

## **BAB III**

### **ANALISIS DAN PERANCANGAN**

#### **3.1 Analisis**

##### **3.1.1 Identifikasi Masalah**

Sistem kontrol lengan robotik berbasis gerakan tangan merupakan salah satu implementasi sistem robotik yang banyak digunakan dalam aplikasi industri, medis, dan pendidikan. Saat ini, banyak sistem kontrol robotik yang menggunakan joystick atau perangkat input lain yang tidak alami dan membutuhkan waktu lebih untuk belajar, terutama bagi pengguna awam. Penggunaan sensor gerakan seperti MPU- 6050 yang dapat mendeteksi perubahan orientasi dan akselerasi membuka peluang untuk menerapkan kontrol berbasis gestur tangan yang lebih intuitif dan mudah digunakan.

Permasalahan yang diidentifikasi dalam sistem konvensional adalah:

- Penggunaan perangkat input yang tidak alami:** Sistem kontrol lengan robotik konvensional banyak yang menggunakan joystick, tombol, atau antarmuka lain yang membutuhkan pelatihan khusus untuk digunakan secara efisien.
- Keterbatasan kontrol gerakan:** Pengendalian lengan robotik dengan perangkat input tradisional sering kali memiliki keterbatasan dalam hal akurasi dan keluwesan gerakan, terutama dalam aplikasi yang membutuhkan presisi tinggi.
- Biaya tinggi pada sistem komersial:** Banyak sistem kontrol robotik canggih yang tersedia di pasaran memiliki biaya yang tinggi, terutama jika digunakan untuk tujuan pendidikan atau penelitian.

##### **Peluang yang ada:**

- Peningkatan kontrol alami melalui gestur tangan:** Dengan

menggunakan sensor MPU-6050, yang mendeteksi akselerasi dan orientasi tangan pengguna, kontrol dapat menjadi lebih intuitif dan alami. Ini akan mengurangi waktu pembelajaran bagi pengguna baru dan meningkatkan fleksibilitas sistem.

2. **Penggunaan perangkat yang lebih murah dan terbuka:** Arduino Uno merupakan platform mikrokontroler yang murah, dengan dukungan komunitas yang besar, memungkinkan penelitian dan implementasi sistem robotik dengan biaya yang relatif rendah tanpa mengorbankan fungsionalitas.

### **3.1.2 Pemecahan Masalah**

Pemecahan masalah adalah langkah penting dalam merancang dan mengimplementasikan sistem kendali lengan robotik berbasis gerakan tangan. Dengan adanya pendekatan yang sistematis, langkah-langkah yang diambil dapat memastikan bahwa sistem yang dihasilkan mampu mengatasi permasalahan yang telah diidentifikasi, serta mencapai tujuan yang diinginkan. Berikut adalah langkah-langkah pemecahan masalah yang dirancang untuk sistem ini:

- a. Pemilihan Sensor Gerakan (MPU-6050)** Masalah: Banyak sistem konvensional menggunakan perangkat input yang tidak alami, seperti joystick atau tombol. Solusi: Mengganti perangkat input tradisional dengan sensor gerakan tangan yang lebih alami dan intuitif, yaitu MPU-6050. Sensor ini mampu mendeteksi gerakan dan orientasi tangan secara akurat menggunakan akselerometer dan gyroscope yang tertanam di dalamnya. Dengan begitu, pengguna dapat mengendalikan lengan robot hanya dengan menggerakkan tangan.
- b. Penggunaan Arduino Nano sebagai Pengontrol Utama** Masalah: Sistem kontrol yang rumit dan mahal biasanya membutuhkan perangkat pengontrol yang berkapasitas besar dan mahal. Solusi: Menggunakan Arduino Nano sebagai mikrokontroler utama karena ukuran yang kecil, harga yang terjangkau, dan kemampuannya yang cukup untuk mengolah data sensor dan mengontrol aktuator (motor

