

Sistem Monitoring Level Air, Kelembaban, dan Suhu di Danau Politeknik Negeri Samarinda

Alan Yuandika, Bintang Nur Jati

Penerapan Komunikasi Dua Arah Menggunakan Teknologi LoRa Pada RC Car

Abdul Hamid Kurniawan, Erry Yadie, Ahmad Arief Ahyani

Rancang Bangun Robot Delta Berbasis Arduino Uno

Rizky Setyawan, Prihadi Murdiyat, Marson Ady Putra

Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Penerimaan Iradiasi Matahari Dan Daya Keluaran Yang Dihasilkan

Dihya Ahmad Rasyid Ridho, Rusda, Marson Ady Putra

Relay Proteksi Arus Lebih Berbasis Mikrokontroler Arduino

Aria Kharisma, Galang Nazharullah

KATA PENGANTAR

Segala Puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT karena walaupun terjadi keterlambatan dalam prosesnya, akhirnya jurnal PoliGrid kembali terbit dengan volume 4 nomor 1. Ucapan terima kasih diberikan para author yang telah memberikan kepercayaan untuk menerbitkan artikelnya di PoliGrid. Ucapan terima kasih sebesar-besarnya juga pantas disampaikan pada para mitra bestari (*reviewer*), terutama yang baru bergabung sebagai keluarga besar Poligrid, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk melakukan proses *review* di sela kesibukannya. Juga disampaikan terima kasih kepada tim editor atas komitmennya untuk bekerja keras menyelesaikan terbitan ini.

Terbitan kali ini merupakan terbitan pertama dalam format OJS versi 3. Dengan telah menggunakan OJS versi 3 dengan server milik pengelola jurnal sendiri, maka diharapkan proses penerbitan tidak banyak mengalami gangguan lagi sebagaimana sebelumnya melainkan lebih lancar, sehingga dapat meningkatkan kapasitas dan kualitas penerbitan Poligrid yang akan datang.

Lebih jauh, sebagaimana yang sudah tertera pada halaman depan Poligrid, kita perlu bersyukur bahwa akhirnya Poligrid sudah menjadi jurnal terakreditasi Sinta 5. Prestasi tersebut tentu bukan merupakan tujuan akhir, karena di tahun-tahun berikutnya, kualitas akan terus ditingkatkan sehingga diharapkan Poligrid dapat menghasilkan artikel-artikel rujukan bagi masyarakat yang memerlukan, yang diperoleh dengan mekanisme penerbitan yang jauh lebih baik.

Untuk terbitan kali ini, semua artikel berasal dari author Politeknik Negeri Samarinda, karena belum ada artikel eksternal yang diterima. Namun kita perlu bersyukur karena artikel-artikel tersebut tidak hanya dihasilkan oleh mahasiswa semester akhir melalui skripsi atau tugas akhirnya, melainkan juga berasal dari hasil Project Based Learning (PBL) di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda. Diharapkan hal ini dapat memacu mahasiswa-mahasiswa dari perguruan tinggi lain untuk melakukan hal yang serupa.

Akhir kata, semoga terbitan kali ini semakin membawa banyak manfaat bagi masyarakat yang menekuni teknologi khususnya bidang kelistrikan. Aamiin.

Redaksi

DEWAN REDAKSI

Pelindung	: Direktur Politeknik Negeri Samarinda
Penasehat	: Wakil Direktur I Wakil Direktur II Wakil Direktur III
Penanggung jawab	: Kepala P3M
Pengarah	: Ketua Jurusan Teknik Elektro
Ketua Penyunting	: Ir. Prihadi Murdiyat, M.T., Ph. D. Politeknik Negeri Samarinda
Anggota Penyunting	: Rusda, ST., MT. Politeknik Negeri Samarinda Dr. Hakkun Elmunsyah, S.T., M.T. Universitas Negeri Malang Restu Mukti Utomo, S.T., M.T. Universitas Mulawarman Marson Ady Putra, S.ST., M.T. Politeknik Negeri Samarinda Muhammad Agung Nursyeha, S.T., M.T. Institut Teknologi Kalimantan
Mitra Bestari :	Dr. Ir. Era Purwanto, M. Eng. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Novie Ayub Windarko, S.T., M.T., Ph. D. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Herman Yuliandoko, S.T., M.T. Politeknik Negeri Banyuwangi Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T. Universitas Brawijaya Malang Ir. Nur Alif Mardiyah, M.T. Universitas Muhammadiyah Malang A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M. Eng. Sc., Ph.D. Politeknik Negeri Ujung Pandang Dr. Ir. Ermanu Azizul Hakim, M.T. Universitas Muhammadiyah Malang

Happy Aprillia, S.ST., M.T., M.Eng., Ph.D.
Institut Teknologi Kalimantan

Riza Hadi Saputra, S.T., M.T.
Institut Teknologi Kalimantan

Andhika Giyantara, S.T., M.T.
Institut Teknologi Kalimantan

Sujito, S.T., M.T., Ph.D.
Universitas Negeri Malang

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

DEWAN REDAKSI

DAFTAR ISI

	Halaman
Sistem Monitoring Level Air, Kelembaban, dan Suhu di Danau Berbasis Arduino Alan Yuandika, Bintang Nur Jati	1 - 10
Penerapan Komunikasi Dua Arah Menggunakan teknologi LoRa Pada RC Car Abdul Hamid Kurniawan, Erry Yadie, Ahmad Arief Ahyani	11 - 16
Rancang Bangun Robot Delta Berbasis Arduino Rizky setyawan, Prihadi Murdiyat, Marson Ady Putra	17 - 24
Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Penerimaan Iradiasi Berbasis Arduino Uno Rusda Rusda, Dihya Ahmad Rasyid Ridho, Marson Ady Putra	25 - 31
Relay Proteksi Arus Hubung Singkat dan Beban Lebih Berbasis Mikrokontroler Arduino Galang Nazrullah, Aria Kharisma	32 - 40

Sistem *Monitoring* Level Air, Kelembaban, dan Suhu di Danau Politeknik Negeri Samarinda

Alan Yuandika¹, Bintang Nur Jati²

¹²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
alanyuandika437@gmail.com

Abstrak- Danau merupakan wilayah yang mengalami banyak perubahan kondisi geografis. Di antaranya adalah perubahan level air, suhu udara serta kelembaban. Untuk mengetahui kondisi tersebut maka perlu dilakukan monitoring secara berkala. Namun, monitoring tersebut biasanya dilakukan secara manual. Maka dari itu dibuatlah sebuah alat yang dapat memonitoring kondisi danau secara berkala dan real time. Alat tersebut berupa *sensor node* yang berfungsi untuk mengukur ketinggian level air, kelembaban dan suhu yang kemudian mengirimkan hasil pengukuran tersebut dari LoRa transceiver ke LoRa receiver. Dalam perancangan alat monitoring tersebut digunakan sensor ultrasonic untuk mengukur level air, sensor DHT digunakan untuk mengukur kelembaban dan suhu udara. Receiver berupa sebuah modul transceiver LoRa, Arduino Nano yang terhubung pada Laptop. Untuk suplai daya listrik digunakan PLTS yang dilengkapi dengan sebuah panel surya 12 V 100 Wp, sebuah *solar charge controller* (SCC) dan baterai 12 V 7Ah. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa, sensor-sensor yang digunakan dapat bekerja sesuai dengan fungsinya dan data yang diterima di LoRa receiver sesuai dengan yang dikirim dari alat monitoring dengan akurasi data yang diterima dengan data yang dikirim sebesar 100%.

Kata kunci: Arduino Uno, LoRa, PLTS

I. PENDAHULUAN

Danau adalah wilayah perairan yang terbentuk secara alami, berupa cekungan air yang luas. Terbentuknya danau bisa disebabkan oleh fenomena alam atau manusia yang sengaja mengumpulkan air dari hujan, mata air, atau sungai di area yang luas. Hal ini dapat terjadi akibat melelehnya gletser, aliran sungai, atau keberadaan mata air [1].

Kehadiran danau memiliki berbagai manfaat dan fungsi, seperti untuk mengairi lahan pertanian seperti sawah, peternakan, peternakan, dan kebun. Selain itu, danau juga menjadi objek pariwisata yang menarik, tempat usaha perikanan darat, sumber air bagi makhluk hidup di sekitarnya, serta berfungsi sebagai pengendali banjir dan erosi [2].

Kawasan danau merupakan wilayah yang banyak mengalami perubahan kondisi secara geografis. Diantaranya adalah perubahan level air, suhu udara, serta kelembaban di sekitar danau. Perubahan kondisi tersebut tentunya di pengaruhi oleh beberapa faktor seperti cuaca dan waktu. Seperti pada pagi hari kelembabannya berbeda dengan di siang hari dan sore hari.

Biasanya monitoring atau pengecekan kondisi danau dilakukan secara manual, dengan cara mendatangi wilayah danau secara langsung. Metode seperti ini dianggap kurang praktis dan efisien, karena membutuhkan waktu untuk menuju

ke lokasi danau atau bahkan kondisi cuaca yang tidak memungkinkan untuk melakukan monitoring

Danau di kampus Politeknik Negeri Samarinda merupakan wilayah yang mengalami fenomena tersebut, sehingga diperlukan sebuah alat yang mampu memonitoring perubahan level air, suhu udara, dan kelembaban di sekitar danau dengan menggunakan teknologi komunikasi LoRa. Dengan ditamapkannya alat monitoring perubahan level air, suhu udara, dan kelembaban di wilayah danau Politeknik Negeri Samarinda dimaksud agar dapat memberikan informasi yang akurat dan realtime kepada masyarakat, mahasiswa, serta civitas akademik di Politeknik Negeri Samarinda.

II. STUDI PUSTAKA

A. Penelitian atau Proyek Yang Sudah Ada Sebelumnya

Penelitian ini dikembangkan berdasarkan referensi yang telah ada sebelumnya dengan objek penelitian yang serupa dengan objek penelitian penulis. Hal ini bertujuan agar penelitian yang dilakukan oleh penulis dapat berkembang dengan baik sesuai dengan tujuan. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muhammad Akbar yang berjudul Rancang Bangun Peringatan Banjir Di Jalan Cipto Mangun Kusumo Berbasis Arduino menjelaskan bahwa alat pendeteksi banjir dibangun dengan menggunakan arduino sebagai kontrol utama dan sensor HCSR-04 untuk mengukur ketinggian air serta LoRa sebagai alat komunikasi untuk mengirim data ke server [3].

Pada penelitian ini rancang bangun yang serupa dikembangkan dengan penambahan sensor kelembaban dan suhu sebagai pendeteksi kondisi udara yang ada di sekitar danau Politeknik Negeri Samarinda yang kemudian dikirim ke server menggunakan LoRa.

B. Panel Surya

Panel surya adalah kumpulan peralatan yang terdiri dari bahan semikonduktor, yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Panel surya juga dikenal sebagai fotovoltaiik dan biasanya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Prinsip kerja panel surya berdasarkan pada fotovoltaiik, di mana energi foton dari radiasi cahaya matahari diubah menjadi energi listrik [4].

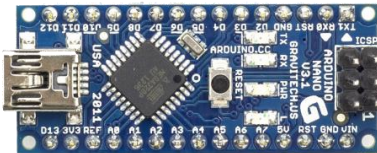
Dalam pembuatan project ini, penulis menggunakan panel surya jenis *monocrystalline*. Panel surya monokristal (*Monocrystalline*) terbuat dari batang kristal silikon murni yang sangat tipis. Teknologi ini menghasilkan sel surya yang identik dan memiliki kinerja tinggi. Sebagai hasilnya, panel surya ini memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya lainnya, dengan tingkat efisiensi sekitar 15% - 20% [5].



Gambar 1. Panel surya Mono-crystalline [6]

C. Arduino Nano

Arduino Nano merupakan salah satu papan pengembangan yang mengaplikasikan mikrokontroler berbasis chip ATmega328 [7]. Arduino Nano memiliki 14 pin digital, setiap dari 14 pin digital pada Arduino Uno dapat berfungsi sebagai *input* atau *output*. Arduino Nano juga dilengkapi dengan 8 pin *input* analog yang diberi label A0 hingga A7, dengan resolusi 10 bit (sebanyak 1024 nilai yang berbeda). Secara *default*, pin-pin ini dapat diukur atau diatur mulai dari *Ground* hingga 5 Volt [7]. Tampilan Arduino Nano dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan spesifikasinya ditunjukkan dalam Tabel 1.



Gambar 2. Tampilan Arduino Nano [7]

TABEL 1
SPESIFIKASI ARDUINO NANO [8]

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan operasi	5V
Tegangan <i>input</i>	7V – 12V
Digital I/O pin	22 buah, 6 di antaranya menyediakan PWM
Analog Input pin	8 buah
Arus DC per pin I/O	40 mA
Memori <i>Flash</i>	32 KB, 2 KB telah digunakan untuk <i>bootloader</i>
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	45 mm x 18 mm
Berat	7 g

D. Arduino Uno

Arduino Uno adalah sebuah papan rangkaian elektronik yang bersifat *open source*. *Board* ini menggunakan chip mikrokontroler AVR sebagai komponen utamanya. Mikrokontroler ini berupa chip atau *Integrated Circuit* (IC) yang dapat diprogram menggunakan komputer. Melalui pemrograman ini, Arduino Uno mampu membaca *input*, melakukan proses, dan menghasilkan *output* pada sebuah rangkaian elektronik [9]. *Board* ini dilengkapi dengan 14 pin digital, dimana 6 pin dapat berfungsi sebagai *output* PWM. Selain itu, Arduino Uno juga memiliki 6 pin *input* analog [9]. Tampilan Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 3. Sedangkan spesifikasinya ditunjukkan dalam Tabel 2.

Submitted: 17/06/2023; Revised: 17/06/2023;
Accepted: 23/09/2023; Online first: 06/10/2023
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i1.12>



Gambar 3. Tampilan Arduino Uno [9]

TABEL 2
SPESIFIKASI ARDUINO UNO [9]

Mikrokontroler	ATmega328P
Tegangan operasi	5V
Tegangan <i>input</i>	7V – 12V
Digital I/O pin	14 buah, 6 di antaranya menyediakan PWM
Analog Input pin	6 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Memori <i>Flash</i>	32 KB, 0.5 KB telah digunakan untuk <i>bootloader</i>
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	68.6 mm x 53.4 mm
Berat	25 g

E. Sensor Ultrasonik HC-SR04

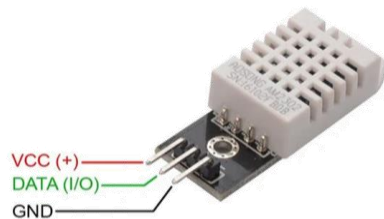
Sensor ini merupakan sensor ultrasonik siap pakai, yang berfungsi sebagai pengirim, penerima dan pengontrol gelombang ultrasonik. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur jarak benda antara 2 cm – 400 cm dengan tingkat akurasi 0,3 cm. Alat ini memiliki 4 buah pin, pin Vcc, gnd, trigger, dan echo [10]. Bentuk fisik dari sensor ultrasonik ini seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampilan sensor ultrasonic HC-SR04 [11]

F. Sensor Suhu dan Kelembaban DHT22

Sensor DHT22 merupakan sensor yang mampu memberikan informasi tentang suhu dan kelembaban. Sensor jenis ini sering dipilih karena data keluarannya sudah berupa digital, sehingga tidak perlu melalui proses konversi dari sinyal analog. DHT22 memiliki kemampuan untuk menampilkan nilai hingga satu angka dibelakang koma [12]. DHT22 memiliki fitur kalibrasi yang sangat akurat. DHT22 memiliki akurasi yang lebih baik dari pada DHT11 dengan galat relatif pengukuran suhu 14% dan kelembaban 18% [12]. Sensor DHT22 memiliki 3 buah pin, pin VCC, pin *Ground*, dan pin data. Bentuk fisik sensor DHT22 seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Sensor DHT11 [13]

G. Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller (SCC) adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengatur aliran arus searah (DC) yang mengisi baterai dan mengalirkan arus dari baterai ke beban [14]. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa baterai yang diisi melalui panel surya tidak kelebihan atau kekurangan, karena hal tersebut dapat merusak baterai. *Solar Charge Controller (SCC)* memonitor arus dan tegangan baterai, dan mengatur jumlah arus yang diperbolehkan untuk mengisi baterai. Jika arus yang masuk terlalu tinggi, *controller* akan membatasi arus agar baterai tidak diisi berlebihan. *Solar charge controller* juga dapat memperpanjang umur baterai dan meningkatkan efisiensi pengisian panel surya dengan mengatur tegangan dan arus yang masuk ke baterai. Tampilan *Solar Charge Control* ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Solar charge controller (SCC) [15]

H. Valve Regulated Lead Acid (VRLA)

Jenis baterai yang digunakan pada project ini adalah baterai *Valve Regulated Lead Acid (VRLA)*. Baterai VRLA merupakan pengembangan dari baterai asam timbal atau *Lead Acid (LA)* yang umum [16]. Kelebihan baterai VRLA dibandingkan dengan baterai LA konvensional terletak pada kemudahan perawatannya. Baterai VRLA memiliki desain yang tertutup (*sealed*), sehingga penguapan yang terjadi sangat minim. Hal ini mengakibatkan tidak perlu penambahan cairan selama penggunaan, sehingga perawatannya menjadi lebih mudah [16]. Spesifikasi baterai yang digunakan dapat menghasilkan tegangan *output* sebesar 12 Volt dan arus sebesar 7 Ah. Tampilan baterai VRLA ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Baterai valve regulated lead acid (VRLA) [17]
 Submitted: 17/06/2023; Revised: 17/06/2023;
 Accepted: 23/09/2023; Online first: 06/10/2023
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i1.12>

I. Penurun Tegangan LM2596

LM2596 merupakan *buck converter* atau penurun tegangan yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari DC ke DC. Penurun tegangan ini memiliki spesifikasi input DC 3-40 Volt dengan arus maksimal 3 Ampere dan tegangan output sebesar 1.5-35 Volt [18]. Penurun tegangan ini biasanya digunakan pada rangkaian elektronik seperti sumber daya sensor yang memerlukan daya input di atas kemampuan mikrokontroler. Seperti penggunaan sensor-sensor yang lebih dari satu pada sebuah rangkaian elektronik [18]. Tampilan penurun tegangan LM2596 ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Buck converter LM2596 [18]

J. LoRa

LoRa adalah singkatan dari Long Range, merupakan teknologi nirkabel yang digunakan untuk membuat *link* komunikasi jarak jauh. Ketika banyak teknologi nirkabel lama menggunakan modulasi *frequency shift keying (FSK)* sebagai lapisan fisik karena merupakan modulasi yang sangat efisien untuk mencapai daya rendah, LoRa menggunakan modulasi *chirp spread spectrum*, yang mempertahankan karakteristik daya rendah yang sama dengan modulasi FSK, tetapi secara signifikan meningkatkan jangkauan komunikasi [19].

LoRa beroperasi dalam spektrum ISM terbuka, sehingga dapat mengatur jaringan sendiri. LoRa dimungkinkan melakukan pengelolaan kecepatan data untuk mengatur sensitivitas dalam kanal *bandwidth* tetap. LoRa dapat terintegrasi dan berinteroperasi dengan struktur jaringan yang sudah ada, hal ini disebabkan karena modul LoRa mudah dikonfigurasi dengan lapisan yang lebih tinggi [20]. Pada pembangunan sistem transmisi data yang dapat diandalkan menggunakan teknologi LoRa, terdapat beberapa faktor yang dapat diukur dan ditentukan, antara lain parameter: RSSI, SNR, *packet loss* [21].

1) RSSI

Received Signal Strength Indication (RSSI) adalah parameter yang mengukur kekuatan daya terima dari seluruh sinyal pada suatu frekuensi tertentu [21]. RSSI merupakan estimasi tingkat daya yang terukur yang diterima dari klien RF (*Radio Frequency*). Biasanya, ini mengindikasikan seberapa baik radio tertentu dapat menerima sinyal dari radio klien yang terhubung dalam jarak yang jauh.

2) SNR

Signal to Noise Ratio (SNR) dalam istilah yang lebih sederhana, adalah ukuran kualitas sinyal yang diterima dalam sistem transmisi [22]. Jumlah *noise* yang besar akan menyebabkan nilai SNR yang lebih kecil. Semakin dekat jarak

transmisi, semakin besar kekuatan SNR, dan sebaliknya. SNR yang diperlukan untuk *speedy* harus memiliki nilai standar yang lebih besar dari 10 dB [22].

3) Packet Loss

Packet Loss mengacu pada persentase paket yang hilang selama proses pengiriman data. Hal ini terjadi karena berbagai faktor seperti penurunan sinyal di media jaringan, kesalahan perangkat keras jaringan, atau bahkan radiasi dari lingkungan sekitar [23].

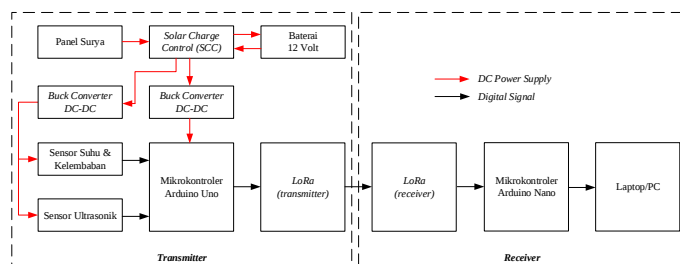
III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi

Waktu yang digunakan untuk perancangan laporan ini dilaksanakan pada bulan Februari 2023 sampai dengan Mei 2023, bertempat di Laboratorium Mikroprosesor Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda. Pengambilan data dilakukan pada bulan April 2023 di Danau Politeknik Negeri Samarinda.

B. Blok Diagram Sistem

Diagram blok untuk alat yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 9. Diagram blok ini terdiri dari sensor ultrasonic, sensor DHT22, Arduino Uno, LoRa, dan rangkaian PLTS. Diagram blok dibuat untuk mempermudah mengetahui sistem alat ini bekerja.



Gambar 9. Blok diagram sistem

Penjelasan dari blok diagram pada Gambar 9 adalah sebagai berikut:

1. Panel Surya, sebagai *input* sumber listrik dalam perancangan alat ini. Menggunakan panel jenis *Mono-crystalline* dengan kapasitas daya 100 Wp.
2. Baterai, listrik yang dihasilkan oleh panel surya akan diteruskan ke baterai untuk disimpan energinya, dengan kapasitas baterai sebesar 12 Volt 7 Ah.
3. *Solar Charge Control* (SCC), sebagai *controller* untuk mengatur arus listrik DC yang masuk ke baterai dan dari baterai ke beban. Kapasitas SCC yang digunakan sebesar 30 Ampere.
4. *Buck Converter*, sebagai komponen penurun tegangan dan *supply* bagi komponen yang membutuhkan tegangan dibawah 12 Volt. Pada perancangan alat menggunakan model jenis LM2596 untuk *supply* sensor, dan IC7802 untuk *supply* Arduino Uno.
5. Sensor Suhu dan Kelembaban, sebagai *input* sensor untuk mengukur kondisi suhu dan kelembaban di sekitar danau Polnes. Jenis sensor yang digunakan

adalah DHT22 dengan *output* sensor berupa sinyal digital yang akan dikirim ke mikrokontroler.

6. Sensor Ultrasonik, sebagai *input* untuk mengukur jarak ketinggian air di danau Polnes. Jenis sensor yang digunakan adalah HC-SR04 dengan *output* sensor berupa sinyal digital yang akan dikirim ke mikrokontroler.
7. Mikrokontroler, sebagai pengolah *input* dan *output* data yang akan di proses kemudian data di kirim ke LoRa. Mikrokontroler pada *transmitter* menggunakan Arduino Uno, sedangkan untuk *receiver* menggunakan Arduino Nano.
8. LoRa *Transceiver*, modul komunikasi yang digunakan untuk mengirim dan menerima data yang telah di proses oleh mikrokontroler. Terdapat dua modul LoRa yang berfungsi sebagai *transmitter* dan *receiver*, dimana *transmitter* berfungsi untuk mengirim data hasil pengukuran kepada *receiver* untuk diterima dan ditampilkan di serial monitor, dengan memanfaatkan sinyal frekuensi. Jenis modul yang digunakan adalah RFM95 915MHz.
9. Device, berupa laptop atau PC untuk menampilkan hasil pengukuran yang ditampilkan dalam bentuk serial monitor.

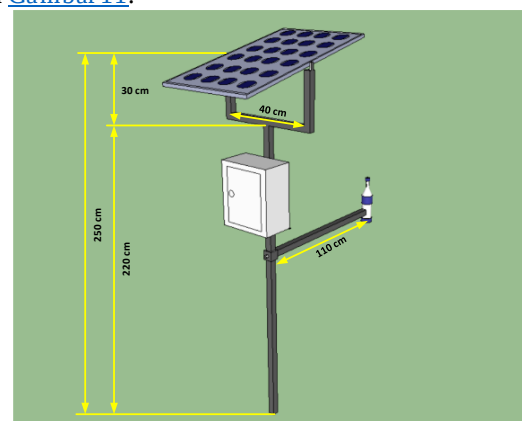
C. Perancangan Konstruksi Alat

Perancangan konstruksi alat dengan material besi ini bertujuan untuk menghasilkan alat yang handal, tahan lama, dan efektif dalam melakukan monitoring ketinggian air, suhu, dan kelembaban di sekitar danau Politeknik Negeri Samarinda.

