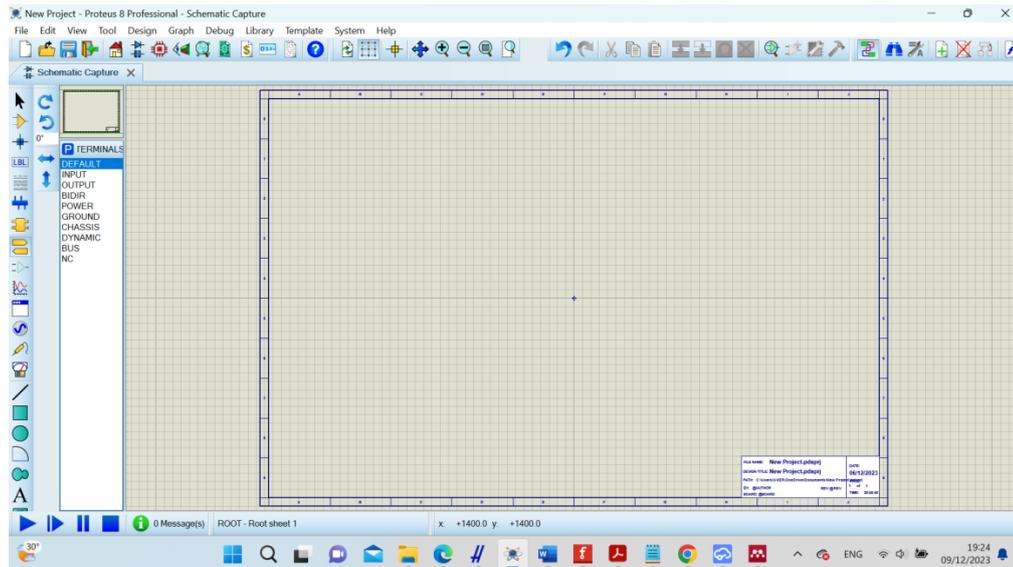
EasyEDA memungkinkan pembuatan dan pengeditan diagram skematik, simulasi SPICE dari sirkuit analog dan digital campuran, serta pembuatan dan pengeditan tata letak papan sirkuit tercetak dan opsional, pembuatan papan sirkuit tercetak (Karya, 2020). *Interface Software* EasyEDA dapat dilihat Gambar 2.8



Gambar 2. 8 Software EasyEDA

2.2.10 Proteus

Proteus PCB *Software* menggabungkan modul *Schematic Capture* dan Tata Letak PCB untuk menyediakan seperangkat alat yang terjangkau, kuat, dan mudah digunakan untuk desain PCB profesional. Beberapa fitur yang ada pada Proteus PCB *Software* yaitu *push and shove*, *design rules*, *high speed design*, *library parts*, *assembly variants*, dan *report generation* (Design & Simulation, n.d., 2023). *Interface Software* proteus dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2. 9 Software Proteus

2.2.11 Software SPSS

SPSS (Statistical Package for the Social Science) merupakan program komputer yang dipergunakan untuk melakukan analisis statistika. Program ini umumnya dipergunakan untuk pengolahan serta penganalisisan data yang mempunyai kemampuan analisis statistik dan sistem manajemen data serta lingkungan grafis. Aplikasi ini menyediakan library guna melakukan perhitungan statistika antarmuka yang interaktif serta menjadikannya software analisis data pada tingkat lanjut terpopuler di berbagai perusahaan, instansi, dan universitas. Aplikasi ini mempunyai tampilan yang user friendly sehingga akan sangat memudahkan para penggunanya. Maka tidak mengherankan jika aplikasi ini juga dipakai peneliti pasar, perusahaan survei, kesehatan, organisasi pemerintah, dan lainnya. Aplikasi ini bisa dipergunakan dalam membaca banyak jenis data ataupun memasukkan data secara langsung ke Data Editor. Struktur file data mentahnya sehingga data pada data editor terlebih dahulu harus dibentuk pada bentuk baris (cases) serta kolom (variable). Case atau baris berisikan informasi bagi satu unit analisis, untuk variabel merupakan informasi yang dikumpulkan pada masing-masing kasus. Hasil-hasil dari analisis sebelumnya akan keluar pada output navigator. Kebanyakan dari prosedur base system bisa menghasilkan pivot tables yang mana dapat memperbaiki tampilan pada keluaran yang ada pada aplikasi SPSS. Software SPSS dapat dilihat pada Gambar 2.10

The screenshot shows the IBM SPSS Statistics Data Editor interface. The main window displays a data table with the following columns: UTS, UAS, rata_rata, and Klasifikasi. The data is organized into 22 rows, with rows 1-10 containing numerical values and classifications. The status bar at the bottom indicates 'IBM SPSS Statistics Processor is ready' and 'Unicode ON'.

	UTS	UAS	rata_rata	Klasifikasi
1	75.00	85.00	80.00	Baik
2	60.00	30.00	45.00	Rendah
3	82.00	90.00	86.00	Memuaskan
4	70.00	91.00	80.50	Baik
5	78.00	85.00	81.50	Baik
6	86.00	45.00	65.50	Baik
7	80.00	85.00	82.50	Baik
8	79.00	83.00	81.00	Baik
9	50.00	85.00	67.50	Baik
10	50.00	65.00	57.50	Rendah
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				