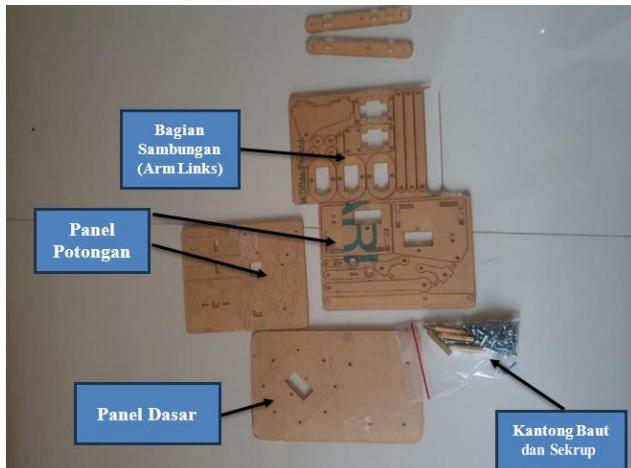
servo). Arduino Nano juga memiliki dukungan komunitas yang luas, sehingga memudahkan dalam pengembangan dan troubleshooting.

- c. **Pengolahan Data Sensor untuk Kontrol Gerakan yang Halus**  
Masalah: Untuk memastikan gerakan tangan dapat dikontrol dengan lebih halus dan akurat, dapat ditambahkan sarung tangan dengan sensor untuk mendeteksi gerakan tangan. Dengan sarung tangan yang dilengkapi sensor gerak, data dari sensor MPU-6050 akan dikombinasikan dengan data posisi jari-jari dari sarung tangan, memungkinkan pengolahan data yang lebih kaya. Algoritma pemrosesan data, seperti Kalman Filter atau Complementary Filter, akan menyaring noise dan mengintegrasikan informasi ini untuk menghasilkan pergerakan yang presisi. Pendekatan ini memastikan bahwa setiap gerakan tangan, termasuk gestur jari, dapat diterjemahkan dengan tepat menjadi gerakan mekanis pada lengan robot. memastikan bahwa setiap gerakan tangan dapat diterjemahkan dengan tepat menjadi gerakan mekanis pada lengan robot.
  
- d. **Desain Mekanisme Lengan Robotik yang Efisien**  
Masalah: Banyak sistem robotik menggunakan komponen yang mahal atau sulit diakses. Solusi: Menggunakan motor servo sebagai aktuator untuk menggerakkan sendi-sendi lengan robotik. Motor servo dipilih karena kemampuannya untuk menyediakan kontrol posisi yang presisi dan kompatibel dengan mikrokontroler seperti Arduino. Desain mekanik lengan akan dibuat sederhana dan modular untuk memudahkan perakitan serta memungkinkan fleksibilitas gerakan.
  
- e. **Integrasi Sistem Secara Keseluruhan**  
Masalah: Mengintegrasikan berbagai komponen (sensor, mikrokontroler, motor servo) ke dalam satu sistem yang bekerja secara harmonis seringkali menjadi tantangan teknis. Solusi: Menyusun sistem kontrol yang menghubungkan sensor MPU-6050 dengan Arduino Nano, dan selanjutnya menghubungkan Arduino Nano dengan motor servo yang menggerakkan lengan robot. Sistem komunikasi antara komponen

akan dioptimalkan agar terjadi minimal delay, sehingga respons sistem menjadi cepat dan sesuai dengan gerakan tangan pengguna.

### 3.2 Perancangan

#### 3.2.1 Perancangan Sistem



**Gambar 3.1** Print 3D tangan robot

Pada Gambar 3.1 ditunjukkan bagian-bagian material yang terlihat seperti komponen untuk merakit tangan robot 4 Degree of Freedom (4DOF). Komponen-komponen tersebut terdiri dari berbagai bagian mekanik yang saling terhubung, seperti base, link arm, servo bracket, serta gripper. Seluruh komponen ini dirancang agar dapat dipasang dengan presisi sesuai rancangan mekanisme lengan robot 4DOF."

