

## **TUGAS AKHIR**

# **IMPLEMENTASI SENSOR *WIRELESS* NRF24L01 DENGAN KONTROL JARAK JAUH MENGGERAKKAN ROBOT 3 DOF**

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

**Disusun Oleh:**

**ZAKYUL NAUFAL**

**1907220121**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

**2025**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Zakyul Naufal  
NPM : 1907220121  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Implementasi sensor wireless NRF24L01 dengan kontrol jarak jauh menggerakkan robot 3 DOF  
Bidang ilmu : Sistem Kendali

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

Medan, 16 Agustus 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



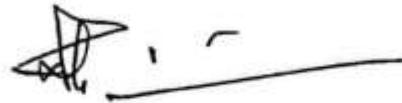
Rahmat Fauzi Siregar S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji



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

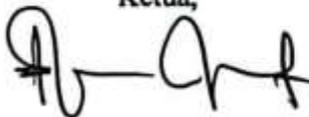
Dosen Pembanding II / Peguji



Ir Abdul Aziz Hutasuht, M.M

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,



Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Zakyul Naufal  
Tempat /Tanggal Lahir : Aceh Selatan/09 Juni 2001  
NPM : 1907220121  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

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

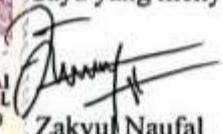
**"Implementasi Sensor Wireless NRF24L01 Dengan Kontrol Jarak Jauh Menggerakkan Robot 3 DOF",**

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

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

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

Medan, 16 Agustus 2025

Saya yang menyatakan,  
  
Zakyul Naufal



## ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan sistem kendali lengan robot dengan tiga derajat kebebasan (3 DOF) dengan menggunakan modul komunikasi nirkabel NRF24L01 dan joystick sebagai alat utama dalam mengontrol robot. Penggunaan kendali jarak jauh dipilih karena memberikan kebebasan bagi pengguna untuk mengoperasikan robot tanpa terbatas oleh kabel. Proses perancangan melibatkan penggunaan beberapa komponen seperti Arduino Uno sebagai mikrokontroler, tiga servo motor sebagai penggerak, joystick sebagai alat input, serta modul NRF24L01 untuk mengirimkan data secara nirkabel. Komunikasi antarperangkat dirancang menggunakan protokol SPI dengan mode half-duplex, sehingga data dari joystick bisa dikirim dalam bentuk paket yang terstruktur melalui frekuensi 2,4 GHz ke masing-masing servo motor. Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja stabil hingga jarak 12 meter, namun pada jarak lebih jauh terjadi penurunan kinerja berupa keterlambatan respon dan ketidakakuratan posisi lengan robot. Dengan melakukan kalibrasi pada joystick, presisi dan kehalusan gerakan lengan robot meningkat, sehingga lebih sesuai dengan perintah pengguna. Selain itu, penggunaan protokol komunikasi yang efisien membuat sistem mampu merespons dengan jeda waktu yang singkat, yang sangat penting untuk aplikasi real-time. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa sistem ini efektif dan ekonomis, cocok digunakan dalam lingkungan pendidikan dan pengembangan prototipe robotik kecil. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam memperkenalkan teknologi kendali robotik yang terjangkau, mudah diaplikasikan, dan relevan untuk kebutuhan pembelajaran serta pengembangan awal di bidang otomasi.

Kata kunci: Arduino, Joystick, Kendali Jarak Jauh, NRF24L01, Robot 3 DOF, Wireless.

## ABSTRACT

*This research develops a three-degree-of-freedom (3 DOF) robotic arm control system using the NRF24L01 wireless communication module and a joystick as the main tool in controlling the robot. The use of a remote control was chosen because it gives the user the freedom to operate the robot without being limited by cables. The design process involves the use of several components such as the Arduino Uno as a microcontroller, three servo motors as drivers, a joystick as an input device, and an NRF24L01 module to transmit data wirelessly. Communication between devices is designed using the SPI protocol with half-duplex mode, so that data from the joystick can be sent in the form of structured packets via a 2.4 GHz frequency to each servo motor. Test results show that the system works stably up to a distance of 12 meters, but at longer distances there is a decrease in performance in the form of response delays and inaccuracies in the position of the robotic arm. By calibrating the joystick, the precision and smoothness of the robotic arm's movements are increased, so that they are more in line with user commands. In addition, the use of an efficient communication protocol allows the system to respond with a short time lag, which is very important for real-time applications. From the research results it can be concluded that this system is effective and economical, suitable for use in educational environments and the development of small robotic prototypes. Thus, this research contributes to introducing affordable, easy-to-apply, and relevant robotic control technology for learning needs and early development in the field of automation.*

*Keywords: Arduino, Joystick, Remote Control, NRF24L01, 3 DOF Robot, Wireless.*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Implementasi sensor wireless NRF24L01 dengan kontrol jarak jauh menggerakkan robot 3 DOF” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus kepada :

1. Almarhum Ayahanda tercinta Kasman DH, S.E, Ibunda tercinta Nurlian Munir, serta seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil serta nasehat dan doanya untuk penulis demi selesainya Tugas Akhir ini
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan perhatian sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik
3. Bapak Dr. Ade Faisal M. Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Affandi, S.T., M.T., selaku Wakil III Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Ibu Dr. Elvy Sahnur, S.T., M.Pd., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
6. Benny Oktrialdi, S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
7. Bapak Rahmat Fauzi Siregar, S.T., M.T., selaku Pembimbing dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik

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

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

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Medan, Agustus 2025

Zakyul Naufal

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK .....	1
ABSTRACT .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Ruang Lingkup .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	4
2.1 Tinjauan Pustaka .....	4
2.2 Landasan Teori .....	5
2.2.1 Sensor NRF24L01 .....	5
2.2.2 Robot 3 DOF.....	6
2.2.3 Wireless .....	8
2.2.4 Arm .....	15
2.2.5 Robot.....	15
2.2.6 Arduino .....	16
2.2.7 Motor Servo .....	17
2.2.8 Catu Daya ( <i>Power Supply</i> ) .....	18
2.2.9 Komunikasi Data .....	18
2.2.10 Jenis-jenis Komunikasi Data .....	20
2.2.11 Sistem Kontrol Jarak Jauh .....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25

3.1	Waktu Penelitian .....	25
3.2	Tempat Penelitian.....	26
3.3	Alat dan Bahan .....	26
3.4	Alat dan Bahan .....	29
3.5	Wiring Diagram Transmitter dan Receiver .....	31
3.6	Diagram Alir ( <i>Flowchart</i> ) .....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1	Perancangan Arm Robot 3 DoF dan Sistem Kendali Robot Berbasis Wireless Sensor NRF24L01 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2	Algoritma Transmitter dan Receiver.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.1	Transmitter .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.2	Receiver.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3	Proses Pengiriman Data Transmitter ke Receiver Pada Sensor Wireless NRF24L01 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4	Modulasi Pengiriman Data Sensor Wireless NRF24L01 ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5	Kalibrasi Joystick dan Pergerakan Arm 3 DoF.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.6	Pengujian Jarak dan Sensor Jangkuan Transimisi Data NRF24L01 ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB V PENUTUP.....		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.1	Kesimpulan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2	Saran .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR PUSTAKA .....		35
LAMPIRAN.....		<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sensor NRF24101 .....	6
Gambar 2. 2 Ilustrasi Wireless proximity sensors .....	9
Gambar 2. 3 Ilustrasi WPAN .....	12
Gambar 2. 4 Ilustrasi WLAN .....	13
Gambar 2. 5 Ilustrasi WMAN .....	14
Gambar 2. 6 Ilustrasi WWAN .....	15
Gambar 2. 7 Robot Lengan .....	16
Gambar 2. 8 Gambar Arduino Uno .....	17
Gambar 2. 9 Gambar Motor Servo .....	18
Gambar 2. 10 bentuk sinyal modulasi analog. ....	21
Gambar 2. 11 Gambar Modulasi Digital ASK, FKS dan PSK .....	23
Gambar 3. 1 Blok Diagram metode transfer data NRF24L01 .....	30
Gambar 3. 2 Wiring diagram node transmitter .....	31
Gambar 3. 3 Wiring diagram node receiver .....	32
Gambar 3. 4 Diagram Alir .....	34
Gambar 4. 1 Diagram blok proses pengiriman data transmitter ke receiver .....	36
Gambar 4. 2 Format pengiriman data NRF24L01 .....	37
Gambar 4. 3 Bentuk sinyal error dan interferensi dari bitstream NRF24L01 .....	45
Gambar 4. 4 Modulasi GFSK pada NRF24L01 .....	46
Gambar 4. 5 Pengukuran arm robot 3 DoF .....	48
Gambar 4. 6 Kurva kalibrasi arm robot 3 DoF .....	49
Gambar 4. 7 Kurva pengujian jarak jangkauan transmisi NRF24L01 .....	40
Gambar 4. 8 Kurva packet loss rate vs distance .....	51
Gambar 4. 9 Kurva succes rate vs distance .....	53
Gambar 4. 10 Gambar pengukuran jarak 2m dan 4m .....	54
Gambar 4. 11 Gambar pengukuran jarak 6m dan 8m .....	55
Gambar 4. 12 Gambar pengukuran jarak 10m dan 12m .....	55
Gambar 4. 13 Gambar pengukuran jarak 14m dan 16m .....	57
Gambar 4. 14 Gambar pengukuran jarak 18m dan 20m .....	57
Gambar 4. 20 Gambar pengukuran jarak dan sensor 10m dan 12m .....	58
Gambar 4. 11 Gambar pengukuran jarak dan sensor 14m dan 16m .....	58
Gambar 4. 22 Gambar pengukuran jarak dan sensor 18m dan 20m .....	59
Gambar 4. 23 Inisialisasi NRF24L01 data pada Transmitter .....	61
Gambar 4. 24 Kurva Jarak terhadap packet loss dan RTT NRF24L01 .....	62

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2. 1 Spesifikasi NRF24L01 .....	6
Tabel 3. 1 Spesifikasi panjang arm robot.....	26
Tabel 3. 2 Spesifikasi pada sensor NRF24L01 .....	27
Tabel 3. 3 Spesifikasi pada Arduino UNO.....	27
Tabel 3. 4 Spesifikasi pada Motor servo.....	28
Tabel 3. 5 Spesifikasi joystick Uno R3 .....	29
Tabel 4. 1 Pengujian Pengukuran pada jarak .....	59

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi merupakan faktor penting dalam menunjang kehidupan manusia. Setiap kegiatan dan aktivitas manusia tidak lepas dari penggunaan teknologi. Manusia dituntut untuk terus mengembangkan teknologi agar dapat memenuhi kebutuhan manusia yang semakin meningkat. Dalam perkembangannya sudah sering digunakan teknologi yang bersifat otomatisasi. Industri atau pabrik sudah banyak yang menggunakan peralatan yang bersifat otomatisasi. Agar dapat bersaing di era globalisasi, sumber daya manusia dituntut untuk menguasai dan dapat mengembangkan teknologi. Untuk itu peran pendidikan sangat penting demi mengembangkan sumberdaya manusia yang berkualitas [1].

Robot adalah sebuah alat mekanik yang bisa melakukan tugas fisik, baik dengan menggunakan pengawasan dan kontrol manusia, dan perkembangannya sangat pesat di era globalisasi. penerapan berbagai ilmu teknologi hampir disemua bidang industri, ekonomi, kesehatan, dan bidang-bidang lainnya menggunakan prinsip robotik atau yang dapat bekerja dengan sendirinya [2].

