

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

##### **2.1.1 Pengelolaan Air**

Pengelolaan air adalah proses meningkatkan kualitas air agar sesuai dengan standar kualitas penggunaannya [28]. Kualitas air yang digunakan pada industri air minum berbeda dengan industri manufaktur atau pembangkit listrik. Tahapan pengelolaan air umumnya sama di setiap sektor industri, yang membedakannya terletak pada praktik tiap tahapannya.

Tahapan pengelolaan air dimulai dari pengambilan air, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, disinfeksi, terakhir distribusi. Pengambilan air dilakukan pada sumber alam seperti danau atau sungai. Air yang diambil ditampung pada bak koagulasi untuk dicampur dengan bahan kimia seperti tawas, kaporit, dan dukem. Penggunaan bahan kimia tersebut bertujuan untuk mengikat kontaminan agar mudah mengendap. Selanjutnya air perlu diaduk agar pembentukan flok dan endapan lebih cepat, proses ini disebut flokulasi. Setelah endapan membentuk sedimen, air perlu dipisahkan ke dalam bak lain agar tidak lagi tercampur dengan kontaminan. Sementara itu, sedimen yang terbentuk dapat dibuang ke tempat limbah. Air yang sudah dipisahkan selanjutnya disaring pada filter khusus untuk mengurangi kontaminan terlarut. Pada proses filtrasi ini dapat digabung dengan proses disinfeksi dengan tujuan membunuh bakteri atau mikroorganisme dalam air dan menghilangkan bau. Setelahnya air dapat didistribusikan atau digunakan untuk keperluan industri [27] [28].

Hal yang membedakan proses pengelolaan air pada industri air minum dengan industri pembangkit listrik atau industri lainnya terdapat pada tahapan koagulasi, flokulasi, dan disinfeksi. Ketiga tahapan tersebut melibatkan pencampuran bahan kimia yang penggunaannya dapat mempengaruhi warna, rasa, dan bau air. Contoh bahan kimia yang

digunakan pada tahap koagulasi adalah tawas, kaporit dan dukem. Tawas dapat menetralkan muatan partikel pada tanah sehingga mampu mengikat dan menggumpalkannya. Penggunaan tawas berlebihan dapat merusak pH air dan menambah kontaminan logam alumunium. Kaporit dapat membunuh mikroorganisme dan bakteri dalam air sehingga mengurangi bau tidak sedap. Penggunaan kaporit berlebih dapat mengubah air menjadi beracun untuk dikonsumsi [33].

### 2.1.2 Penggunaan Robot Lengan Pada Industri

Berdasarkan laporan penjualan robot lengan oleh Fact.MR, nilai pasar robot lengan dari 2018 hingga 2022 meningkat sebesar 6,2% CAGR. Angka ini diperkirakan akan meningkat terus hingga 2033. Artinya, penggunaan robot lengan di sektor industri akan terus meningkat. Secara global, sektor industri yang menggunakan robot lengan antara lain penerbangan, otomotif, makanan, kesehatan, logistik, farmasi, elektronik, suku cadang, dan lain-lain. Penerapan robot lengan tidak terbatas pada pemindahan barang, tetapi juga mencakup penataan, inspeksi, perakitan, pengecatan, operasi bedah, pengelasan, dan lain-lain [31]. Pada riset pasar ini tidak ditunjukkan jumlah penggunaan robot lengan pada industri pengolahan air. Hal ini berarti sangat sedikit atau bahkan tidak ada penggunaan robot lengan pada industri ini.

Pengoperasian robot lengan memerlukan keahlian khusus dalam hal pemrograman dan kontrol robot. Setiap merk robot lengan memiliki antarmuka pemrograman dan kontroler yang berbeda. Perangkat kontrol yang biasa digunakan diantaranya mikrokontroler, PLC, *motion control*, dan kontroler lain yang dikembangkan sendiri oleh perusahaan. Salah satu contoh robot lengan yang memiliki antar muka pemrograman dan perangkat kontrol sendiri adalah *Collaborative Arm Robot TM Series* milik Omron. Robot lengan ini memiliki 2 antar muka pemrograman yaitu *graphical programming* dan *robot stick control* serta perangkat kontroler utamanya adalah PLC Omron [32].