#### Referensi:

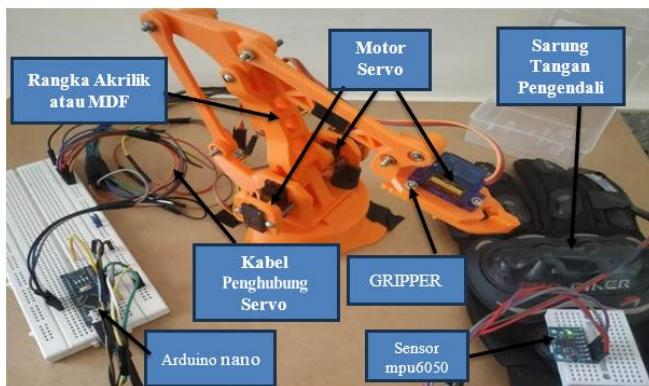
Desain rakitan ini diambil dari website penyedia file cetak 3D, yaitu Thingiverse (<https://www.thingiverse.com/>) yang menyediakan berbagai desain open-source untuk robot arm 4DOF.

Berikut adalah penjelasan umum tentang komponen-komponen yang ada dalam gambar:

1. **Panel Potongan:** Di bagian kiri dan kanan, terlihat beberapa panel MDF

atau material kayu ringan yang sudah dipotong menggunakan metode CNC atau laser cutting. Panel ini tampaknya menjadi bagian dari struktur rangka lengan robot. Potongan-potongan tersebut kemungkinan termasuk bagian-bagian seperti dasar (base), sambungan (joint), serta braket untuk motor servo.

2. **Bagian Sambungan (Arm Links):** Bagian panjang dan tipis yang ada di atas (dua potong kecil) mungkin merupakan lengan atau sambungan antaradua segmen utama lengan robot. Sambungan ini akan berfungsi sebagai bagian yang memungkinkan lengan bergerak di titik rotasi (degree of freedom).
3. **Kantong Baut dan Sekrup:** Terlihat adanya kantong kecil berisi baut, mur, dan sekrup, yang merupakan komponen penting untuk menghubungkan dan merakit bagian-bagian mekanis dari lengan robot.
4. **Panel Dasar:** Potongan besar di bagian bawah tampaknya merupakan bagian dasar (base) dari robot yang akan menampung motor servo atau bagian penggerak lainnya, sekaligus memberikan stabilitas.



Pada gambar 3.2 lengan robot 4DOF (4 Degree of Freedom)

Pada gambar 3.2. menunjukkan lengan robot 4DOF (4 Degree of Freedom) setelah dirakit. Berikut adalah penjelasan tentang komponen dan fungsinya:

1. **Motor Servo:** Terlihat ada beberapa motor servo yang terpasang di berbagai titik rotasi. Motor servo ini bertanggung jawab untuk menggerakkan masing-masing bagian lengan robot, memberikan kemampuan untuk bergerak pada berbagai sumbu (degrees of freedom). Biasanya, satu motor servo akan mengendalikan rotasi di setiap sendi utama.
2. **Rangka Akrilik atau MDF:** Bagian kerangka lengan robot terbuat dari akrilik atau material ringan yang telah dipotong dengan presisi. Kerangka ini memberikan struktur dan stabilitas bagi robot. Desainnya transparan dan ringan, memungkinkan motor servo untuk menggerakkan bagian-bagian lengan dengan lebih efisien.
3. **Sistem Sambungan (Joints):** Lengan robot ini memiliki empat titik sambungan yang masing-masing dapat bergerak, memungkinkan lengan robot untuk melakukan gerakan kompleks. Setiap sambungan memiliki derajat kebebasan (DOF) yang dikendalikan oleh motor servo, memberikan fleksibilitas gerakan ke berbagai arah.
4. **Gripper (Penjepit):** Pada ujung lengan robot, terdapat gripper atau penjepit yang juga digerakkan oleh motor servo. Gripper ini memungkinkan robot untuk mengambil, memegang, atau memindahkan objek sesuai instruksi yang diberikan. Gripper biasanya memiliki dua "jari" yang bisa membuka dan menutup.
5. **Base (Dasar):** Bagian dasar robot terpasang dengan kokoh untuk menopang keseluruhan struktur. Base ini memberikan stabilitas selama lengan robot bergerak, serta menjadi tempat motor servo utama yang menggerakkan seluruh lengan.
6. **Kabel Penghubung Servo:** Kabel-kabel yang terlihat dalam gambar adalah penghubung antara motor servo dan kontroler, yang dalam proyek Anda kemungkinan menggunakan Arduino Nano. Kabel ini membawa sinyal listrik

dari kontroler untuk menggerakkan motor sesuai dengan data yang diterima dari sensor.