Gambar 2. 10 Software SPSS

2.2.12 Liquid Cristal Display (LCD)

LCD (Liquid Cristal Display) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS logic yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya, tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap frontlit atau mentransmisikan cahaya dari back-lit. LCD (Liquid Cristal Display) berfungsi sebagai penampil data, baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik. vertikal depan dan polarizer cahaya horisontal belakang yang diikuti dengan lapisan reflektor. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan. gambar lcd dapat dilihat pada gambar 24. Register control yang terdapat dalam suatu LCD adalah Register perintah, dan Register data. Register perintah, yaitu register yang berisi perintah-perintah dari mikrokontroler ke panel LCD pada saat proses penulisan data atau tempat status dari panel LCD dapat dibaca pada saat pembacaan data., Register data, yaitu register untuk menuliskan atau membaca data dari atau ke DDRAM. Penulisan data pada register akan menempatkan data tersebut ke DDRAM sesuai dengan alamat yang telah diatur sebelumnya. Pin data adalah jalur untuk memberikan data karakter yang ingin

ditampilkan menggunakan LCD dapat dihubungkan dengan bus data dari rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8 bit. Pin RS (Register Select) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah. Logika low menunjukkan yang masuk adalah perintah, sedangkan logika high menunjukkan data. Pin R/W (Read Write) berfungsi sebagai instruksi pada modul jika low tulis data, sedangkan high baca data. Pin E (Enable) digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar. Pin VLCD berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras), dimana pin ini dihubungkan dengan trimpot 5 KOhm. Jika tidak digunakan, dihubungkan ke ground, sedangkan tegangan catu daya ke LCD sebesar 5 Volt. Liquid Cristal Display dapat dilihat pada Gambar 2.11 (Subagyo & Suprianto, 2017).



Gambar 2. 11 Liquid Cristal Display (LCD)

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam waktu selama 5 bulan terhitung dari tanggal 6 November 2023 sampai tanggal 30 Maret 2024. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara beralamatkan di Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec.Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara. Perencanaan Kegiatan Penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Perencanaan Kegiatan Penelitian

Task	Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4	Bulan 5
Bimbingan Bab 1					
Bimbingan Bab 2					
Bimbingan Bab 3					
Bimbingan Bab 4					
Bimbingan Bab 5					

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Alat

Berikut ini merupakan alat-alat yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Peralatan yang digunakan

No	Nama Alat	Spesifikasi
1.	Tang Potong	Blitz
2.	Cutter	Kenko K200
3.	Solder Listrik	Dekko DS40N 40W
4.	Attractor	Dekko
5.	Obeng	Celkit ck6030A
6.	Pasta Solder	Lotfett
7.	Laptop	Lenovo
8.	Multimeter	Dekko86D

3.2.2 Bahan

Berikut ini merupakan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3. 3 Bahan yang digunakan

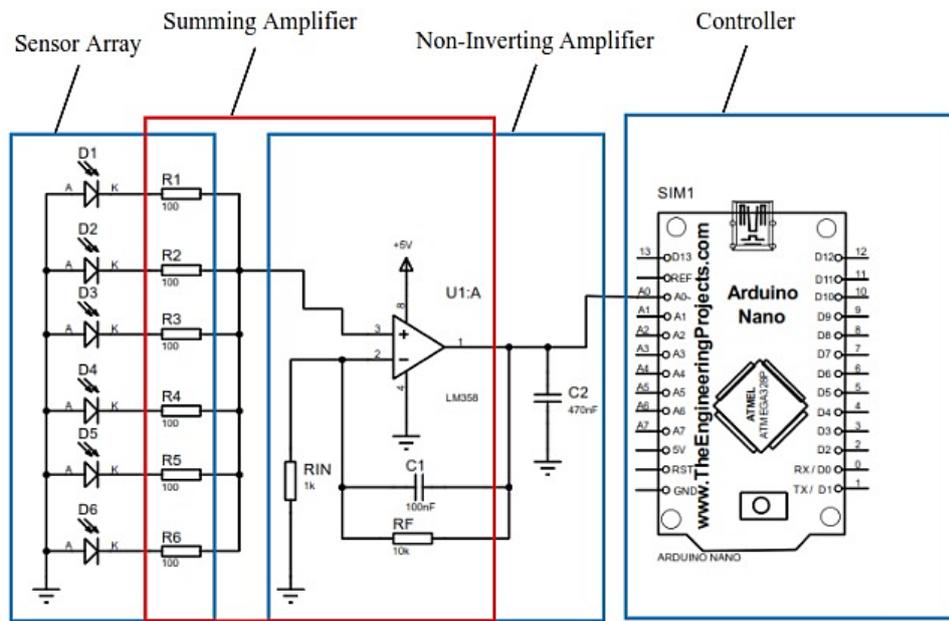
No	Nama Bahan	Spesifikasi	Jumlah
1	Arduino Nano	328p	1
2	Photoresistor	LDR GL5516	36
3	Fotodioda	BPW43	36
4	IC	LM358P LM358N LM358 358 DIP8 DUAL Operational	8
5	IC	LM393 DIP-8	8
6	Socket IC	Socket IC 8 pin DIP-8 AF76	20
7	Baterai	Baterai Li-Ion 18650	9
8	LCD	LCD 20x4 Blue + IIC	1
9	Micro DC Step Down	4V-24V TO 3.3V 5V 3A	1
10	Kapasitor Multilayer	100NF 104 50V	10

3.3 Studi Literatur

Penulis melakukan pengumpulan data melalui artikel, buku, serta mencari referensi tugas akhir dari jurnal-jurnal yang berkaitan dengan rancang bangun *array* sensor fotodiode. Literatur seperti jurnal, skripsi didapat melalui *website*, dan beberapa buku yang didapat melalui internet. Kegiatan ini dilakukan guna untuk menambah referensi dalam pengerjaan tugas akhir.