Penggunaan istilah robot sendiri biasanya digunakan untuk menjelaskan berbagai jenis mesin yang memiliki kemampuan untuk bergerak dan dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan fisik. Model gerak yang bisa dilakukan oleh robot dibedakan menjadi holonomic dan non holonomic. Gerak holonomic yaitu posisi badan robot dibuat tidak berpindah tempat diletakkan planar sejajar permukaan bumi, badan robot dan bagian ujung robot dapat bergerak bebas untuk menjangkau daerah kerja robot. Sedangkan yang dimaksud gerak non holonomic yaitu robot tidak dapat langsung bergerak ke segala arah, tetapi harus melakukan gerakan tertentu terlebih dahulu agar dapat menuju kearah yang dituju [3].

Dalam komunikasi data sensor wireless NRF24L01 memiliki peran penting dalam mengendalikan robot dari jarak jauh. Modul ini memungkinkan pengiriman data tanpa kabel, membuatnya sangat berguna dalam berbagai aplikasi kontrol jarak jauh. Dengan menggunakan gelombang radio 2.4 GHz dan antarmuka Serial Peripheral Interface (SPI), modul ini dapat mentransmisikan informasi dengan cepat dan andal. Sebagai bagian dari jaringan sensor nirkabel, modul ini dapat

berfungsi sebagai penerima atau pengirim data, memastikan responsifitas yang optimal dalam mengontrol robot. Dengan tegangan operasi yang stabil pada 5V DC dan konsumsi arus yang rendah sekitar 9 mA, modul ini menjadi pilihan yang baik untuk aplikasi yang membutuhkan efisiensi energi dan kinerja yang handal [4].

Dari permasalahan tersebut maka penulis mengambil judul penelitian **“IMPLEMENTASI SENSOR *WIRELESS* NRF24L01 DENGAN KONTROL JARAK JAUH MENGGERAKKAN ROBOT 3 DOF”**

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang penulis kemukakan diatas, maka dapat dirumuskan masalahnya sebagai berikut yaitu:

1. Bagaimana merancang sensor wireless NRF24L01 sebagai jembatan antara pengontrol dengan robot?
2. Bagaimana merancang robot yang di implementasikan dengan wireless sensor?
3. Bagaimana prinsip kerja robot bekerja?
4. Bagaimana hasil pengujian sensor *wireless* NRF24L01 sebagai jembatan kontrol robot?

## **1.3 Ruang Lingkup**

Batasan masalah agas maksud dan tujuan dari penelitian ini berfokus sesuai dengan tujuan dan fungsinya adalah sebagai berikut:

1. Menguji jarak implementasi antara robot dengan pengontrol
2. Merancang arm robot 3 DOF
3. merancang sensor wireless NRF24L01 sebagai jembatan antara pengontrol dengan robot
4. Mengontrol gerak arm robot 3 DOF

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Penulis tugas akhir ini mempunyai beberapa tujuan antara lain:

1. Membuat perancangan gerak arm robot 3 DOF

2. Memahami dan mengetahui proses kerja gerak arm robot berbasis sensor *wireless* NRF24L01
3. Merancang robot berbasis sensor *wireless* NRF24L01
4. Menguji rancangan gerak *arm* robot 3 DOF
5. Mengetahui sejauh mana jangkauan sensor *Wireless* terhadap arm robot

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun yang menjadi manfaat dari penelitian ini bagi mahasiswa antara lain:

1. Menambah wawasan dan pengalaman dalam ilmu Elektro
2. Meningkatkan kemampuan dalam bidang akademik
3. Memenuhi Tugas Akhir

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Studi tahun 2020 “Remote Control Nirkabel Robot Bergerak” yang dilakukan oleh J. Stuart Kirubhakarapandian. Dalam penelitian ini, pengendalian robot seluler diberikan secara bersamaan dengan komputer melalui teknologi komunikasi RF. Menurut instruksi pengguna, komunikasi terjadi di mana data yang dikonversi ke port USB komputer ditransmisikan secara nirkabel ke modul penerima RF robot seluler melalui modul transmisi RF. Integrasi dan modul yang relevan kemudian dikontrol dengan mengirimkan data ke mikrokontroler [5].

Dalam penelitian bertajuk “Pemodelan Dinamis Robot Artikulasi Manipulator 3 DOF Berdasarkan Skema Koneksi Independen” yang dilakukan oleh Emmanuel C. Agbaraji pada tahun 2017. Dalam studi ini, kami merealisasikan kontrol torsi sambungan manipulator sambungan 3DOF berdasarkan pendekatan sambungan independen. Metode ini lebih sederhana dan lengkap, dan juga mencakup deskripsi dinamis manipulator yang lebih komprehensif dan lebih baik, yang terdiri dari dinamika listrik dan mekanik dari aktuator sambungan dan dinamika mekanis tautan. Oleh karena itu, hukum kontrol dapat diterapkan pada input pengontrol, memungkinkan Anda untuk benar-benar menggunakannya dalam desain pengontrol Anda, bukan hanya menggunakan model lengan robot [6].

Dalam penelitian bertajuk “Kontrol Tangan Robot dengan Sarung Tangan Menggunakan Komunikasi Nirkabel” yang dilakukan oleh Menaz Kazi 2020. Dalam penelitian ini, nirkabel nRF24L01 dikembangkan berdasarkan transmisi frekuensi radio (RF) ke mikrokontroler. Produk yang dihasilkan dalam proyek ini adalah tangan robot yang berfungsi penuh. Untuk mencapai rentang sudut penuh yang ditentukan untuk motor servo, sensor fleksibel pada sarung tangan pengontrol harus disetel beberapa kali agar pas dengan sarung tangan. Memiliki sensor yang fleksibel setelah penyesuaian itu bagus, tetapi tidak sempurna. Sarung tangan tidak sempurna karena dibatasi oleh ukuran yang tetap dan kesesuaian sarung tangan saat dipakai mempengaruhi pembengkokan sensor flex [7].

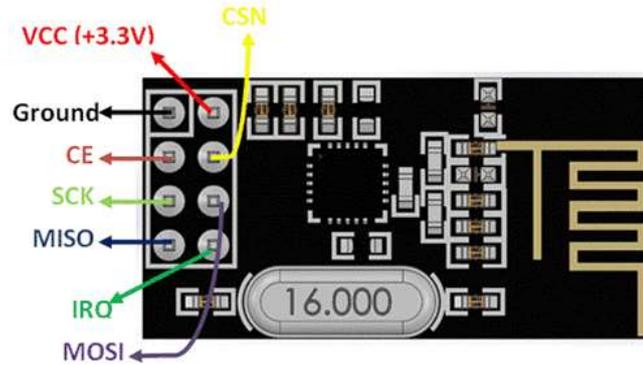
Pada penelitian bertajuk “SISTEM PENGATURAN KESEIMBANGAN ROBOT HUMANOID UNTUK BERDIRI DAN BERJALAN PADA BIDANG MIRING” yang dilakukan oleh Mochamad Farid Mustofa pada tahun 2016, ditemukan hasil analisis kinematika invers kaki dengan rata-rata error sebesar 2,8 untuk robot. Menerapkan mm pada sumbu X, 2,7 mm pada sumbu Y, dan 11,71 mm pada sumbu Z. Cara ini memudahkan untuk menggerakkan kaki ke posisi tertentu. Dalam penelitian ini, pengolahan data pada sistem ini memerlukan perangkat mikrokontroler dengan spesifikasi lebih tinggi atau dua mikrokontroler dalam konfigurasi master-slave untuk mengurangi penundaan pengiriman komunikasi nirkabel yang lebih cepat [8].

Pada Penelitian bertajuk “Pengolahan sinyal listrik pada lengan untuk menggerakkan lengan robot dalam 3 DOF (derajat kebebasan)” dan dilakukan oleh Penelitian Safarudin Basri. Error maksimum pada pengujian lengan pertama sebesar 2,6%, lengan kedua sebesar 6,25%, dan lengan ketiga sebesar 4,5%. Artinya, kecepatan motor yang disetel secara konstan tidak akan sesuai dengan posisi lengan sebenarnya, karena lengan dapat mencapai kecepatan konstan. Sudut dengan nilai waktu berbeda [9].

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Sensor NRF24L01**

NRF24L01 adalah sebuah modul komunikasi jarak jauh yang bekerja pada gelombang RF 2,4- 2,5 GHz. Modul Nrf24l01 menggunakan Serial Peripheral Interface (SPI) untuk berkomunikasi. Tegangan kerja dari modul ini adalah 5 Vdc. Konsumsi arus pada modul ini sangat rendah, yaitu 9 mA pada power output -6dBm dan 12,3 mA pada Rx mode. Nrf24l01 ini memiliki Ultra Low Power (ULP) solution, yang memungkinkan bisa bertahan berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun dengan hanya menggunakan baterai AA atau AAA. Modul Nrf24l01 ini banyak digunakan dalam wireless mouse, keyboard, dan joystick, komunikasi data wireless, alarm dan sistem keamanan, peralatan rumah tangga berbasis wireless, sensor industri dan mainan [10].



Gambar 2. 1 Sensor NRF24I01

Ilustrasi dari sensor Nrf24I01 dapat dilihat pada gambar 2.1 dan spesifikasi dari sensor NRF dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Spesifikasi NRF24L01

Daya :1.9-3.6v	Voltege Regulator (bawaan)
Antena: 2.4GHz	CRC Error Detec (bawaan)
Kecepatan: hingga 2Mbps	125 Channel

### 2.2.2 Robot 3 DOF

Robot 3 DOF (Derajat Kebebasan) adalah salah satu robot manipulator yang dibuat dengan merepresentasikan sumbu atau arah gerak tertentu. Pada robot dengan 3-DOF, terdapat tiga jenis gerakan yang bisa terjadi, biasanya melibatkan kombinasi rotasi dan translasi. Manipulator ini terdiri dari sendi yang memungkinkan gerakan rotasi pada setiap sumbu. Semakin banyak derajat kebebasan yang dimiliki robot, maka akan semakin terampil dan fleksibel.

Robot jenis ini digunakan dalam berbagai proses industri seperti pengelasan, pengecatan, pengambilan dan tempat, pengeluaran, pengemasan serta beberapa aplikasi penanganan yang meliputi perawatan alat mesin, pengecoran logam, dan penanganan material umum. Ini memiliki ruang kerja yang luas dan beroperasi di ruang 3-D [11].

Berikut adalah beberapa penjelasan mengenai robot 3 DOF:

- a. Robot 3 DOF memiliki kemampuan untuk bergerak ke dalam dan ke luar, ke kiri dan ke kanan, dan ke atas dan ke bawah.

- b. Robot 3 DOF memiliki sedikit fleksibilitas, tetapi itu cukup untuk fungsi dasar.
- c. Di titik-titik permukaan bola setengah lingkaran, robot 3 DOF dapat melakukan gerakan seperti mencapai target.
- d. Menggunakan perangkat lunak *Open Dynamics Engine* (ODE), robot 3 DOF dapat dimodelkan dan disimulasikan. Ini memiliki kemampuan untuk memindahkan barang dari satu tempat ke tempat lain.

Teori dan Konsep yang Diterapkan dalam 3-DOF:

a. Kinematika

Kinematika membahas gerak robot tanpa mempertimbangkan gaya yang menyebabkan gerak tersebut. Pada 3-DOF robotic manipulator, terdapat dua jenis analisis kinematik:

1. Forward Kinematics (FK):

Menentukan posisi dan orientasi *end-effector* (ujung manipulator) berdasarkan sudut rotasi sendi. Digunakan untuk mengetahui di mana posisi ujung lengan robot jika sudut pada setiap sendi diketahui.