Adapun spesifikasi dari desain konstruksi alat adalah sebagai berikut:

- 1) Material besi *hollow* ukuran 4 cm x 4 cm
- 2) Tinggi keseluruhan alat adalah 250 cm
- 3) Panjang lengan sensor adalah 110 cm
- 4) Ukuran *box* panel adalah 30 cm x 20 cm x 40 cm
- 5) Ukuran panel surya 100 WP adalah 96 cm x 43 cm

Dalam perancangan ini juga mempertimbangkan faktor seperti ukuran, bentuk, dan posisi pemasangan yang nyaman serta mudah diakses untuk memudahkan penggunaan dan pemeliharaan alat. Desain konstruksi alat ditunjukkan dalam Gambar 10, sementara perancangan konstruksi alat ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 10. Desain konstruksi alat

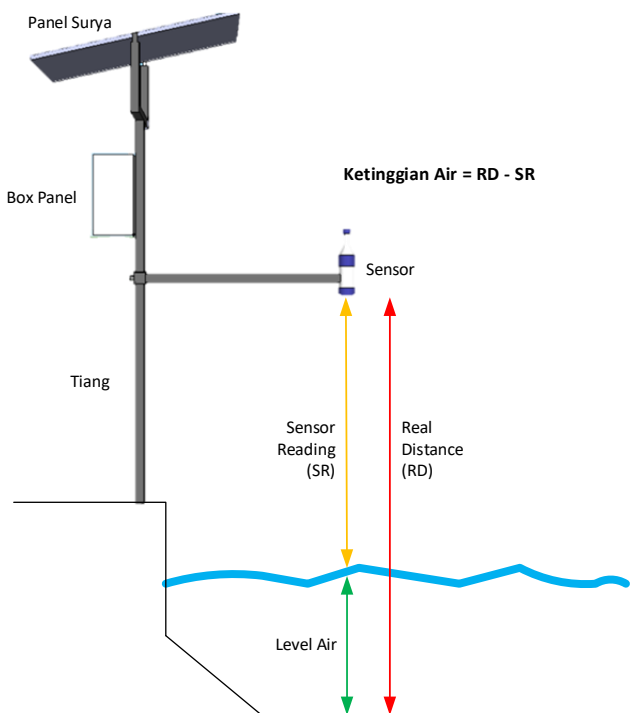


Gambar 11. Perancangan konstruksi alat

D. Perancangan Sistem Pengukuran Alat

Pemasangan alat diletakkan pada ketinggian tertentu sesuai dengan kondisi di danau. Sensor dipasang pada batang besi yang tegak lurus pada tiang konstruksi agar bisa berada diatas sungai, dimana tinggi muka air dapat diukur. Perancangan sistem pengukuran alat ditunjukkan dalam [Gambar 12](#). Persamaan yang digunakan untuk mengukur ketinggian air yaitu tinggi sensor terpasang dikurang dengan nilai pembacaan sensor, atau dalam persamaan sebagai berikut:

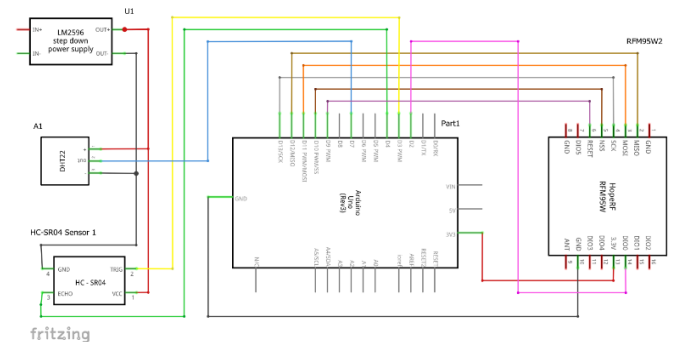
$$\text{Ketinggian air} = RD - SR \quad (1)$$



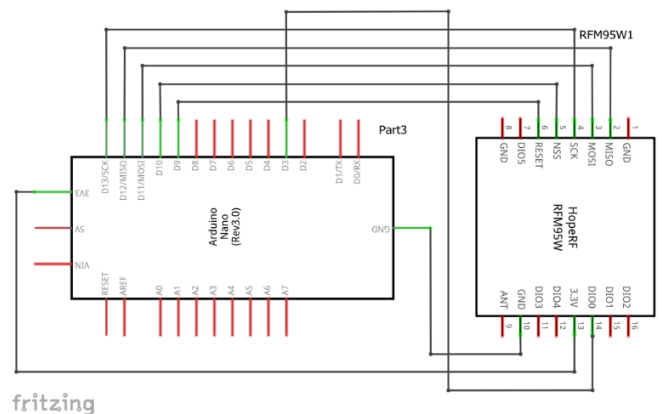
Gambar 12. Perancangan sistem pengukuran alat

E. Perancangan Sistem

Perancangan rangkaian skematik menjadi langkah awal dalam pengembangan sebuah alat. Rangkaian skematik yang dirancang menggambarkan koneksi antara komponen sensor, controller, dan perangkat komunikasi LoRa. Rangkaian skematik dibagi menjadi dua yaitu rangkaian skematik transmitter ditunjukkan dalam [Gambar 13](#), dan rangkaian skematik receiver yang ditunjukkan dalam [Gambar 14](#).



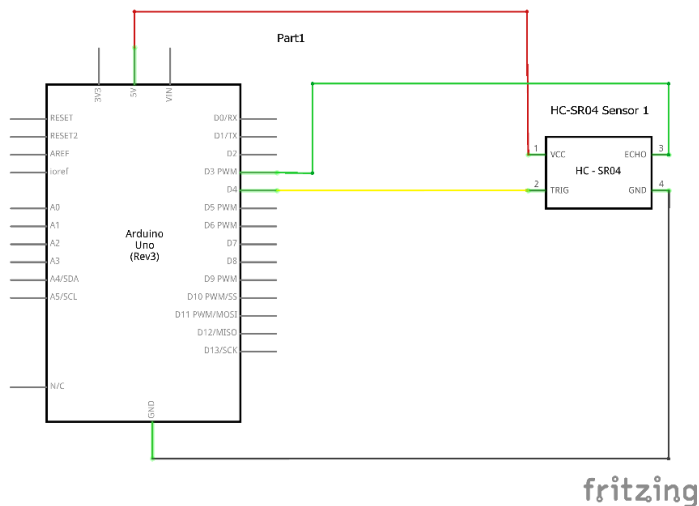
Gambar 13. Rangkaian skematik transmitter



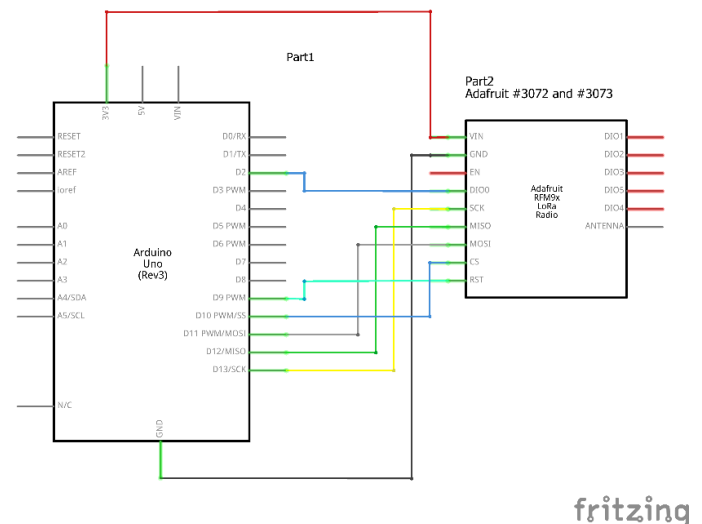
Gambar 14. Rangkaian skematik receiver

F. Perancangan Sensor Ultrasonic

Perancangan sensor ultrasonic digunakan untuk mengukur ketinggian air di danau POLNES. Sensor ultrasonic yang digunakan ini dihubungkan dengan mikrokontroler arduino pada pin 3 sebagai Echo dan pin 4 sebagai pin Trigger. Untuk rangkaian perancangan sensor ultrasonik dapat dilihat pada [Gambar 15](#).



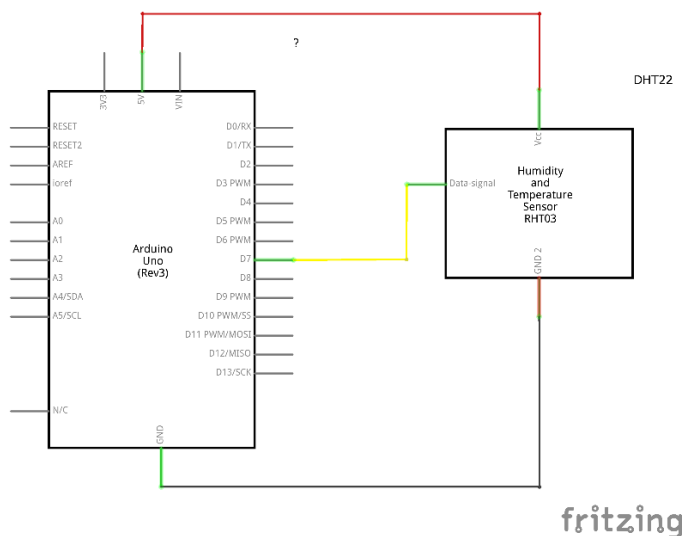
Gambar 15. Rangkaian skematik sensor ultrasonic



Gambar 17. Rangkaian skematik sensor LoRa

G. Perancangan sensor DHT

Perancangan sensor DHT adalah untuk mendeteksi suhu dan kelembaban disekitar danau POLNES. Sensor DHT ini dihubungkan dengan Arduino Uno pada pin 7 sebagai hasil pembacaan data dari DHT atau pin OUT DHT tersebut. Untuk rangkaian perancangan sensor DHT dapat dilihat pada [gambar 16](#).



Gambar 16. Rangkaian skematik sensor DHT

H. Perancangan LoRa

Perancangan LoRa ini dibuat untuk digunakan sebagai pengirim data hasil yang dibaca oleh sensor *transmitter* ke *receiver* LoRa, dengan kontrol Arduino Uno. Pin yang digunakan oleh LoRa berjumlah 9 buah pin, pin DIO LoRa dihubungkan ke pin 2 Arduino Uno, pin RST ke pin 9, pin NSS ke pin 10, pin MOSI ke pin 11, pin MISO ke pin 12, dan pin SCK ke pin 13. Rangkaian perancangan LoRa dapat dilihat pada [Gambar 17](#).



Gambar 18. Perancangan PLTS

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Ultrasonic

Sebelum melakukan perancangan sistem secara menyeluruh, maka dilakukan pengujian terhadap sensor-sensor yang akan digunakan. Sensor ultrasonik diuji dengan membandingkan jarak yang tertera pada penggaris dengan yang ditampilkan serial monitor pada [Gambar 19](#).



Gambar 19. Pengujian sensor ultrasonik

TABEL 3
HASIL PENGUJIAN SENSOR ULTRASONIK

Pengujian ke	Dengan Penggaris (cm)	Terbaca Oleh Sensor (cm)
1	15	14
2	10	9
3	5	4
4	20	19
5	32	31

Dari hasil pengujian pada [Tabel 3](#), diperoleh nilai bahwa terdapat selisih pembacaan dengan pengukuran yang sebenarnya. Nilai selisih pada setiap pengukuran adalah konstan yaitu 1 cm, sehingga nilai selisih tersebut masih tergolong wajar karena bernilai konstan pada setiap pengukuran.

B. Pengujian Sensor DHT

Sensor DHT diuji pada ruangan ber-AC di ruang Lab. Mikroprosesor. Untuk perubahan suhu dilakukan pemanasan dengan meletakkan sensor DHT pada lubang kipas laptop yang sedang menjalankan sebuah aplikasi dan suhu laptop dipantau pada aplikasi *Task Manager*. Kemudian, pada pengujian kedua dengan cara meletakkan sensor DHT diluar ruangan dan membandingkan hasil pembacaan dengan suhu yang tertera pada aplikasi *Weather Smartphone*.

Dari hasil pengujian, sensor dapat bekerja mendeteksi suhu dan kelembaban sesuai dengan fungsinya. Sensor mendeteksi suhu ruangan Lab. Mikroprosesor berada pada kisaran 25 °C dan kelembaban berada sekitar 60 %.

C. Pengujian LoRa 915MHz

Untuk pengujian LoRa ini, dilakukan pengiriman data berupa teks dari LoRa transmitter ke LoRa receiver yang kemudian ditampilkan pada serial monitor LoRa receiver. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui LoRa yang digunakan dapat berfungsi dengan baik dengan indikator dapat mengirim data yang sesuai dari LoRa transmitter ke LoRa receiver.

Pada [Gambar 20](#) menunjukkan jarak lokasi pengukuran antara receiver dengan transmitter di beberapa titik lingkungan kampus Polnes. [Gambar 21](#) menunjukkan hasil pengujian berupa teks yang diterima "selamat sore". Data hasil pengukuran pada [Tabel 4](#) dibuat perbandingan antara RSSI dengan jarak yang diterima oleh receiver yang ditunjukkan dalam [Gambar 22](#).



Gambar 20. Jarak antara lokasi pengukuran receiver dengan transmitter

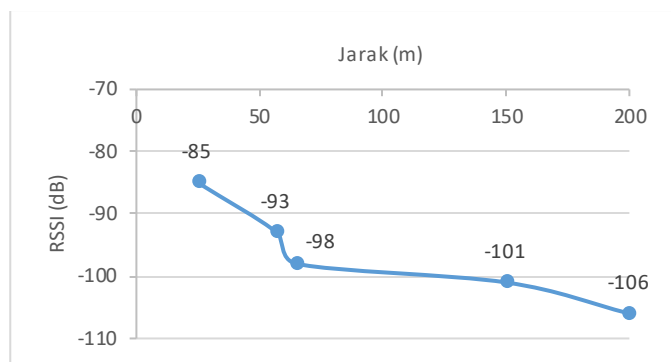


Gambar 21. Pengujian receiver di laboratorium teknik elektro

TABEL 4
PENGUJIAN JARAK JANGKAUAN LORA

No.	Lokasi	Jarak (m)	RSSI (dB)
1	Kantin Polnes	25	-85
2	Lap. Auditorium	57	-93
3	Lab. T. Elektro	65	-98
4	Bengkel T. Elektro	150	-101
5	UPT. Bahasa	200	-106

Pada [tabel 4](#) dilakukan pengujian dengan menempatkan LoRa receiver di 5 tempat yang berbeda. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui jarak yang dapat dilakukan untuk pengiriman data dari LoRa transceiver ke LoRa receiver. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh hasil bahwa semakin jauh jarak antara LoRa transmitter ke LoRa receiver maka kualitas sinyal semakin menurun. Hal tersebut diakibatkan oleh banyaknya gedung yang menjadi penghalang dan kemampuan alat untuk memancarkan dan menerima sinyal. Indikator dari pengujian ini adalah RSSI, dimana ketika nilai minusnya semakin kecil maka sinyal dianggap baik.



Gambar 22. Grafik RSSI fungsi jarak

[Gambar 22](#) merupakan grafik kekuatan sinyal dari hasil pengujian tersebut. Pada [Gambar 22](#) juga menjelaskan bahwa semakin jauh jarak antara LoRa transmitter ke LoRa receiver maka kekuatan sinyal semakin buruk dengan indikasi berupa kekuatan sinyal di angka -106 dan jarak 200 meter

TABEL 5
HASIL PENGUJIAN PENGIRIMAN DATA DENGAN LORA

Pengujian Ke	Teks Yang Dikirim	Teks Yang Diterima
1	selamat pagi	selamat pagi
2	selamat siang	selamat siang
3	selamat sore	selamat sore
4	apakah anda sudah makan?	apakah anda sudah makan?
5	Lab, Mikroprosesor	Lab, Mikroprosesor

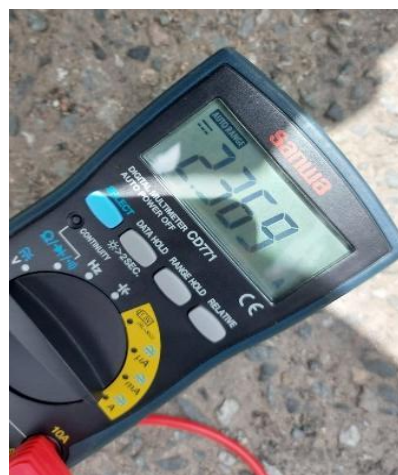
Pengujian berikutnya berupa pengiriman teks dari LoRa transmitter ke LoRa receiver. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan LoRa dapat bekerja dengan baik. Dari hasil pengujian, LoRa dapat mengirim dan menerima data sesuai dengan teks yang dikirim dari LoRa transmitter.

D. Pengujian PLTS

PLTS diuji dengan proses 2 tahap. Yaitu pengujian tegangan dan arus secara *open circuit*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan dan nilai arus jika PLTS dalam kondisi tidak terhubung ke beban dan disinari oleh cahaya matahari. Pada saat pengujian tegangan diperoleh tegangan sebesar 19.77 Volt dan nilai arus sebesar 2.369 Ampere. Nilai tegangan dan arus ini dapat berubah ubah sesuai dengan intensitas cahaya matahari yang didapat.



Gambar 23. Pengujian tegangan PLTS



Gambar 24. Pengujian arus PLTS

E. Pengujian Sistem

Dalam pengujian sistem ini dilakukan pengujian fungsi dari alat tersebut, meliputi fungsi dari alat tersebut. Alat tersebut diuji tegangan terlebih dahulu yang keluar dari SCC ke beban. Kemudian, pengujian selanjutnya dilakukan uji coba pengiriman data *real* yang dibaca oleh sensor dengan cara mengirimkan data yang dibaca dari sensor yang digunakan ke receiver yang menggunakan Arduino Nano melalui komunikasi LoRa 915 MHz.

Namun, sebelum melakukan pengujian pengiriman data ke receiver dilakukan terlebih dahulu yaitu kalibrasi sensor ultrasonik agar mendapatkan tinggi yang sesuai. Dalam pengkalibrasian sensor ini menggunakan benang yang diberi pemberat pada ujungnya kemudian ditenggelamkan ke danau hingga menyentuh dasar danau. Kemudian, benang diluruskan hingga tinggi sensor berada.

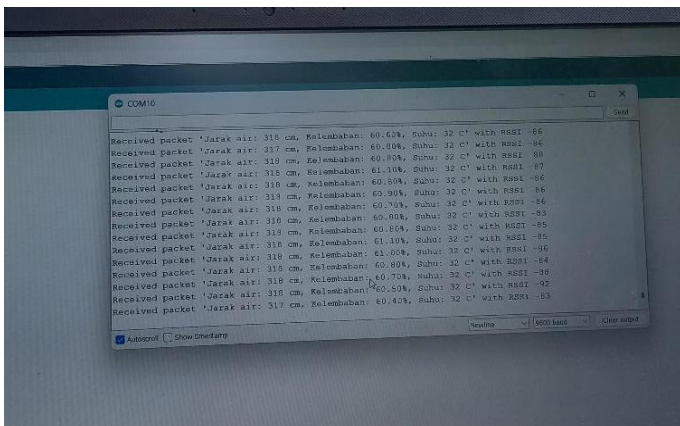


Gambar 25. Pengukuran ketinggian sensor dengan permukaan air



Gambar 26. Pengukuran kedalaman dasar danau dari atas permukaan air

Pada [Gambar 25](#) merupakan pengukuran tali yang basah, dimana pengukuran ini merupakan tinggi air yang sebenarnya. Pada [Gambar 26](#) merupakan pengukuran jarak sensor ke dasar danau. Hal ini dilakukan untuk memperoleh konstanta pengurangan dengan hasil pembacaan sensor ke permukaan air untuk memperoleh tinggi air yang sebenarnya. Dimana persamaan yang digunakan adalah ketinggian air = real distance (RD) – sensor reading (SR). Setelah dilakukan kalibrasi kemudian melakukan pengujian pengiriman data.



Gambar 27. Pengujian pengiriman data pembacaan ke receiver dari hasil pembacaan di danau Polnes

Dari hasil pengujian pengiriman data yang tampil di serial monitor resiver telah sesuai dengan data yang dibaca oleh alat yang dibuat. Kemudian, untuk jarak pengiriman dari alat ke resiver adalah mampu hingga ke ruang Lab. Mikroprosesor tetapi, dengan kondisi pintu panel yang harus dibuka. Hal tersebut dikarenakan konektor antena yang tidak terhubung ke antena pengirim sehingga pengiriman data terganggu.

Untuk penggunaan daya alat ini dihitung berdasarkan arus yang mengalir keluar dari SCC kemudian dikalikan dengan nilai tegangan yang tertera pada SCC saat itu. Diperoleh nilai arus sebesar 111.3 mA dan tegangan sebesar 12.5 Volt. Sehingga diperoleh penggunaan daya sebesar $12.5V \times 0.1113A = 1.391 \text{ Watt}$.



Gambar 28. Pengukuran nilai arus yang mengalir ke beban dari SCC

Dari nilai arus yang digunakan tersebut, untuk penggunaan baterai 7 Ah maka dapat diperkirakan daya tahan baterai selama $7/0.113 = 62.89$ jam atau selama kurang lebih 3 hari tanpa melakukan pengisian ulang baterai.



Gambar 29. Pemasangan alat monitoring di danau Politeknik Negeri Samarinda

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan berbagai proses perancangan dan pengujian, alat dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Dimana alat dapat mengukur ketinggian air dan suhu beserta kelembaban disekitar danau POLNES dan hasil pengukuran tersebut dapat dikirimkan ke LoRa receiver. Data yang ditampilkan di LoRa transmitter juga sesuai dengan data yang diterima di LoRa receiver. Kemudian, untuk pengiriman data dari alat ke receiver dapat dilakukan dari danau hingga ruang Lab. Mikroprosesor yang memiliki jarak kurang lebih 50 meter. Selain itu, pengujian pengiriman data juga dilakukan dengan berjalan mengelilingi kampus. Dari pengujian tersebut maksimal kemampuan pengiriman dan diterima baik oleh LoRa receiver sejauh kurang lebih 80 meter. Kemudian, baterai yang digunakan untuk alat ini juga masih tercover pengisiannya dengan baik oleh PLTS.