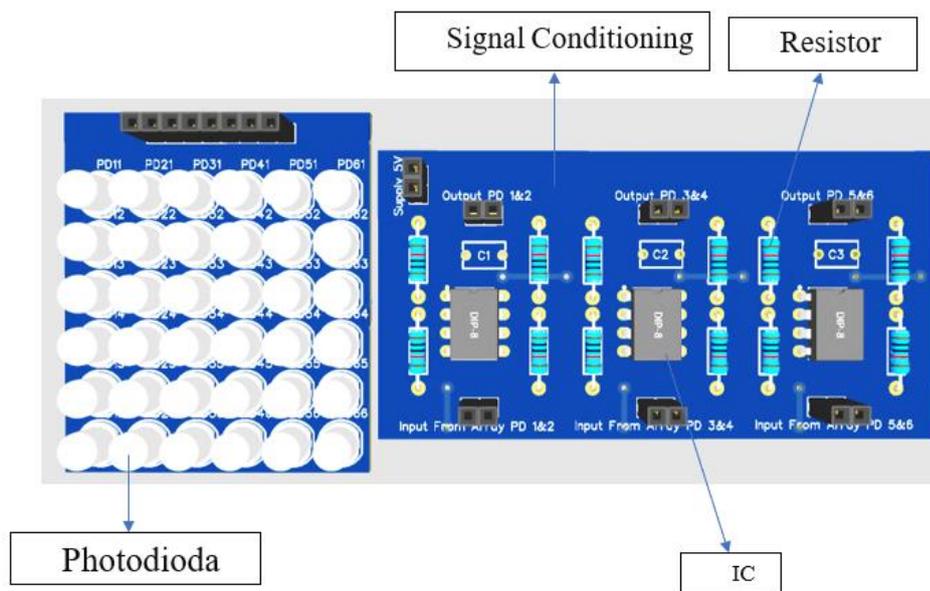
3.4 Rancangan *Array* Fotodiode

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pendeteksi intensitas cahaya yang efisien dan akurat dengan merancang *array* sensor fotodiode. Pada penelitian ini digunakan sebanyak 36 buah sensor fotodiode. Setiap *array* sensor fotodiode terdiri dari 6 sensor fotodiode yang diseriikan dengan resistor 100 ohm, dengan jenis dan susunan *array* yang sama. Pada *Summing Amplifier* terdiri dari *Amplifier*, R_F (*Feedback Resistance*) dan R_{IN} (*Input Resistance*), dan Resistor pada masing-masing *input fotodiode*. Setelah proses *summing* lalu dikuatkan dengan *Non-Inverting Amplifier*. *Output* dari *signal conditioning* tersebut masing-masing diolah menggunakan *microcontroller*. Pada *microcontroller* sudah tersemat fitur *Analog to Digital Converter* (ADC) yang akan mengubah *signal* ke dalam bentuk Digital. Sistem ini dapat mendeteksi intensitas cahaya secara efisien dibandingkan menggunakan satu sensor fotodiode. Rangkaian *Array* Sensor Fotodiode dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Rangkaian Array Sensor Fotodiode

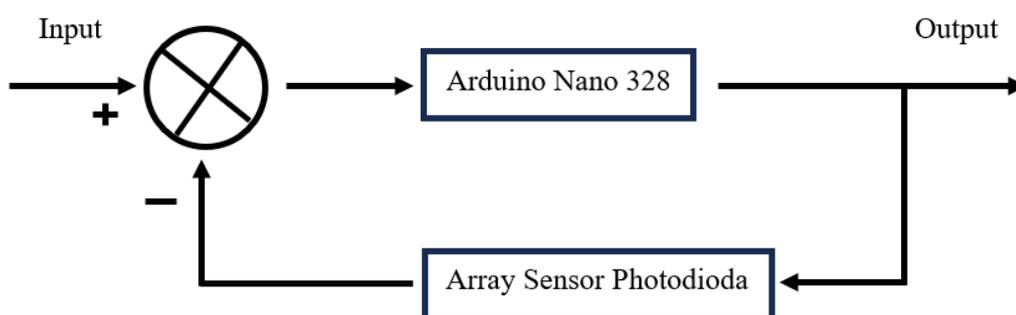
Setelah rangkaian *array* sensor dibuat, dilanjutkan dengan merancang papan PCB (*Printed Circuit Board*) sesuai dengan skema *circuit* pada gambar 3.2. Papan PCB dirancang dengan menggunakan *software* EasyEDA 6.5.37. *Layout* 3D dari papan PCB *array* sensor fotodiode dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Layout 3D Array Sensor Fotodiode

3.5 Sistem Kontrol *Closed Loop*

Dalam sistem ini, *input* berupa tegangan analog yang diperoleh dari *output signal conditioning*, kontroler yang memproses informasi dari tegangan *input* hingga menghasilkan *output* berupa tegangan digital. Pada sistem *closed loop*, kesalahan berupa selisih antara sinyal masukan dengan sinyal umpan balik dimasukan kembali menuju kontroler untuk memperkecil kesalahan sehingga keluaran sistem mendekati nilai yang diinginkan. Sistem Kontrol *Closed Loop* dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3. 3 Sistem Kontrol Closed Loop

Proses ini terjadi secara kontiniu dengan cara kontroler memproses informasi dari sensor yang menghasilkan sinyal yang sesuai dengan yang diinginkan. Melalui umpan balik yang berkelanjutan, sistem umpan balik tertutup mampu menjaga *output*-nya sesuai dengan algoritma sistem. Sehingga menciptakan mekanisme kontrol yang responsif dan stabil terhadap perubahan yang terjadi pada sistem.

Proses ADC dilakukan untuk mengkonversi *output* dari *signal conditioning* berupa sinyal analog menjadi nilai digital. Sinyal analog yang diperoleh dari *signal conditioning* di sampling dengan menggunakan resolusi ADC sebesar 10-bit. Setelah nilai ADC pada tiap *array* sensor diperoleh maka dilanjutkan dengan mengimplementasikan model matematis regresi linier pada sistem. Fungsi implementasi regresi linier pada sistem ini adalah untuk *tunning* sensitifitas *array* sensor dalam mendeteksi intensitas cahaya.

3.6 Kalibrasi

Pada penelitian ini, kalibrasi dilakukan guna mendapatkan nilai pengukuran yang akurat dan presisi. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai pengukuran intensitas cahaya pada alat yang dirancang dengan alat pengukuran intensitas cahaya yang diproduksi oleh pabrik. Adapun instrument alat pengukuran intensitas cahaya atau lux meter yang digunakan sebagai pembanding berjenis AS803.