Contoh: Ketika sudut rotasi setiap sendi diketahui, FK menghitung posisi pasti ujung lengan robot di ruang 3D.

2. Inverse Kinematics (IK):

Kebalikannya, IK menghitung sudut-sudut sendi yang dibutuhkan untuk mencapai posisi tertentu dari *end-effector*. Ini berguna dalam aplikasi seperti *pick-and-place*, di mana robot harus mencapai lokasi tertentu.

Contoh: Ketika posisi target diberikan, IK menghitung sudut yang tepat pada setiap sendi agar lengan bisa mencapai target tersebut [12].

b. Dinamika

Dinamika robot mempelajari hubungan antara gaya dan gerak pada sistem robot. Dalam 3-DOF, dinamika memodelkan bagaimana torque (torsi) yang diberikan pada sendi menghasilkan gerakan tertentu.

1) Model Euler-Lagrange:

Metode ini digunakan untuk mengembangkan model dinamis. Ini menghitung energi kinetik dan energi potensial setiap link dalam sistem robot.

Energi kinetik bergantung pada kecepatan dan posisi link, sedangkan energi potensial bergantung pada gaya gravitasi. Persamaan Euler-Lagrange kemudian menghasilkan hubungan antara torsi pada aktuator dan gerakan lengan robot.

c. Pengendalian (*Control System*)

Karena robot bergerak dalam ruang 3D dengan dinamika kompleks, dibutuhkan kontrol yang stabil dan kuat. Pada umumnya, digunakan PID Controller (*Proportional-Integral-Derivative*) untuk mengendalikan robot. Namun, PID kontroler sering memiliki keterbatasan dalam menangani sistem dinamis non-linear seperti robot. Dalam penelitian ini, tidak membahas sistem control kendali lebih spesifik[13].

Cara Kerja 3-DOF Robotic Manipulator:

- a) Input: Sistem menerima perintah posisi (koordinat) untuk end-effector.
- b) Penghitungan IK: Sistem menghitung sudut yang dibutuhkan pada setiap sendi untuk mencapai posisi tersebut (melalui inverse kinematics).
- c) Aktuasi: Aktuator di setiap sendi menghasilkan torsi berdasarkan input kontrol (biasanya tegangan atau arus) agar sendi bergerak sesuai dengan perhitungan IK.
- d) Gerak dan Pemantauan: Sistem memonitor posisi dan orientasi setiap segmen menggunakan sensor, dan melakukan koreksi jika terjadi deviasi.
- e) Kontrol Umpan Balik: Dengan PID atau kontroler yang lebih kompleks, sistem memastikan gerakan akurat dan stabil meski ada gangguan eksternal [14].

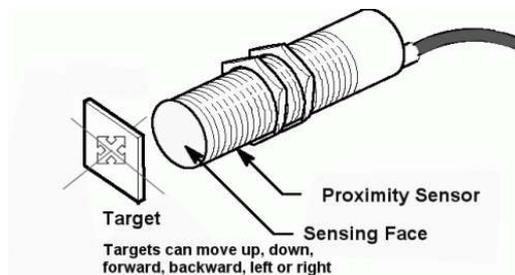
### 2.2.3 Wireless

*Wireless* merupakan penghubung dua perangkat yang tidak menggunakan media kabel (nirkabel). Teknologi *wireless* merupakan teknologi tanpa kabel, dalam melakukan hubungan telekomunikasi tidak lagi menggunakan media atau sarana kabel tetapi dengan menggunakan gelombang elektromagnetik sebagai pengganti kabel. Saat ini perkembangan teknologi *wireless* tumbuh dan berkembang dengan pesat, dimana setiap saat kita selalu membutuhkan sarana telekomunikasi.

Beberapa implementasi dari Sensor Wireless:

a) Wireless Proximity Sensors

*Wireless proximity sensors*, seperti RFID dan Bluetooth-based sensors, mencatat ketika individu berada dalam radius tertentu, memungkinkan peneliti mengukur interaksi dan durasi kedekatan tanpa kontak fisik langsung. Data ini kemudian dianalisis untuk membandingkan antara jaringan *co-presence* (orang berada di tempat yang sama) dan jaringan kontak fisik aktual. Meski jaringan *co-presence* menghasilkan data yang lebih padat, namun sering kali memberikan estimasi berlebih terkait durasi kontak dibandingkan dengan interaksi kontak fisik yang sebenarnya [15].



Gambar 2. 2 Ilustrasi *Wireless proximity sensors*

b) Wireless Movement Sensors

*Wireless movement sensors*, dapat mendeteksi jenis gerakan tertentu, termasuk akselerasi dan kemiringan. Seperti meneliti peran sensor gerak nirkabel dalam mengukur kinematika lumbo-pelvic, terutama pada individu dengan dan tanpa nyeri punggung bawah (LBP) [16]. Studi ini menggunakan sensor inersia nirkabel (IMU) dan sensor elektromiografi (EMG) untuk melacak gerakan dan aktivitas otot ekstensor selama fleksi batang tubuh. IMU mengukur berbagai parameter seperti rentang gerak, koordinasi urutan gerakan, dan posisi panggul dalam berbagai posisi seperti berdiri atau duduk. EMG memantau aktivasi otot selama gerakan untuk mengevaluasi pola kinematika yang tidak normal. Selain itu ada juga alarm sensor gerakan nirkabel dapat dikonfigurasi untuk memperingatkan pemilik saat aset atau paket berharga mereka sedang bergerak. Dengan sensor berbasis akselerasi, perusahaan dapat memantau pergerakan aset atau mengukur gaya tumbukan. Detektor gerak PIR menggunakan cahaya inframerah untuk mendeteksi gerakan di dalam ruangan. Sensor PIR sering digunakan dalam aplikasi keamanan dan deteksi orang.

c) Wireless liquid sensors

*Wireless liquid sensors*, mendeteksi keberadaan cairan, seperti air atau bahan bakar. Sensor aliran dapat memantau kapan pergerakan air berhenti, menunjukkan pipa yang berpotensi membeku. Peringatan nirkabel sensor air dapat memberi tahu pemilik rumah ketika ada banjir atau semacam luapan. Contoh lainnya adalah penelitian *A Wireless Liquid Identifier*, penelitian ini membahas sistem sensor cairan nirkabel yang dapat mengenali jenis cairan tanpa kontak langsung. Teknologi ini menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi sifat-sifat unik dari berbagai jenis cairan seperti air, alkohol, dan soda. Sistem Liquid bekerja dengan menganalisis respons frekuensi yang dipantulkan oleh cairan yang diuji, memungkinkan identifikasi yang akurat dan cepat. Penerapan sensor seperti ini sangat relevan di bidang keamanan pangan dan industri minuman, karena mampu membedakan cairan asli dan palsu atau mengidentifikasi bahan cair yang tidak dikenal dengan mudah [17].

d) Wireless push buttons

*Wireless push buttons*, mengirimkan sinyal saat tombol ditekan, yang sangat penting dalam situasi kesehatan darurat atau pribadi. Dalam jenis aplikasi ini, ini disebut sebagai Sistem Tanggap Darurat Pribadi (*Personal Emergency Response System*) di mana pengguna dapat menekan salah satu tombol panik nirkabel ini ketika mereka memerlukan bantuan dalam bentuk apa pun. Sensor tombol tekan nirkabel juga dapat digunakan dalam pengaturan layanan pelanggan ketika tamu perlu dapat meminta bantuan. Di toilet umum, tombol tekan nirkabel juga dapat berfungsi sebagai tombol panggilan servis yang menunjukkan kapan pembersihan diperlukan. Selain itu juga ada penelitian tentang penggunaan tombol tekan nirkabel sebagai solusi inovatif dalam otomasi rumah. Tombol ini dirancang untuk memungkinkan pengguna mengendalikan berbagai perangkat di rumah tanpa harus terhubung dengan kabel, yang meningkatkan fleksibilitas dan kemudahan penggunaan. Tombol tekan nirkabel dirancang dengan fitur ergonomis dan dapat dipasang di berbagai lokasi, memberikan kemudahan akses bagi pengguna. Tombol ini dapat digunakan untuk mengendalikan lampu, termostat, dan perangkat lainnya dalam

sistem otomasi rumah, memberikan kemudahan dalam manajemen lingkungan rumah [18].

e) Wireless air sensors

*Wireless air sensors*, digunakan untuk menilai kualitas udara, termasuk suhu, kelembaban, dan keberadaan gas berbahaya. Jenis sensor ini dapat digunakan untuk mendeteksi polutan udara, seperti gas CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan PM<sub>2.5</sub>. Sensor ini seringkali dilengkapi dengan teknologi nirkabel untuk memfasilitasi pengiriman data secara *real-time*. Beberapa studi kasus dalam jurnal menunjukkan implementasi sensor udara nirkabel dalam proyek pemantauan kualitas udara di berbagai lokasi, menyoroti manfaat yang didapat dari penggunaan teknologi ini. Selain itu dengan menggunakan sensor suhu dan kelembaban udara nirkabel, pemilik rumah dapat mendeteksi kegagalan sistem panas atau mengukur tingkat kelembaban di rumah kaca atau sauna di rumah. Dengan sensor udara nirkabel, pemilik galeri seni dapat dengan hati-hati mengatur suhu ruangan dan restoran dapat mendeteksi kegagalan pendinginan sebelum terlambat. Selain itu, sensor udara dapat digunakan untuk memantau efisiensi HVAC dan mendeteksi ketika aliran udara terhambat [19].

f) Wireless temperature sensors

Sensor suhu nirkabel tidak hanya dapat melacak suhu di lingkungan sekitar, tetapi juga dapat mengukur suhu material. Misalnya, sensor suhu tipe probe dapat mendeteksi pipa beku dan memperingatkan pemilik rumah bahwa mereka perlu mengambil tindakan pencegahan untuk menghindari masalah di masa depan. Sensor suhu nirkabel diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk pemantauan lingkungan, kesehatan, dan industri. Contohnya, dalam sistem HVAC, sensor ini membantu mengoptimalkan penggunaan energi dengan memantau suhu secara *real-time*. Ada juga sensor suhu yang dirancang khusus untuk aplikasi di dalam air. Akuarium dapat menggunakan sensor suhu air nirkabel untuk memantau suhu tangki. Taman hiburan dan pusat rekreasi juga dapat melacak suhu kolam renang dan memastikan kondisinya nyaman bagi para tamu [20].

Beberapa Wireless berdasarkan Jaraknya:

1) WPAN (Wireless Personal Area Networks)

*Wireless Personal Area Networks* (WPAN) bersifat sementara. Sistem komunikasi wireless yang jaraknya pendek, yang biasanya terhubung pada aksesoris pribadi seperti headset, keyboard, dan perangkat portabel untuk peralatan komunikasi dan jaringan [21].



Gambar 2. 3 Ilustrasi WPAN

2) WLAN (Wireless Local Area Network)

*Wireless Local Area Network* (WLAN) merupakan jenis jaringan komputer yang menggunakan gelombang radio sebagai medium utama untuk mentransmisikan data antar perangkat. Dalam WLAN, informasi atau data dapat dipindahkan dari satu komputer ke komputer lainnya dengan menggunakan gelombang radio. Jaringan ini sering juga disebut sebagai jaringan nirkabel atau jaringan wireless. Dengan adanya WLAN, pengguna yang dilengkapi dengan perangkat seperti kartu nirkabel atau personal digital assistant (PDA) dapat terhubung ke internet melalui titik akses (hotspot) terdekat. Hal ini memungkinkan akses internet yang fleksibel dan mobile, tanpa terikat pada kabel fisik yang biasanya digunakan dalam jaringan komputer konvensional.