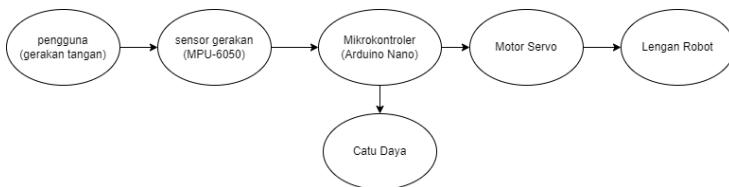
7. **Sarung Tangan Pengendali dengan Sensor MPU6050:** Pada proyek ini, digunakan sarung tangan khusus yang dilengkapi sensor MPU6050 untuk mendeteksi gerakan tangan. Sensor ini membaca perubahan posisi tangan dan mengirimkan sinyal ke Arduino Nano yang kemudian menerjemahkannya menjadi gerakan pada lengan robot. Dengan adanya sarung tangan ini, pengguna dapat mengendalikan lengan robot secara langsung melalui gerakan tangan, memberikan pengalaman pengoperasian yang lebih intuitif dan real-time.

### **3.2.1.1 Blok Diagram Sistem**

Blok diagram sistem yang dirancang untuk kendali lengan robotik berbasis gerakantangan terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

1. Sensor Gerakan (MPU-6050): Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi gerakan tangan pengguna dengan mengukur orientasi dan akselerasi tangan menggunakan akselerometer dan giroskop.
2. Mikrokontroler (Arduino Nano): Arduino Nano berfungsi sebagai pengontrol utama yang menerima data dari sensor MPU-6050, kemudian mengolah data tersebut untuk diterjemahkan menjadi sinyal kontrol bagi motor servo yang menggerakkan lengan robot.
3. Motor Servo: Motor servo digunakan untuk menggerakkan sendi-sendi lengan robot. Sinyal kontrol yang dikirim oleh Arduino Nano akan menentukan posisi dan pergerakan setiap motor servo.
4. Catu Daya: Sistem memerlukan sumber daya listrik untuk menjalankan sensor, mikrokontroler, dan motor servo.
5. Pengguna (Gerakan Tangan): Pengguna menggerakkan tangan, dan

gerakan ini akan dideteksi oleh sensor MPU-6050, yang kemudian diterjemahkan oleh Arduino Nano untuk mengendalikan lengan robot



**Gambar 3.3** blok diagram sistem

### 3.2.2 Perancangan Data

**Pengguna:** Entitas ini mewakili user yang menggerakkan tangan untuk memberikan input.

**Sensor MPU-6050:** Entitas ini menangkap gerakan tangan pengguna dan mengirimkan data akselerasi dan orientasi ke mikrokontroler.

**Mikrokontroler (Arduino Nano):** Entitas ini menerima data dari sensor, memprosesnya, dan menerjemahkannya menjadi sinyal kontrol untuk motor servo.