Proses kalibrasi pada alat yang dirancang terdiri dari beberapa tahapan diantaranya:

1. Memilih sumber cahaya standar atau standar fotometri yang telah diketahui karakteristiknya untuk dijadikan referensi selama proses kalibrasi.
2. Mengukur respons sensor terhadap intensitas cahaya tanpa adanya penyesuaian atau kalibrasi.
3. Hasil pengukuran ini akan menjadi dasar perbandingan dengan hasil kalibrasi nantinya.
4. Berdasarkan perbedaan antara hasil pengukuran awal dengan standar referensi, instrumen atau sensor akan disesuaikan atau dikoreksi.

Proses ini dapat melibatkan perubahan parameter internal sensor atau pengaturan nilai-nilai tertentu. Setelah penyesuaian dilakukan, dilakukan pengukuran ulang respons sensor terhadap intensitas cahaya dengan menggunakan standar referensi yang sama. Hasil pengukuran ini diharapkan lebih akurat dan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Selanjutnya Melibatkan pemeriksaan ulang untuk memastikan bahwa hasil kalibrasi sesuai dengan standar yang diinginkan dan sensor dapat memberikan respons yang konsisten dan akurat pada berbagai tingkat intensitas cahaya.

3.7 Menentukan Konstanta Regresi Linier

Konstanta dalam persamaan regresi linier merupakan nilai variabel dependen Y ketika semua peubah X_i bernilai nol atau tidak mengalami perubahan. Pada penelitian ini, nilai konstanta didapatkan dari hasil beberapa kali percobaan pada tiap sensor fotodiode. Pada penelitian ini dilakukan sebanyak 10 kali

percobaan pada tiap sensor fotodioda untuk mendapatkan nilai konstanta a dan b pada persamaan regresi linier. Proses pengolahan data dibantu dengan menggunakan *software* SPSS untuk mencari nilai koefisien dan konstanta sehingga didapatkan nilai *output*. Ketika sensor memiliki nilai *output* yang tidak linier maka dapat ditentukan nilai konstanta dan koefisien regresi pada tiap fotodioda. Pada *software* SPSS, nilai *output* pada tiap 6 buah sensor fotodioda dalam satu *array* yang nantinya akan diolah untuk menghasilkan satu *output* pada tiap *array* sensor fotodioda. Nilai dari ke-6 *array* sensor fotodioda tersebut diolah menggunakan bahasa pemrograman C/C++ dengan tujuan untuk menghasilkan satu *output* sensor fotodioda dengan sensitivitas yang tinggi.

3.8 Algoritma Sistem

Pada algoritma, hal pertama yang dilakukan yaitu mendeklarasikan seluruh pin analog arduino dengan *array* sensor fotodioda yang terhubung dengan sistem. Pin *input* dari ke-6 *array* sensor *fotodioda* di hubungkan dengan pin analog arduino A0,A1,A2,A3,A4,A5 pada Arduino. Gambar 3.4 menunjukkan Deklarasi Variabel *Input* dan *Output*.

```
//Deklarasi pin analog arduino dengan array sensor photodiode
#define PD1 A0
#define PD2 A1
#define PD3 A2
#define PD4 A3
#define PD5 A4
#define PD6 A5
```

Gambar 3. 4 Deklarasi Variable Input dan Output

Pada sisi *Input* sistem, seluruh nilai sensor di simpan dengan mendeklarasikan variabel *input*. Gambar 3.5 menunjukkan Deklarasi Variabel *Input*

```
//Deklarasi variable untuk menyimpan nilai sensor kedalam variable
int rPD1, rPD2, rPD3, rPD4, rPD5, rPD6;

//Deklarasi variable untuk regresi linear
float a = 0.45;
float b = 200.0;
float y1, y2, y3, y4, y5, y6;
float Y;
```

Gambar 3. 5 Deklarasi Variabel Input

Setelah variabel *input* di deklarasikan maka di lanjutkan dengan menginisialisasikan komunikasi serial dengan *baudrate* 9600 pada fungsi *setup* (). Gambar 3.6 menunjukkan inisialisasi *input* dan *output*.

```
//inisialisasi komunikasi
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
}
```

Gambar 3. 6 Inisialisasi komunikasi serial

Setelah menginisialisasikan komunikasi serial, dilanjutkan dengan membaca nilai analog pada semua *array* sensor dan dikonversi guna memperoleh nilai ADC pada tiap *array* sensor. Gambar 3.7 menunjukkan *Reading* Sensor Array Sensor Fotodiode.

```
void loop() {
  //Baca nilai analog semua array sensor dan konversikan kedalam nilai ADC
  rPD1 = analogRead(PD1);
  rPD2 = analogRead(PD2);
  rPD3 = analogRead(PD3);
  rPD4 = analogRead(PD4);
  rPD5 = analogRead(PD5);
  rPD6 = analogRead(PD6);
```

Gambar 3. 7 Menunjukkan Reading Sensor Array Sensor Fotodiode

Setelah membaca nilai analog sensor yang telah dikonversi kedalam nilai digital, maka dilanjutkan dengan memasukkan nilai ADC kedalam persamaan regresi linier untuk tiap sensor fotodiode. Lalu didapat fungsi matematis untuk menyatukan semua *input* kedalam satu variabel dengan menjumlahkan semua

nilai *output* lalu dibagi dengan sebanyak jumlah *array* sensor. Gambar 3.8 menunjukkan persamaan regresi linear untuk tiap sensor fotodiode.

```
//Persamaan regresi linear untuk tiap sensor photodiode
y1 = a + (b * rPD1);
y2 = a + (b * rPD2);
y3 = a + (b * rPD3);
y4 = a + (b * rPD4);
y5 = a + (b * rPD5);
y6 = a + (b * rPD6);

//Fungsi matematis untuk menyatukan semua input kedalam satu variable
Y = (y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6) / 6;
```