Kelebihan dari WLAN:

1. Mobilitasi tinggi

2. Kemudahan dan kecepatan instalasi
3. Menurunkan biaya kepemilikan
4. Fleksibel
5. Scalable

Kekurangan dari WLAN:

1. Delay yang besar
2. Biaya peralatan mahal
3. Adanya masalah propagasi radio seperti terhalang, terpantul, dan banyak sumber interferensi.
4. Keamanan atau kerahasiaan data kurang terjamin [22].



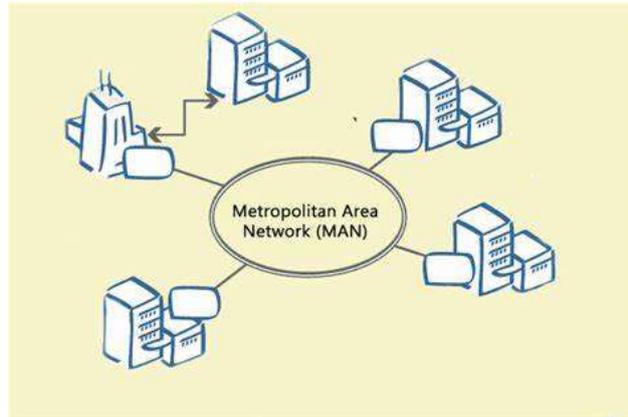
Gambar 2. 4 Ilustrasi WLAN

### 3) WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks)

Jaringan Area Metropolitan Nirkabel (WMAN) memungkinkan pengguna untuk menghubungkan beberapa titik di area perkotaan tanpa perlu menginstal kabel, yang sering kali mahal. Teknologi ini cocok untuk menghubungkan gedung perkantoran di pusat kota atau kampus yang luas. Keunggulan utama WMAN adalah kemampuannya untuk terintegrasi dengan jaringan kabel yang sudah ada, sehingga dapat berfungsi sebagai solusi backup jika jaringan kabel utama mengalami kegagalan.

WMAN menggunakan gelombang radio atau cahaya inframerah untuk mentransmisikan data, memastikan konektivitas yang handal dan efisien di area perkotaan yang padat. Teknologi ini tidak hanya mengurangi biaya infrastruktur, tetapi juga meningkatkan mobilitas dan aksesibilitas data antar lokasi yang terpisah secara geografis. Oleh karena itu, WMAN menjadi pilihan yang ideal bagi organisasi dan institusi yang membutuhkan

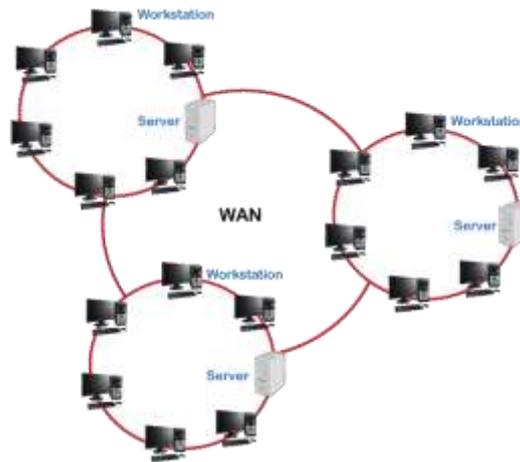
solusi komunikasi yang cepat, andal, dan fleksibel untuk mendukung operasional dan pertumbuhan mereka dalam lingkungan perkotaan yang dinamis [23].



Gambar 2. 5 Ilustrasi WMAN

#### 4) WWAN (Wireless Wide Area Network)

Teknologi WWAN (*Wireless Wide Area Network*) memberikan kemampuan bagi pengguna untuk terkoneksi secara nirkabel dengan jaringan baik yang bersifat pribadi maupun publik dari jarak jauh, yang mencakup area yang luas seperti antar kota atau bahkan antar negara. Teknologi ini mengandalkan infrastruktur berupa serangkaian antenna yang tersebar di berbagai lokasi strategis serta sistem satelit untuk memperluas jangkauan komunikasi yang dapat diandalkan. Di Indonesia, penerapan teknologi WWAN saat ini utamanya mengandalkan jaringan 4G yang ada dan sedang melakukan migrasi bertahap menuju jaringan 5G yang menjanjikan peningkatan kinerja yang signifikan dan adaptabilitas yang lebih baik terhadap kebutuhan akan konektivitas masa depan.



Gambar 2. 6 Ilustrasi WWAN

#### 2.2.4 Arm

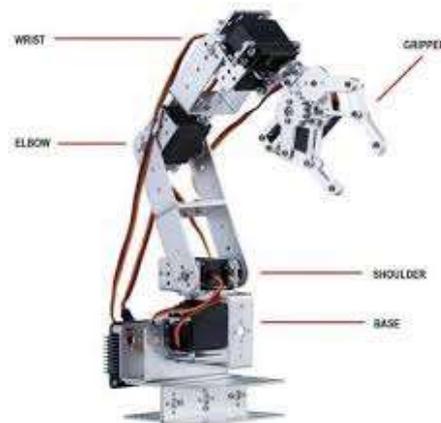
#### 2.2.5 Robot

Robot lengan adalah teknologi yang sangat populer dalam proses produksi saat ini karena kemampuannya yang sangat fleksibel. Robot lengan terdiri dari serangkaian sendi yang terhubung, dan masing-masing dapat dikendalikan melalui unit pengendali. Fleksibilitas robot lengan memungkinkan untuk mendukung berbagai aktivitas di unit produksi dengan efisiensi yang tinggi. Selain itu, karakteristik robot arm dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik produksi, di mana semakin banyak sendi yang dimiliki robot arm, semakin besar pula *degree of freedom* (DOF) yang dimilikinya [24]. Derajat kebebasan (Degree of Freedom) merujuk pada kemampuan lengan robot untuk melakukan pembengkokan, pergeseran, atau putaran. Konsep ini penting untuk menentukan cara gerak robot, di mana jumlah derajat kebebasan biasanya sebanding dengan jumlah sendi yang menggerakkan robot [25].

Robot secara umum adalah sistem kompleks yang terdiri dari perangkat keras (seperti motor, sensor, dan struktur mekanik) serta perangkat lunak (seperti algoritma navigasi dan kontrol) yang bekerja bersama-sama untuk mencapai tujuan tertentu. Mereka sering digunakan untuk menggantikan atau melengkapi pekerjaan manusia, terutama dalam situasi di mana keakuratan, ketelitian, atau risiko menjadi faktor penting. Secara umum, robot harus memiliki karakteristik sebagai berikut:

Secara umum, karakteristik yang harus dimiliki oleh robot adalah sebagai berikut:

1. Tidak bersifat alami
2. Mampu mendeteksi dan memahami kondisi lingkungan sekitarnya
3. Dapat menghadapi atau mengatasi hambatan di sekitarnya
4. Memiliki tingkat kecerdasan yang terdefinisi
5. Mampu membuat keputusan berdasarkan informasi yang didapat dari lingkungannya
6. Dikendalikan secara otomatis
7. Bisa diprogram
8. Mampu bergerak dengan melakukan satu atau lebih tindakan seperti berputar dan berpindah
9. Memiliki kemampuan untuk melakukan gerakan yang terkoordinasi dengan baik

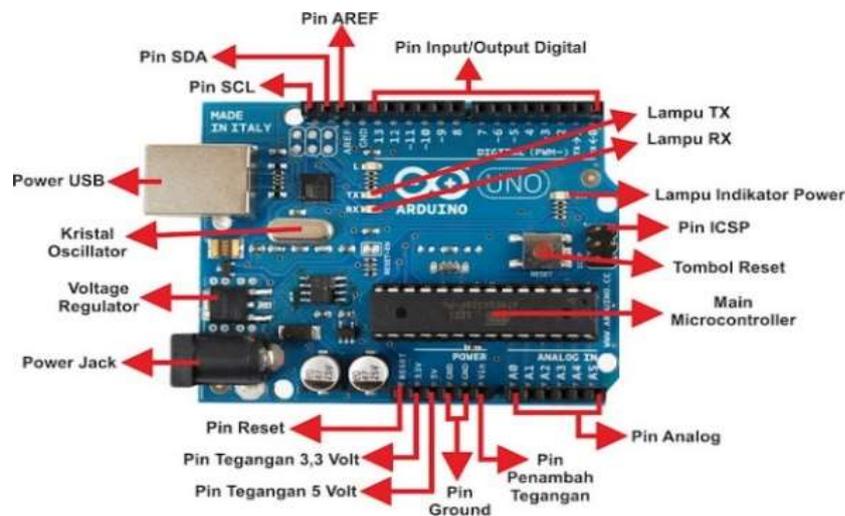


Gambar 2. 7 Robot Lengan

### 2.2.6 Arduino

Arduino adalah platform komputasi fisik open source yang menggunakan board input-output sederhana. Platform ini memungkinkan interaksi sistem fisik dengan penggunaan software dan hardware untuk mendeteksi serta merespons situasi dan kondisi tertentu. Arduino Uno merupakan mikrokontroler berbasis Atmega 328 yang beroperasi pada tegangan input 12V [26]. Arduino Uno dilengkapi dengan 14 pin digital input/output, di mana 6 pin dapat digunakan sebagai pin PWM dan 6 pin lainnya sebagai pin analog. Pin yang berfungsi sebagai

penerima data disebut pin input, sedangkan pin yang berfungsi sebagai pengirim data disebut pin output [27].

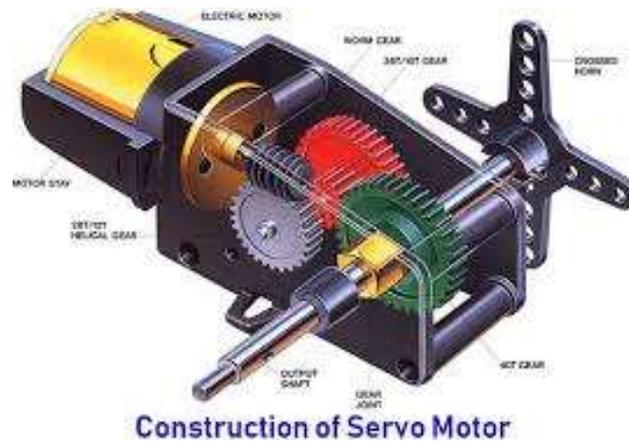


Gambar 2. 8 Gambar Arduino Uno

### 2.2.7 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah perangkat aktuator yang digunakan untuk mengontrol posisi dari poros outputnya. Perangkat ini menggunakan sistem kendali umpan balik loop tertutup (servo), yang terdiri dari beberapa komponen utama seperti motor, serangkaian gear untuk memperlambat putaran dan meningkatkan torsi, serta potensiometer yang berubah resistansinya seiring putaran motor untuk menentukan batas posisi poros. Motor servo bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui interaksi medan magnet permanen.