**Motor Servo:** Motor servo menerima sinyal kontrol dari mikrokontroler untuk menggerakkan lengan robot.

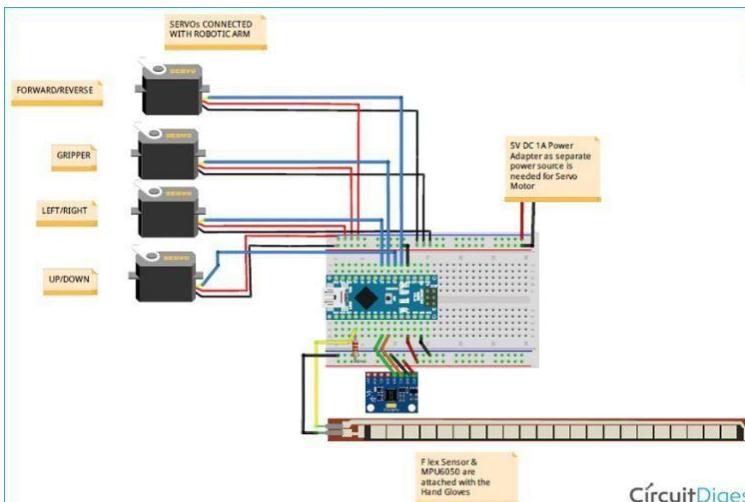
#### Relasi antar Entitas:

**Pengguna -> Sensor MPU-6050:** Pengguna memberikan input melalui gerakan tangan, dan sensor MPU-6050 mendeteksi data gerakan.

**Sensor MPU-6050 -> Mikrokontroler (Arduino Nano):** Sensor mengirimkan data gerakan ke mikrokontroler untuk diproses.

**Mikrokontroler (Arduino Nano) -> Motor Servo:** Mikrokontroler mengirimkan sinyal kontrol ke motor servo untuk menggerakkan lengan robot.

### 3.2.3 Perancangan User Interface / *Mock-up* aplikasi



Gambar 3.4 User Interface

#### Arduino Nano:

Ini adalah mikrokontroler utama yang menerima data dari sensor (MPU6050 dan flex sensor) dan mengontrol gerakan motor servo.

Menghubungkan sensor dan motor servo untuk memastikan gerakantangan pengguna diterjemahkan menjadi gerakan mekanis pada lengan robot.

#### MPU6050 (Gyroscope dan Accelerometer):

Sensor ini mendeteksi orientasi dan gerakan tangan pengguna, seperti rotasi dan akselerasi.

Sensor ini terhubung ke Arduino Nano melalui komunikasi I2C (pinSDA dan SCL). Data dari sensor MPU6050 digunakan untuk mengontrol gerakan seperti **naik/turun** dan **kiri/kanan** pada lengan robot.

#### **Flex Sensor:**

Flex sensor digunakan untuk mendeteksi lengkungan atau perubahansudut pada jari-jari tangan.

Sensor ini ditempatkan pada sarung tangan (hand glove) yang dipakai pengguna dan mengukur gerakan jari untuk mengendalikan gripper (penjepit) robot.

#### **Servo Motors:**

Ada 4 servo motor yang digunakan untuk menggerakkan bagian- bagian lengan robotik. Masing-masing motor dikendalikan untuk tugas yang berbeda:

**Motor 1 (Forward/Reverse):** Mengontrol gerakan maju dan mundur dari lengan robot.

**Motor 2 (Gripper):** Mengontrol bukaan dan penutupan gripper (penjepit).

**Motor 3 (Left/Right):** Mengontrol gerakan kiri dan kanan lengan robot.

**Motor 4 (Up/Down):** Mengontrol gerakan naik dan turun lengan robot.

Motor servo memerlukan daya terpisah karena konsumsi dayanya lebih besar daripada yang dapat disuplai oleh Arduino. Oleh karena itu, **power supply 5V DC 1A** digunakan untuk memberikan daya tambahan ke motor servo.

#### **Catu Daya (5V DC 1A Power Supply):**

Power supply eksternal digunakan untuk memberikan daya yang cukup kepada motor servo agar mereka bekerja dengan baik tanpa membebani Arduino Nano.

#### **Input dari Sensor:**

Gerakan tangan pengguna (rotasi dan akselerasi) terdeteksi oleh **MPU6050** dan diukur oleh **flex sensor**.

Data gerakan dari sensor dikirimkan ke **Arduino Nano** melalui pin I2C (untuk MPU6050) dan analog (untuk flex sensor).