Gambar 3. 8 Persamaan Regresi Linear Untuk Tiap Sensor Fotodiode

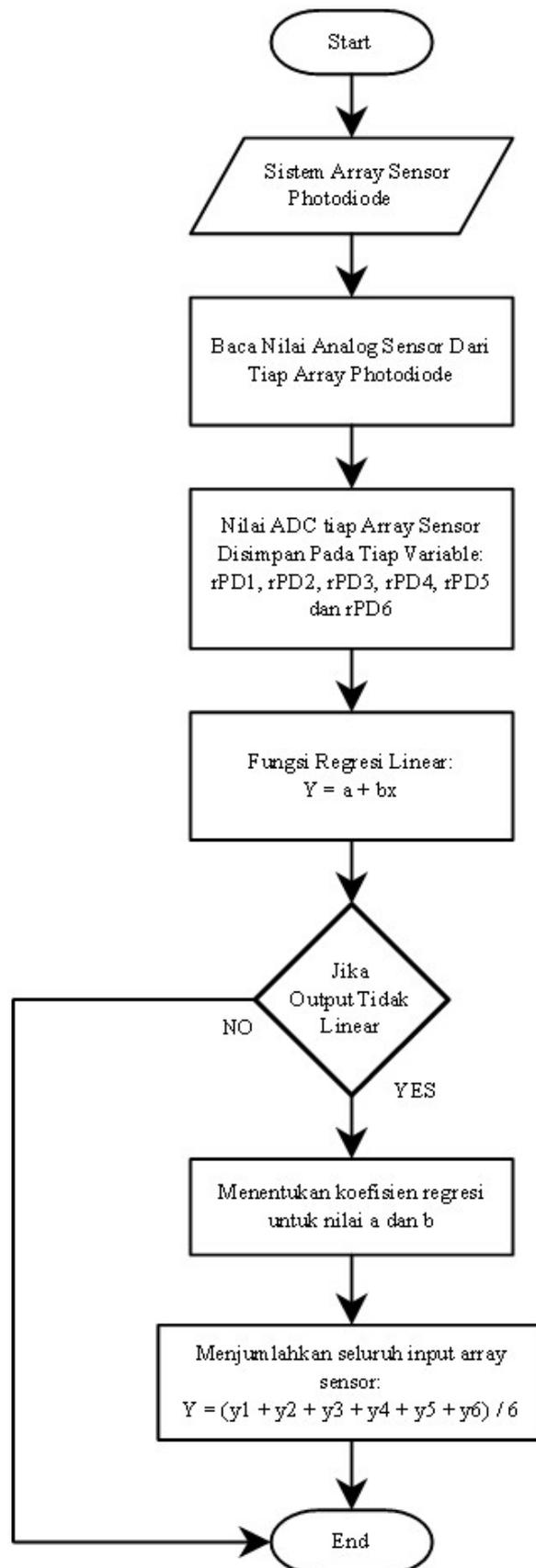
Langkah terakhir yang dilakukan dalam merancang algoritma sistem yaitu menampilkan nilai masing masing *array* sensor dan nilai akhir sensor kedalam serial monitor. Gambar 3.9 menunjukkan algoritma program untuk menampilkan nilai sensor kedalam serial monitor.

```
//Tampilkan nilai masing-masing array sensor dan nilai akhir sensor menggunakan serial monitor
Serial.print("PD1: ");
Serial.print(y1);
Serial.print(" || ");
Serial.print("PD2: ");
Serial.print(y2);
Serial.print(" || ");
Serial.print("PD3: ");
Serial.print(y3);
Serial.print(" || ");
Serial.print("PD4: ");
Serial.print(y4);
Serial.print(" || ");
Serial.print("PD5: ");
Serial.print(y5);
Serial.print(" || ");
Serial.print("PD6: ");
Serial.print(y6);
Serial.print(" || ");
Serial.print("Y: ");
delay(1000);
```

Gambar 3. 9 Algoritma Program Untuk Menampilkan Nilai Sensor Dalam Serial Monitor

3.9 Diagram Alir Prinsip Kerja Alat

Prinsip Kerja Alat Rancang Bangun *Array* Sensor Fotodiode Guna Mendeteksi Intensitas Cahaya Secara Efisien Menggunakan Regresi *Linear* terdiri dari beberapa proses yang dapat dilihat pada gambar 3.10



Gambar 3. 10 Diagram Alir Rancang Bangun Array Sensor Fotodiode

DAFTAR PUSTAKA

- Ajrina Aulia, I., Darlis, D., & Wahyu Noviyanti, K. (2019). Perancangan Dan Implementasi Sistem Penerima Indoor Visible Light Communication Menggunakan Sel Surya Dan Susunan Photodetektor Design and Implementation of Indoor Visible Light Communication Receiver Using Solar Cells and Photodetektor. *Proceeding of Applied Science*, 5(1), 289.
- Asmi, J., & Candra, O. (2020). Prototype Solar Tracker Dua Sumbu Berbasis Microcontroller Arduino Nano dengan Sensor LDR. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 6(2), 54. <https://doi.org/10.24036/jtev.v6i2.108504>
- Awaluddin, A., Harmadi, H., & Marzuki, M. (2019). *SIMETRI, Jurnal Ilmu Fisika*. 11(1), 1–8.
- Design, P. P. C. B., & Simulation, P. C. (n.d.). *PCB Design & Simulation Made Easy Push and Shove Routing* . 16, 1–10.
- Gao, D., Zhang, J., Wang, F., Liang, J., & Wang, W. (2020). Design and simulation of ultra-thin and high-efficiency silicon-based trichromatic PIN photodiode arrays for visible light communication. *Optics Communications*, 475(July), 126296. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2020.126296>
- González, J. R., Correa, G., & Montoya, O. D. (2021). Design of a control with multiple inputs multiple outputs by decoupling. *Journal of Physics: Conference Series*, 1981(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1981/1/012002>
- Harsiti, Muttaqin, Z., & Srihartini, E. (2022). Penerapan Metode Regresi Linier Sederhana Untuk Prediksi Persediaan Obat Jenis Tablet. *JSiI (Jurnal Sistem Informasi)*, 9(1), 12–16. <https://doi.org/10.30656/jsii.v9i1.4426>
- Karya, A. I. (2020). *EasyEDA : Software Design PCB Online yang Mudah Namun Tetap Powerfull*.
- Kurnia AR, H. (2023). Pemanfaatan Sensor Ldr Pada Robot Light Follower Dengan Konsep Holonomic Sebagai Media Pembelajaran. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(1), 95–100. <https://doi.org/10.36040/jati.v7i1.6061>
- Morioka, K., Osashima, M., Azuma, N., Qu, K., Hemmi, A., Shoji, A., Murakami, H., Teshima, N., Umemura, T., Uchiyama, K., & Nakajima, H. (2022).