Terdapat dua jenis utama motor servo berdasarkan beban arusnya, yaitu Motor Servo AC dan Motor Servo DC. Motor Servo AC cocok digunakan untuk menangani tegangan arus listrik yang tinggi atau beban berat, terutama untuk aplikasi industri. Sementara itu, Motor Servo DC lebih umum digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan presisi, seperti di bidang robotika atau kendali mesin. Sistem kontrol pada motor servo bertujuan untuk memastikan bahwa poros motor mencapai posisi target yang diinginkan. Jika posisi sudah sesuai, putaran poros akan berhenti secara otomatis. Namun, jika posisi belum tepat, sistem akan menyesuaikan posisi motor servo sampai mencapai target yang benar [28].



Gambar 2. 9 Gambar Motor Servo

### 2.2.8 Catu Daya (*Power Supply*)

Adaptor daya atau catu daya adalah perangkat elektronik yang berfungsi sebagai sumber listrik untuk perangkat elektronik. Secara umum, istilah catu daya mengacu pada sistem penyearah dan filter yang mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah. Biasanya, catu daya DC dapat menggerakkan perangkat elektronik secara langsung, namun beberapa cara mungkin diperlukan untuk mengatur dan mempertahankan ggl konstan seiring perubahan beban. Energi yang tersedia adalah arus bolak-balik atau arus bolak-balik, yang harus diubah menjadi arus searah atau disearahkan. Cara kerja catu daya linier adalah dengan menggunakan trafo untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan AC lain yang lebih kecil. Tegangan ini disearahkan menggunakan rangkaian penyearah tegangan, dan pada ujungnya ditambahkan kapasitor sebagai penghalus tegangan untuk mencegah riak berlebihan dari tegangan DC yang dihasilkan oleh catu daya jenis ini. Catu daya jenis ini biasanya menghasilkan tegangan DC 0 hingga 60volt dan arus 0 hingga 10 ampere [29].

### 2.2.9 Komunikasi Data

Para ahli di bidang ini sedang mengarahkan upaya untuk meningkatkan efisiensi teknik komunikasi jarak jauh dengan memanfaatkan teknologi elektronik yang dikenal sebagai teknik komunikasi data. Teknik ini merupakan cara untuk mengirim informasi melalui sistem transmisi elektronik dari satu komputer ke komputer lain atau ke terminal tertentu. Proses ini melibatkan transfer sinyal

elektromagnetik yang dihasilkan oleh sumber data dan kemudian diterima serta diproses oleh terminal penerima.

Komunikasi data ada berbagai karakteristik yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

### 1. Simplex

Komunikasi simpleks adalah sistem komunikasi yang memfasilitasi aliran informasi hanya dalam satu arah, dari pengirim ke penerima, tanpa adanya kemampuan untuk pengiriman balik dari penerima ke pengirim. Konsep ini sering diilustrasikan dalam berbagai konteks teknologi seperti siaran televisi dan radio. Misalnya, pada siaran televisi, stasiun TV mengirimkan konten visual dan audio kepada pemirsa melalui saluran TV, namun tidak ada mekanisme yang memungkinkan pemirsa untuk memberikan tanggapan langsung atau mengirim informasi kembali ke stasiun.

Keuntungan utama dari komunikasi simpleks adalah keandalan tinggi karena mengharuskan penggunaan perangkat yang sederhana dan minim. Ini membuatnya cocok untuk aplikasi di mana transmisi satu arah dari informasi adalah cukup, seperti dalam siaran acara televisi, pengawasan jarak jauh, atau sistem pemantauan. Namun, kelemahan utama dari komunikasi simpleks adalah keterbatasan dalam interaksi dua arah. Karena tidak ada jalur kembali untuk respons atau pengiriman data dari penerima ke pengirim, komunikasi simpleks tidak cocok untuk aplikasi yang memerlukan dialog atau interaksi langsung antara pengirim dan penerima. Secara umum, penggunaan komunikasi simpleks dapat diterapkan secara efektif dalam skenario di mana informasi hanya perlu dikirimkan dari satu sumber ke satu tujuan tanpa memerlukan respons atau interaksi balik. Pemahaman yang mendalam tentang karakteristik, aplikasi, kelebihan, dan kelemahan komunikasi simpleks penting untuk merancang sistem komunikasi yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan spesifik suatu konteks teknologi atau aplikasi.

### 2. Half Duplex

Komunikasi half-duplex adalah sistem di mana dua atau lebih pihak dapat saling berkomunikasi dua arah, tetapi hanya satu pihak yang dapat mengirimkan data pada satu waktu tertentu. Artinya, ketika satu pihak sedang mengirim pesan, pihak lainnya harus menunggu giliran untuk mengirim pesan mereka. Dalam

komunikasi half-duplex, setiap pihak memiliki kemampuan untuk mengirim dan menerima informasi, tetapi tidak secara simultan. Contoh yang paling umum adalah penggunaan walkie-talkie di mana pengguna harus menekan tombol untuk berbicara dan melepaskannya untuk mendengarkan respons dari pihak lain. Beberapa kasus juga menggunakan sistem VOX PTT (Voice-Operated Push-To-Talk), di mana pengguna tidak perlu menekan tombol untuk berbicara tetapi menggunakan suara untuk mengaktifkan transmisi. Namun, perlu diingat bahwa VOX dapat dipicu oleh suara latar belakang yang keras dan ada kemungkinan memotong bagian-bagian dari percakapan [30].

### 3. Full Duplex

Komunikasi full-duplex adalah sistem komunikasi yang memungkinkan dua atau lebih pihak untuk saling berinteraksi secara dua arah secara simultan. Dalam sistem ini, setiap pihak dapat mengirim informasi dan menerima respons dengan cepat dan efisien tanpa harus menunggu giliran. Ini memungkinkan pertukaran informasi yang lebih dinamis dan interaktif antara semua pihak yang terlibat. Contoh yang umum dari komunikasi full-duplex mencakup panggilan telepon seluler, di mana kedua pengguna dapat berbicara dan mendengarkan secara bersamaan, serta konferensi video dan game online, di mana peserta dapat berkomunikasi dan bereaksi secara langsung terhadap informasi yang diterima dari yang lain. Penggunaan komunikasi full-duplex sangat penting dalam berbagai konteks, karena memungkinkan kolaborasi yang efektif, pengambilan keputusan yang lebih cepat, dan interaksi yang lebih langsung antara individu atau kelompok. Kemampuannya untuk mendukung komunikasi real-time dan simultan membuatnya menjadi pilihan yang ideal untuk aplikasi di mana respons cepat dan interaksi langsung diperlukan [31].

#### **2.2.10 Jenis-jenis Komunikasi Data**

Modulasi adalah proses dimana parameter gelombang berubah secara proporsional dengan gelombang lainnya. Parameter yang diubah bergantung pada kekuatan modulasi yang diterapkan. Proses modulasi memerlukan dua sinyal modulasi berupa sinyal informasi dan sinyal pembawa. Sinyal informasi ditumpangkan pada sinyal pembawa.

Modulasi terbagi menjadi dua bagian yaitu modulasi sinyal analog dan modulasi sinyal digital.

### 1. Modulasi Analog

Modulasi analog mentransmisikan sinyal data dalam bentuk sinyal analog atau dalam bentuk gelombang sinus. Modulasi Analog meliputi:

#### a) *Amplitude Modulation (AM)*

Modulasi amplitudo (AM) merupakan modulasi yang paling sederhana. Amplitudo gelombang pembawa berubah tergantung pada sinyal informasi yang akan ditransmisikan. Modulasi ini disebut juga modulasi linier, artinya pergeseran frekuensi mengikuti secara linier sinyal informasi yang dikirimkan.

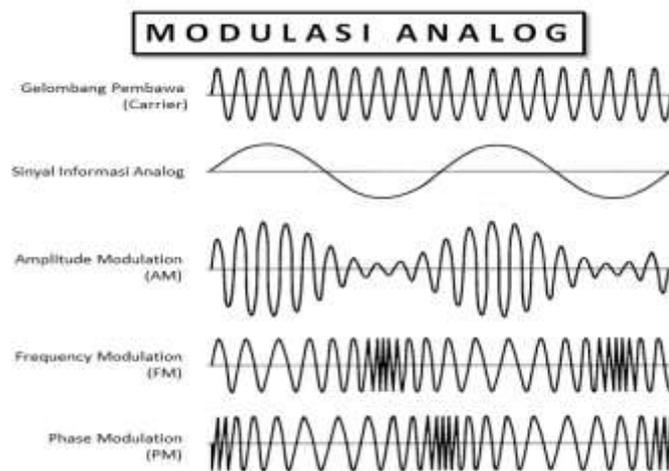
#### b) *Frequency Modulation (FM)*

Modulasi frekuensi (FM) adalah nilai frekuensi gelombang pembawa yang berubah tergantung pada amplitudo sinyal informasi. FM lebih tahan terhadap kebisingan dibandingkan AM karena kebisingan umumnya terjadi ketika amplitudo berubah.

#### c) *Phase Modulation (PM)*

Modulasi fase (PM) adalah proses modulasi yang mengubah fase sinyal pembawa sesuai dengan sinyal atau sinyal modulasi. Dengan kata lain, dalam modulasi PM, amplitudo dan frekuensi sinyal pembawa tetap, namun fase sinyal pembawa berubah bergantung pada informasi [32].

Adapun bentuk dari sinyal modulasi analog adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 10 bentuk sinyal modulasi analog.

## 2. Modulasi Digital

Modulasi digital adalah teknik yang mengkodekan (mengkodekan bit) sinyal dari sinyal analog ke sinyal digital. Teknik ini menggunakan sinyal informasi digital yang ditransmisikan untuk memvariasikan frekuensi sinyal pembawa. Dalam komunikasi digital, sinyal informasi direpresentasikan dalam bentuk digital sebagai biner 1 dan 0, dan gelombang pembawa dimodulasi secara sinusoidal. Ini juga disebut modulasi digital. Modulasi Digital meliputi:

### a. *Amplitude Shift Keying (ASK)*

Modulasi digital Amplitude Shift Keying (ASK) mentransmisikan sinyal digital berdasarkan pergeseran amplitudo. Metode modulasi ini memberikan sinyal digital 1 sebagai nilai tegangan dan sinyal digital 0 sebagai nilai tegangan 0 volt. Oleh karena itu terlihat bahwa pada metode modulasi ASK, pembangkitan frekuensi gelombang pembawa berbeda-beda tergantung ada tidaknya sinyal informasi digital.

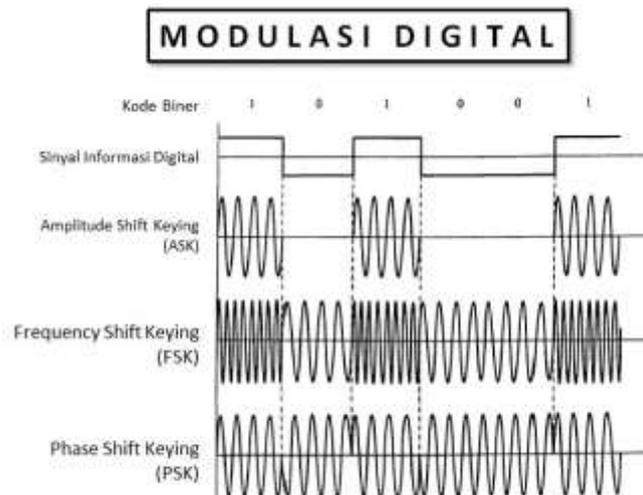
### b. *Frequency Shift Keying (FSK)*

Penguncian pergeseran frekuensi digital (FSK) adalah jenis modulasi frekuensi (FM) di mana sinyal modulasi (sinyal digital) menggeser keluaran antara dua frekuensi yang telah ditentukan, biasa disebut frekuensi tanda dan frekuensi ruang. Modulasi digital dengan FSK menggeser frekuensi pembawa ke beberapa frekuensi berbeda dalam pita, bergantung pada keadaan digit yang melewatinya. Modulasi jenis ini tidak mengubah amplitudo sinyal pembawa, hanya frekuensi. Teknologi FSK sering digunakan untuk transmisi informasi jarak jauh dan teleprinter. Standar FSK untuk teleprinter dikembangkan selama bertahun-tahun, dengan frekuensi 1270 Hz mewakili tanda atau 1 dan 1070 Hz mewakili spasi atau 0.