REFERENSI

- [1] G. Haryani, "Kondisi danau di Indonesia dan strategi pengelolaannya," *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MLII*, 2014.
- [2] A. Salina, Y. and A. Fikri, "Danau Napangga merupakan salah satu tempat penghasil ikan Arwana di Kabupaten Rokan Hilir," *Innovative : Journal Of Social Science Research*, vol. 1, no. 02, p. 420, 2021.
- [3] M. Akbar, P. Murdiyat and M. A. Putra, "Rancang bangun peringatan banjir di Jalan Cipto Mangun Kusumo berbasis Arduino," *Poligrid*, vol. 03, no. 02, pp. 41-51, 2022.
- [4] I. P. Sari, "Analisa pengaruh suhu panel surya terhadap tegangan output panel surya yang telah terpakai dengan yang baru di Politeknik Negeri Sriwijaya," *Eprints*, p. 7, 2022.
- [5] N. Safitri, T. Rihayat and S. Riskina, *Teknologi Photovoltaic*, Banda Aceh: Yayasan Puga Aceh Riset, 2019.
- [6] B. S. System, "Solar panel made by BP Solar Systems Ltd. In Aylesbury," Science Museum Grup, Juni 2020. [Online]. Available: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8413771/solar-panel-made-by-bp-solar-systems-ltd-in-aylesbury-solar-panel>. [Accessed 8 Mei 2023].
- [7] Y. Triawan and J. Sardi, "Perancangan sistem otomasi pada aquascape berbasis mikrokontroler Arduino Nano," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 76-77, 2020.
- [8] Arduino, "Arduino Nano," Arduino.cc, 2018. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>. [Accessed 2 Juni 2023].
- [9] E. Ihsanto and S. Hidayat, "Rancang bangun sistem pengukuran ph meter dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno," *Jurnal Teknologi Elektro Universitas Mercu Buana*, vol. 5, no. 3, p. 132, 2014.
- [10] H. Purwanto, M. Riyadi, D. Astuti and I. W. Kusuma, "Komparasi sensor ultrasonik HC-SR04 dan JSN-SR04T untuk aplikasi sistem deteksi ketinggian air," *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 10, no. 2, p. 718, 2019.
- [11] ElangSakti, "Cara Kerja Sensor Ultrasonik, Rangkaian, & Aplikasinya," *Elektronika*, 2015. [Online]. Available: <https://www.elangsakti.com/2015/05/sensor-ultrasonik.html>. [Accessed 8 Mei 2023].
- [12] A. H. Saptadi, "Perbandingan akurasi pengukuran suhu dan kelembaban antara sensor DHT11 dan DHT22," *Jurnal INFOTEL: Informatics, Telecommunication, and Electronics*, vol. 6, no. 2, pp. 50-54, 2014.
- [13] F. Nazawi, "DHT22 Digital Temperature and Humidity Sensor," Circuit DIY, 24 Oktober 2021. [Online]. Available: <https://www.circuits-diy.com/dht22-digital-temperature-and-humidity-sensor/>. [Accessed 8 Mei 2023].
- [14] W. S. Damanik, F. I. Pasaribu, S. Lubis and C. A. Siregar, "Pengujian modul solar charge control (SCC) pada teknologi pembuangan sampah pintar," *Jurnal Teknik Elektro RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi)*, vol. 3, no. 2, pp. 89-93, 2021.
- [15] Sanspower, "Solar charge control untuk panel surya," sanspower.com, 22 Maret 2021. [Online]. Available: <https://www.sanspower.com/solar-charge-control-untuk-panel-surya-ramah-lingkungan.html>. [Diakses 8 Mei 2023].
- [16] D. Widjajanto, B. M. Achsan, F. M. N. Rozaqi, A. Widyotriatmo and E. Leksono, "Estimasi kondisi muatan dan kondisi kesehatan baterai VRLA dengan metode RVP," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 10, no. 2, pp. 178-179, 2021.
- [17] M. Farhan, "Banyak yang belum paham, apa arti tulisan VRLA yang ada di aki motor," gridoto.com, 8 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.gridoto.com/read/221877642/banyak-yang-belum-paham-apa-arti-tulisan-vrla-yang-ada-di-aki-motor>. [Accessed 3 Juni 2023].
- [18] R. Hamdani, H. Puspita dan D. R. Wildan, "Pembuatan sistem pengamanan kendaraan bermotor berbasis radio frequency identification (RFID)," *Jurnal Industri Elektro dan Penerbangan*, vol. 8, no. 2, p. 58, 2019.
- [19] J. Petajajarvi, M. Pettissalo, K. Mikhaylov and A. Roivainen, "On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology," *14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*, p. 56, 2015.
- [20] O. Georhiou and U. Raza, "Low power wide area network analysis: can LoRa scale?," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 6, no. 2, pp. 162-165, 2017.
- [21] F. N. Aroebesman, M. H. H. Ichsan and R. Pramananda, "Analisis kinerja LoRa SX1278 menggunakan topologi star berdasarkan jarak dan besar data pada WSN," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 4, p. 3861, 2019.
- [22] A. F. Isnawati, I. Susanto and R. A. Purwanita, "Analisis jarak terhadap redaman, SNR (Signal to Noise Ratio), dan kecepatan download pada jaringan ADSL," *Jurnal Infotel; Informatics, Telecommunication, and Electronics*, vol. 2, no. 2, pp. 2-4, 2010.
- [23] H. Fahmi, "Analisis QOS (Quality of Service) pengukur delay, jitter, packet lost dan throughput untuk mendapatkan kualitas kerja radio streaming yang baik," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 7, no. 2, p. 101, 2018.

Penerapan Komunikasi Dua Arah Menggunakan Teknologi LoRa Pada RC Car

Abdul Hamid Kurniawan¹, Erry Yadie², Ahmad Arief Ahyani³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

Jl. Dr. Ciptomangunkusumo, Kampus Gunung Panjang, Samarinda, 75121

abdul.hamid.kurniawan@gmail.com

Abstrak- Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan komunikasi dua arah menggunakan teknologi LoRa (*Long Range*) pada RC car. Dalam penelitian ini, komponen yang digunakan meliputi joystick sebagai pengendali arah gerakan RC car, sensor tegangan untuk memonitor persentase daya baterai, L298N sebagai driver motor, dua buah motor DC, dan LoRa Shield dengan frekuensi 915 MHz. Metode yang digunakan adalah mengintegrasikan komponen-komponen tersebut dalam sistem komunikasi dua arah, di mana pengguna dapat mengendalikan gerakan RC car melalui joystick, sementara RC car mengirimkan data tegangan baterai melalui modul LoRa. Hasil penelitian ini menunjukkan keberhasilan penerapan komunikasi dua arah dengan teknologi LoRa pada RC car, yang memungkinkan pengendali untuk mengontrol gerakan RC car dan melihat status baterai secara *real-time*. Sementara itu hasil pengujian jarak menunjukkan bahwa pada kondisi *line of sight* (LOS) joystick masih mampu mengendalikan RC car pada jarak 700 m karena RSSI yang terukur pada *wireless controller* maupun RC car masih di atas -120 dB. Sementara pada kondisi non LOS, jarak yang diperoleh adalah 200 m.

Kata kunci: RC Car, Komunikasi data, LoRa 915 MHz, Joystick, Driver motor L298N, Persentase baterai.

I. PENDAHULUAN

Pada zaman yang semakin maju ini, teknologi LoRa telah menjadi salah satu teknologi komunikasi wireless yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Salah satu aplikasi yang dapat menggunakan teknologi LoRa adalah pada RC car (*Remote Control car*). RC car merupakan salah satu jenis mainan yang dapat dikendalikan dari jarak jauh menggunakan *remote control*.

RC car biasanya menggunakan teknologi infrared atau *radio frequency* untuk mengirimkan sinyal kendali ke RC car. Teknologi RC car sendiri sudah lama ada, namun pengembangannya masih terus dilakukan untuk meningkatkan kualitas dan kemampuannya. Salah satu inovasi yang dapat diterapkan pada RC car adalah dengan menggunakan teknologi *Long Range* (LoRa).

Teknologi LoRa adalah sebuah teknologi komunikasi nirkabel yang menggunakan frekuensi radio yang lebih rendah daripada teknologi komunikasi lain yaitu Wifi dengan frekuensi 2.4 GHz dan 5 GHz serta Bluetooth dengan frekuensi 2.4 GHz. Hal ini memungkinkan LoRa untuk mencapai jangkauan yang lebih luas dengan menggunakan daya transmisi yang lebih kecil [1].

Arduino adalah sebuah sistem *open source* yang terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk membangun sistem elektronik yang

dapat diprogram [6]. Arduino sangat cocok digunakan pada proyek-proyek elektronik, termasuk pada proyek RC car yang menggunakan teknologi LoRa.

Terdapat beberapa masalah yang sering terjadi pada RC car yang dikendalikan menggunakan *radio frequency*. Masalah tersebut antara lain jarak pengendalian yang terbatas, serta masalah interferensi sinyal yang sering terjadi. Oleh karena itu, diperlukan sebuah solusi alternatif untuk mengatasi masalah tersebut.

Dengan menggunakan teknologi LoRa, diharapkan dapat memperluas jarak pengendalian RC car serta meningkatkan tingkat keamanan dalam pengendalian RC car. Selain itu, dengan menggunakan Arduino sebagai platform yang digunakan, diharapkan proses pengembangan proyek menjadi lebih mudah dan efisien.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Komunikasi Data

Komunikasi data adalah proses pengiriman dan penerimaan data/informasi dari dua atau lebih device yang terhubung dalam sebuah jaringan, baik lokal maupun yang luas. Komunikasi data berhubungan erat dengan pengiriman data menggunakan sistem transmisi elektronik dari satu komputer ke komputer lainnya atau dari satu komputer ke terminal tertentu. Data yang dimaksud di sini adalah sinyal-sinyal elektromagnetik yang dibangkitkan oleh sumber data yang dapat ditangkap dan dikirimkan kepada terminal-terminal penerima [3].

B. Long Range (LoRa) Module

LoRa adalah sebuah metode komunikasi nirkabel yang digunakan untuk menghubungkan perangkat dari jarak jauh tanpa menggunakan kabel. Teknologi ini memiliki kemampuan yang baik dalam menembus hambatan fisik seperti dinding, sehingga cocok untuk digunakan di lingkungan perkotaan atau industri [1].



Gambar 1. Long Range (LoRa) module

C. Arduino Uno R3

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis Atmega328-20PU, yang memiliki 14 pin digital untuk komunikasi input atau output, di mana 6 diantaranya dapat memproduksi sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM), 6 pin masukan analog yang dapat diubah menjadi digital menggunakan ADC atau Analog-to-Digital internal, osilator dengan kecepatan 16 MHz, port USB, konektor catu daya, ICSP header dan tombol reset [6].



Gambar 2. Arduino Uno R3

D. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah sebuah board Arduino yang menggunakan IC mikrokontroler Atmega 2560. Board ini memiliki 54 digital input/output di mana 15 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM, selain itu juga memiliki 1 buah analog input, koneksi USB, *jack power* dan tombol reset [7].



Gambar 3. Arduino Mega 2560

E. Motor DC

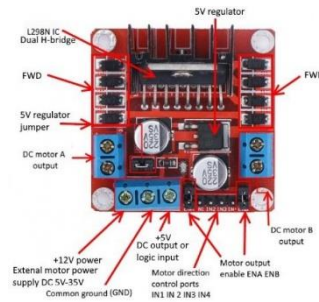
Motor DC adalah motor yang dapat berputar 360 derajat, biasa disebut sebagai dinamo yang umumnya digunakan untuk menggerakkan roda. Jika sumber daya positif dan negatif diganti posisi, maka arah putar motor DC akan berubah menjadi berlawanan dengan arah sebelumnya. [4].



Gambar 4. Motor DC

F. Driver Motor L298N

IC L298N menggunakan prinsip jembatan H untuk mengendalikan arah putaran motor. Prinsip ini diterapkan dengan menggunakan dua relai, sehingga dapat digunakan untuk mengatur arah putar [5].



Gambar 5. Driver Motor L298N

G. Joystick KY 023

Joystick adalah perangkat input yang umum digunakan dalam permainan. *Joystick* adalah potensiometer multifungsi yang digunakan untuk mengontrol dua arah, yang dinyatakan dengan sumbu x dan y. Modul ini juga sering digunakan dalam kontrol jarak jauh baik yang menggunakan kabel maupun *wireless* [2].



Gambar 6. Joystick KY 023

H. Liquid Crystal Display (LCD) 20x4

Liquid Crystal Display (LCD) adalah komponen yang digunakan untuk menampilkan informasi dalam bentuk layar sederhana. Layar tersebut terbuat dari bahan cairan kristal yang pengoperasiannya menggunakan dot matriks. LCD jenis paralel berukuran 20 x 4 karakter. Angka 4 menyatakan jumlah baris, angka 20 menyatakan jumlah karakter pada tiap baris [5].



Gambar 7. Liquid Crystal Display (LCD) 20x4

I. Baterai

Baterai merupakan perangkat yang mampu mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan sebaliknya melalui proses elektrokimia yang *reversible* (dapat dibalikkan) dengan efisiensi tinggi. Proses *reversible* yang berlangsung di dalam baterai adalah perubahan dari energi kimia menjadi energi listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari energi listrik menjadi energi kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi pada elektroda-elektroda di dalam sel, ini dilakukan dengan melewati arus listrik dengan polaritas yang berlawanan [2].



Gambar 8. Baterai

J. Sensor Tegangan

Sensor tegangan merupakan sensor yang digunakan untuk membaca nilai tegangan DC antara 0-25V. Modul ini tidak mampu mendeteksi tegangan DC sebesar 0V karena memiliki ambang deteksi minimal sekitar 0.02445VDC[8].

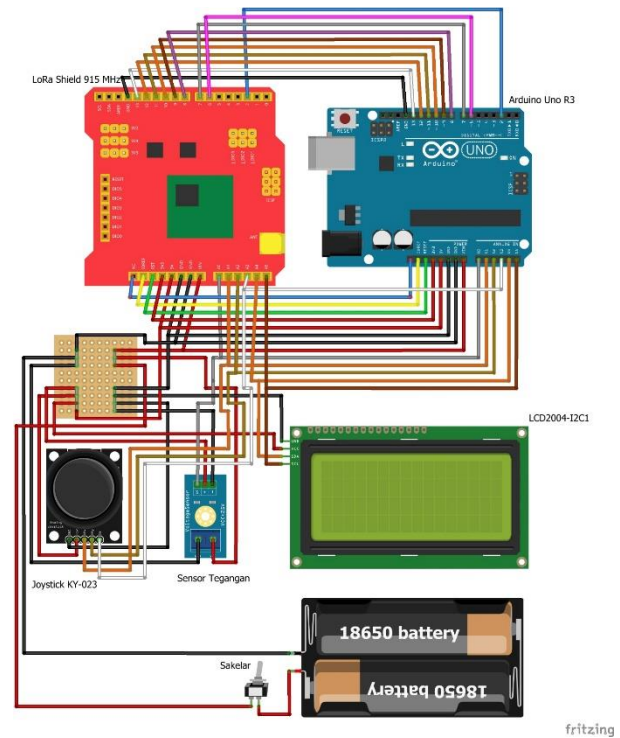


Gambar 9. Sensortegangan

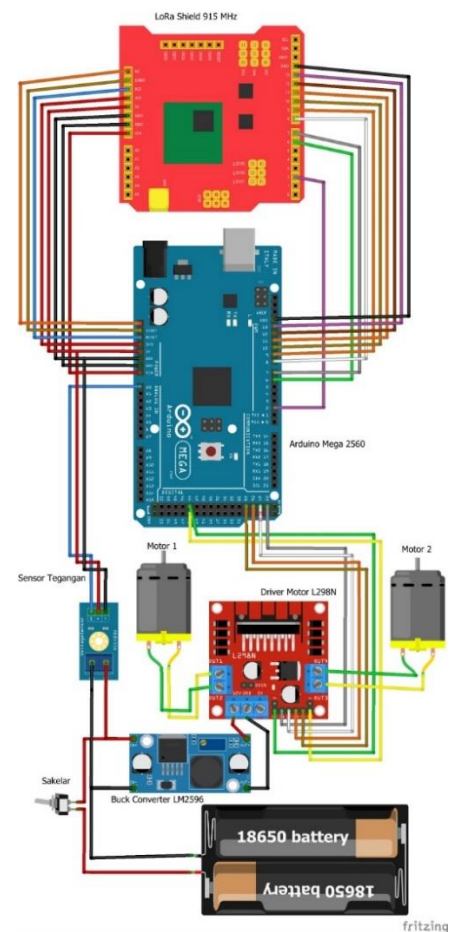
III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Rangkaian

Rancangan keseluruhan akan membahas cara kerja pengiriman dan penerimaan data serta pengaturan arah gerak oleh *wireless controller* termasuk rancangan *hardware* yang telah dijelaskan sebelumnya. Setelah melakukan pengujian fungsi setiap komponen, selanjutnya melakukan pengujian seluruh komponen yang telah disatukan menjadi *wireless controller* untuk menggerakkan RC car. Pada *wireless controller* terdapat komponen berupa Arduino Uno R3, modul LoRa shield 915 MHz, sensor tegangan, joystick KY-023, LCD 20x4 dengan I2C, dan 2 buah baterai 18650. Pada RC car terdapat komponen Arduino Mega 2560, modul LoRa shield 915 MHz, sensor tegangan, motor driver L298N, 2 buah motor DC, buck converter LM2596, dan 2 buah baterai 18650.



Gambar 10. Wiring Wireless Controller



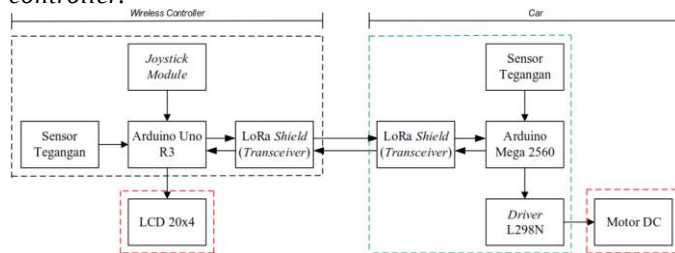
Gambar 11. Wiring RC Car

B. Blok Diagram

Blok diagram pada [Gambar 12](#) menunjukkan alur proses dari sistem kerja rancang bangun RC car. Proses ini dimulai dari input, yang terdiri dari *joystick* dan sensor tegangan pada *wireless controller*, serta sensor tegangan dan sensor ultrasonik pada RC car. Input tersebut akan dikomunikasikan melalui LoRa shield pada kedua perangkat mikrokontroler, yaitu Arduino Uno R3 pada *wireless controller* dan Arduino Mega 2560 pada RC car.

Pada *wireless controller*, Arduino Uno R3 akan menerima data dari *joystick* dan sensor tegangan, kemudian akan mengirimnya melalui LoRa shield untuk diterima oleh Arduino Mega 2560 pada RC car. Setelah menerima Sementara itu, Arduino Mega 2560 akan menerima data dari *wireless controller*. Setelah menerima data, Arduino Mega 2560 akan mengirim instruksi berupa penggerakan motor DC melalui driver L298N.

Dengan demikian, sistem ini memungkinkan pengendalian RC car secara nirkabel melalui *wireless controller* dengan menggunakan teknologi LoRa untuk komunikasi data antara kedua perangkat mikrokontroler, serta menyajikan informasi melalui LCD 20x4 pada *wireless controller*.



Gambar 12. Blok diagram

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran Nilai RSSI (Received Signal Strength Indication) dan SNR (Signal to Noise Ratio) dalam keadaan LOS

Pada pengukuran ini, RSSI akan diukur untuk mendapatkan informasi kekuatan sinyal yang diterima dan SNR untuk mendapatkan nilai rasio dari RSSI dan *noise* yang ada di lokasi pengujian. RC car akan berada di radius 0-700 meter dalam keadaan LOS (*line of sight*) dari *wireless controller* dan akan diuji sebanyak 3x untuk diambil nilai rata-rata dari RSSI dan SNR. Setelah itu, RC car akan mengirim data untuk ditampilkan oleh LCD berupa nilai RSSI, SNR dan persentase baterai RC car. Modul Lora memiliki batas minimal nilai RSSI sebesar -120 dB [9]. Jika kurang dari nilai tersebut, maka RC car dan *wireless controller* tidak akan bisa saling berkomunikasi. Hasil pengukuran nilai RSSI dan SNR dapat dilihat pada [Tabel 1](#).

TABEL 1
HASIL PENGUKURAN NILAI RSSI DAN SNR DALAM KEADAAN LOS

No.	Jarak	Hasil	Wireless controller		RC car	
			RSSI (dB)	SNR (dB)	RSSI (dB)	SNR (dB)
1	0	Uji 1	-32	9.5	-20	9
		Uji 2	-41	9.75	-54	8.5
		Uji 3	-34	9.5	-21	8.75
		Rata-rata	-35.67	9.58	-31.67	8.75
2	100	Uji 1	-88	9.25	-102	8.75
		Uji 2	-98	8.5	-102	8.75
		Uji 3	-104	7.5	-109	8.25
		Rata-rata	-96.67	8.42	-104.33	8.58
3	200	Uji 1	-90	9.25	-94	8.75
		Uji 2	-101	9.25	-104	8.75
		Uji 3	-105	6.25	-108	8
		Rata-rata	-98.67	8.25	-102.00	8.50
4	300	Uji 1	-103	1.25	-116	5
		Uji 2	-102	8.75	-107	8.5
		Uji 3	-106	1	-115	5
		Rata-rata	-103.67	3.67	-112.67	6.17
5	400	Uji 1	-106	5.75	-109	7.25
		Uji 2	-117	8	-116	8.25
		Uji 3	-99	10.25	-103	8.75
		Rata-rata	-107.33	8.00	-109.33	8.08
6	500	Uji 1	-106	7.5	-106	8.5
		Uji 2	-104	6.75	-106	6
		Uji 3	-103	3.25	-107	6
		Rata-rata	-104.33	5.83	-106.33	6.83
7	600	Uji 1	-94	5.25	-103	3.75
		Uji 2	-101	10	-111	4.75
		Uji 3	-105	4.25	-111	6.75
		Rata-rata	-100.00	6.50	-108.33	5.08
8	700	Uji 1	-117	2.75	-117	3.75
		Uji 2	-101	6	-114	3.5
		Uji 3	-110	5.5	-117	3.75
		Rata-rata	-109.33	4.75	-116.00	3.67

Berdasarkan [Tabel 1](#) terlihat adanya perubahan yang signifikan dalam kekuatan sinyal pada jarak yang berbeda. Pada

jarak 0 meter, nilai RSSI pada *wireless controller* dan RC car masing-masing adalah -35.67 dB dan -31.67 dB, menunjukkan adanya sinyal yang kuat. Namun, seiring dengan peningkatan jarak, nilai RSSI secara konsisten menurun pada kedua perangkat, menandakan penurunan kekuatan sinyal yang diterima. Pada jarak 700 meter, nilai RSSI mencapai -109.33 dB pada *wireless controller* dan -116.00 dB pada RC car, menunjukkan sinyal yang lemah. Perubahan ini dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti redaman sinyal, gangguan lingkungan, atau kekuatan transmisi yang berkurang dari perangkat tersebut.

Berdasarkan [Tabel 1](#), terlihat variasi perubahan nilai SNR pada jarak yang berbeda. Pada jarak 0 meter, SNR pada *wireless controller* dan RC car masing-masing adalah 9.58 dB dan 8.75 dB, menunjukkan adanya rasio sinyal yang baik dibandingkan dengan tingkat *noise*. Namun, seiring dengan peningkatan jarak, SNR pada kedua perangkat cenderung menurun secara umum. Pada jarak 600 meter, SNR pada *wireless controller* bahkan mencapai -6.50 dB, menunjukkan adanya *noise* yang signifikan dalam sinyal tersebut. Sementara itu, SNR RC car pada jarak tersebut adalah 5.08 dB, masih menunjukkan rasio sinyal yang relatif baik. Perubahan ini dapat mengindikasikan adanya penurunan kualitas sinyal, meningkatnya *noise*, atau Interferensi yang disebabkan oleh komunikasi nirkabel yang berada di lokasi pengujian sehingga dapat mempengaruhi SNR.

B. Pengukuran Nilai RSSI dan SNR dalam keadaan NonLOS

Pada pengukuran dalam kondisi nonLOS, hambatan berupa gedung-gedung yang berada di Politeknik Negeri Samarinda dengan radius jarak antara *wireless controller* dan RC car yaitu sekitar 0-200 meter. Pengujian dilakukan sebanyak 3x pada setiap radius agar mendapatkan nilai rata-rata yang sesuai. Hasil pengukuran nilai RSSI dan SNR dapat dilihat pada [Tabel 2](#).

TABEL 2
HASIL PENGUKURAN NILAI RSSI DAN SNR DALAM KEADAAN NON LOS

No.	Jarak	Hasil	Wireless controller		RC car	
			RSSI (dB)	SNR (dB)	RSSI (dB)	SNR (dB)
1.	0	Uji 1	-26	9.75	-12	8.75
		Uji 2	-23	9.75	-16	9
		Uji 3	-38	9.75	-24	9.25
		Rata-rata	-29.00	9.75	-17.33	9.00
2.	50	Uji 1	-26	9.75	-12	8.75
		Uji 2	-23	9.75	-16	9
		Uji 3	-38	9.75	-24	9.25
		Rata-rata	-29.00	9.75	-17.33	9.00
3.	100	Uji 1	-92	9.5	-97	9
		Uji 2	-93	9.5	-98	8.75

No.	Jarak	Hasil	Wireless controller		RC car	
			RSSI (dB)	SNR (dB)	RSSI (dB)	SNR (dB)
4.	150	Uji 3	-92	9.5	-98	8.75
		Rata-rata	-92.33	9.50	-97.67	8.83
		Uji 1	-107	5.75	-111	7.75
		Uji 2	-106	6.5	-114	6.75
5.	200	Uji 3	-109	2.5	-112	7.25
		Rata-rata	-107.33	4.92	-112.33	7.25
		Uji 1	-110	3.75	-113	6.25
		Uji 2	-103	7.75	-107	8.5
		Uji 3	-106	7.5	-108	8.25
		Rata-rata	-106.33	6.33	-109.33	7.67

[Tabel 2](#) tersebut memuat hasil pengukuran kekuatan sinyal (RSSI) dan rasio sinyal-ke-noise (SNR) dari pengujian *wireless controller* pada mobil RC dalam berbagai jarak. Hasil rata-rata menunjukkan bahwa semakin jauh jaraknya, maka nilai rata-rata RSSI cenderung menurun, dari sekitar -29.00 dB pada jarak 0 cm menjadi -106.33 dB pada jarak 200 m. Sementara itu, SNR menunjukkan variasi yang lebih rendah, tetapi masih menunjukkan tren serupa, yaitu menurun seiring dengan peningkatan jarak. Pengujian terjauh dilakukan pada jarak 250m tetapi dikarenakan sudah tidak bisa terkoneksi dengan mobil RC pada jarak 250m, maka peneliti hanya melakukan pengambilan data hanya sampai jarak 200m. Penurunan kekuatan sinyal dan SNR seiring dengan peningkatan jarak dapat mengindikasikan adanya dampak redaman sinyal yang disebabkan oleh hambatan dan gangguan dalam lingkungan transmisi nirkabel.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Setelah melakukan penelitian dan melakukan penerapan komunikasi dua arah menggunakan teknologi LoRa pada RC car, dapat diambil beberapa simpulan antara lain:

1. Modul LoRa pada *wireless controller* dan RC car dapat saling berkomunikasi hingga radius maksimal 700 m pada kondisi LOS. Namun, setelah melewati radius tersebut, komunikasi modul menjadi terhambat. Hal ini terjadi karena faktor seperti redaman sinyal, gangguan lingkungan, dan adanya *collision* antar perangkat LoRa saat mengirim dan menerima data.
2. Berdasarkan hasil pengujian Modul LoRa pada *wireless controller* dan RC car masih dapat saling berkomunikasi dalam radius maksimal 200 m pada kondisi Non LOS. Hal ini terjadi karena faktor seperti redaman sinyal, gangguan interferensi, dan adanya *collision* antar perangkat LoRa saat mengirim dan menerima data.