- Development of a fluorescence microplate reader using an organic photodiode array with a large light receiving area. *Talanta*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122994>
- Nuryanto, L. E. (2017). Penerapan Dari Op-Amp (Operational Amplifier). *Orbith*, 13(1), 43–50. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj_7-Da0JLsAhXRF3IKHadsBEUQFjAAegQIBxAC&url=https%3A%2F%2Fjurnal.polines.ac.id%2Findex.php%2Forbith%2Farticle%2Fview%2F950%2F773&usg=AOvVaw3t8w3AgTQ20ITD988w88bE
- Oktrialdi, B., Harahap, P., Adam, M., & Siregar, R. F. (2023). Analisis Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Berbasis ATmega8535. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 5(2), 98–102. <https://doi.org/10.30596/rele.v5i2.13086>
- Putri, A. O., & Harmadi, H. (2018). Rancang Bangun Alat Ukur Tingkat Kekeruhan Air Menggunakan Fotodiode Array Berbasis Mikrokontroler ATmega328. *Jurnal Fisika Unand*, 7(1), 27–32. <https://doi.org/10.25077/jfu.7.1.27-32.2018>
- Roza, F., & Nuralam, N. (2019). Implementasi Sensor Photodiode Pada Model Pemilah Warna Kemasan Kotak. *Seminar Nasional Teknik Elektro*, 4(2), 157–161.
- Sasmita, D. P., & Widyartono, M. (2020). *Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda Pada Modul Fotovoltaik Berbasis Sensor Ultraviolet*. 213–221.
- Siregar, R. F. (2020). Development of pH Sensing Devices Based on Optical Fluorescents with Rapid Measurement, Low Cost and Wireless Monitoring. *JAREE (Journal on Advanced Research in Electrical Engineering)*, 4(2), 87–93. <https://doi.org/10.12962/j25796216.v4.i2.126>
- Siregar, R. F., Affandi, A., Rohana, R., Nasution, A. R., & Tanjung, I. (2024). IoT Smart Control System: Smoke and Fire Detection Using SIM900A Module. *Journal of Electrical Technology UMY*, 7(2), 48–56. <https://doi.org/10.18196/jet.v7i2.19908>
- Subagyo, L. A., & Suprianto, B. (2017). Sistem Monitoring Arus Tidak Seimbang

3 Fasa Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro*, 6(3), 213–221.

Ubaidillah, A., Alfita, R., & Shoiman Wahyudi, M. (2021). Optimum Distance Planning of Wireless Sensor Network Using Linear Regression Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1125(1), 012072. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1125/1/012072>

Zulkarnain, I., Ramadhan, M., & Anwar, B. (2019). Implementasi Alat Pendeteksi Warna Benda Menggunakan Fuzzy Logic dengan Sensor TCS3200 Berbasis Arduino. *Jurnal Teknologi Sistem Informasi Dan Sistem Komputer TGD*, 2(2), 106–117.

LAMPIRAN

```
#include <LiquidCrystal.h>

const int rs = 2, en = 3, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 = 7;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

//Deklarasi pin analog arduino dengan array sensor photodiode
#define PD1 A0
#define PD2 A1
#define PD3 A2
#define PD4 A3
#define PD5 A4
#define PD6 A5
#define buttonPin 12

//Deklarasi variable untuk menyimpan nilai sensor kedalam variable
int rPD1, rPD2, rPD3, rPD4, rPD5, rPD6;

//Konstanta for PD1 to Intensity
double aPD1 = 8034.38;
double bPD1 = -8.84;
double yPD1;

//Konstanta for PD2 to Intensity
double aPD2 = 10074.14;
double bPD2 = -10.59;
double yPD2;

//Konstanta for PD3 to Intensity
double aPD3 = 8279.29;
double bPD3 = -9.08;
double yPD3;

//Konstanta for PD4 to Intensity
double aPD4 = 10391.16;
double bPD4 = -10.79;
double yPD4;

//Konstanta for PD5 to Intensity
double aPD5 = 10755.96;
double bPD5 = -10.90;
double yPD5;

//Konstanta for PD6 to Intensity
double aPD6 = 9637.05;
```

```
double bPD6 = -10.27;
double yPD6;

//Konstanta for Total to Intensity
double aTotal = 9652.36;
double bTotal = -10.30;
double yTotal;

//Konstanta for Manual to Intensity
double a = 9528.66;
double b = -10.08;
double y;
double total;

////////////////////////////////////
//Konstanta for PD1 to Intensity
double aPD1N = 1146.344;
double bPD1N = -1.079;
double yPD1N;

//Konstanta for PD2 to Intensity
double aPD2N = 1179.826;
double bPD2N = -1.017;
double yPD2N;

//Konstanta for PD3 to Intensity
double aPD3N = 1149.501;
double bPD3N = -1.078;
double yPD3N;

//Konstanta for PD4 to Intensity
double aPD4N = 1183.496;
double bPD4N = -1.006;
double yPD4N;

//Konstanta for PD5 to Intensity
double aPD5N = 1147.305;
double bPD5N = -0.932;
double yPD5N;

//Konstanta for PD6 to Intensity
double aPD6N = 1182.988;
double bPD6N = -1.049;
double yPD6N;

//Konstanta for Total to Intensity
double aTotalN = 1185.177;
```

```

double bTotalN = -1.052;
double yTotalN;

//Konstanta for Manual to Intensity
//double aN = 1164.91;
//double bN = -1.027;
//double yN;

int buttonPushCounter = 0; // counter for the number of button
presses
int buttonState = 0;       // current state of the button
int lastButtonState = 0;
byte count = 0;

const unsigned long intervalTask1 = 500; // Task 1 runs every 1
second
const unsigned long intervalTask2 = 500; // Task 2 runs every 0.5
seconds

unsigned long previousMillisTask1 = 0; // Store the last time Task
1 was executed
unsigned long previousMillisTask2 = 0; // Store the last time Task
2 was executed

//Final Regression
double aN = 1155.02;
double bN = -1.06;
double yN;

double aS = 8034.38;
double bS = -8.84;
double yS;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  lcd.begin(20, 4);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);
}

void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  // Task 1: Runs every 1 second
  if (currentMillis - previousMillisTask1 >= intervalTask1) {
    // Update the last execution time
    previousMillisTask1 = currentMillis;
    ReadButton();
  }
}