### c. *Phase Shift Keying (PSK)*

Penguncian pergeseran fasa digital (PSK) adalah modulasi yang mentransmisikan sinyal digital berdasarkan pergeseran fasa. Biner 0 diwakili dengan transmisi sinyal dalam fase yang sama dengan sinyal yang ditransmisikan sebelumnya, dan biner 1 diwakili dengan transmisi sinyal dalam fase berlawanan dari sinyal yang ditransmisikan sebelumnya. Dalam proses

modulasi ini, fase frekuensi pembawa berubah sebagai respons terhadap perubahan keadaan sinyal informasi digital [32].



Gambar 2. 11 Gambar Modulasi Digital ASK, FKS dan PSK

### 2.2.11 Sistem Kontrol Jarak Jauh

Sistem kontrol jarak jauh adalah teknologi yang memungkinkan pengguna untuk mengoperasikan perangkat atau sistem dari tempat lain menggunakan koneksi nirkabel. Teknologi ini menghubungkan sensor, aktuator, dan kontroler agar perangkat dapat menerima instruksi dan bekerja dengan baik. Sistem ini biasanya memanfaatkan jaringan seperti Wi-Fi, GSM, atau Bluetooth untuk mengirim dan menerima informasi. Pengguna dapat memantau dan mengendalikan perangkat secara langsung melalui antarmuka yang mendukung pemantauan real-time, sehingga tidak memerlukan kehadiran langsung di lokasi perangkat tersebut. Sistem kontrol jarak jauh sering diterapkan pada otomasi rumah, industri, dan kendaraan. Beberapa contohnya adalah kontrol suhu, pencahayaan, atau mesin produksi dari jarak jauh. Teknologi ini meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas operasional, namun tetap memiliki tantangan seperti risiko keamanan, ketergantungan pada koneksi, dan kemungkinan keterlambatan pengiriman data.

Selain itu, sistem kontrol jarak jauh dan sistem nirkabel (wireless) memiliki perbedaan signifikan dalam cakupannya. Sistem kontrol jarak jauh berfokus pada pengendalian dan pemantauan perangkat dari lokasi yang berbeda menggunakan protokol tertentu. Sementara itu, teknologi nirkabel lebih luas karena mencakup berbagai jenis komunikasi data, seperti Wi-Fi dan Bluetooth, yang tidak terbatas

pada kontrol saja tetapi juga digunakan dalam transfer data, internet, dan perangkat IoT. Meski seringkali sistem kontrol jarak jauh menggunakan koneksi nirkabel sebagai media utama, beberapa sistem juga dapat mengandalkan koneksi kabel seperti LAN untuk memastikan stabilitas dan keamanan yang lebih baik [33].

Sistem kontrol jarak jauh dan sistem nirkabel (wireless) sering menggunakan rentang frekuensi tertentu agar komunikasi dan kontrol dapat berjalan efektif. Dalam konteks remote control dan perangkat nirkabel, berbagai frekuensi umum digunakan, seperti 315 MHz, 418 MHz, dan 433.92 MHz. Setiap frekuensi memiliki kelebihan dan kekurangannya. Misalnya, 433.92 MHz sangat populer di Eropa karena termasuk dalam spektrum tanpa lisensi, sementara frekuensi seperti 902–928 MHz lebih banyak digunakan di AS karena memiliki fleksibilitas lebih tinggi dalam penerapannya. Selain itu, beberapa sistem nirkabel, seperti perangkat kontrol RC atau telemetri, mulai menggunakan frekuensi yang lebih tinggi seperti 2.4 GHz. Frekuensi ini menawarkan respons yang lebih cepat dan lebih tahan terhadap interferensi dibandingkan dengan frekuensi rendah. Sistem dengan 2.4 GHz bahkan dapat memanfaatkan teknik seperti Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) untuk menjaga koneksi tetap stabil di lingkungan padat sinyal.

Pada penelitian Dual Tone Multi-Frequency (DTMF) 2015 metode yang umum digunakan dalam sistem telekomunikasi untuk mentransmisikan informasi. DTMF memanfaatkan dua frekuensi yang berbeda untuk mewakili setiap tombol pada telepon. Frekuensi ini biasanya dalam rentang antara 697 Hz dan 1477 Hz, yang digunakan untuk menghasilkan sinyal yang diterima oleh sistem control [34].

### BAB III

#### METODOLOGI PENELITIAN

##### 3.1 Waktu Penelitian

Waktu penelitian perancangan ini dilakukan waktu 3 bulan 1 juli 2024 sampe 1 oktober 2024/2025. Berikut Tabel waktu penelitian:

	Kegiatan	Juli				Agustus			
		Minggu ke-				Minggu ke-			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■	■	■	■	■	■		
2	Pengajuan judul	■	■						
3	Bimbingan Dosen	■	■						
4	Peyusunan Laporan Bab 1		■	■					
5	Revisi Bab 1			■					
6	Penyusunan Laporan Bab 2			■	■				
7	Revisi Bab 2				■				
8	Penyusunan Laporan Bab 3				■	■	■		
9	Revisi Bab 3					■	■		
	Revisi Sempro					■	■		
10	Penyusunan Laporan bab 4								■
11	Revisi Semhas								■
12	Penyusunan Laporan bab 4 5								■
13	Sidang								■

### 3.2 Tempat Penelitian

Pengembangan wireless NRF24L01 sebagai media pembelajaran mata kuliah Praktik Robotika dilakukan di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara. Uji coba dan pengambilan data dilakukan Jurusan Pendidikan Teknik Elektro UMSU dengan alokasi di lab Teknik elektro umsu.

### 3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan metode penelitian ini antara lain:

- a) Lengan Robot (Arm Robot): Lengan robot, adalah robot mekanik dengan gerakan yang sebanding dengan lengan manusia. Lengan mesin memiliki berbagai arah gerakan tergantung lengan robot yang dibutuhkan dan juga memiliki komponen tambahan, seperti aktuator dan pengendali. Selain itu, lengan robot memiliki sistem. Derajat kebebasan, atau DOF yang memiliki tugas untuk mengidentifikasi berbagai gerakan pada hewan peliharaan itu.

Tabel 3. 1 Spesifikasi panjang arm robot

Nama Alat	Spesifikasi	Jumlah
Arm robot 3 DoF	Panjang <i>link</i> 1 (L1) 129,45mm	1
	Panjang <i>link</i> 2 (L2) 103,35mm	
	Panjang <i>link</i> 3 (L3) 239,8mm	

- b) Sensor NRF24L01: Perangkat NRF24L01 dapat berfungsi sebagai pemancar maupun penerima data dengan lebar frekuensi 15 kHz dan jarak maksimal 10 meter. Perangkat ini cukup sederhana untuk dirancang dan mudah ditemukan. Selain itu, penulis juga menggunakan model NRF24L01 PA LNA 2.4 GHz yang dilengkapi dengan antena wireless transceiver, yang dapat menjangkau hingga 1 km.

Tabel 3. 2 Spesifikasi pada sensor NRF24L01

Nama	Spesifikasi	Jumlah
NRF24L01	Catu daya: 1.9-3.6V	2
	Built-in 2.4GHz Antena	
	Speeds Up to 2Mbps	
	Built-in Voltage Regulator	
	Built-in Hardware CRC Error Detection	

- c) Arduino UNO: Mikrokontroler berfungsi untuk mempermudah penulis untuk mengkonversi sinyal elektronik dari sensor menjadi output yang diperlukan. Input dari sensor berupa sinyal elektronik kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk mengendalikan output, yang biasanya berupa komponen aktuator seperti motor DC. Selain itu, mikrokontroler dapat diprogram untuk menghasilkan sinyal output sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan oleh pemrogram, cukup hubungkan uno dengan komputer via kabel USB atau kasih tegangan dari adapter AC-DC. Perangkat ini cukup sederhana untuk dirancang dan mudah ditemukan. Selain itu, penulis juga menggunakan model mikrokontroler Arduino Uno ATmega328. Berikut Tabel spesifikasi dari Arduino Uno.

Tabel 3. 3 Spesifikasi pada Arduino UNO

Nama	Spesifikasi	Jumlah
Arduino Uno	Pin Digital I/O: 14 memiliki 6 PWM Output	2
	Pin PWM Digital I/O: 6	
	Pin Analog Input: 6	
	Arus DC Per I/O Pin: 20 mA (MiliAmpere)	
	Arus DC Pin 3.3 volt: 50 mA (MilliAmpere)	
	Flash Memory:32KB (ATmega 328P), 0.5KB	

- d) Motor servo: Robot memiliki motor servo sebagai actuator yang dapat mengubah besaran sudutnya. Sistem kendali, yang menggunakan mikrokontroller ATmega328, mengontrol motor servo secara langsung.

Mikrokontroler mengumpulkan data dalam bentuk instruksi pergerakan motor servo. Penulis akan memakai motor servo SG90 dan micro servo MG90S pada penelitian ini. Berikut adalah spesifikasi dari motor servo SG90 dan penulis juga menambahkan spesifikasi pada micro servo MG90.

Tabel 3. 4 Spesifikasi pada Motor servo

Nama	Spesifikasi	Jumlah
Motor servo SG90	Weight: 9g	4
	Dimension: 22mm x 11.5mm x 22.5mm	
	Stall Tarque: 1.8kg/cm (4.8v)	
	Gear Type: POM gear seat	
	Operating Speed: 0.1sec/60 Degree (4.8v)	
	Operating Voltage: 4.8v	
	Temperature range: 0.55	
	Dead Band width: 1us	

- e) Catu daya (*power supply*) Di antara berbagai jenis motor, motor servo menggerakkan lengan robot yang menggerakkan benda. Motor servo merupakan motor yang memerlukan satu sumber tenaga untuk pengendalian dan penggerakannya, sehingga diperlukan dua sumber tenaga dalam waktu yang bersamaan. Sumber listrik adalah suatu alat elektronik yang mempunyai sifat mengubah, mengendalikan, atau mengatur energi listrik sehingga dapat memberikan energi (arus dan tegangan) sesuai kebutuhan. Kebanyakan robot industri ditenagai oleh daya baterai, baik yang dapat diisi ulang maupun tidak. Catu daya membantu mendistribusikan daya ke berbagai komponen seperti Rangkaian robot penggerak motor atau rangkaian inverter.
- f) Joystick: *Joystick* untuk pengendalian arm robot dapat membantu dan melindungi operator saat mereka bekerja. Cara kerja *joystick* juga sangat sederhana saat menerjemahkan gerakan tangan penulis ke dalam bentuk digital dan mengirimkannya ke perangkat lunak untuk ditafsirkan untuk melakukan tindakan yang diperlukan. Saat penulis memegang tongkat pada *joystick*, sakelar elektroniknya akan mengidentifikasi arah tangan penulis.