3. Pengiriman nilai kembali mengalami kendala jika pengaturan komunikasi dilakukan secara bersamaan. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan jeda waktu antara pengiriman informasi yang diberikan.

B. Saran

Selama pengerjaan skripsi dan rancang bangun tentunya tidak lepas dari segala kekuarangan dan ketidaksempurnaan, maka dari itu diberikan beberapa saran yaitu:

1. Menerapkan komunikasi 2 arah *full duplex* menggunakan 4 buah LoRa agar kualitas sinyal semakin baik serta jarak yang dapat dijangkau dapat lebih jauh.
2. Menambahkan modul kamera agar dapat memantau lokasi RC car.
3. Menambahkan GPS agar dapat mengetahui titik lokasi RC car.

REFERENSI

- [1] A. R. Batong, P. Murdiyat, dan A. H. Kumiawan, "Analisis kelayakan LoRa untuk jaringan komunikasi sistem monitoring listrik Di Politeknik Negeri Samarinda," *PoliGrid*, vol. 1, no. 2, p. 55, Dec. 2020, doi: 10.46964/poligrd.v1i2.602.
- [2] F. L. Saputra, "Rancang bangun prototype cargo cart menggunakan wireless controller berbasis Arduino Uno," Skripsi, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, 2022.
- [3] A. Sugiharto, "Penerapan komunikasi data pada kegiatan pengiriman barang," *Jurnal Mitra Manajemen*, vol. 13, no. 1, pp. 17–25, 2022.
- [4] H. Andrianto dan A. Darmawan, *ARDUINO Belajar Cepat Dan Pemrograman*, vol. 1. Bandung: INFORMATIKA, 2015.
- [5] A. Kadir, *Pemrograman Arduino Menggunakan ArduBlock*, vol. 1. Jakarta: Andi, 2017.
- [6] M. Syahwil, *Panduan Mudah Belajar Arduino Menggunakan Simulasi Proteus*, vol. 1. Yogyakarta: Andi, 2017.
- [7] M. Banzi, D. Cuartielles, T. Igoe dan D. Mellis, "Arduino," [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Diakses 9 January 2023].
- [8] R. Wicaksono, Y. Prasetyo, B. Triyono, and G. K. S. Saputra, "Sistem monitoring pertanian hidroponik tenaga surya berbasis Arduino Dan Iot," *El Sains: Jurnal Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 49–54, 2023.
- [9] B. Eric, "LoRa," [Online]. Available: <https://lora.readthedocs.io/en/latest/>. [Diakses 19 Maret 2023].

Rancang Bangun Robot Delta Berbasis Arduino Uno

Rizky Setyawan¹, Prihadi Murdiyat², Marson Ady Putra³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

e-mail rizkysetyawan20612043@gmail.com

Abstrak- Industri adalah salah satu sektor yang telah menggunakan robot dalam pekerjaannya untuk memenuhi kebutuhan konsumen secara efisien, terutama dalam tugas *pick and place* yang memerlukan tingkat keamanan, kecepatan, presisi, dan konsistensi yang tinggi. Untuk mencapai tujuan tersebut, telah dikembangkan sebuah robot delta yang cocok untuk menjalankan tugas ini, terutama dalam industri pengemasan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun robot delta yang menggunakan Arduino Uno sebagai kontroler. Penelitian ini juga membahas tentang desain mekanik robot delta, pemrograman Arduino Uno untuk mengontrol robot, serta hasil uji coba dan evaluasi performa robot dalam menjalankan tugas. Hasil akhir dari penelitian ini adalah robot delta yang dapat mengambil dan meletakkan objek benda yang berupa objek kotak secara manual dengan menentukan sudut-sudut motor Servo yang telah ditentukan. Lengan atas memiliki panjang antara poros ke poros sejauh 8,3 cm dan panjang dari ujung ke ujung 10 cm. Lengan bawah memiliki panjang antara poros ke poros sepanjang 21,7 cm. Penggunaan *gripper* pada *end effector* mampu menangkap benda dengan lebar maksimum 4 cm. Untuk ketinggian sumbu Z, robot memiliki rentang jangkauan dari 170 mm hingga 305 mm, dan tingkat keberhasilan rata-rata pada setiap perpindahan posisi yang dilakukan robot delta adalah 97.87%, untuk keberhasilan sumbu X = 98.82%, sumbu Y = 97.28%, sumbu $+X+Y -X-Y = 99.17\%$, dan sumbu $-X+Y +X-Y = 96.22\%$, serta robot delta memiliki *error* akurasi rata-rata sebesar 2.19 mm, dengan *error* akurasi paling besar mencapai 4.24 mm ketika kembali ke posisi awal.

Kata kunci: Robot Delta, Arduino Uno, Lengan Atas, Lengan Bawah, *gripper*, Motor Servo.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri menghadirkan perubahan signifikan melalui peran penting robot dalam menggantikan tugas-tugas manusia. Robot memiliki keunggulan seperti konsistensi, ketahanan, kecepatan, dan kemampuan program ulang. Di antara variasi robot, *Manipulator* robot sering digunakan dalam dunia industri untuk membantu pekerjaan terutama dalam melakukan tugas *pick & place*, yang membutuhkan keamanan, kecepatan, presisi dan konsistensi. Dalam melakukan *pick & place*, robot *manipulator parallel* merupakan tipe robot yang tepat dalam melakukan *pick & place* terutama dalam pengemasan, salah satu tipe robot yang termasuk dalam *manipulator paralel* tersebut adalah tipe delta.

Penelitian ini merancang bangun robot delta yang dapat memindahkan suatu objek dari suatu tempat ke tempat lainnya menggunakan Arduino UNO sebagai pengendalinya. Robot delta yang akan dirancang mempunyai ukuran yang standar dan menggunakan empat buah aktuator sebagai penggerak robot delta. Dimana tiga aktuator terdapat pada tiga lengan robot yang

menggunakan motor Servo DS3225 MG untuk penggerak sendi-sendi robot yang berada disetiap *joint*, dan satu aktuator pada *gripper* menggunakan motor Servo SG90. Robot delta ini akan bertugas untuk mengambil benda pada area kerja kuang lebih 210 mm pada sumbu horizontal (X dan Y), dan 305 mm pada sumbu vertikal (Z) dengan menggunakan *gripper* dan meletakkannya pada posisi tertentu.

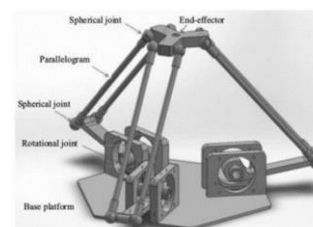
Penelitian ini terdiri dari dua tahap utama: pra perancangan dan perancangan. Dalam tahap pra perancangan, datasheet digunakan untuk merincikan spesifikasi komponen, sementara pada tahap perancangan, data diperoleh dari jurnal, situs web, pengujian perangkat, diskusi tim, dan konsultasi pembimbing.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Robot Delta

Robot Delta merupakan salah satu jenis robot lengan yang populer di dunia industri. Nama “delta” berasal dari bentuknya yang mirip segitiga yang disusun secara paralel dan memiliki 3 DOF (*Degree Of Freedom*), dari bentuknya tersebut robot ini memiliki kelebihan yaitu pergerakan yang sangat cepat, karena tidak memindahkan beban bersamaan dengan aktuatomya melainkan hanya memindahkan kerangkanya (*frame*) sehingga membuatnya ringan memungkinkan robot delta mencapai kecepatan yang tidak dapat ditandingi oleh jenis robot lain. Dengan kelebihan robot delta menjadi kandidat yang sempurna untuk melakukan tugas *pick* dan *place* pada objek yang ringan [1].

Penggunaan *parallelograms* merupakan inti dari pembuatan robot delta. Fungsi dari penggunaan tiga *parallelograms* yang dipasang untuk menahan *end effector* yang disambungkan dengan *spherical joint*, seperti pada Gambar 1 konstruksi dasar robot delta. *Spherical joint* merupakan sebuah joint yang dapat berotasi di segala arah pada tiga sumbu x, y, dan z karena konstruksi bolanya [2].



Gambar 1. Konstruksi dasar robot delta [2].

Susunan setiap lengan robot delta terhubung dengan platform dasarnya (*base*) melalui *revolute joint* yang disusun setiap 120°, sehingga membentuk susunan segitiga sama sisi,

joint ini hanya dapat berputar searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. Posisi *end effector* akan berubah sesuai derajat perputaran pada motor di *platform* dasar yang merupakan *revolute joint* nya [1].

B. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan sirkuit berbasis mikrokontroler Atmega328 yang menggunakan bahasa pemrograman C++. Papan ini memiliki 14 pin *input/output* digital, termasuk 6 pin output PWM, serta 6 *input analog*. Dilengkapi dengan resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, konektor *jack* sumber tegangan, *header* ICSP, dan tombol *reset*. Perangkat ini dapat diaktifkan dengan kabel USB dari komputer atau tegangan dari baterai atau adaptor AC-DC [3].



Gambar 2. Arduino Uno [4].

TABEL 1
SPESIFIKASI ARDUINO UNO [5].

Spesifikasi	Detail
Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan Operasi	5 Volt
Tegangan <i>Input</i> (Rekomendasi)	7-12 Volt
Tegangan <i>input</i> (limit)	6-20 Volt
<i>Pin</i> I/O Digital	14 (6 <i>pin</i> dapat digunakan untuk membangkitkan output sinyal PWM)
<i>Pin</i> <i>Input</i> Analog	6
Arus per <i>pin</i> I/O	40 mA
Arus pada <i>pin</i> 3.3 volt	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB (Atmega328) 0,5 kB digunakan untuk <i>bootloader</i>
SRAM	2kB (Atmega328)
EEPROM	1 kB (Atmega328)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

C. Catu Daya

Catu daya merupakan sumber tegangan DC yang berfungsi untuk menyuplai atau memberikan tegangan dan arus. Dalam penelitian ini, penggunaan konverter AC/DC SMPS dan *Buck Converter* tipe LM2596 digunakan untuk menyediakan sumber tegangan DC ini.

1) AC/DC Switch Mode Power Supply

Konverter AC/DC SMPS adalah sebuah sistem catu daya yang menggunakan sakelar elektronik untuk mengatur dayanya. Biasanya sistem ini terdapat pada rangkaian sumber daya atau regulator/power supply pada perangkat elektronik [6]. Alat listrik ini mempunyai beberapa ukuran kekuatan daya, dan salah satunya adalah catu daya 12V yang peneliti gunakan dan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. AC/DC SMPS 12V 10A [7].

2) Buck Converter

Buck Converter merupakan sebuah komponen elektronik yang bertugas untuk mengubah tegangan listrik DC menjadi tegangan DC yang lebih rendah daripada tegangan sumbernya [8]. Salah satu bentuk fisik *buck converter* dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4. Buck converter tipe LM2596 [9].

D. Motor Servo

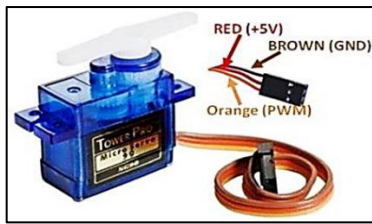
Motor Servo merupakan suatu jenis aktuator elektromekanis yang tidak berputar secara terus-menerus seperti motor DC atau motor *stepper*. Perangkat motor ini terdiri dari motor DC, serangkaian *gear*, rangkaian kontrol, dan potensiometer [10]. Berdasarkan batas putaran, terdapat dua jenis motor Servo, yaitu:

1) Motor Servo Standar

Motor Servo ini hanya dapat bergerak dalam dua arah, yaitu CW dan CCW, dengan batas sudut masing-masing sebesar 90°. Dengan demikian, total sudut putaran yang dapat dicapai adalah 180° dari posisi tengah ke kanan dan ke kiri [11]. Motor Servo yang digunakan dalam penelitian ini bertipe SG90 dengan spesifikasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 5 menunjukkan bentuk fisik motor Servo SG90.

TABEL 2
SPESIFIKASI MOTOR SERVO SG90 [12].

Spesifikasi	Keterangan
Dimensi (perkiraan)	22.2 × 11.8 × 31 mm
Berat	9 gr
<i>Stall torque</i>	1.8 kgf.cm
Kecepatan Operasi	0.1 s/60 derajat
Tegangan Operasi	4.8V (~5V)
<i>Dead band width</i>	10 μs
Rentang suhu	0°C – 55°C



Gambar 5. Motor Servo SG90 [12].

2) Motor Kontinu

Jenis motor Servo yang memiliki kemampuan untuk bergerak ke arah *Clockwise* (CW) dan *Counter Clockwise* (CCW) tanpa batasan sudut putar, sehingga dapat melakukan putaran penuh dengan sudut 360° [11]. Motor Servo yang digunakan dalam penelitian ini bertipe DS3225 dengan spesifikasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 6 menunjukkan tampilan fisik motor Servo DS3225.

TABEL 3
SPESIFIKASI MOTOR SERVO DS3225 MG

Spesifikasi	Keterangan
Size	$40 \times 20 \times 40.5$
Weight	60g
Gear	Metal
Voltage	4.8V – 6.8V
Stall torque (5V)	24.5 kg/cm (291.5oz/in)
Stall torque (6.8V)	28 kg/cm (340.1 oz/in)
Speed (5V)	0.15 sec/ 60°
Speed (6.8V)	0.13 sec/ 60°
Running degree	270°

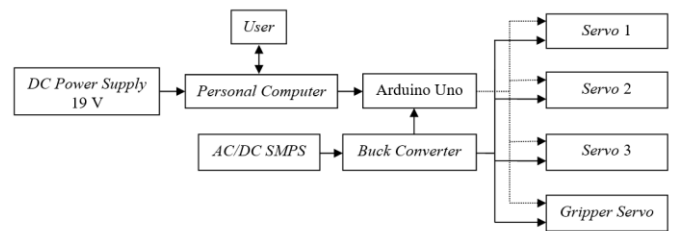


Gambar 6. Motor Servo DS3225 MG [13].

III. PERANCANGAN

A. Gambaran Umum Sistem

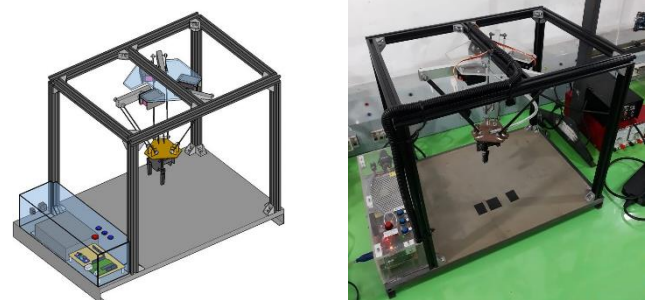
Robot Delta dikendalikan oleh Arduino Uno melalui antarmuka komputer yang dibuat menggunakan aplikasi Arduino IDE. Data pergerakannya dikirim dari komputer ke Arduino Uno melalui koneksi USB, di mana Arduino Uno akan memproses data tersebut. Motor Servo akan diatur oleh Arduino Uno untuk menggerakkan robot delta sesuai dengan slider pengendali pada antarmuka komputer. Diagram blok sistem perancangan Robot Delta berbasis Arduino Uno dijelaskan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Diagram blok sistem

B. Perancangan Mekanik

Pada Gambar 8, dapat dilihat perancangan mekanik robot delta dimulai dengan mendesain mekanikalnya yang sudah terangkai dan tersambung secara keseluruhan. Kerangka robot delta dibagi menjadi empat bagian yaitu body (*base*), lengan bagian atas, lengan bagian bawah (*parallelograms*), *end effector* dan *stand*. Robot dibuat dengan menggunakan bahan akrilik, bahan aluminium 6061, dan papan PCB yang menggunakan bahan berbasis *fiberglass* yang dilapisi dengan lapisan tembaga sebagai bahan dasarnya. Penggunaan akrilik akan digunakan pada *base platform* dan aluminium *square tube* pada lengan bagian atas sedangkan untuk pcb *fiberglass* pada *end effector*. Selain itu bahan dalam pembuatan *stand* menggunakan aluminium *profile* 2020.



Gambar 8. Perancangan mekanik

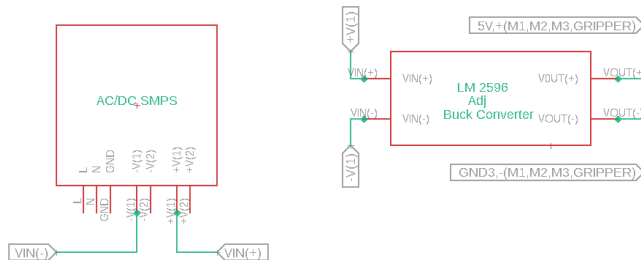
C. Perancangan Rangkaian Elektronik

Pada perancangan umum sistem Robot Delta, terdapat beberapa komponen utama yang digunakan. Komponen tersebut meliputi komputer/laptop, konverter AC/DC SMPS, buck converter, Arduino Uno R3, dan Motor Servo. Dalam rancangan Robot Delta, AC/DC SMPS digunakan sebagai sumber tegangan untuk buck converter guna memberikan tegangan input yang diperlukan untuk menggerakkan motor Servo. Sementara itu, komputer/laptop digunakan sebagai media pemrograman yang akan dikirimkan ke Arduino Uno R3 yang berfungsi sebagai otak dari Robot Delta.

1) AC/DC SMPS

Konverter AC/DC SMPS dalam pembuatan alat ini dihubungkan ke buck converter untuk menyediakan tegangan input yang diperlukan oleh buck converter agar dapat mengoperasikan motor Servo. Skematik hubungan konverter AC/DC SMPS pada buck converter ditunjukkan pada Gambar 9. Keluaran DC dari AC/DC SMPS dihubungkan pada masukan buck converter, sehingga tegangan output SMPS yang sebesar

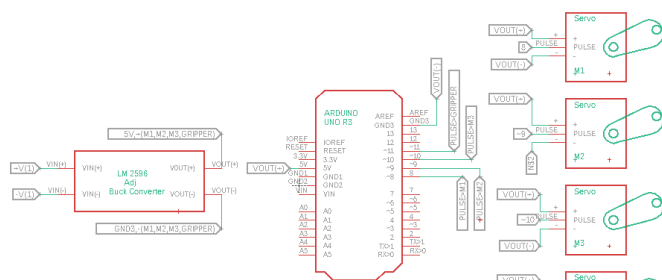
12 V dapat diturunkan menjadi 5 V, sehingga sesuai dengan tegangan yang diperlukan oleh *board* Arduino dan motor servo 5 V. Penggunaan dua tahap sumber tegangan ini adalah untuk mengakomodasi asesories robot yang tetap memerlukan tegangan 12 V, seperti pompa vakum.



Gambar 9. Skematik hubungan AC/DC SMPS pada buck converter.

2) Buck Converter

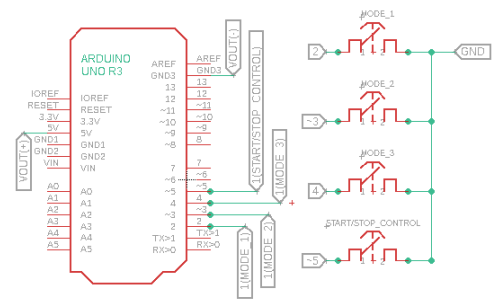
Buck Converter digunakan dalam pembuatan alat ini dengan tujuan untuk menyediakan tegangan yang diperlukan pada motor Servo. Adapun skematiknya ditunjukkan pada Gambar 10. Sesuai gambar, terminal + dan – untuk tegangan sumber *board* Arduino dan seluruh motor servo dihubungkan pada keluaran *buck converter*. Kemudian, untuk menggerakkan tiap motor servo, pulsa yang dihasilkan oleh Arduino Uno pada pin 8, 9, 10, dan 11, berturut-turut dihubungkan dengan pin pulse/kontrol pada motor servo M1, M2, M3, dan gripper.



Gambar 10. Skematik hubungan buck converter pada Arduino Uno dan Motor Servo

3) Push Button

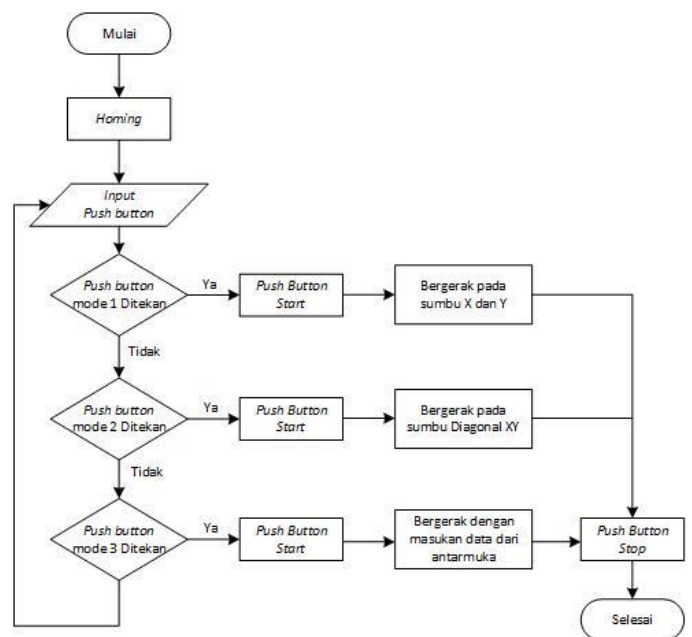
Dalam perancangan ini, terdapat empat *push button* yang digunakan untuk *start/stop* robot Delta dan mengubah mode kerja robot. Adapun skematiknya ditunjukkan pada Gambar 11. Berdasar gambar, empat buah *push button* dihubungkan masing-masing pada pin 2, 3, 4, dan 5 sebagai masukan untuk Arduino. Berturut-turut, *push button* yang terhubung pada pin 2, 3, 4, dan 5 digunakan untuk mengaktifkan mode 1, mode 2, mode 3, dan start/stop. Ketika *push button* diaktifkan, pin Arduino akan mendapatkan tegangan 0 V (aktif LOW).



Gambar 11. Skematik hubungan *push button* pada Arduino Uno.

D. Perancangan Program

Perancangan program adalah suatu rancangan yang dibuat menggunakan komputer tentang bagaimana program akan bekerja, termasuk bagaimana data akan disimpan, dan bagaimana tugas-tugas akan dijalankan. Berikut ini adalah diagram alir program pengendali robot delta yang dapat dilihat pada Gambar 12.



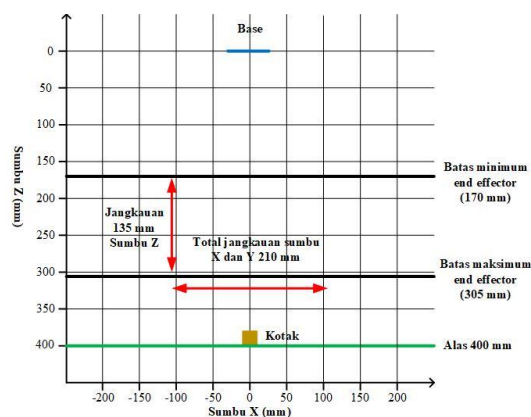
Gambar 12. Diagram alir program.

Penjelasan untuk Gambar 12, Ketika diaktifkan pertama kali, robot akan melakukan homing, di mana motor servo M1, M2, dan M3 akan mengatur lengan agar ujung *gripper* berada pada posisi awal. Selanjutnya, program menunggu adanya penekanan salah satu *push button*. Ketika *push button* mode 1 ditekan, maka robot melakukan gerakan pada sumbu X dan Y. Jika *push button* mode 2 ditekan, maka robot bergerak pada sumbu diagonal X dan Y. Selanjutnya, jika dipilih mode 3, maka robot akan menunggu daftar gerakan yang dikirim oleh komputer/laptop melalui kabel USB. Ketiga jenis mode ini dapat dimatikan atau diaktifkan kembali oleh tombol START/STOP.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Ketinggian End Effector Pada Sumbu Z

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui batas ketinggian minimum dan maksimum pada *end effector*. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur ketinggian sumbu Z dan sudut ketiga *Servo* setiap interval 15 mm dari minimum hingga maksimum. Hasil pengujian ditunjukkan pada [Gambar 13](#) dan hasil data pengujian ditunjukkan pada [Tabel 4](#).