```

```

        switch (count) {
        case 0:
            Idle();
            break;
        case 1:
            //NormalMode();
            finalNormalMode();
            break;
        case 2:
            //SensitiveMode();
            finalSensitiveMode();
            break;
        }
    }
}

// Task 2: Runs every 0.5 seconds
if (currentMillis - previousMillisTask2 >= intervalTask2) {
    // Update the last execution time
    previousMillisTask2 = currentMillis;

    // Execute Task 2
}
}

void finalNormalMode(){
    ReadingSensor();
    yN = aN + (bN * total);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Normal Mode");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Intensity: ");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print(yN);
    lcd.print(" Lux");
}

void finalSensitiveMode(){
    ReadingSensor();
    yS = aS + (bS * total);
    if(yS < 0){
        yS = 0;
    }
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Sensitive Mode");
    lcd.setCursor(0,1);
}

```

```

    lcd.print("Intensity: ");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print(yS);
    lcd.print(" Lux");
}

void Idle(){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Idle Mode");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Press the button!");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("Normal Mode or");
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("Sensitive Mode");
}

void NormalMode(){
    ReadingSensor();
    yPD1N = aPD1N + (bPD1N * rPD1);
    yPD2N = aPD2N + (bPD2N * rPD2);
    yPD3N = aPD3N + (bPD3N * rPD3);
    yPD4N = aPD4N + (bPD4N * rPD4);
    yPD5N = aPD5N + (bPD5N * rPD5);
    yPD6N = aPD6N + (bPD6N * rPD6);
    yN = aN + (bN * total);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("A:"); lcd.print(yPD1N);
    lcd.print("|");
    lcd.print("B:"); lcd.print(yPD2N);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("C:"); lcd.print(yPD3N);
    lcd.print("|");
    lcd.print("D:"); lcd.print(yPD4N);
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("F:"); lcd.print(yPD5N);
    lcd.print("|");
    lcd.print("G:"); lcd.print(yPD6N);
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("Total:"); lcd.print(yN);
}

void SensitiveMode(){
    ReadingSensor();
    yPD1 = aPD1 + (bPD1 * rPD1);

```

```

yPD2 = aPD2 + (bPD2 * rPD2);
yPD3 = aPD3 + (bPD3 * rPD3);
yPD4 = aPD4 + (bPD4 * rPD4);
yPD5 = aPD5 + (bPD5 * rPD5);
yPD6 = aPD6 + (bPD6 * rPD6);
y = aTotal + (bTotal * total);

if(yPD1 < 0){
  yPD1 = 0;
}
if(yPD2 < 0){
  yPD2 = 0;
}
if(yPD3 < 0){
  yPD3 = 0;
}
if(yPD4 < 0){
  yPD4 = 0;
}
if(yPD5 < 0){
  yPD5 = 0;
}
if(yPD6 < 0){
  yPD6 = 0;
}
if(y < 0){
  y = 0;
}

//Tampilkan nilai masing-masing array sensor dan nilai akhir
sensor menggunakan serial monitor
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("A:"); lcd.print(yPD1);
lcd.print("|");
lcd.print("B:"); lcd.print(yPD2);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("C:"); lcd.print(yPD3);
lcd.print("|");
lcd.print("D:"); lcd.print(yPD4);
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("F:"); lcd.print(yPD5);
lcd.print("|");
lcd.print("G:"); lcd.print(yPD6);
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Total:"); lcd.print(y);
}