Tabel 3. 5 Spesifikasi joystick Uno R3

Nama	Spesifikasi	Jumlah
Arduino Uno R3	Tengangan operasi 5V	1
	Tengangan input (Recommended) 7-12V	
	Tengangan input (limit) 6-20V	
	Pin Digital I/O 14 (6 diantaranya pin PWM)	
	Pin Analog input 6 input pin 12	
	Arus DC per pin I/O 40 Ma	
	Arus Pin untuk pin 3.3V 150 Ma	
	Flash Memory 32kb dengan 0.5 Kb digunakan sebagai <i>bootloader</i>	
	SRAM 2KB	
	EEPROM 1KB	
	Clock Speed 16 Mhz	

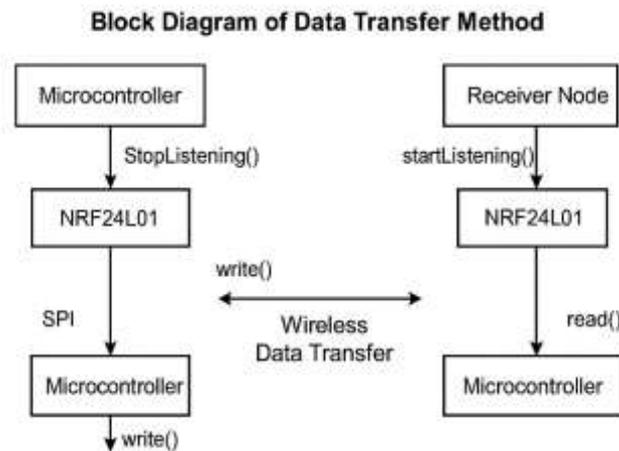
Adapun ada beberapa pada Alat penelitian yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini, yaitu:

- a) Laptop, berfungsi untuk pemrograman Arduino agar rangkaian dapat berjalan dengan baik.
- b) Solder, berfungsi untuk melunakkan timah putih dan mencabut IC atau komponen elektronik kecil lain yang melekat pada impek
- c) Obeng plus (+) dan minus (-), berfungsi untuk mengencangkan dan melonggarkan baut.
- d) Tang potong. Berfungsi untuk memotong kabel atau mengupas kulit kabel.

### 3.4 Alat dan Bahan

Metode transfer data nirkabel dalam penelitian ini menggunakan modul komunikasi NRF24L01, yang beroperasi pada frekuensi 2.4 GHz dan mendukung komunikasi dua arah (duplex) secara bergantian (half-duplex). Modul ini

diintegrasikan dengan mikrokontroler melalui antarmuka Serial Peripheral Interface (SPI), yang memungkinkan pertukaran data antara mikrokontroler dan modul transceiver. Sistem terdiri atas dua node, yaitu node pengirim (transmitter) dan node penerima (receiver), masing-masing dilengkapi dengan satu unit modul NRF24L01 dan satu mikrokontroler.



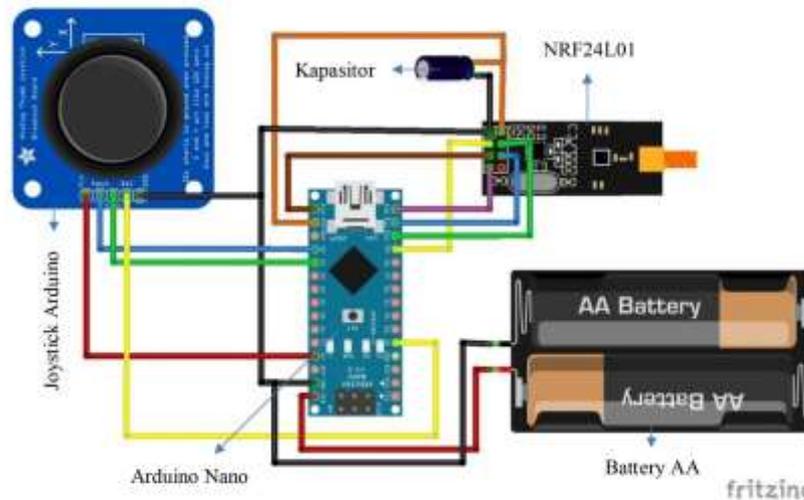
Gambar 3. 1 Blok Diagram metode transfer data NRF24L01

Sebelum proses pengiriman data dimulai, dilakukan inisialisasi konfigurasi pada kedua modul NRF24L01. Parameter utama yang dikonfigurasi meliputi alamat komunikasi (*address pipe*), tingkat daya pancar (*power level*), kecepatan transmisi data (*data rate*), serta kanal frekuensi yang digunakan. Modul pengirim dikonfigurasi keluar dari mode penerimaan (*stopListening()*) dan memasuki mode pengiriman, sementara modul penerima diatur ke dalam mode mendengarkan (*startListening()*). Alamat komunikasi pada kedua modul disamakan untuk memastikan sinkronisasi dan keberhasilan transmisi data. Data yang dikirim dibungkus dalam bentuk paket (*payload*) dengan panjang maksimum 32 byte, sesuai dengan batasan internal modul NRF24L01. Proses pengiriman data dilakukan dengan memanggil fungsi *write()* pada sisi pengirim, sedangkan penerima secara kontinu memantau kedatangan data melalui fungsi *available()* dan membaca isi paket menggunakan fungsi *read()*. Untuk menjaga kestabilan tegangan pada modul NRF24L01, yang diketahui sensitif terhadap fluktuasi daya, digunakan kapasitor elektrolit berkapasitas antara 10  $\mu\text{F}$  hingga 100  $\mu\text{F}$  yang dipasang paralel antara pin VCC dan GND.

Seluruh proses komunikasi berlangsung secara sinkron dan memanfaatkan mekanisme pengalihan serta konfirmasi penerimaan (*acknowledgment*) yang terintegrasi dalam modul, guna meningkatkan keandalan sistem komunikasi. Metode ini memungkinkan transfer data yang cepat, efisien, serta hemat daya, dan sangat sesuai untuk diterapkan dalam sistem tertanam (*embedded systems*), aplikasi Internet of Things (IoT), serta jaringan sensor nirkabel dengan jangkauan menengah.

### 3.5 Wiring Diagram Transmitter dan Receiver

Wiring diagram untuk node transmitter ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut.

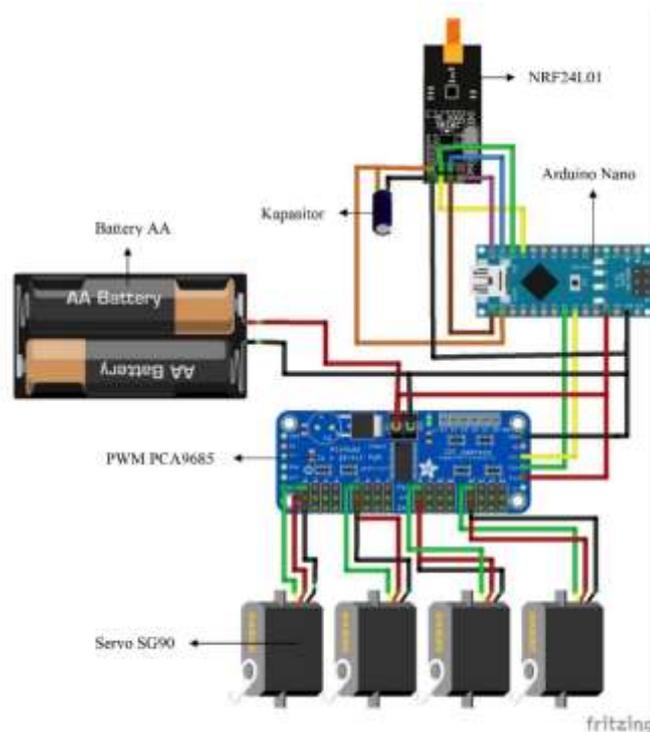


gambar 3. 2 Wiring diagram node transmitter

Konfigurasi perangkat keras untuk node pemancar (transmitter) dalam sistem ini terdiri atas satu unit mikrokontroler Arduino Nano, sebuah modul komunikasi nirkabel NRF24L01, joystick analog sebagai perangkat input, serta dua buah baterai AA sebagai sumber catu daya. Mikrokontroler Arduino Nano berperan sebagai pusat kendali yang membaca sinyal analog dari joystick dan mengirimkannya secara nirkabel melalui modul NRF24L01 ke node penerima. Joystick analog yang digunakan memiliki lima pin utama, yaitu GND, VCC, VRx, VRy, dan SW (saklar tekan). Pin VRx dan VRy masing-masing dihubungkan ke pin A0 dan A1 pada Arduino Nano untuk membaca sumbu gerak horizontal dan vertikal, sedangkan pin SW dihubungkan ke pin digital D2 untuk membaca tombol tekan. Pin VCC dan GND joystick masing-masing disambungkan ke pin 5V dan GND pada Arduino

Nano. Sementara itu, modul NRF24L01 dikonfigurasi untuk beroperasi sebagai pemancar data. Modul ini terhubung dengan Arduino melalui jalur komunikasi SPI. Pin CE dan CSN dari NRF24L01 dihubungkan ke pin digital D9 dan D10 pada Arduino Nano, sedangkan pin SCK, MOSI, dan MISO masing-masing dihubungkan ke pin D13, D11, dan D12. Karena NRF24L01 hanya mendukung tegangan 3.3V, maka pin VCC modul ini dihubungkan ke output 3.3V dari Arduino Nano, sementara pin GND dihubungkan ke GND bersama. Untuk menjaga kestabilan suplai tegangan pada modul NRF24L01, sebuah kapasitor elektrolit dengan nilai antara 10 hingga 100  $\mu\text{F}$  ditempatkan paralel antara pin VCC dan GND pada modul tersebut. Catu daya rangkaian diperoleh dari dua buah baterai AA yang dirangkai secara seri dan dihubungkan ke pin VIN Arduino Nano. Melalui regulator internalnya, Arduino menyediakan output tegangan sebesar 5V dan 3.3V untuk mendukung kebutuhan masing-masing komponen. Seluruh konfigurasi ini memungkinkan node pemancar untuk membaca perubahan posisi joystick secara real-time dan mengirimkan data ke node penerima melalui komunikasi nirkabel yang efisien dan stabil menggunakan NRF24L01.

Wiring diagram untuk node receiver ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.