Gambar 13. Area kerja pada sumbu Z setelah pengujian.

TABEL 4

HASIL PENGUJIAN SUMBU Z DAN SUDUT MOTOR SERVO

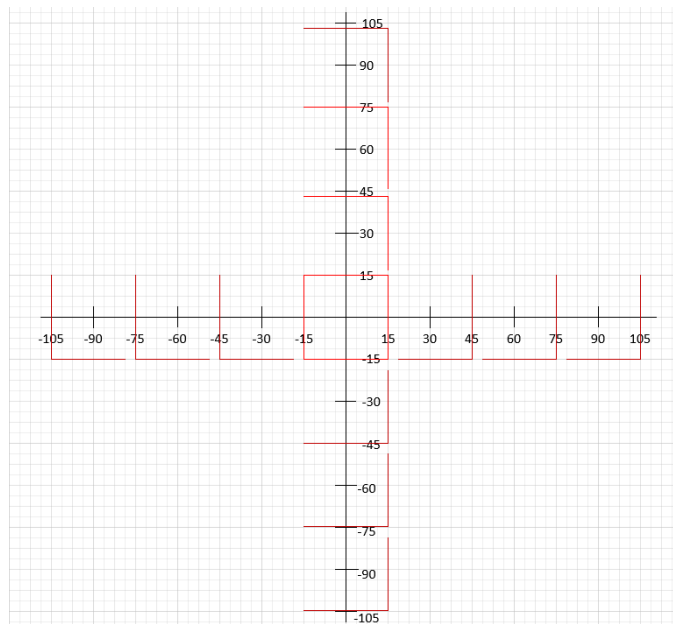
Percobaan	Pengukuran			
	Sumbu Z (mm)	Sudut Servo 1 (°)	Sudut Servo 2 (°)	Sudut Servo 3 (°)
1	170	150	150	150
2	185	125	125	125
3	200	110	110	110
4	215	95	95	95
5	230	85	85	85
6	245	75	75	75
7	260	65	65	65
8	275	55	55	55
9	290	45	45	45
10	305	37	37	37

Hasil pengujian ketinggian sumbu Z yang ditunjukkan pada [Gambar 13](#) dapat dilihat bahwa robot memiliki rentang jangkauan dari 170 mm hingga 305 mm, karena jika diberi ketinggian melebihi batas maksimum maka dapat merusak *gripper* karena menyentuh alas aluminium sementara pada [Tabel 4](#) tampak perubahan sudut *Servo* saat nilai sumbu Z meningkat. Jika nilai sumbu Z meningkat, maka nilai sudut *Servo* cenderung berkurang dan nilai sudut *Servo* relatif sama dalam setiap percobaan terhadap perubahan nilai sumbu Z.

B. Pengujian Akurasi Pick & Place Serta Area Kerja Pada Sumbu XY

Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan kertas milimeterblok di atas alas aluminium sebagai tempat untuk menandai posisi objek yang akan diletakkan. Dalam percobaan ini, dilakukan penandaan posisi objek dan pengukuran jarak perpindahannya. Objek yang digunakan adalah sebuah kotak berukuran 30 mm x 30 mm lalu data diambil dengan mengatur posisi objek setiap 30 mm pada sumbu X, sumbu Y, dan secara diagonal sumbu XY. [Gambar 14](#) dan [Gambar 15](#) menunjukkan

hasil pengujian perpindahan yang ditandai dalam satuan milimeter.



Gambar 14. Hasil pengujian perpindahan yang ditandai di milimeterblok pada sumbu X dan Y.

Pengujian pada [Gambar 14](#) menunjukkan bahwa perpindahan objek pada sumbu X relatif mendekati titik yang diharapkan, tetapi objek mengalami perputaran. Perpindahan sumbu X negatif menghasilkan putaran berlawanan arah jarum jam, sementara perpindahan sumbu X positif menghasilkan putaran searah jarum jam. Pergeseran sumbu Y positif dan negatif mengakibatkan pergeseran pusat ke arah sumbu X positif.

TABEL 5

HASIL DATA PENGUKURAN SUDUT SERVO DAN PENGUKURAN PERPINDAHAN SETIAP POSISI PADA SUMBU X.

Uji	Penentuan Sumbu (mm)		Pengukuran Sumbu (mm)		Kuadrat Rata-rata (mm)		Error Rata-rata (%)
	X	Y	X	Y	Penentuan	Pengukuran	
1	105	-15	104,5	-11	106,06	105,07	0,93
2	75	-15	76	-17	76,48	77,87	1,82
3	45	-15	44	-15	47,34	46,48	1,99
4	-45	-13	-46,5	-13	47,43	48,28	1,78
5	-75	-15	-76	-11	76,48	76,79	0,40
6	-105	-15	-105	-14	106,06	105,92	0,12
Rata-rata Total					76,66	76,74	1,17

TABEL 6

HASIL DATA PENGUKURAN SUDUT SERVO DAN PENGUKURAN PERPINDAHAN SETIAP POSISI PADA SUMBU Y.

Uji	Penentuan Sumbu (mm)		Pengukuran Sumbu (mm)		Kuadrat Rata-rata (mm)		Error Rata-rata (%)
	X	Y	X	Y	Penentuan	Pengukuran	
1	15	105	15	100	106,06	101,11	4,66
2	15	75	16	77	76,48	78,64	2,82
3	15	45	17,5	42	47,34	45,5	4,07
4	15	-45	16	-44	47,43	46,81	1,29
5	15	-75	16	-74	76,48	75,70	1,01
6	15	-105	17,5	-102	106,06	103,49	2,42
Rata-rata Total					76,66	75,21	2,71

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan pada [Tabel 5](#) diperoleh bahwa penyimpangan letak titik tengah objek hasil pengukuran dibanding hasil penentuan untuk pengujian *pick and place* pada sumbu X memberikan *error* rata-rata sebesar 1,17% dengan *error* minimum sebesar 0,12% dan *error* maksimum 1,99%. Hal ini menggambarkan bahwa peletakan objek pada sumbu X telah mencapai tingkat akurasi yang sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan. Selanjutnya, sesuai hasil pengukuran dan perhitungan pada [Tabel 6](#) dimana penyimpangan letak titik tengah objek hasil pengukuran dibanding hasil penentuan untuk pengujian *pick and place* pada sumbu Y memberikan *error* rata-rata sebesar 2,71% dengan *error* minimum sebesar 1,01% dan *error* maksimum sebesar 4,66%, juga dapat disimpulkan bahwa peletakan objek pada sumbu Y dinilai mencapai tingkat akurasi yang sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan, walaupun nilainya lebih besar dibanding pada peletakan di sumbu X. Selain pengujian *pick and place* sepanjang sumbu X dan Y, juga dilakukan pengujian *pick and place* pada arah diagonal yang hasilnya ditunjukkan pada [Tabel 7](#) dan [Tabel 8](#).

TABEL 7

HASIL DATA PENGUKURAN SUDUT SERVO DAN PENGUKURAN PERPINDAHAN SETIAP POSISI PADA SUMBU +X+Y DAN -X-Y.

Uji	Penentuan Sumbu (mm)		Pengukuran Sumbu (mm)		Kuadrat Rata-rata (mm)		Error Rata-rata (%)
	X	Y	X	Y	Penentuan	Pengukuran	
1	65	85	65	87	107	108,60	1,49
2	40	50	39	50	64,03	63,41	0,96
3	-40	-50	-38	-51	64,03	63,60	0,67
4	-65	-85	-64	-86	107	107,20	0,18
Rata-rata Total					85,51	85,70	0,82

Dari data hasil pengukuran dan perhitungan pada [Tabel 7](#), ditemukan bahwa penyimpangan letak titik tengah objek dari hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil penentuan pada pengujian *pick and place* pada sumbu +X+Y -X-Y menghasilkan rata-rata *error* sebesar 0,82%, dengan *error* minimum 0,18% dan *error* maksimum 1,49%. Hal ini menggambarkan bahwa peletakan objek pada sumbu +X+Y -

X-Y telah mencapai tingkat akurasi yang sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan.

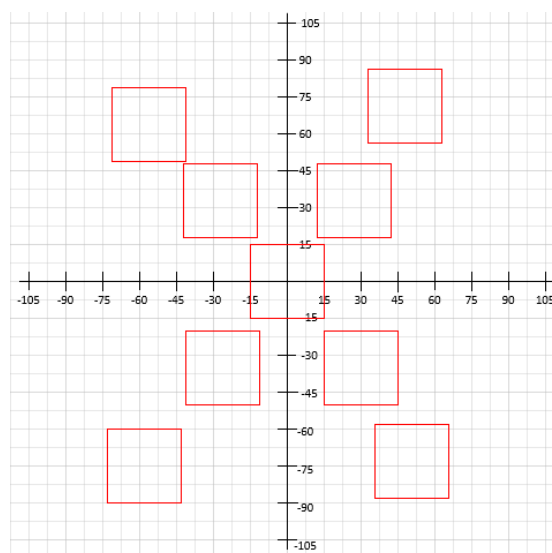
TABEL 8

HASIL DATA PENGUKURAN SUDUT SERVO DAN PENGUKURAN PERPINDAHAN SETIAP POSISI PADA SUMBU -X+Y DAN +X-Y.

Uji	Penentuan Sumbu (mm)		Pengukuran Sumbu (mm)		Kuadrat Rata-rata (mm)		Error Rata-rata (%)
	X	Y	X	Y	Penentuan	Pengukuran	
1	-65	85	-61	81	107	101,40	5,23
2	-40	50	-41	51,5	64,03	65,82	2,80
3	40	-50	44	-51	64,03	67,35	5,19
4	65	-85	67	-86	107	109,01	1,88
Rata-rata Total					85,51	85,90	3,77

Selanjutnya, hasil pengukuran dan perhitungan pada [Tabel 8](#) menunjukkan bahwa penyimpangan letak titik tengah objek dari hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil penentuan pada pengujian *pick and place* pada sumbu -X+Y +X-Y menghasilkan rata-rata *error* sebesar 3,77%, dengan *error* minimum 1,88% dan *error* maksimum 5,23%. juga dapat disimpulkan bahwa peletakan objek pada sumbu -X+Y +X-Y dinilai mencapai tingkat akurasi yang sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan, walaupun nilainya lebih besar dibanding pada peletakan di sumbu +X+Y -X-Y.

Error yang terjadi pada pengujian ini disebabkan oleh dua faktor mekanikal yang menyebabkan masalah saat melakukan *pick and place*, yaitu ketidakkokohan pada lengan bagian atas yang terhubung ke *shaft* motor Servo dan juga ketidakkokohan pada bagian *end effector*, yang berdampak pada kurangnya akurasi dalam pengujian tersebut.



Gambar 15. Hasil pengujian perpindahan secara diagonal yang ditandai di milimeter blok pada sumbu X dan sumbu Y.

[Gambar 15](#) menunjukkan hasil pengujian perpindahan objek pada sumbu +X+Y -X-Y yang mendekati posisi yang diharapkan. Namun, terdapat perbedaan antara pengukuran dan posisi yang ditentukan, dengan pergeseran sekitar 1 mm hingga

2 mm pada sumbu +X+Y dan -X-Y. Pada perpindahan objek sumbu -X+Y +X-Y, pergeseran lebih besar, yaitu sekitar 1 mm hingga 4 mm, artinya pergeseran ini lebih besar dibandingkan dengan pengujian perpindahan pada sumbu +X+Y -X-Y.

C. Pengujian Akurasi Saat Balik Posisi Awal Pada Sumbu XY

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah setelah objek benda diletakkan pada posisi yang ditentukan, objek dapat kembali ke posisi awal (15, 15) mm pada sumbu XY. Proses pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali diatas kertas milimeterblok untuk setiap posisi, dengan tujuan menguji tingkat pengulangannya (*repeatability*). Objek diletakkan pada posisi sumbu X, sumbu Y, dan secara diagonal dengan kombinasi sumbu XY pada posisi maksimum yang dapat dicapai, yaitu (15, -105) mm, (65, -85) mm, (105, 15) mm, (65, 85) mm, (15, 105) mm, (-65, 85) mm dan (-65, -85) mm. Dapat dilihat pada Tabel 9 merupakan hasil data pengukuran pada pengujian saat benda kembali ke posisi awal.

TABEL 9
PENGUJIAN PENGUKURAN SAAT BALIK KE POSISI AWAL

Uji	Posisi peletakan benda (mm)	Pengukuran saat balik ke posisi awal (mm)		Error Perpindahan saat balik ke posisi awal (mm)		Error Rata-rata (mm)
		X	Y	X-15	Y-15	
1	(105, -15)	14	14	1	1	1,41
2	(65, -85)	15	16	0	1	1
3	(15, -105)	13	15	2	0	2
4	(-65, -85)	17	16	2	1	2,23
5	(-105, -15)	14	15	1	0	1
6	(-65, 85)	13	13	2	2	1,82
7	(15, 105)	12	18	3	3	4,24
8	(65, 85)	13	17	2	2	2,82
Rata-rata				1.62	1.25	2.19

Nilai *error* rata-rata pengujian adalah 2,19 mm, dengan satu kasus paling tinggi mencapai 4,24 mm ketika objek ditempatkan pada (15,105) mm. Hal ini menunjukkan ketidakpresisian dalam pengembalian objek ke posisi awal, disebabkan oleh pengambilan objek *gripper* yang hanya mengangkat setengah bagian objek. Pada pengembalian, objek bergeser dan berbenturan dengan alas aluminium, mengakibatkan perpindahan posisi objek.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan penelitian rancang bangun robot delta berbasis Arduino Uno, dapat disimpulkan bahwa lebar maksimum yang dapat ditangkap oleh *gripper* adalah 4 cm. Selanjutnya juga diperoleh bahwa robot delta memiliki jangkauan 135 mm pada ketinggian sumbu Z dari minimum 170 mm hingga maksimum 305 mm, karena jika diberi ketinggian melebihi batas maksimum maka dapat merusak *gripper* karena menyentuh alas aluminium.

Tingkat keberhasilan rata-rata pada setiap perpindahan posisi yang dilakukan robot delta adalah 97,87%, untuk keberhasilan sumbu X = 98,82%, sumbu Y = 97,28%, sumbu +X+Y -X-Y = 99,17%, dan sumbu -X+Y +X-Y = 96,22%.

Sementara, *error* akurasi rata-rata robot delta adalah sebesar 2,19 mm, dengan *error* akurasi paling besar mencapai 4,24 mm ketika kembali ke posisi awal dari posisi penempatannya yaitu (15,105) mm.

B. Saran

Penelitian rancang bangun robot delta berbasis Arduino Uno ini tidak lepas dari berbagai kekurangan dan kelemahan. Berikut adalah beberapa saran untuk pengembangan penelitian ini. Saran pertama adalah perlunya perhitungan kinematika dalam pembuatan robot agar dapat menentukan hubungan antara derajat kebebasan, posisi dan orientasi dari *end effector* pada lengan robot. Kemudian, proses pembuatan mekanik robot dapat ditingkatkan dengan menggunakan material yang memiliki kekuatan dan ketebalan yang lebih tepat, dan juga tetap ringan agar meningkatkan kekokohan robot sehingga dapat bergerak dengan lebih leluasa. Selanjutnya, untuk meningkatkan tingkat kepresisian robot dapat dilakukan dengan menggunakan aktuator yang presisi dan pergerakan yang lebih halus, seperti motor *stepper* atau dengan mengatur nilai PWM pada program arduino pada motor *Servo*. Juga, penambahan sensor pada robot agar dapat dioperasikan dengan mode otomatis.

REFERENSI

- [1] E. Deo dan M. Martanto, "Robot paralel konfigurasi delta dengan penggerak motor servo," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro 2021 (SENTER 2021)*, Bandung, Nov 18, 2021.
- [2] R. T. Arrazate, "Development of a URDF file for simulation and programming of a delta robot using ROS," Master thesis, CIDESI, Mexico, 2017.
- [3] M. D. Tobi, "Rancang bangun robot beroda pemadam api menggunakan Arduino Uno rev.1.3," *Electro Luceat*, vol. 1, no. 1, pp. 52-61, 2015, doi: 10.32531/jelekn.v1i1.16.
- [4] D.M Sobirin dan J. Utama, "Perancangan sistem multi Computer Numerical Control (CNC) untuk plotter dan laser engraving," *Komputika*, vol. 9, no. 1, pp. 7-25, 2019, doi: <https://doi.org/10.34010/komputika.v9i1.2652>.
- [5] R. T. Putra, "Penginderaan jarak jauh (citra lokasi & kualitas udara)," Undergrad. thesis, Univ. 17 agustus 945, Surabaya, 2018.
- [6] N. E. Wijanarko, S. Pradana, dan E. Yadie, "Rancang bangun sistem alat praktikum TRIAC di laboratorium elektronika daya dengan pengendali Arduino Uno," *PoliGrid*, vol. 2, no. 2, p. 62, 2021, doi: 10.46964/poligrd.v2i2.711.
- [7] "Jual adaptor power supply switching 12v 10a 120w." <https://rosykomputer.com/adaptor-power-supply-switching-12v-10a-120w/> (accessed Dec. 15, 2022).
- [8] M. Ali, *Aplikasi Elektronika Daya Pada Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: UNY Press, 2018.
- [9] R. Hariansyah dan A. L. Satriawan, "Telemeteri level untuk tangki penampungan pada proses penjernihan air sungai berbasis iot menggunakan arduino," Tugas Akhir, Dep. Tek. Elektro otomasi, Inst. Teknol. Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [10] U. Latifa dan J. Slamet Saputro, "Perancangan robot arm gripper berbasis Arduino Uno menggunakan antarmuka Labview," *Barometer*, vol. 3, no. 2, pp. 138-141, 2018, doi: 10.35261/barometer.v3i2.1395.

- [11] S. Muslimin, “Analisis pulse motor servo sebagai penggerak utama Lengan robot berjari berbasis Mikrokontroler,” *Proton*, vol. 10, no. 1, pp. 1–5, 2018, doi: 10.31328/jp.v10i1.800.
- [12] R. Ramdan, L. Lasmadi, dan P. Setiawan, “Sistem pengendali On-Off lampu dan motor servo sebagai penggerak gerendel pintu berbasis Internet of Things (IoT),” *Avitec*, vol. 4, no. 2, p. 211, 2022, doi: 10.28989/avitec.v4i2.1317.
- [13] M. A. Elmeihri, “Design of a control system for an indirect solar dryer,” Master’s Degree, Inst. Politec. Braganca, Port., 2019.

Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Penerimaan Iradiasi Matahari Dan Daya Keluaran Yang Dihasilkan

Dihya Ahmad Rasyid Ridho¹, Rusda², Marson Ady Putra³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

Jl. DR. Ciptomangunkusumo, Kampus Gunung Lipan, Samarinda, Kalimantan Timur

E-mail: rusda@polnes.ac.id

Abstrak- Saat ini dunia banyak dihadapkan oleh tantangan global, salah satunya adalah pemanfaatan energi matahari sebagai energi terbarukan. Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi besar memanfaatkan energi matahari dengan menggunakan panel surya. Untuk dapat memaksimalkan energi matahari yang bisa diterima oleh panel surya perlu diketahui sudut kemiringan yang optimal dalam pemasangannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan dengan melihat perubahan tegangan, arus, dan daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 50 WP terhadap perubahan sudut kemiringan panel surya. Penelitian dilakukan secara langsung selama beberapa waktu dengan membandingkan sudut kemiringan panel surya 0°, 10°, 30° dan 45°. Hasil dari pengujian ini didapatkan bahwa sudut kemiringan akan memengaruhi besar iradiasi yang diterima panel dan besar daya keluaran yang dihasilkan. Sudut kemiringan yang efektif pada lokasi pengujian ini adalah 10 derajat dibanding sudut lainnya. Sudut 10 derajat dapat menerima iradiasi matahari terbesar sebesar 1291 watt/ m², dengan daya keluaran yang dapat dihasilkan sebesar 50.81 watt pada kondisi cuaca cerah.

Kata kunci : Panel Surya, Energi Matahari, Sudut Kemiringan

I. PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini dunia dihadapkan oleh banyaknya tantangan *global*, salah satunya adalah pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan untuk menggantikan bahan bakar fosil [1], [2], [3]. Hal ini dikarenakan bahan bakar fosil tidak dapat digunakan selamanya karena sumbernya yang terbatas dan dapat habis suatu waktu, selain itu bahan bakar fosil ini dapat menyebabkan masalah di masyarakat seperti pencemaran lingkungan dan pemanasan *global* [2], [3]. Tidak seperti bahan bakar fosil, penggunaan energi matahari sebagai sumber energi tidak berkontribusi dalam meninggalkan jejak karbon pada lingkungan [2].

Letak astronomis dari negara Indonesia yang berada pada daerah ekuator atau khatulistiwa dengan titik koordinat 6° LU - 11° LS dan 95° BT - 141° BT membuat negara Indonesia memiliki iklim tropis. Hal ini mengakibatkan seluruh daerah Indonesia selalu mendapat sinar matahari sepanjang tahun dan membuat Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk menggunakan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan [3], [4]. Potensi energi cahaya matahari yang bisa dihasilkan di Indonesia perharinya diperkirakan sekitar 4.5-4.8 kWh/m² [5], [6].

Salah satu cara untuk memanfaatkan energi matahari adalah menggunakan modul panel surya sebagai komponen utama untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya [1], [3], [5], [6]. Dalam penggunaannya, besar daya keluaran dan efisiensi panel surya ini sangat dipengaruhi oleh besarnya iradiasi matahari yang dapat diserap oleh panel surya [1], [3], [5], [6], [7]. Besar kecilnya iradiasi matahari yang dapat diserap oleh panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah sudut kemiringan pemasangan panel surya [1], [2], [3], [7], [8].

II. TINJAUAN PUSTAKA

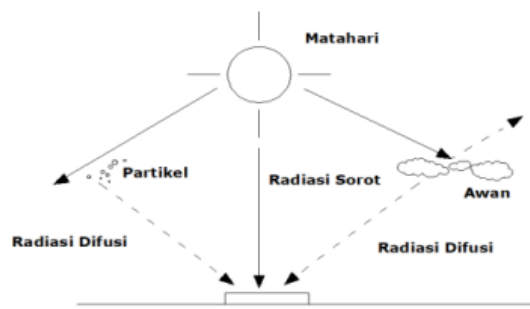
A. Energi Matahari

Energi matahari merupakan sumber energi alam yang membantu proses-proses di bumi baik secara fisis maupun biologis. Energi matahari ini tersebar dalam bentuk pancaran radiasi untuk dapat sampai ke bumi dikarenakan di antara matahari dan bumi terdapat ruang hampa. Radiasi merupakan bentuk proses dari energi matahari (panas) yang dipancarkan tanpa perlu membutuhkan zat perantara untuk merambat. Radiasi ini dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang mana gelombang ini merambat dalam bentuk medan listrik dan medan magnet, sehingga tidak perlu memerlukan zat perantara dan dapat merambat dengan cepat [9], [10].

Saat mencapai bumi radiasi matahari tersebar dan direfleksi oleh atmosfer sehingga mengalami pelemahan. Terdapat tiga jenis radiasi berdasarkan dampak penyebaran oleh atmosfer ini yaitu :

1. Radiasi Sorot : Radiasi sorot merupakan radiasi yang tidak mengalami perubahan arah, pada cuaca cerah nilai radiasi sorot sebesar 0.9 kW/m².
2. Radiasi Difusi : Radiasi difusi merupakan radiasi yang telah mengalami perubahan arah dikarenakan oleh adanya refleksi dari atmosfer, pada cuaca cerah besar radiasi ini adalah 0.1 kW/m².
3. Radiasi Global : Radiasi global merupakan penjumlahan dari radiasi sorot dan radiasi difusi.

Penyebaran radiasi ini dapat dilihat pada [Gambar 1](#). Radiasi matahari dapat diukur dengan didasari oleh fluks yang jatuh pada permukaan bumi atau benda dengan posisi horizontal secara tegak lurus. Fluks dari radiasi matahari ini sendiri dapat diukur dengan menggunakan alat ukur *solar power meter* [11], [12].



Gambar 1. Sebaran radiasi pada permukaan bumi

B. Posisi Matahari

Rotasi dan revolusi bumi terhadap matahari sendiri selain berpengaruh terhadap besarnya radiasi yang dipancarkan terhadap bumi, juga berpengaruh terhadap posisi matahari yang dapat dilihat dari bumi. Hal ini kemudian akan berdampak pada posisi panel surya yang akan digunakan. Posisi matahari ini perlu dipertimbangkan agar panel surya dapat bekerja dengan menghasilkan daya keluaran secara optimal [13].