```

```

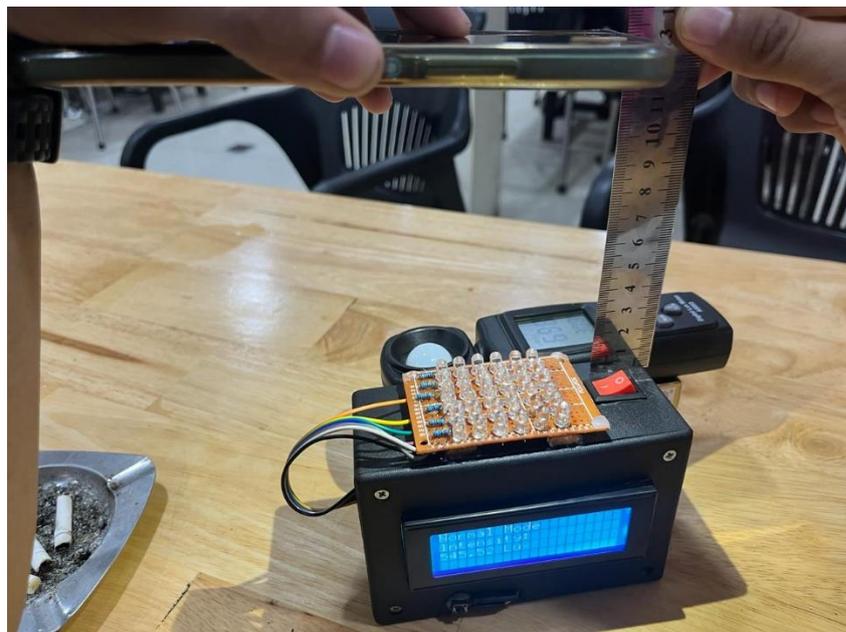
void ReadingSensor(){
  rPD1 = analogRead(PD1);
  rPD2 = analogRead(PD2);
  rPD3 = analogRead(PD3);
  rPD4 = analogRead(PD4);
  rPD5 = analogRead(PD5);
  rPD6 = analogRead(PD6);
  total = (rPD1 + rPD2 + rPD3 + rPD4 + rPD5 + rPD6) / 6;
}

void Calibrate(){
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("A:"); lcd.print(rPD1);
  lcd.print(" | ");
  lcd.print("B:"); lcd.print(rPD2);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("C:"); lcd.print(rPD3);
  lcd.print(" | ");
  lcd.print("D:"); lcd.print(rPD4);
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("F:"); lcd.print(rPD5);
  lcd.print(" | ");
  lcd.print("G:"); lcd.print(rPD6);
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("Total:"); lcd.print(total);
  delay(500);
}

void ReadButton(){
  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  // compare the buttonState to its previous state
  if (buttonState != lastButtonState) {
    // if the state has changed, increment the counter
    if (buttonState == HIGH) {
      // if the current state is HIGH then the button went from off
to on:
      buttonPushCounter++;
    }
    // Delay a little bit to avoid bouncing
    delay(50);
  }
  // save the current state as the last state, for next time through
the loop
  lastButtonState = buttonState;
  if(buttonPushCounter == 0) {
    count = 0;
  }
}

```

```
}  
else if(buttonPushCounter == 1) {  
    count = 1;  
}  
else if(buttonPushCounter == 2) {  
    count = 2;  
}  
else {  
    buttonPushCounter = 0;  
}  
}
```







UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Adelia Febrina Br Sembiring
NPM : 2207220115P
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : RANCANG BANGUN *ARRAY* SENSOR FOTODIODA
GUNA MENDETEKSI INTENSITAS CAHAYA
SECARA EFISIEN MENGGUNAKAN REGRESI
LINEAR

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1.	06 Nov 2023	Bimbingan Bab I	
2.	13 Nov 2023	Bimbingan Perbaikan Tinjauan Pustaka, Latar belakang Bab I	
3.	20 Nov 2023	Bimbingan Bab II	
4.	27 Nov 2023	Bimbingan Perbaikan Tinjauan Pustaka, Penambahan materi Bab II	
5.	4 Des 2023	Bimbingan Bab III	
6.	10 Des 2023	Bimbingan Bab I, II, III Acc Sempro	

Mengetahui,
Pembimbing

Rahmat Fauzi Siregar, S.T., M.T.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Adelia Febrina Br Sembiring
NPM : 2207220115P
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : RANCANG BANGUN *ARRAY* SENSOR FOTODIODA
GUNA MENDETEKSI INTENSITAS CAHAYA
SECARA EFISIEN MENGGUNAKAN REGRESI
LINEAR

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1.	01/02/2024	Perbaiki halaman	
2.	03/02/2024	Perbaiki Gambar	
3.	04/02/2024	perbaiki: tabel	
4.			
5.	18/02/2024	perbaiki: penulisan	
6.			
7.	21/02/2024	Perbaiki: foto letak	
8.			
9.	23/02/2024	perbaiki penomoran halaman	
10.	24/02/2024	perbaiki keterangan gambar	
11.			
12.	30/02/2024	perbaiki ukuran font	
13.	02/03/2024	perbaiki jarak antar paragraf	
14.	05/03/2024	Perbaiki an Programan	
15.	07/03/2024	perbaiki diagram.	
	15/03/2024	perbaiki Abstrak.	
	17/03/2024	Acc semesta !!!	
	23/03/2024		

Mengetahui,
Pembimbing

Rahmat Fauzi Siregar, S.T., M.T.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Adelia Febrina Br Sembiring
 NPM : 2207220115P
 Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
 Judul Tugas Akhir : RANCANG BANGUN *ARRAY* SENSOR FOTODIODA
 GUNA MENDETEKSI INTENSITAS CAHAYA
 SECARA EFISIEN MENGGUNAKAN REGRESI
LINEAR

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
	3/6-24	Bimbingan Bab 5	
	7/6-24	Bimbingan Perbaikan Gambar	
	13/6-24	Perbaikan Abstrak	
	30/6-24	Perbaikan Dapus	
	3/7-24	Pertambahan materi Bab II	
	17/7-24	ACC Sidang	

Mengetahui,
 Pembimbing

Rahmat Fauzi Siregar, S.T., M.T.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Adelia Febrina Br Sembiring
Tempat/Tanggal Lahir : Lau Gunung/ 26 Juli 2000
Jenis Kelamin : Perempuan
Umur : 24 Tahun
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Tinggi Badan/ Berat Badan : 158 cm/ 55 kg
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : Jl. Jamin Ginting, Desa Tj. Lenggang,
Kec. Bahorok, Kab. Langkat
No. HP : 0822-2040-5334
Email : adeliafebrinasembiring@gmail.com

Latar Belakang Pendidikan

SDN 056589 Tanjung Selamat : Tahun 2006-2012
SMP Methodist Binjai : Tahun 2012-2015
SMAN 2 Binjai : Tahun 2015-2018
Politeknik Negeri Medan,
Teknik Mesin : Tahun 2018-2021
Universitas Muhammadiyah : Tahun 2022-2024
Sumatera Utara, Teknik Elektro