#### **Pemrosesan oleh Arduino Nano:**

Arduino Nano menerima data dari sensor, kemudian memprosesnya untuk menghasilkan sinyal kontrol yang sesuai bagi motor servo.

Sinyal kontrol ini digunakan untuk menggerakkan motor servo sesuai dengan gerakan tangan pengguna.

#### **Kontrol Motor Servo:**

Setiap motor servo dihubungkan ke pin PWM pada Arduino Nano. Motor ini menerima sinyal untuk melakukan gerakan maju/mundur, kiri/kanan, naik/turun, serta untuk mengontrol penjepit (gripper).

Motor servo bekerja berdasarkan sinyal PWM yang dihasilkan dari Arduino Nano setelah menerima dan memproses data sensor.

#### **Output:**

Berdasarkan input dari sensor dan pemrosesan dari Arduino, motor servo akan bergerak sesuai dengan gerakan tangan pengguna, menggerakkan lengan robot untuk melakukan berbagai operasi seperti menggenggam, mengangkat, memutar, dll.

### **3.3 Rancangan Pengujian**

#### **Black Box.**

Pengujian Black box dilakukan untuk menguji logika dan alur kerja di dalam kode program lengan robotik. Dalam hal ini, setiap fungsi yang terkait dengan pembacaan data sensor (seperti sensor MPU6050 untuk mendeteksi gerakan tangan) dan penerjemahan data tersebut ke dalam pergerakan aktuator diuji secara mendetail. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa algoritma kontrol

berjalan sesuai yang diharapkan dan tidak terdapat kesalahan logika yang menghambat kinerja lengan robotik.

Tabel 3.1 Rancangan Pengujian Black Box

No	Jenis Pengujian	Tujuan	Kasus Uji
1	Fungsi Gripper	Memastikan gripper dapat membuka dan menutup sesuai dengan nilai input derajat.	- Berikan input derajat ke gripper - Amati perubahan bukaan gripper dalam persen (%). <b>Expected Result:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <math>0^\circ</math> = 0% (tertutup penuh).</li><li>- <math>45^\circ</math> = 25% terbuka.</li><li>- <math>90^\circ</math> = 50% terbuka.</li><li>- <math>135^\circ</math> = 75% terbuka.</li><li>- <math>180^\circ</math> = 100% terbuka.</li></ul>

---

2	Gerakan Jari Gripper	Memastikan jari gripper bergerak serempak dan presisi sesuai input. Berikan input bertahap dari $0^\circ$ ke $180^\circ$ dengan kenaikan $30^\circ$ .  <b>Expected Result:</b> Semua jari bergerak serempak, tidak ada delay atau ketidaksejajaran.
3	Gerakan Servo Kiri (servo_1)	Memastikan servo kiri dapat bergerak sesuai input x-axis. Uji input $x = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ .  <b>Expected Result:</b> Servo bergerak sesuai sudut input dengan presisi (error toleransi $\pm 2^\circ$ ).

---

---

4	Gerakan Servo Kanan (servo_2)	Memastikan servo kanan dapat bergerak sesuai input x-axis.	Uji input $x = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ . - Amati posisi lengan bagian kanan.  <b>Expected Result:</b> Servo bergerak sesuai sudut input dengan posisi presisi (error toleransi $\pm 2^\circ$ ).
5	Gerakan Naik-Turun (servo_3)	Memastikan lengan dapat bergerak naik dan turun dengan benar sesuai input y-axis.	Kasus Uji: - Uji input $y = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$ . - Amati sudut gerak naik-turun lengan.  <b>Expected Result:</b> Lengan bergerak sesuai sudut input, posisi stabil di setiap sudut.

---

- 6      Gerakan Basis (servo\_4) Memastikan putaran - Berikan input putaran basis ke kiri basis kiri-kanan bekerja penuh ( $0^\circ$ ) hingga kanan penuh ( $180^\circ$ ) dengan interval  $30^\circ$ . sesuai input y-axis.

- Amati posisi.

**Expected Result:** Basis berputar halus dan sesuai sudut input (error toleransi  $\pm 2^\circ$ ).

---