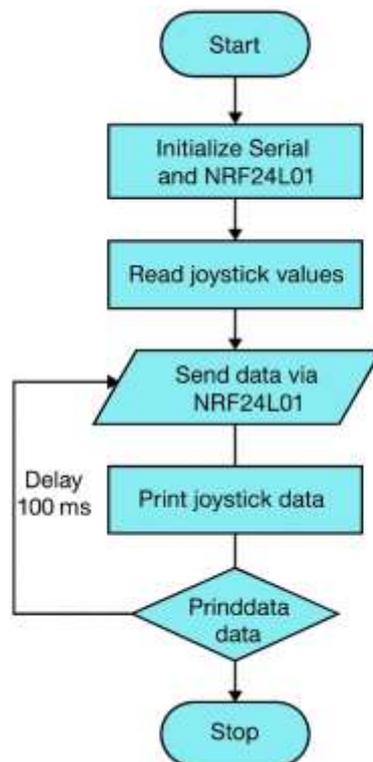


Gambar 3. 3 Wiring diagram node receiver

Konfigurasi perangkat keras untuk node penerima (receiver) dalam sistem ini terdiri atas mikrokontroler Arduino Nano, modul komunikasi nirkabel NRF24L01, modul ekspansi PWM PCA9685, empat buah servo motor, dan catu daya eksternal berupa dua baterai AA. Node ini berfungsi untuk menerima data perintah dari node pemancar melalui jalur komunikasi nirkabel, kemudian mengolah dan meneruskannya dalam bentuk sinyal PWM untuk mengendalikan gerakan motor servo. Modul NRF24L01 dihubungkan ke Arduino Nano melalui antarmuka SPI, di mana pin CE dan CSN masing-masing dihubungkan ke pin digital D9 dan D10, sedangkan pin SCK, MOSI, dan MISO dihubungkan ke pin digital D13, D11, dan D12. Pin VCC NRF24L01 dihubungkan ke output 3.3V dari Arduino Nano, sementara pin GND dihubungkan ke GND bersama. Sebuah kapasitor elektrolit (sekitar 10–100  $\mu$ F) dipasang paralel antara VCC dan GND pada modul NRF24L01 untuk menstabilkan suplai tegangan, mengingat modul ini sensitif terhadap fluktuasi daya. Untuk mengontrol empat buah motor servo secara bersamaan, digunakan modul ekspansi PWM PCA9685, yang berkomunikasi dengan Arduino melalui protokol I2C. Pin SDA dan SCL dari PCA9685 dihubungkan ke pin A4 dan A5 pada Arduino Nano. Modul PCA9685 juga menerima suplai daya langsung dari rangkaian baterai, di mana pin V+ dihubungkan ke kutub positif baterai dan pin GND dihubungkan ke ground bersama. Pin VCC pada PCA9685 disuplai dari pin 5V Arduino Nano untuk keperluan logika digital. Empat buah motor servo disambungkan ke kanal-kanal keluaran PWM pada PCA9685, dengan masing-masing motor memiliki tiga koneksi: sinyal (warna kuning), V+ (merah), dan GND (hitam). Koneksi ini memungkinkan PCA9685 memberikan sinyal PWM secara akurat dan stabil kepada setiap motor tanpa membebani langsung pin PWM Arduino. Keseluruhan sistem ini diberi catu daya oleh dua baterai AA yang dirangkai seri, yang memberikan suplai tegangan langsung ke modul PCA9685 dan melalui Arduino Nano juga menyuplai daya ke NRF24L01. Dengan konfigurasi ini, node penerima mampu menerima perintah secara nirkabel dari pemancar dan menggerakkan empat buah motor servo sesuai sinyal yang diterima, memungkinkan aplikasi dalam sistem kendali berbasis wireless seperti robotika atau kontrol jarak jauh.

### 3.6 Diagram Alir (*Flowchart*)

Gambar di bawah adalah flowchart (diagram alir) dari program pengiriman data joystick menggunakan modul NRF24L01. Flowchart ini menjelaskan tahapan-tahapan proses yang dilakukan oleh mikrokontroler (seperti Arduino) saat membaca nilai joystick dan mengirimkannya secara wireless.



Gambar 3. 4 Diagram Alir

## DAFTAR PUSTAKA

- N. Krisnajaya and S. Yatmono, "Pengembangan Media Pembelajaran Robotika Menggunakan Antenna Tracker Pendeteksi Koordinat Posisi Berbasis Graphical User ...," *J. Pendidik. Tek. ...*, vol. 8, no. 2, pp. 111–118, 2018, [Online]. Available: <https://journal.student.uny.ac.id/index.php/elektro/article/view/13783%0Ahttps://journal.student.uny.ac.id/index.php/elektro/article/download/13783/13300>
- A. A. Jabbar and Y. Yasdar, "Sistem Kendali Gripper Adaptif Pada Robot Transporter," *J. Mosfet*, vol. 2, no. 2, pp. 26–31, 2022, doi: 10.31850/jmosfet.v2i2.1974.
- B. A. B. Ii and T. Pustaka, "Unikom\_Muhammad Ariandi\_Bab Ii," pp. 6–29, 2021.
- B. Budiono, I. B Sulistiawati, and N. P. Agustini, "Penggunaan NRF24L01 Untuk Monitoring Data Pada PLTS Kapasitas 309 WP," *J. FORTECH*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.56795/fortech.v4i1.4101.
- J. S. Kirubhakarapandian, U. Politeknik, P. Manimegalai, T. Nadu, U. Politeknik, and P. Manimegalai, "Remote Control Nirkabel Robot Seluler," vol. 8, pp. 1–7, 2020.
- J. Internasional, I. Fisika, E. C. Agbaraji, E. Gondok, C. Inyama, and C. C. Okezie, "independen Pemodelan Dinamis Robot Artikulasi 3-DOF Manipulator Berdasarkan Skema Sambungan Independen".
- M. Kazi and M. Bill, "Tangan Robot Dikendalikan oleh Sarung Tangan Menggunakan Komunikasi Nirkabel".
- Mochamad Farid Mustofa, *Sistem Pengaturan Keseimbangan Robot Humanoid Untuk Berdiri Dan Berjalan Pada Bidang Miring*. 2016.
- S. Basri, P. S. Wardana, and R. Rokhana, "Pengolahan Signal Elektromiografi Pada Lengan Untuk Menggerakkan Lengan Robot Dengan 3 Dof," *EEPIS Final Proj.*, vol. 1, no. c, 2010.
- A. Septiano and T. Ghozali, "Nrf 24L01 Sebagai Pemancar/Penerima Untuk Wireless Sensor Network," *J. TEKNO (Civil Engineering, Elektr. Engineering Ind. Engineering)*, vol. 17, no. April, pp. 1–9, 2020.
- A. Ashagrie, A. O. Salau, and T. Weldcherkos, "Modeling and control of a 3-DOF articulated robotic manipulator using self-tuning fuzzy sliding mode controller," *Cogent Eng.*, vol. 8, no. 1, 2021, doi: 10.1080/23311916.2021.1950105.
- H. Sadegh Lafmejani and H. Zarabadipour, "Modeling, Simulation and Position Control of 3DOF Articulated Manipulator," *Indones. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 2, no. 3, 2014, doi: 10.11591/ijeei.v2i3.119.

- R. F. Siregar, A. Affandi, R. Rohana, A. R. Nasution, and I. Tanjung, "IoT Smart Control System: Smoke and Fire Detection Using SIM900A Module," *J. Electr. Technol. UMY*, vol. 7, no. 2, pp. 48–56, 2024, doi: 10.18196/jet.v7i2.19908.
- G. Wu, *Error Modeling and Design Optimization of Parallel Manipulators*. 2013. [Online]. Available: PhD Thesis
- S. Dai, H. Bouchet, A. Nardy, E. Fleury, J. P. Chevrot, and M. Karsai, "Temporal social network reconstruction using wireless proximity sensors: model selection and consequences," *EPJ Data Sci.*, vol. 9, no. 1, 2020, doi: 10.1140/epjds/s13688-020-00237-8.
- R. A. Laird, J. L. Keating, K. Ussing, P. Li, and P. Kent, "Does movement matter in people with back pain? Investigating 'atypical' lumbo-pelvic kinematics in people with and without back pain using wireless movement sensors," *BMC Musculoskelet. Disord.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–15, 2019, doi: 10.1186/s12891-018-2387-x.
- A. Dhekne, M. Gowda, Y. Zhao, H. Hassanieh, and R. R. Choudhury, "LiquidID: A wireless liquid identifier," *MobiSys 2018 - Proc. 16th ACM Int. Conf. Mob. Syst. Appl. Serv.*, pp. 442–454, 2018, doi: 10.1145/3210240.3210345.
- E. Amgård and K. Bergman, "Wireless Communication using Energy Harvesting Push Button," *DiVA*, 2016.
- W. Y. Yi, K. M. Lo, T. Mak, K. S. Leung, Y. Leung, and M. L. Meng, *A survey of wireless sensor network based air pollution monitoring systems*, vol. 15, no. 12. 2015. doi: 10.3390/s151229859.
- D. Yan *et al.*, "Low-cost wireless temperature measurement: Design, manufacture, and testing of a PCB-based wireless passive temperature sensor," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 2, pp. 1–14, 2018, doi: 10.3390/s18020532.
- L. KRISTIANA and A. M. MUHAMMAD, "Wireless Personal Area Network Performance Evaluation On Driving Simulator Realization," *MIND J.*, vol. 6, no. 2, pp. 205–220, 2021, doi: 10.26760/mindjournal.v6i2.205-220.
- H. Trsek, J. Jasperneite, L. Lo Bello, and M. Manic, "Wireless local area networks," *Ind. Commun. Syst.*, vol. 4, no. 2, p. 48, 2016, doi: 10.1017/cbo9780511536748.010.
- Amalia Yunia Rahmawati, *Pengantar Jaringan Komunikasi Nirkebal*, no. July. 2020.
- A. F. Riyadi and G. Nugroho, "Pengaplikasian Kontrol Robot 6-Dof Untuk Pick And Place Pada Industri Souvenir," *Pros. Semin. Nas. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 2020, pp. 22–27, 2020.
- M. Irwan and A. Y, "Sistem Kendali Lengan Robot 4-DOF untuk Pemindah

- Barang,” *J. Mosfet*, vol. 2, no. 2, pp. 16–25, 2022, doi: 10.31850/jmosfet.v2i2.1981.
- D. Satria and L. Wati, “Prototype Robot lengan Pemindah Barang dengan Kendali Lengan Manusia berbasis Arduino UNO,” *J. Ilmu Komput. dan Bisnis*, vol. 10, no. 1, pp. 2126–2134, 2019, doi: 10.47927/jikb.v10i1.145.
- N. Dewi, A. Z. Hasibuan, and A. Sembiring, “Prototype Robot Kapal Pemungut Sampah Pada Permukaan Air Dengan Pengendali Smartphone,” *Semin. Nas. Teknol. Inf. Komun.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8–1–8, 2020, [Online]. Available: <http://prosiding.snastikom.com/index.php/SNASTIKOM2020/article/view/5>
- X. Zhang, H. Tang, D. Yang, M. A. El-Meligy, and Z. Li, “Comparative Analysis of Sequential and Combinatorial Auctions Based on Petri Nets,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 38071–38085, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2840539.
- C. Alkalah, “~~濟無~~No Title No Title No Title,” vol. 19, no. 5, pp. 1–23, 2016.
- efendi, “Apa itu Komunikasi Data? Pengertian Komunikasi Data,” *Nesabamedia.Com*, pp. 1–10, 2021.
- J. A. Beckman, “Communication and data transmission systems.,” *Man. Remote sensing, 2nd Ed. Vol I*, pp. 681–698, 1983.
- Nimasrayun, “Jbptunikompp-Gdl-Nimasrayun-27125-5- Unikom\_N-I.Pdf,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, [Online]. Available: [http://elib.unikom.ac.id/files/disk1/543/jbptunikompp-gdl-nimasrayun-27125-5-unikom\\_n-i.pdf](http://elib.unikom.ac.id/files/disk1/543/jbptunikompp-gdl-nimasrayun-27125-5-unikom_n-i.pdf)
- S. I. H. M Fatkur Rozik, “Microcontroller Arduino Pada Instalasi Otomasi Kelistrikan Industri,” *J. Tek. elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 219–227, 2019, [Online]. Available: <http://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/viewFile/26475/24248>
- B. N. Getu, N. A. Hamad, and H. A. Attia, “Remote controlling of an agricultural pump system based on the dual tone multi-frequency (DTMF) technique,” *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 10, pp. 1261–1274, 2015.
- @book{siregar2024sistem,title={Sistem Mikrokontroler I}, author={, Rahmat Fauzi Siregar},year={2024},publisher={umsu press}}