Terdapat parameter-parameter sudut untuk dapat menentukan posisi matahari yang dapat dilihat dari bumi, yaitu:

1. Sudut deklinasi (δ), merupakan sudut posisi matahari terhadap garis equator/khatulistiwa. Sudut ini dapat dicari dengan persamaan berikut:

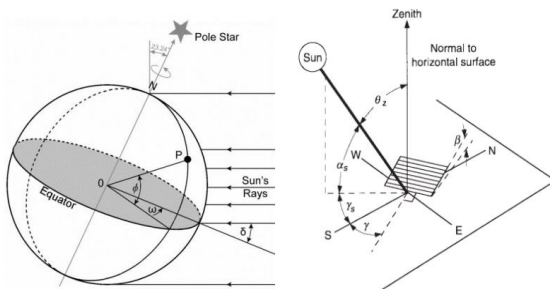
$$\delta = 23.45 \sin \left(360^\circ \left(\frac{284+n}{365} \right) \right) \quad (1)$$

Keterangan:

δ = Sudut Deklinasi ($^\circ$)

n = Jumlah hari dalam setahun dimulai dari 1 Januari

2. Sudut solar azimuth (γ_s), merupakan sudut proyeksi radiasi matahari terhadap kutub utara dan selatan secara horizontal pada suatu bidang. Sudut ini bernilai positif untuk arah barat.
3. Sudut jam (ω), merupakan sudut yang diakibatkan dari rotasi bumi terhadap matahari dengan perubahan nilai 15° untuk setiap jamnya dimana dari matahari terbit hingga pukul 12.00 bernilai negatif dan dari pukul 12.00 hingga terbenam bernilai positif.
4. Sudut zenith (θ_z), merupakan sudut antara radiasi matahari pada permukaan secara horizontal terhadap garis normal.



Gambar 2. Sudut-sudut posisi matahari terhadap bidang miring

Posisi matahari yang relatif atau berubah-ubah terhadap objek yang berada di bumi dapat dijelaskan dalam beberapa sudut antara lain sudut deklinasi, sudut jam matahari, sudut zenith, dan sudut azimuth matahari [14].

Sudut deklinasi merupakan salah satu sudut yang berpengaruh terhadap posisi panel surya. Untuk menghitung sudut deklinasi, dapat dilakukan dengan menggunakan .

Setelah mengetahui sudut deklinasi, selanjutnya dapat dicari sudut jam matahari pada waktu atau jam yang telah ditentukan dengan menggunakan berikut:

$$\omega = (ts - 12) \frac{360}{24} \quad (2)$$

Keterangan:

ω = Sudut jam matahari ($^\circ$)

ts = Jam atau waktu setempat

Dari nilai sudut jam matahari yang telah diketahui dapat digunakan untuk mencari sudut zenith dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\theta_z = \cos^{-1}(\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta) \quad (3)$$

Keterangan:

θ_z = Sudut zenith ($^\circ$)

δ = Sudut deklinasi matahari ($^\circ$)

ω = Sudut jam matahari ($^\circ$)

φ = Latitude suatu daerah ($^\circ$)

Hasil dari Persamaan 1, 2, 3 yang telah didapat, kemudian dapat digunakan untuk menghitung sudut azimuth matahari. Adapun persamaan untuk menghitung sudut azimuth matahari adalah sebagai berikut:

$$\gamma_s = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z} \right) \quad (4)$$

Keterangan:

γ_s = Sudut azimuth matahari ($^\circ$)

δ = Sudut deklinasi matahari ($^\circ$)

ω = Sudut jam matahari ($^\circ$)

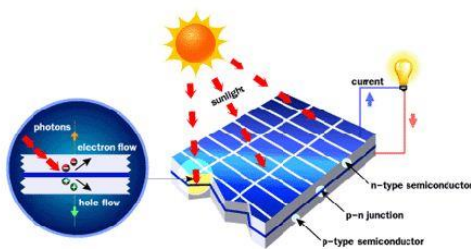
θ_z = Sudut zenith ($^\circ$)

C. Sel Surya

Sel surya merupakan bahan semikonduktor yang dapat merubah energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik atau yang biasa disebut *photovoltaic*. Sel surya sendiri awalnya ditemukan oleh Alexandre Edmond Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel melihat adanya efek *photovoltaic* ini saat semikonduktor disinari oleh sinar matahari pada larutan elektrolit [9], [10]. Sel surya biasanya terbuat dari bahan semikonduktor berupa silikon yang memiliki dua lapisan yang dipisahkan oleh penghubung dimana lapisan atas merupakan silikon tipe-n dan lapisan bawah merupakan silikon tipe-p [9], [10]. Lapisan atas atau tipe-n ini merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron sehingga bermuatan negatif sedangkan lapisan bawah atau tipe-p merupakan semikonduktor yang bersifat positif karena kelebihan muatan positif [15].

Sel surya bekerja mengonversi energi saat terjadi efek fotolistrik, efek ini adalah proses terjadinya pelepasan elektron

saat sinar matahari mengenai permukaan semikonduktor. Cahaya matahari mengandung partikel yang disebut *photon* yang memiliki energi yang besarnya tergantung panjang gelombang [16]. Peran dari *p-n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan hole) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan *p-n junction* ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya *hole* bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang [17].



Gambar 3. Ilustrasi cara kerja sel surya

D. Panel Surya

Panel surya merupakan kumpulan sel surya yang disusun sedemikian rupa agar menyerap sinar matahari dengan efektif. Dalam prosesnya, matahari akan menyinari panel surya yang kemudian sel surya akan mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses fotoelektrik. Adapun listrik yang dihasilkan oleh panel surya adalah arus listrik searah atau *direct current* (DC). Panel surya memiliki beberapa jenis yang dibedakan dari kemampuannya [18].

1. Monocrystalline

Jenis ini terbuat dari silikon murni sebagai bahan utamanya dan secara fisik memiliki warna sel yang gelap. Efisiensi jenis ini cukup tinggi yaitu 16-17%. Kelemahan dari jenis ini adalah kurang mampu untuk menyerap sinar disaat intensitas cahaya matahari kurang sehingga efisiensinya akan menurun

2. Polycrystalline

Panel surya jenis ini memiliki harga yang lebih murah dibanding *monocrystalline* karena bahan yang digunakan tidak semurni dari jenis *monocrystalline*. Efisiensi jenis ini juga lebih kecil dibanding *monocrystalline* yaitu sebesar 12-14%. Akan tetapi jenis ini memiliki kelebihan untuk tetap menyerap sinar matahari walaupun intensitasnya kurang.

3. Thin Film Photovoltaic

Berbeda dengan *Monocrystalline* dan *Polycrystalline*, Thin film Fotovoltaik merupakan panel surya dengan struktur lapisan yang tipis

E. Daya dan Efisiensi Panel Surya

Untuk mengetahui daya dan efisiensi panel surya, dapat dilakukan penghitungan dengan beberapa persamaan

menggunakan data yang didapat saat melakukan percobaan [19].

Untuk mengetahui efisiensi panel surya, perlu diketahui nilai daya *input* dan daya *output*-nya terlebih dahulu. Untuk mencari daya *input* adalah dengan mengalikan intensitas radiasi matahari yang diterima panel dengan luas permukaan panel. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$P_{in} = E \times A \quad (5)$$

Keterangan:

P_{in} = Daya input akibat radiasi matahari (Watt)

E = Intensitas radiasi matahari (Watt/m²)

A = Luas permukaan panel surya (m²)

Sedangkan daya *output* dapat dicari dari perkalian tegangan rangkaian terbuka dengan arus hubung singkat dan *Fill Factor* dari panel surya, dengan persamaan sebagai berikut.

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (6)$$

Keterangan:

P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh *photovoltaic* (Watt)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada *photovoltaic* (Volt)

I_{sc} = Arus hubung singkat pada *photovoltaic* (Ampere)

FF = *Fill Factor*

Untuk mencari *Fill Factor* dapat digunakan persamaan sebagai berikut [20].

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1} \quad (7)$$

Keterangan:

FF = *Fill Factor*

V_{oc} = Tegangan dengan sirkit terbuka (Volt)

Dari daya *input* dan daya *output* yang telah didapat maka efisiensi panel surya dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan:

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh *photovoltaic* (Watt)

P_{in} = Daya *input* akibat iradiasi matahari (Watt)

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Politeknik Negeri Samarinda dimulai dari bulan Maret hingga bulan Juli tahun 2023.

B. Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang penulis ambil pada penelitian ini adalah data kuantitatif. Data kuantitatif merupakan data yang dapat diambil dengan cara pengukuran dan perhitungan. Data yang diambil berupa nilai tegangan, arus dan iradiasi matahari.

C. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada saat melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Panel Surya

Panel surya adalah alat untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *polycrystalline* 50 Watt dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada [Tabel 1](#).

TABEL 1
SPESIFIKASI PANEL SURYA

<i>Maximum Power</i>	50 Watt
<i>Maximum Power Voltage</i>	17,6 Volt
<i>Maximum Power Current</i>	2,85 Ampere
<i>Open Circuit Voltage</i>	22,50 Volt
<i>Short Circuit Current</i>	3,04 Ampere
<i>Dimension</i>	700 x 510 x 30 mm

Alat yang digunakan pada saat melakukan penelitian ini yaitu :

1. Volt Meter

Voltmeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan pada suatu rangkaian maupun beban, baik tegangan arus bolak-balik maupun arus searah

2. Tang Ampere atau *Clamp Meter*

Tang Ampere adalah alat yang digunakan untuk mengetahui besar arus yang mengalir pada sebuah kabel dengan menggunakan prinsip induksi magnetik.

3. *Solar Power Meter*

Solar Power Meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur besar iradiasi matahari terhadap benda yang terkena sinar matahari.

4. Busur Derajat dan Kompas pada *handphone*

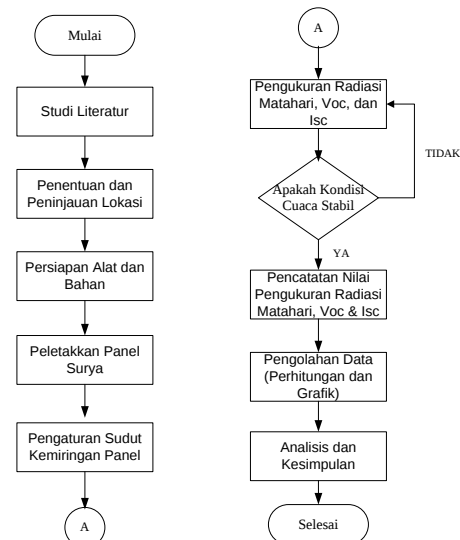
Busur derajat dan kompas pada *handphone* digunakan untuk mengatur kemiringan panel surya

5. Aplikasi *Sun Locator*

Aplikasi ini digunakan untuk mengetahui besar nilai latitude dan longitude lokasi pengujian.

D. Diagram Alur

Berikut adalah alur penelitian yang dilakukan dari mulai penelitian, persiapan, pengolahan data, hingga selesai.



Gambar. 1. Diagram alur penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum

Pengujian ini dilakukan beberapa kali dengan beberapa variabel kemiringan. Variabel kemiringan ini merupakan variabel bebas yang akan dilihat pengaruhnya terhadap variabel terikatnya yaitu tegangan *open circuit*, arus *short circuit* dan juga iradiasi matahari pada panel surya. Pengujian panel dilakukan selama beberapa jam dengan selang waktu pengambilan data adalah satu jam. Adapun letak latitude dari lokasi penelitian ini adalah -0.5345, dan longitude adalah 1246, dengan letak latitude ini kita bisa menentukan posisi matahari dari sudut *zenith* dan sudut *solar azimuth*.

B. Perhitungan Daya Masukan Panel Surya Sesuai Spesifikasi

Daya masukan (Pin) dari panel surya dapat dihitung dengan mengalikan besar intensitas iradiasi matahari yang diterima dengan luas permukaan dari panel surya yang digunakan. Dimana rata-rata besar iradiasi di Indonesia adalah 1000 watt/m² dan luas permukaan panel adalah 0.357 m². Dengan menggunakan Persamaan 5 nilai daya masukan panel dapat dicari yaitu:

$$P_{in} = E \times A$$

$$P_{in} = 1000 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \times 0.357 \text{ m}^2$$

$$P_{in} = 357 \text{ watt}$$

C. Perhitungan Daya Keluaran Panel Surya Sesuai Spesifikasi

Daya keluaran (Pout) dari panel surya dapat dihitung dengan perkalian dari Voc x Isc x FF melalui Persamaan 6 dan FF atau *Fill Factor* dapat dicari melalui Persamaan 7, maka dapat dicari daya keluaran panel surya yang digunakan yaitu:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{22.5 - \ln(22.5 + 0.72)}$$

$$FF = \frac{22.5 - \ln(22.5 + 0.72)}{22.5 + 1}$$

$$FF = 0.823616$$

$$P_{out} = 22.5 \times 3.04 \times 0.823616$$

$$P_{out} = 56.335 \text{ Watt}$$

D. Perhitungan Efisiensi Panel Surya Sesuai Spesifikasi

Efisiensi dari panel surya dapat dicari dengan perhitungan menggunakan Pout dan Pin yaitu melalui Persamaan 8, maka dapat dicari efisiensi daya panel surya yang digunakan yaitu:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{56.335}{357} \times 100\%$$

$$\eta = 15.78 \%$$

E. Hasil Pengujian Panel Surya Tanpa Beban

Pengujian keempat dilakukan pada tanggal 19 Juli 2023, pada hari tersebut sudut dari deklinasi matahari sebesar 20.82 derajat bernilai positif. Sudut deklinasi ini menunjukkan bahwa pada hari itu matahari berada pada posisi condong ke sebelah utara dengan besar sudut jika ditarik lurus dari pusat bumi sebesar 20.82 derajat terhadap garis khatulistiwa. Posisi matahari pada tanggal 19 Juli 2023 dapat dilihat pada [Tabel 2](#).

TABEL 2
SPESIFIKASI PANEL SURYA

Jam	Deklinasi (°)	Sudut Jam Matahari (°)	Zenith (°)	Solar Azimuth (°)
11	20.82	-15	25.03	-34.75
12	20.82	0	20.29	0
13	20.82	15	25.03	34.75
14	20.82	30	25.64	53.13
15	20.82	45	48.38	61.64

Pada [Tabel 2](#) diambil keputusan bahwa pengujian akan dilakukan pada pukul 11 sampai dengan 15 WITA dikarenakan terkait dengan nilai tertinggi dari radiasi matahari. Penentuan ini berdasarkan dengan grafik *Peak Sun Hour* (PSH) wilayah Indonesia.

Hasil data yang telah diolah dari pengujian pada tanggal 19 Juli 2023 yang telah dilakukan tanpa beban dapat dilihat pada [Tabel 3](#) hingga [Tabel 7](#). Pengujian ini dilakukan selama lima jam dari pukul 11.00 hingga pukul 15.00 WITA dengan rentang pengambilan data dilakukan setiap satu jam dengan kondisi cuaca pada saat itu dalam keadaan cerah.

TABEL 3
DATA PENGUJIAN JAM 11

Sudut Panel (°)	Jam 11						
	Voc (Volt)	Isc (Ampere)	E (W/m ²)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi Panel (%)	Kondisi Cuaca
0	20.71	2.4	1120	319.84	40.39	10.10	Cerah
10	20.64	2.6	1150	410.55	43.59	10.62	Cerah
30	20.50	2.5	1130	403.41	41.58	12.47	Cerah
45	20.42	2.6	1090	389.13	38.08	12.89	Cerah

TABEL 4
DATA PENGUJIAN JAM 12

Sudut Panel (°)	Jam 12						
	Voc (Volt)	Isc (Ampere)	E (W/m ²)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi Panel (%)	Kondisi Cuaca
0	20.70	2.8	1310	467.67	47.1	10.07	Cerah
10	20.82	3	1388	495.51	50.81	10.25	Cerah
30	20.66	2.9	1342	479.09	48.67	10.46	Cerah
45	20.57	2.7	1278	456.24	45.08	10.99	Cerah

TABEL 5
DATA PENGUJIAN JAM 13

Sudut Panel (°)	Jam 13						
	Voc (Volt)	Isc (Ampere)	E (W/m ²)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi Panel (%)	Kondisi Cuaca
0	20.60	2.6	1238	441.96	43.49	9.87	Cerah
10	20.75	2.8	1293	461.60	47.23	10.23	Cerah
30	20.55	2.7	1268	452.67	45.03	11.08	Cerah
45	20.48	2.4	1202	429.11	39.87	11.68	Cerah

TABEL 6
DATA PENGUJIAN JAM 14

Sudut Panel (°)	Jam 14						
	Voc (Volt)	Isc (Ampere)	E (W/m ²)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi Panel (%)	Kondisi Cuaca
0	20.35	2.3	1089	367.35	37.93	10.32	Cerah
10	20.40	2.5	1089	388.77	41.34	10.63	Cerah
30	20.30	2.4	1051	375.20	39.46	13.36	Cerah
45	20.21	2.2	1008	359.85	35.99	13.93	Cerah

TABEL 7
DATA PENGUJIAN JAM 15

Sudut Panel (°)	Jam 15						
	Voc (Volt)	Isc (Ampere)	E (W/m ²)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi Panel (%)	Kondisi Cuaca
0	20.15	2.1	913	325.94	34.23	10.50	Cerah
10	20.18	2.3	945	337.36	37.56	11.13	Cerah
30	20.1	2.2	929	331.65	35.76	15.12	Cerah
45	20	2	889	317.37	32.32	15.8	Cerah

Pada [Tabel 3](#) dapat dilihat hasil pengolahan data dari pengujian jam 11 dengan kondisi cuaca cerah, pada waktu tersebut iradiasi matahari sebesar 1260 watt/m². Dari iradiasi tersebut panel uji yang memiliki sudut kemiringan berbeda memiliki kemampuan berbeda dalam menghasilkan daya keluaran. Panel yang efektif dalam menerima iradiasi adalah panel dengan kemiringan 10 derajat sebesar 1150 watt/m² yang menghasilkan daya keluaran sebesar 43.59 watt dengan Voc sebesar 20.64 volt dan Isc sebesar 2.6 ampere. Sedangkan panel dengan sudut kemiringan lainnya menghasilkan daya keluaran yang lebih kecil.

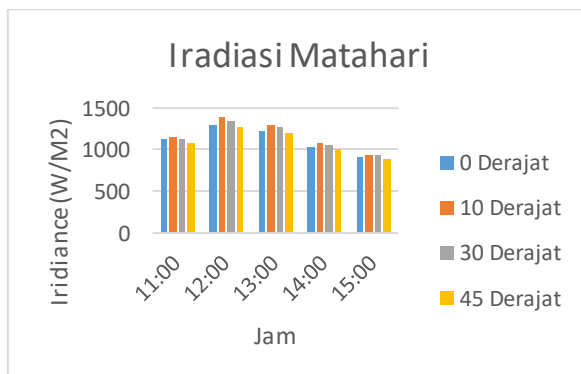
Hasil data yang telah diolah pada pengujian jam 12 dapat dilihat pada [Tabel 4](#). Pada waktu ini merupakan waktu puncak matahari menghasilkan iradiasi dimana besar iradiasi pada waktu ini sebesar 1450 watt/m². Dari iradiasi ini panel dengan kemiringan 10 derajat mampu menerima iradiasi matahari dengan maksimal yaitu sebesar 1388 watt/m² dan mampu menghasilkan daya keluaran paling besar yaitu 50.81 watt. Sedangkan panel dengan sudut kemiringan lainnya menghasilkan daya keluaran lebih rendah dimana kemiringan 0 derajat menghasilkan daya keluaran 47.1 watt. Sudut kemiringan 30 derajat menghasilkan daya keluaran sebesar 48.67 watt, lebih besar dari panel dengan kemiringan 0 derajat.

Panel yang menghasilkan daya keluaran terkecil yaitu panel dengan kemiringan 45 derajat yaitu sebesar 45.08 watt.

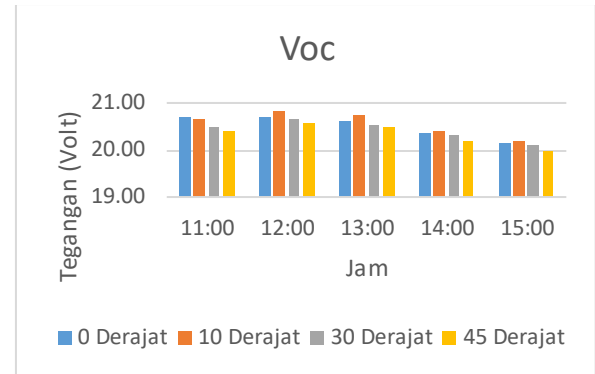
Pada pengujian selanjutnya yaitu jam 13 didapat data kemudian dilakukan pengolahan data dan dapat dilihat pada [Tabel 5](#). Pada waktu tersebut iradiasi matahari kembali turun sebesar 1370 watt/m². Dengan iradiasi pada waktu tersebut, panel yang diuji dengan perbedaan kemiringan memiliki kemampuan yang berbeda dalam menerima iradiasi matahari dan menghasilkan daya keluaran. Dimana pada waktu ini sudut kemiringan yang mampu menerima iradiasi matahari dengan maksimal adalah 10 derajat sebesar 1293 watt/m² dan menghasilkan daya keluaran sebesar 47.23 watt. Selanjutnya ada panel dengan sudut kemiringan 30 derajat yang mampu menghasilkan 45.03 watt. Panel yang menghasilkan daya keluaran terbesar adalah panel dengan sudut kemiringan 0 derajat yaitu sebesar 43.49 watt dan panel dengan daya keluaran terkecil adalah panel dengan sudut kemiringan 45 derajat sebesar 39.87 watt.

Pada [Tabel 6](#) dapat dilihat data yang telah diolah dari pengujian jam 14 dimana iradiasi pada waktu itu sebesar 1165 watt/m². Perbedaan sudut kemiringan pada panel menyebabkan perbedaan kemampuan panel dalam menghasilkan daya keluaran dari iradiasi yang diterima. Pada waktu ini panel dengan kemiringan 10 derajat masih memiliki kemampuan yang baik dalam menerima iradiasi matahari yaitu sebesar 1089 watt/m² dan mampu menghasilkan daya keluaran sebesar 41.34 watt. Sedangkan sudut kemiringan lainnya memiliki kemampuan menerima iradiasi matahari dan menghasilkan daya keluaran lebih kecil akan tetapi perbedaannya tidak jauh.

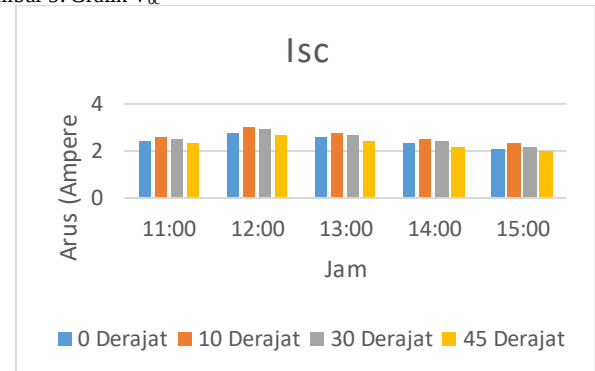
Pada data terakhir yang diambil pada jam 15 dapat dilihat pada [Tabel 7](#) dimana pada waktu tersebut iradiasi matahari sebesar 1030. Pada data yang telah diolah pada waktu pengujian terakhir ini dapat dilihat bahwa panel yang efektif dalam menerima iradiasi matahari dan menghasilkan daya keluaran terbesar adalah panel dengan sudut kemiringan 10 derajat, dengan iradiasi matahari yang dapat diterima sebesar 945 watt/m² dan daya keluaran sebesar 37.56 watt. Sedangkan sudut kemiringan yang menghasilkan daya keluaran terbesar kedua yaitu sudut kemiringan 30 derajat sebesar 35.76 watt. Sudut kemiringan 0 derajat menghasilkan daya keluaran sebesar 34.23 watt dan sudut kemiringan yang menghasilkan daya keluaran terkecil yaitu sudut 45 derajat menghasilkan daya keluaran sebesar 32.32 watt.



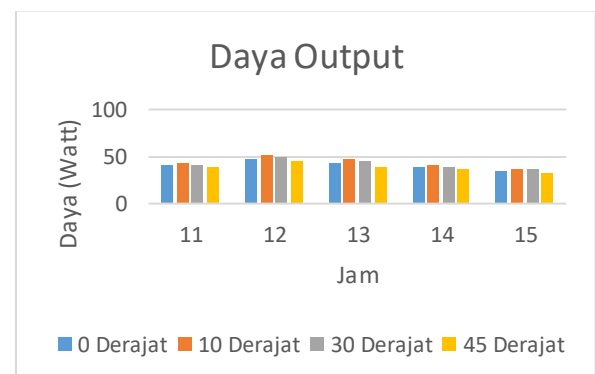
Gambar 4. Grafik penerimaan iradiasi matahari pada panel surya



Gambar 5. Grafik V_{oc}



Gambar 6. Grafik I_{sc}



Gambar 7. Grafik daya output

Dari data yang telah diolah pada pengujian kelima ini kemudian diproyeksikan dalam bentuk grafik dan dapat dilihat pada [Gambar 4](#) hingga [Gambar 7](#). Dari gambar tersebut dapat dilihat bentuk dan trend grafik dari data yang telah diambil. Pada [Gambar 4](#) menunjukkan grafik iradiasi matahari pada hari pengujian dimana waktu puncak matahari memancarkan iradiasi terbesar adalah jam 12.00 siang.

Dari iradiasi tersebut dapat dilihat kemampuan panel yang memiliki perbedaan kemiringan dalam menghasilkan nilai Voc pada [Gambar 5](#). Dari grafik yang terbentuk dapat dilihat bahwa perbedaan sudut kemiringan panel akan memengaruhi kemampuan panel dalam menghasilkan daya keluaran.

Sudut kemiringan panel juga memengaruhi kemampuan panel dalam menghasilkan nilai Isc, hal ini dapat dilihat pada [Gambar 6](#). Pada gambar tersebut dilihat kemiringan yang baik dalam menghasilkan nilai Isc terbesar yaitu sudut 10 derajat.

Pada [Gambar 7](#) dapat dilihat grafik daya keluaran yang terbentuk. Dari trend grafik yang terbentuk dapat dilihat bahwa sudut kemiringan panel memengaruhi kemampuan panel dalam menghasilkan daya keluaran. Sudut kemiringan yang baik dalam menghasilkan daya keluaran adalah 10 derajat.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat diambil simpulan bahwa:

1. Pada pengujian ini yang dilakukan tanpa beban dan tidak terhubung apapun dan dalam keadaan cuaca cerah, iradiasi matahari terbesar yang dapat diterima sebesar 1388 watt/m² oleh panel 10 derajat dan daya keluaran terbesar dihasilkan oleh panel 10 derajat sebesar 50.81 watt.
2. Sudut kemiringan yang efektif pada lokasi pengujian ini adalah 10 derajat.
3. Panel dengan sudut kemiringan yang efektif mampu menerima iradiasi matahari dengan baik.
4. Sudut kemiringan pemasangan panel yang efektif akan menghasilkan daya keluaran panel yang besar dengan tegangan dan arus yang maksimal.

B. Saran

Penulis merasa masih banyak yang bisa dilakukan agar penelitian ini menjadi lebih baik lagi, oleh karena itu penulis memberi saran kepada pembaca atau peneliti selanjutnya yaitu:

1. Hari pengujian yang lebih lama agar mengetahui sudut kemiringan pemasangan yang efektif setiap harinya pada lokasi yang sama
2. Penggunaan beban yang sesuai dengan kapasitas panel surya yang digunakan.
3. Disarankan untuk dapat memperbanyak sudut kemiringan yang diuji

REFERENSI

- [1] T. M. Yunus Khan et al., "Optimum location and influence of tilt angle on performance of solar PV panels," *J Therm Anal Calorim*, vol. 141, no. 1, pp. 511–532, Jul. 2020, doi: 10.1007/s10973-019-09089-5.
- [2] R. B. Mansour, M. A. Mateen Khan, F. A. Alsulaiman, dan R. B. Mansour, "Optimizing the solar PV tilt angle to maximize the power output: A case study for Saudi Arabia," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 15914–15928, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3052933.
- [3] Basuki, M. M. Rosadi dan F. S. Hadi, "Analisa pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap intensitas cahaya matahari dan tegangan yang dihasilkan panel surya tipe polycrystalline," *Sainsteknopak*, vol. 4, no. 1, pp. 135–140, 2020.
- [4] H. S. Tira, "Pengaruh sudut surya terhadap daya keluaran sel surya 10 WP tipe polycrystalline," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 69–74, Jul. 2018, doi: 10.22441/jtm.v7i2.2676.
- [5] S. Sarna, Subhan, R. Murniati, dan S. Nojeng, "Pengaruh Temperatur Permukaan Terhadap Efisiensi Konversi Photovoltaik Tipe Mono-Crystalline Pada Daerah Tropis," *J-Move : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 23–30, 2021.
- [6] D. Amalia, H. Abdillah, dan T. W. Hariyadi, "Analisa perbandingan daya keluaran panel surya tipe monokristalin 50Wp yang dirangkai seri dan paralel pada instalasi PLTS off-grid," *Elementer*, vol. 8, no. 1, pp. 12–21, 2022, doi: 10.35143/elementer.v8i1.5187.
- [7] M. A. M. Ramli dan H. R. E. H. Boucekara, "Estimation of solar radiation on PV panels surface with optimum tilt angle using vortex search algorithm," *IET Renewable Power Generation*, vol. 12, no. 10, pp. 1138–1145, 2018, doi: 10.1049/iet-rpg.2017.0830.
- [8] S. Ali dan T. M. Aziz Pandria, "Penentuan sudut kemiringan optimal panel surya untuk wilayah Meulaboh," *JMKN*, vol. 5, no. 1, 2019, doi: 10.35308/jmkn.v5i1.1621.
- [9] Y. Pradona, "Variasi kemiringan sudut terhadap efektivitas kinerja panel surya," Skripsi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2019.
- [10] M. Usman, "Analisis intensitas cahaya terhadap energi listrik yang dihasilkan panel surya," *Polektro*, vol. 9, no. 2, pp. 52–57, 2020, doi: 10.30591/polektro.v9i2.2047.
- [11] S. Himran, *Energi Surya: Konversi Termal & Fotovoltaik*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2021.
- [12] C. A. Siregar, A. Affandi, dan A. M. Siregar, "Pemetaan potensi radiasi matahari di Sumatera Utara berdasarkan perhitungan matematika," *CERED Seminar Nasional Teknologi Eukasi Sosial dan Humaniora*, vol. 1, no. 1, pp. 72–78, 2021.
- [13] B. Sutanto, Y. D. Herlambang, B. Bono, A. S. Alfauzi, dan D. A. Munawwaroh, "Optimalisasi arah sudut tilt dan sudut azimuth dari alat pemanen energi radiasi matahari di Semarang, Jawa Tengah," *Eksergi: Jurnal Teknik Energi*, vol. 17, no. 2, pp. 145–154, 2021, doi: 10.32497/eksergi.v17i2.2545.
- [14] A. D. Afriyani, S. Prasetya, dan R. Filzi, "Analisis pengaruh posisi panel surya terhadap daya yang dihasilkan di PT Lentera Bumi Nusantara," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, Jakarta, Indonesia, 2019, pp. 176–183.
- [15] L. Rudawin, N. Rajabiah, dan D. Irawan, "Analisa sistem kerja photovoltaic berdasarkan sudut kemiringan menggunakan monocrystalline dan polycrystalline," *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, Jul. 2020, doi: 10.24127/ttb.v9i1.1221.
- [16] P. P. T. D. Priatam, M. F. Zambak, Suwarno, dan P. Harahap, "Analisa radiasi sinar matahari terhadap panel surya 50 WP," *RELE*, vol. 4, no. 1, pp. 48–54, 2021.
- [17] Hardani, *Dye-Sensitized Solar Cell: Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta: Pustaka Ilmu, 2019.
- [18] M. F. Fernanda, B. Nainggolan, dan I. Silanegara, "Penentuan komponen sistem PLTS 100 Wp pada floating photovoltaic sebagai sumber energi lampu penerangan 20 W pada Kolam Politeknik Negeri Jakarta," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, Jakarta, Indonesia, 2021, pp. 171–180.
- [19] M.-H. Jao, H.-C. Liao, dan W.-F. Su, "Achieving a high fill factor for organic solar cells," *J. Mater. Chem. A*, vol. 4, no. 16, pp. 5784–5801, 2016, doi: 10.1039/C6TA00126B.

Relay Proteksi Arus Lebih Berbasis Mikrokontroler Arduino

Aria Kharisma¹, Galang Nazharullah²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

galangnazharullah20642005@gmail.com

Abstrak- Peralatan listrik menggunakan pengaman berupa Fuse untuk menghindari terjadinya kerusakan akibat terjadinya arus hubung singkat atau beban lebih. Ketika putus, Fuse perlu diganti. Jika Fuse pengganti tidak tersedia, maka perlu waktu untuk membeli yang baru. Selain itu, sebuah Fuse hanya dirancang untuk suatu kapasitas tertentu. Pada paper ini rancang bangun relay proteksi arus hubung singkat dan beban lebih berbasis Mikrokontroler Arduino yang dapat mengganti Fuse agar tidak harus membeli yang baru. Kelebihan lainnya, arus maksimum alat ini juga dapat diseting sesuai dengan yang diinginkan dan ditampilkan pada layar LCD OLED. Sensor arus menggunakan resistor Shunt dan Op-Amp. Pengujian dilakukan dengan membandingkan alat ini dengan alat ukur ampere meter, dilakukan sepuluh kali pengujian dengan nilai arus yang berbeda dan dihasilkan rata-rata error sebesar 0,969%. Selain itu, pengujian kerja alat ini juga dilakukan dengan memberikan beban melebihi batas arus settingan. Hasilnya, relay memutus arus listrik ke beban ketika nilai arus yang terukur berada di atas arus seting.

Kata kunci: relay proteksi, Arduino Nano, sensor arus, arus lebih

I. PENDAHULUAN

Peralatan listrik umumnya dilengkapi dengan pengaman arus hubung singkat berupa Fuse. Arus hubung singkat yang cukup besar akan memutus kawat pada Fuse agar arus besar tadi tidak merusak peralatan elektronik. Arus berlebih dapat disebabkan oleh beban yang terlalu besar atau jika rangkaian mengalami kegagalan fungsi. Jika Fuse putus, maka diperlukan Fuse baru untuk menggantikannya karena Fuse merupakan pengaman sekali pakai. Seringkali orang tidak memiliki persediaan Fuse sehingga memerlukan waktu untuk membelinya. Selain itu, sebuah Fuse bernilai tetap dan tidak dapat diseting.

Pada penelitian ini dirancang bangun sebuah relay proteksi arus hubung singkat dan beban lebih berbasis mikrokontroler Arduino yang dapat mengganti Fuse yang hanya sekali pakai, dan dapat pula diseting arus kerjanya. Dengan menggunakan peralatan ini, relay akan memutus hubungan listrik ke beban jika terjadi hubung singkat atau arus beban lebih. Jika gangguan telah diatasi maka relay proteksi dapat direset untuk digunakan kembali.

II. LANDASAN TEORI

A. Penelitian Sebelumnya

Terdapat beberapa referensi yang digunakan pada proses perancangan Relay Proteksi Arus Lebih Berbasis Mikrokontroler Arduino ini.

Dari penelitian yang dilakukan oleh Deni Almada dan Habil Yusuf dengan judul “Perancangan Prototype Proteksi Arus Beban Lebih Pada Beban DC Menggunakan Mikrokontroler” sistem proteksi arus lebih yang dirancang menggunakan mikrokontroler berupa Arduino Nano serta menggunakan sensor arus ACS 712 5A, sistem yang dirancang telah dapat bekerja dengan baik dalam memproteksi arus lebih [1].

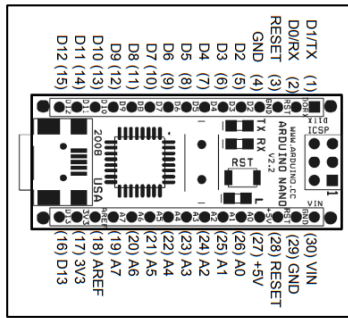
Dari penelitian yang dilakukan oleh Trias Prima Satya .dkk dengan judul “Perancangan Dan Analisis Sistem Alat Ukur Arus Listrik Menggunakan Sensor ACS712 Berbasis Arduino Uno Dengan Standard Clampmeter” dari penelitian ini disimpulkan bahwa sensor ACS712 memiliki error dan ketidakpastian relative yang terbilang besar, sehingga nilai yang dihasilkan oleh sensor ACS712 berbeda dengan nilai standarnya [2].

Dari penelitian yang dilakukan oleh Lilik Eko Nuryanto dengan judul Penerapan Dari Op-Amp (Operational Amplifier) menunjukkan penerapan Op-Amp dalam Penguat Tegangan Non-Pembalik (*Non-inverting Voltage Amplifier*) yang dapat digunakan pada penelitian ini [3].

Dikarenakan penelitian yang dilakukan oleh Trias Prima Satya .dkk dengan judul “Perancangan Dan Analisis Sistem Alat Ukur Arus Listrik Menggunakan Sensor ACS712 Berbasis Arduino Uno Dengan Standard Clampmeter” menunjukkan bahwa sensor arus ACS712 memiliki error dan ketidakpastian relative yang terbilang besar, sehingga pada penelitian ini menggunakan sensor arus yang menggunakan Op-Amp untuk mengatasi kekurangan pada sensor arus ACS712.

B. Mikrokontroler Arduino Nano

Mikrokontroler merupakan perangkat elektronik yang bekerja berdasarkan program yang dibuat dan sinyal *input* yang diterima lalu proses untuk menghasilkan keluaran atau output yang diinginkan. Tampilan dan pin yang ada pada Arduino ini ditunjukkan pada [Gambar 1](#) [4].



Gambar 1. Pin Arduino Nano [4]

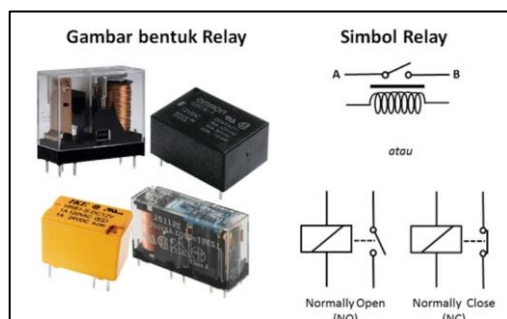
Pada [Tabel 1](#), bisa dilihat untuk pin yang terdapat pada Arduino Nano. [4]

TABEL 1
PIN ARDUINO NANO [4]

Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A7-A0	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply Voltage

C. Relay

Relay merupakan komponen saklar (*switch*) yang dikendalikan menggunakan listrik dan merupakan salah satu komponen Electromechanical (Elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni kumparan magnet (*coil*) dan bagian mekanik (*kontak saklar/switch*). Relay bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontakannya sehingga hanya dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. Bentuk dan simbol pada relay dapat dilihat pada [Gambar 2](#) berikut ini.



Gambar 2. Bentuk dan symbol relay [5]

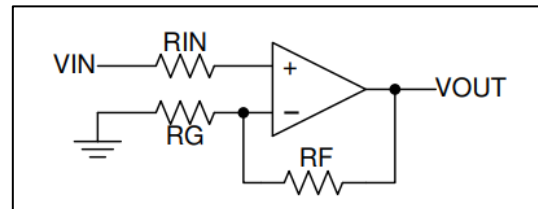
D. Op-Amp LM358

Op-Amp (Operational Amplifier) adalah sebuah komponen elektronik yang digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronik. Op-Amp terdiri dari transistor-transistor

Submitted: 07/06/2023; Revised: 11/06/2023;
Accepted: 14/11/2023; Online first: 17/11/2023
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i1.9>

logika (TTL) atau transistor bipolar pada suatu sirkuit terintegrasi.

LM358 mencakup dua Op-Amp tegangan tinggi (36 V). Perangkat ini memberikan nilai luar biasa untuk aplikasi sensitif, dengan fitur termasuk offset rendah (300 μ V, tipikal, rentang input mode umum ke arde, dan kemampuan tegangan input diferensial tinggi



Gambar 3. Rangkaian Op-amp non-inverting [6]

E. Perhitungan Sensor Arus

Di karenakan pada resistor pada rangkaian sensor arus menggunakan Op-Amp sebagai penguat tegangan yang terdapat pada *current sensing resistor*, besar tahanan pada RS ini sebesar 0,1 Ohm sehingga jika menggunakan persamaan hukum Ohm yang di tunjukkan pada persamaan (1) adalah.

Keterangan:

V : Tegangan (Volt)
I : Arus (Ampere)
R : Tahanan (Ohm)

$$V = R \times I \quad (1)$$

Sedangkan tegangan *Output* pada Op-Amp dapat dihitung menggunakan persamaan (2) adalah.

Keterangan:

R_{ref} : Tahanan Refrensi (Ohm)
 R_{gnd} : Tahanan Groun (Ohm)
 V_{in} : Tegangan *Input* (Volt)
 V_{out} : Tegangan *Output* (Volt)
 A_v : Faktor Penguatan

$$V_{out} = \left(\frac{R_{ref}}{R_{gnd}} + 1 \right) V_{in} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2) dapat di ketahui penguatan dai penguatan *non inverting* menggunakan persamaan (3) yaitu adalah.

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_{ref}}{R_{gnd}} + 1 \quad (3)$$

F. LCD Oled 128×32

LCD Oled 128×32 dinamakan demikian karena; ini memiliki Pixel sebanyak 128×32. Layar terhubung ke Arduino hanya menggunakan empat kabel – dua untuk *power*, satu untuk clock dan satu untuk data, membuat pengkabelan menjadi sangat ringkas. Layar ini menggunakan koneksi data adalah I2C (I²C, IIC atau *Inter-Integrated Circuit*). Serial Komunikasi ini

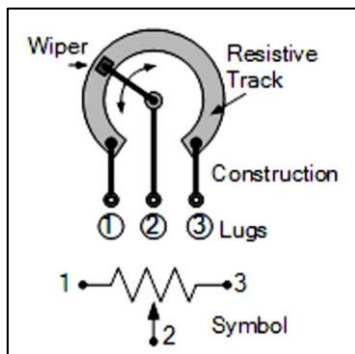
disebut TWI (Two Wire Interface). Bentuk layar LCD Oled ini ditunjukkan pada [Gambar 4](#). di bawah ini [7].



Gambar 4. LCD OLED 128x32 [7]

G. Potensiometer

Potensiometer adalah komponen resistor yang memiliki tiga terminal yang berfungsi untuk mengatur resistensi, tegangan, dan arus listrik dalam sebuah rangkaian, potensiometer (POT) ini termasuk ke dalam jenis resistor variabel. Hal itu dikarenakan cara kerja potensiometer dapat mengubah nilai resistensi secara variatif dengan memutar knob pada potensiometer, struktur potensiometer dapat dilihat pada [Gambar 5](#). berikut ini [8]



Gambar 5. Rangkaian potensiometer [8]

H. Momentary Tectile Push Button

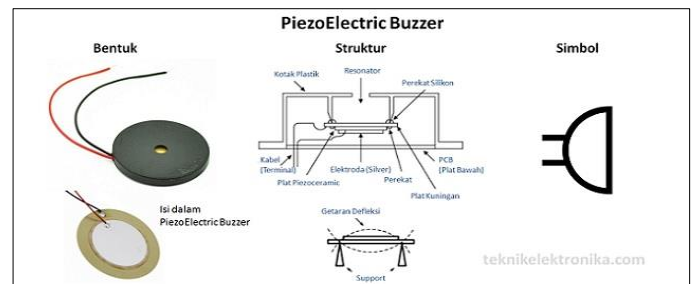
Push Button (PB) / Saklar Tombol Tekan merupakan komponen yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan suatu aliran listrik dengan cara ditekan dan dilepas. *Push Button* banyak digunakan pada rangkaian kontrol, karena komponen ini merupakan salah satu komponen yang penting dalam suatu sistem kontrol untuk memberi sinyal. Kata momentary bisa diartikan dengan sesaat. Jadi *Push Button* yang beroperasi secara momentary bisa diartikan bahwa *Push Button* tersebut bekerja hanya sesaat saja ketika di tekan, bentuk fisik dari komponen ini dapat dilihat pada [Gambar 6](#). berikut ini.



Gambar 6. Momentary tactile push button [9]

I. Piezoelectric

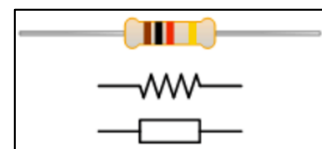
Piezoelectric buzzer adalah jenis buzzer yang menggunakan efek piezoelektrik untuk menghasilkan bunyi. Bunyi yang dihasilkan oleh buzzer ini dihasilkan oleh getaran mekanis yang diinduksi oleh kristal piezoelektrik di dalamnya. Sumber Listrik DC yang dihubungkan ke bahan Piezoelectric akan mengakibatkan gerakan mekanis, gerakan tersebut kemudian menghasilkan suara atau bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia dengan menggunakan diafragma dan resonator, dapat dilihat pada [Gambar 7](#). merupakan bentuk, struktur, dan simbol dari komponen *buzzer*.



Gambar 7. Pazeoelectric Buzzer

J. Resistor

Resistor adalah salah satu komponen dasar dalam rangkaian elektronik yang digunakan untuk mengatur aliran arus listrik. Resistor merupakan komponen pasif yang memiliki dua terminal dan memiliki resistansi tertentu. Resistansi mengukur seberapa besar hambatan yang diberikan oleh resistor terhadap aliran arus listrik, semakin besar daya resistor maka semakin besar bentuk fisik resistor, komponen resistor dapat dilihat pada [Gambar 7](#) berikut ini.



Gambar 8. Bentuk dan simbol resistor [10]

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi

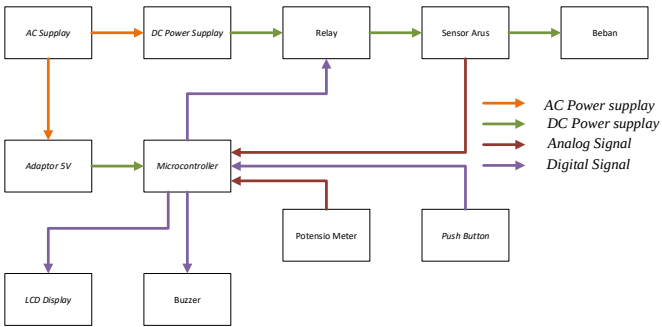
Waktu yang digunakan untuk perancangan PBL ini dilaksanakan pada bulan Februari 2023 sampai dengan bulan Maret 2023 di laboratorium mikrokontroler.

B. Jenis Data dan Sumber Data

Pada perancangan PBL ini ada tiga tahapan yaitu saat pra perancangan, perancangan, dan parameter operasi. Jenis dan sumber data yang digunakan pada saat pra perancangan adalah datasheet atau yang lebih dikenal sebagai spesifikasi dari komponen. Jenis sumber data yang digunakan pada saat perancangan adalah buku-buku, *website*, dan jurnal serta simulasi rangkaian menggunakan perangkat lunak Proteus. Parameter operasi adalah data yang didapat dari implementasi dari pelaksanaan PBL Relay Proteksi Arus Lebih Berbasis Mikrokontroler Arduino Di Laboratorium Mikrokontroler.

C. Gambaran Umum Sistem

Gambaran umum sistem yang akan dirancang pada PBL Relay Proteksi Arus Lebih Berbasis Mikrokontroller Arduino yang dapat dilihat pada [Gambar 9](#). sistem mkrkontroller mendapatkan suplai tegangan dari adaptor 5V sementara itu untuk beban mendapat suplay tegangan dariDC Power supply, pada mikrokontroller terdapat tiga buah Output dan terdapat enam input yang terdiri dari empat buah push button, sensor arus, dan potensio meter, untuk penjelasan input dan output dapat dilihat pada Tebel 2.



Gambar 9. Gambar umum sistem relay proteksi arus lebih berbasis mikrokontroller arduino

1. Tegangan
- Sinyal yang dihasilkan oleh sensor arus adalah dalam bentuk tegangan, tengangan ini diterima oleh microcontroller dalam bentuk sinyal analog dari tegangan 0 Volt hingga 5 Volt dan diubah menjadi sinyal digital 10 bit dari nilai 0 hingga 1023, lalu nilai digital ini dikonversi menjadi satuan arus yang di tampilkan pada layar. Pada sensor arus terdapat *current sensing resistor*, dengan mengukur tegangan yang jatuh pada resistor RS tersebut, maka dapat dihitung nilai arus yang mengalir pada beban dan resistor RS.
2. Arus
- Sebagai alat peroteksi arus, parameter arus sangat penting pada alat ini agar berfungsi dengan baik, kemampuan alat ini dalam mengukur arus yang mengalir menyesuaikan dengan kemampuan hantar arus pada sensor arus yang digunakan dan relay yang digunakan, sehingga di dapatkan nilai arus maksimum yang dapat di proteksi.

E. Peralatan Dan Material

Peralatan dan material yang digunakan dapat dilihat pada [Tabel 3](#) berikut ini:

[TABEL 2](#)
INPUT DAN OUTPUT YANG DIGUNAKAN

Pin Mode	No Pin	Nama pin	Keterangan
Input	3	Reset	Berfungsi sebagai tombol reset ketika relay proteksi aktif dan sebagai tombol kembali saat setting menu.
Input	4	Enter	Berfungsi sebagai tombol enter ketika menyimpan settingan dan ketika masuk ke sub menu
Input	5	Down	Berfungsi sebagai tombol memilih menu ke bawah
Input	6	UP	Berfungsi sebagai tombol memilih menu ke bawah
Input	A0	sensorArus	Input yang berfungsi membaca sinyal dari sensor arus sebagai arus yang sedang di ukur
Input	A1	potensio	Input yang berfungsi membaca sinyal dari potensio sebagai arus yang sedang di ukur
Output	9	buzz	Sebagai output yang menghasilkan bunyi sebagai sinyal ketika relay aktif
Output	8	relay	Sebagai output yang mengontrol relay untuk memutus arus ke bebanketika arus yang terbaca melebihi arus setting
Output	A4,5	Display	Sebagai monitor yang menampilkan data yang terbaca oleh sensor

D. Parameter Operasi

Parameter operasi pada relay proteksi arus lebih berbasis microcontroller ini antara lain:

Submitted: 07/06/2023; Revised: 11/06/2023;
Accepted: 14/11/2023; Online first: 17/11/2023
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i1.9>

TABEL 3
PERALATAN DAN MATERIAL

Peralatan	Material
Power supply CC CV	Arduino Nano / Uno
Ampere Meter	Layar Oled 32 × 128
Laptop	Relay (<i>Active Low</i>)
Adaptor 12 Volt	Kabel jumper
Solder	Resistor
Jepit Buaya	Buzzer
	Push Button
	Bread Board
	Papan PCB bolong
	Timah
	Op – Amp LM358

F. Simulasi sensor arus

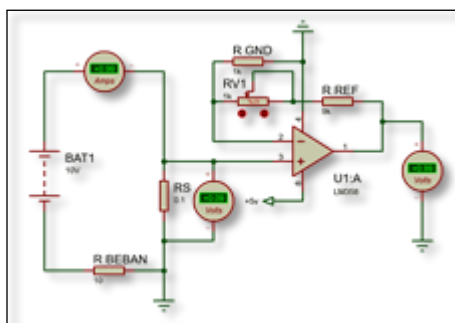
Pada praktel ini digunakan perangkat lunak sebagai referensi sebelum melakukan pengujian secara langsung terhadap komponen. Adapun perangkat lunak yang digunakan yaitu Proteus yang digunakan untuk membuktikan teori perhitungan yang mengacu pada dasar teori Op-Amp yang digunakan.

Dapat dilihat pada [Gambar 11](#), merupakan rangkaian sensor arus, tegangan pada RS (*current sensing resistor*) menghasilkan tegangan sebesar 0,09 Volt dan arus yang mengalir sebesar 0,99 Ampere, tegangan pada RS dapat di buktikan dengan menggunakan persamaan (1) sehingga di dapatkan.

$$V = 0,1\Omega \times 0,99A = 0,09 \text{ Volt}$$

Dengan menggunakan Op-Amp tagangan yang dihasilkan dari RS dapat di tingkatkan sebesar $\times 10$ berdasarkan rumus perhitungan pada (2) sehingga menghasilkan tegangan output sebesar 0,99 Volt

$$V_{out} = \left(\frac{9000}{1000} + 1 \right) 0,09 = 0,99 \text{ Volt}$$



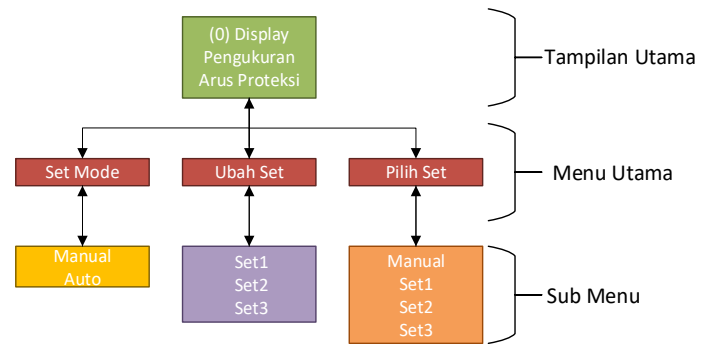
Gambar 11. Rangkaian sensor arus pada relay proteksi arus lebih berbasis mikrokontroler Arduino

Sehingga pada rangkaian sensor arus ini jika arus yang mengalir pada RS sebesar 1 Ampere maka tegangan yang dihasilkan oleh Op-Amp adalah sebesar 1 Volt.

G. Pengaturan Menu Pada Layar

Pada alat Relay Proteksi Arus Lebih ini terdapat beberapa fitur yang di sediakan pada menu pengaturan untuk dapat mengaksesnya dengan menggunakan empat buah tombol yang telah di jelaskan pada Tabel 2 alur pengaturan pada menu dapat di lihat pada [Gambar 12](#), berikut ini.

Submitted: 07/06/2023; Revised: 11/06/2023;
Accepted: 14/11/2023; Online first: 17/11/2023
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i1.9>



Gambar 12. Alur pengaturan menu pada relay proteksi arus lebih berbasis mikrokontroler arduino

Terdapat tiga fitur yang di sediakan pada menu pengaturan yaitu berupa:

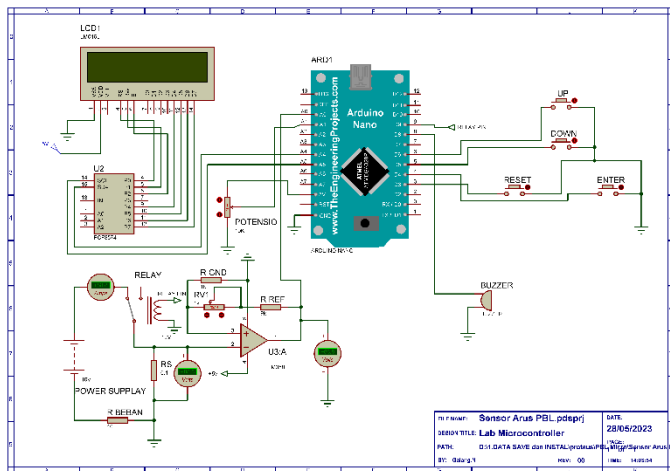
1. **Pilih Set**
Pada fitur ini berfungsi untuk menampilkan pilihan pengaturan arus proteksi yang tersedia, sehingga pengguna tinggal memilih nilai arus yang akan di proteksi tanpa perlu melakukan pengaturan manual dengan memutar potensio, namun masih terdapat pilihan untuk pengaturan secara manual.
2. **Ubah Set**
Pada fitur ini berfungsi untuk mengubah nilai pilihan pada fitur pertama (Pilih Set) sehingga membuat alat ini lebih fleksibel untuk digunakan.
3. **Set Mode**
Pada fitur ini berfungsi untuk mengatur mode reset ketika relay dalam keadaan memproteksi rangkaian, ketika mode manual, maka relay hanya akan kembali ke kondisi normal apabila tombol reset di tekan, ketika mode Auto, maka relay akan kembali ke kondisi normal dalam waktu tertentu, dan akan kembali memproteksi apabila arus melebihi settingan arus yang di atur.

H. Perancangan Sistem Catu Daya

Perancangan sistem catu daya dibuat untuk memberikan tegangan suplai pada komponen microcontroller dan sensor arus. Catu daya utama yang digunakan pada sistem sensor arus adalah catu daya DC yang berasal dari USB, dan juga catu daya yang mensuplai beban yang berasal dari *power supply variable*. Untuk melakukan pengujian microcontroller dan sensor arus di suplay tegangan 5V oleh USB, lalu untuk beban di suplay menggunakan *power supply variable* yang di atur untuk menghasilkan arus konstan (*constan current*).

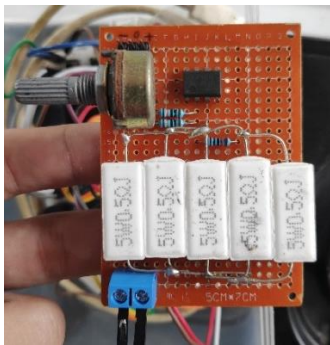
I. Perancangan Sistem Regulator Tegangan DC

Sebelum melakukan perakitan terlebih dahulu melakukan perancangan pada software proteus, seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 13](#), untuk menentukan jalur pemasangan komponen dan menentukan pin pada kaki komponen yang akan dipasang



Gambar 13. Skema rangkaian relay proteksi arus lebih berbasis microcontroller Arduino

Selanjutnya Rangkaian akan diimplementasikan pada papan PCB seperti pada [Gambar 14](#). rangkaian pada papan PCB ini merupakan rangkaian sensor arus.



Gambar 14. Perakitan sensor arus pada papan PCB

J. Rancangan Pengujian dan Analisis Data

Peralatan yang akan digunakan pada rancangan pengujian dan analisis data antara lain sebagai berikut:

1. Power supply DC variabel
Power supply DC variable digunakan untuk mensuplai arus pada sensor arus sehingga nilai arus dapat diubah dengan mudah untuk pengujian.
2. Multitester
Multitester digunakan untuk mengukur arus dan tegangan pada sensor arus, dan juga sebagai pembandingan akurasi dari sensor arus yang mengalir, serta menjadi acuan pada saat proses kalibrasi sensor arus.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

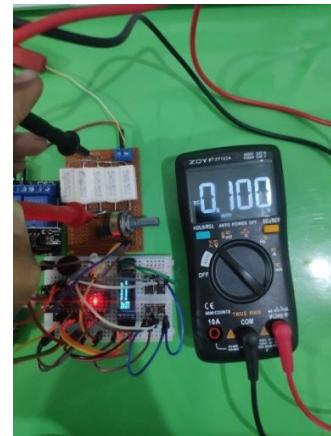
A. Proses Kalibrasi Sensor Arus

Sebelum melakukan pengujian perlu dilakukan proses kalibrasi agar nilai arus yang dihasilkan oleh sensor arus sesuai dengan nilai arus yang sebenarnya, proses ini dilakukan dengan cara mengukur tegangan pada kaki *current sensing resistor* seperti yang di tampilkan pada [Gambar 15](#) dan mengatur nilai tegangan yang dihasilkan Op-Amp seperti yang di tampilkan pada [Gambar 16](#). sehingga menghasilkan nilai arus yang di tampilkan pada [Gambar 17](#).

Submitted: 07/06/2023; Revised: 11/06/2023;

Accepted: 14/11/2023; Online first: 17/11/2023

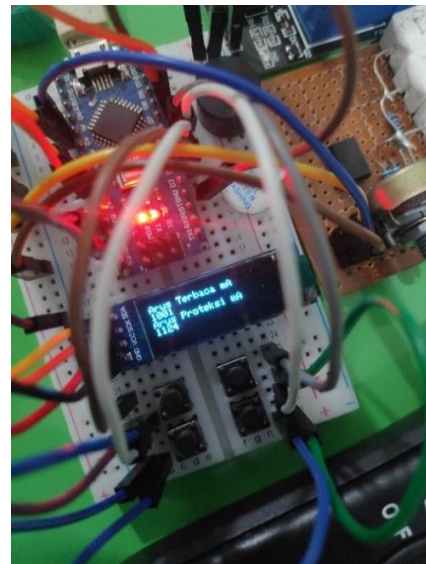
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i1.9>



Gambar 15. Tegangan yang terukur pada *current sensing resistor*.



Gambar 16. Tegangan yang dihasilkan oleh Op-Amp.



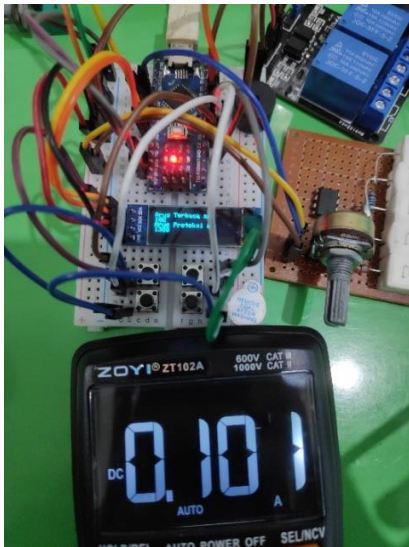
Gambar 17. Nilai arus yang di tampilkan pada layar.

Pada proses kalibrasi arus yang mengalir pada *current sensing resistor* adalah sebesar 1 Ampere sehingga didapatkan nilai tegangan pada resistor sebesar 0,1 Volt, nilai tegangan ini kemudian dikuatkan oleh Op-Amp sebesar 10 kali penguatan sehingga di hasilkan tegangan sebesar 1 Volt, dan nilai

tegangan ini dikonversi oleh microcontroller menjadi nilai arus yang di tampilkan pada layar sebesar 1001 mA

B. Pengujian Akurasi Sensor Arus

Pada proses pengujian ini menggunakan alat ukur amperemeter sebagai pembanding nilai arus yang dihasilkan oleh sensor arus, pengujian ini dilakukan sebanyak sepuluh kali dengan nilai arus yang berbeda – beda, proses pengujian dapat dilihat pada [Gambar 18](#) berikut ini, dan hasil pengujian dapat dilihat pada [Tabel 4](#).



Gambar 18. Pengujian akurasi sensor arus

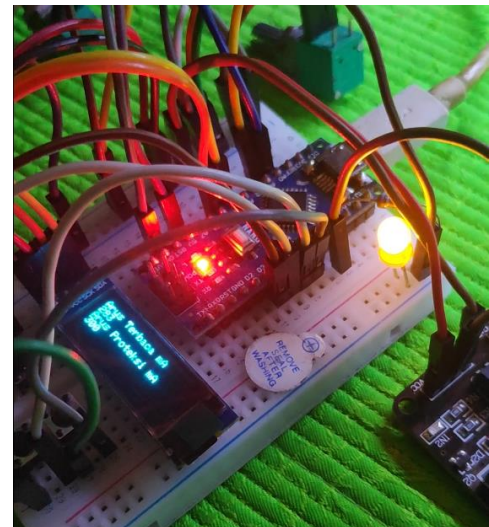
TABEL 4
HASIL PENGUJIAN AKURASI SENSOR ARUS

No	Alat Ukur (A)	Sensor Arus (A)	Error (%)
1	0.101	0.102	0.990
2	0.202	0.205	1.485
3	0.300	0.293	2.333
4	0.401	0.395	1.496
5	0.503	0.508	0.994
6	0.600	0.606	1
7	0.700	0.698	0.285
8	0.803	0.806	0.373
9	0.903	0.899	0.442
10	1.004	1.001	0.298
Rata-rata error			0.969

Berdasarkan hasil pengujian pada [Tabel 4](#) nilai arus yang diperoleh dari alat ukur dan sensor arus tidak jauh berbeda sehingga menghasilkan persentase error yang kecil.

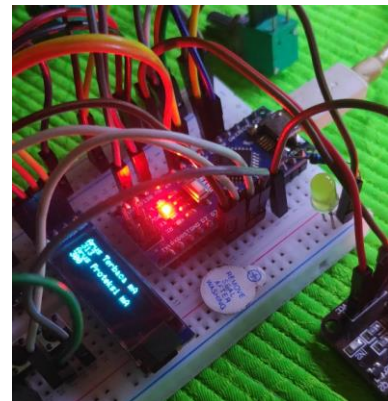
C. Pengujian Relay Proteksi Arus

Pada pengujian relay proteksi dilakukan dengan mengatur nilai arus proteksi dan nilai arus yang terbaca, perlu diketahui bahwa relay yang digunakan adalah jenis relay *active low* sehingga pada saat diberi sinyal *low* maka relay akan bekerja, dapat di lihat pada Gambar 19 saat nilai arus terbaca yaitu 283 mA lebih rendah dibandingkan nilai arus proteksi 300 mA, relay proteksi dalam keadaan normal, dapat dilihat dari lampu LED yang menyala, menandakan sinyal yang diterima relay dalam keadaan *high*.



Gambar 19. Pengujian relay proteksi kondisi normal

Lalu pada [Gambar 20](#), dapat dilihat saat nilai arus terbaca yaitu 313 mA lebih tinggi dibandingkan nilai arus proteksi 300 mA, relay proteksi dalam keadaan memproteksi, dapat dilihat dari lampu LED yang mati, menandakan sinyal yang diterima relay dalam keadaan *low*.



Gambar 20. Pengujian relay proteksi kondisi memproteksi

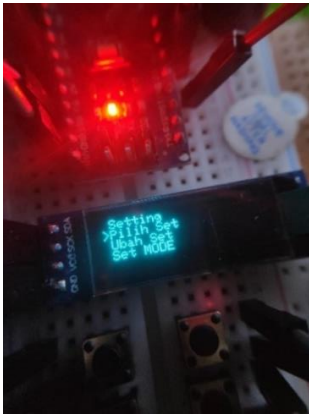
D. Pengujian Pengaturan Pada Menu layar

Berikut ditampilkan hasil pengujian pengaturan pada fitur menu yang ditampilkan pada layar LCD



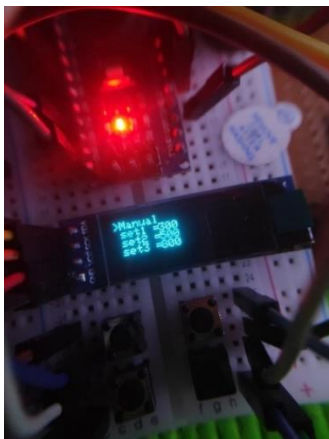
Gambar 21. Tampilan utama pembacaan arus

Pada [Gambar 21](#), menampilkan hasil pengujian pengaturan fitur LCD yang dimana menampilkan arus terbaca dari relay proteksi dan arus proteksi yang di *setting* untuk relay proteksi bekerja.



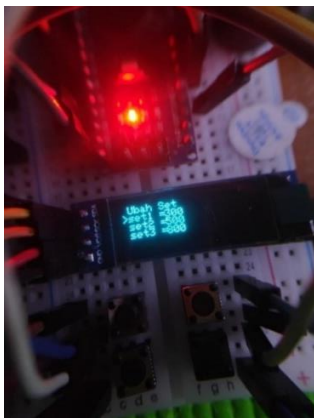
Gambar 22. Tampilan menu *setting* utama

Pada [Gambar 22](#), menampilkan tampilan menu *setting* utama yaitu tampilan untuk memilih pengaturan yang ingin diubah atau di atur. Ada 3 pengaturan yang dapat di pilih, yaitu : Pilih set, Ubah set, dan Set MODE.



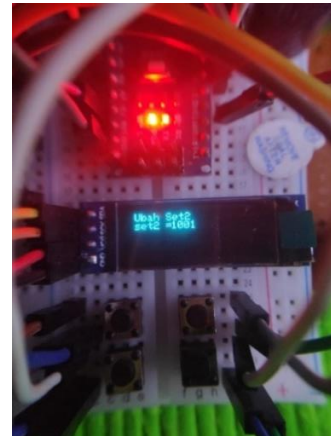
Gambar 23. Tampilan sub menu pada (Pilih Set)

Pada [Gambar 23](#), menampilkan tampilan sub menu pada Pilih Set, yaitu untuk memilih pengaturan nilai arus proteksi yang diinginkan.



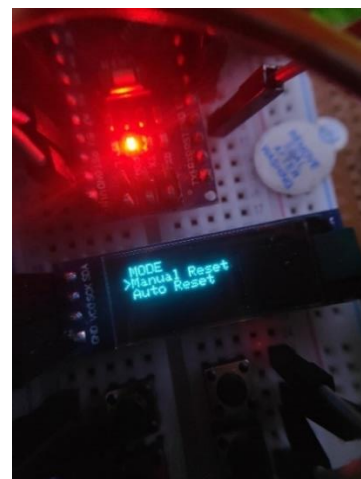
Gambar 24. Tampilan sub menu pada (Ubah Set)

Pada [Gambar 24](#), menampilkan tampilan sub menu pada Ubah Set, yaitu untuk mengatur nilai proteksi yang diinginkan dengan mengubah nilai pada *settingan* awal ke *settingan* yang diinginkan



[Gambar 24](#). Tampilan pengaturan pada sub menu (Ubah Set)

Pada [Gambar 24](#), menampilkan tampilan pengaturan pada sub menu Ubah Set, yaitu pengaturan nilai proteksi yang diinginkan.



Gambar 25. Tampilan sub menu pada (Set Mode)

Pada [Gambar 25](#), menampilkan tampilan menu pada Set Mode yaitu tampilan untuk mengatur mode yang diinginkan. Ada dua mode yang akan dijalankan, Manual reset dan Auto reset

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari Project Based Learning tentang rancang bangun Relay Proteksi Berbasis Arduino Di Laboratorium Microcontroller, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Berdasarkan hasil pengujian alat ini bekerja dengan baik dalam memproteksi arus lebih dan memiliki akurasi yang baik, dan menghasilkan rata-rata persentase *error* yang rendah yaitu 0.969%.
2. Percobaan relay proteksi arus lebih berbasis sensor arus op-amp merupakan sebuah metode yang digunakan untuk melindungi peralatan listrik dari kerusakan akibat arus lebih yang berlebihan. Metode ini menggunakan sensor

arus yang dapat mendeteksi arus listrik yang melewati suatu jalur atau kabel, dan kemudian mengaktifkan relay proteksi untuk memutuskan aliran listrik jika arus melebihi batas yang telah ditentukan.

3. Sensor arus yang digunakan merupakan sensor arus yang menggunakan current sensing resistor sebagai komponen yang mendeteksi arus pada beban, lalu dilengkapi dengan Op-Amp sebagai penguat agar sinyal tegangan yang dihasilkan oleh current sensing resistor dapat terbaca dengan baik oleh microcontroller
4. Sensor arus menggunakan Op-Amp memiliki kelebihan dibandingkan dengan sensor arus konvensional, karena mampu memberikan output yang lebih akurat dan stabil.
5. Dalam percobaan ini, sensor arus op-amp dihubungkan dengan rangkaian elektronik yang terdiri dari beberapa komponen seperti resistor, LED Display, dan relay proteksi. Ketika arus yang melewati sensor arus mencapai batas yang telah ditentukan pada microcontroller, maka microcontroller akan memberikan sinyal output yang akan mengaktifkan relay proteksi untuk memutuskan aliran listrik.
6. Dengan demikian, penggunaan sensor arus dilengkapi dengan op-amp dalam percobaan relay proteksi arus lebih dapat meningkatkan keandalan dan keakuratan sistem proteksi listrik, sehingga dapat melindungi peralatan listrik dari kerusakan akibat arus lebih yang berlebihan.
7. LCD display pada percobaan ini berfungsi untuk menampilkan informasi terkait arus listrik, seperti nilai arus yang mengalir dan nilai arus yang di proteksi, serta menampilkan menu pengaturan, sehingga memudahkan pengguna dan membuat alat ini lebih fleksibel dalam penggunaannya.

B. Saran

Dari Project Based Learning tentang rancang bangun Relay Proteksi Berbasis Arduno Di Laboratorium Microcontroller, maka dapat diperoleh saran;

1. Alat ini memiliki batas kemampuan daya yang dapat diterima sensor arus yaitu sebesar 25 Watt
2. Pada alat ini dapat menyimpan data pengaturan yang telah di buat, namun hanya dapat tersimpan ketika alat dalam keadaan menyala, jika dimatikan maka akan reset ke *settingan* awal, untuk dapat menyimpannya di butuhkan suatu penyimpanan memori.
3. Pada alat ini masih memiliki *Ripple* berkisaran $\pm 15\text{mA}$ dari nilai arus sesungguhnya.
4. Diharapkan pembaca dapat menjadikan laporan ini sebagai referensi dalam mengembangkan suatu rangkaian yang menyerupai.
5. Alat ini hanya dapat digunakan untuk memproteksi arus DC.

REFERENSI

- [1] D. Almanda dan H. Yusuf, "Perancangan prototype proteksi arus beban lebih pada beban DC menggunakan mikrokontroler," *Elektum* vol. 14 no. 2, 2017. [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/elektum/article/view/1735>. [Accessed 05 Juni 2023].

- [2] T.P. Satya, F. Puspasari, H. Prisyanti, dan E. R. M. Saragih, "Perancangan dan analisis sistem alat ukur arus listrik menggunakan sensor ACS712 berbasis Arduino Uno dengan standard clampmeter", *Simetris* vol. 11 no. 1, 2020. [Online]. Available: <https://jurnal.umk.ac.id/index.php/simet/article/view/3548/2059>. [Accessed 05 Juni 2023].
- [3] L. E. Nuryanto, "Penerapan dari op-amp (operational amplifier)" *Orbith* vol. 13 no. 1, 2017. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/orbith/article/view/950>. [Accessed 05 Juni 2023].
- [4] "Arduino Nano (V2.3)," [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>. [Accessed 18 April 2023].
- [5] D. Kho, "Teknik elektronik," [Online]. Available: <https://teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay/>. [Accessed 13 February 2023].
- [6] TI and community contribution, "LM385," Texas Instruments, [Online]. Available: <https://www.ti.com/product/LM358>. [Accessed 5 May 2023].
- [7] "Starting Electronics," 1 Desember 2020. [Online]. Available: <https://startingelectronics.com/tutorials/arduino/modules/OLED-128x32-I2C-display/>. [Accessed 13 February 2023].
- [8] R. Abadi, "Thecityfoundry," 12 January 2023. [Online]. Available: <https://thecityfoundry.com/potensiometer/>. [Accessed 14 February 2023].
- [9] A. Wahyudi, "TPTUMETRO," 30 June 2021. [Online]. Available: <https://www.tptumetro.com/2021/06/push-button-momentary-dan-alternate.html>. [Accessed 14 February 2023].
- [10] S. G. Anindita, "Pengertian Resistor, Fungsi, Rumus, dan Jenisnya," KOMPAS.COM, Jakarta, 2022.