## 2.2 Pengertian Robot Lengan

Robot lengan adalah robot tiruan dari lengan manusia yang dibuat memiliki semirip mungkin dengan sistem gerak lengan manusia. Seperti halnya manusia, robot lengan memiliki beberapa bagian pendukung. Diantaranya *base* sebagai titik pusat lengan, *link* sebagai batang penghubung atau tulang, *joint* sebagai sendi, dan *end effector* sebagai pengambil, jari, atau ujung dari robot lengan [7].

### 2.2.1 Kelebihan dan Kekurangan Robot Lengan

Kelebihan menggunakan robot lengan pada aktifitas industri [12]:

- a. Meningkatkan efisiensi kerja.
- b. Meningkatkan kualitas produksi.
- c. Dapat bekerja dengan waktu lebih lama dari manusia.
- d. Presisi kerja tinggi dengan akurasi tinggi.

Kekurangan menggunakan robot lengan pada aktifitas industri:

- a. Membutuhkan biaya besar untuk menerapkannya di industri.
- b. Membutuhkan keterampilan khusus untuk perawatan robot.
- c. Wajib dilakukan perawatan agar *lifetime* robot lebih lama.

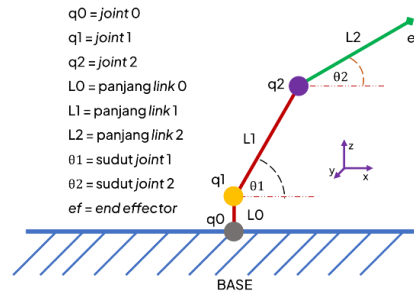
### 2.2.2 Kinematika Robot Lengan

Penentuan koordinat  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  *end effector* dengan analisis *forward kinematics* dan *inverse kinematics*. Kedua cara analisis diatas sama-sama berorientasi pada sudut *joint* dan koordinat *end effector*, bedanya ada pada orientasi mana yang digerakkan terlebih dahulu. *Forward kinematics* adalah cara menentukan koordinat *end effector* dengan menggerakkan sudut putar *joint*. *Inverse kinematics* adalah cara menentukan sudut putar *joint* dengan menggerakkan *end effector* [5] [9].

### 2.2.3 Forward Kinematics

Pada pengerjaan prototipe ini, penulis menggunakan pendekatan analisis *forward kinematics* untuk menggerakkan robot lengan. Pemilihan analisis ini didasarkan pada konsep perancangan prototipe yang

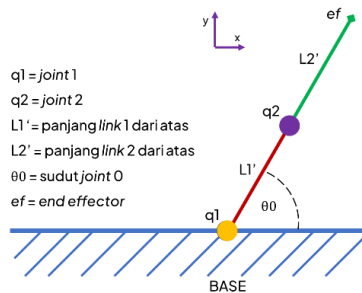
menggerakkan sudut putar *joint* untuk mendapatkan koordinat *end effector* [12] [17].



Gambar 2.1. Gerak robot lengan dilihat dari samping

Pada gambar 2.1, *joint0* ( $q_0$ ) tidak dapat dilihat gerakan sudutnya karena hanya bisa berotasi pada sumbu  $z$ . *Joint1* dan *joint2* dapat dilihat gerakan sudutnya karena berotasi pada sumbu  $y$ . Titik koordinat  $q_1$  tidak dapat berubah meskipun *joint0* digerakkan. Tetapi,  $q_1$  tetap memiliki titik koordinat karena terdapat penghubung (*link0*) diantara  $q_0$  dan  $q_1$ . Dari sudut pandang samping ini koordinat  $z$  *end effector* dapat diketahui.

$$z_{ef} = ((L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin \theta_2) + L_0) \quad (2.1)$$



Gambar 2.2. Gerak robot lengan dilihat dari atas

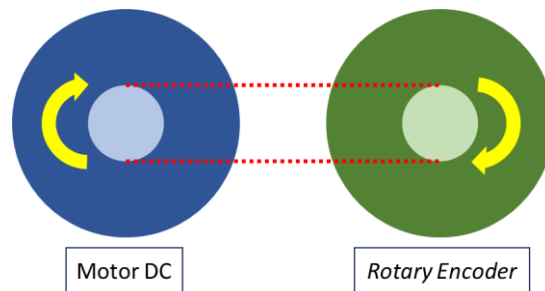
Pada gambar 2.2, *joint0* dan *joint1* saling berhimpitan bila dilihat dari atas. Gerak *joint0* dapat dilihat dan menghasilkan sudut  $\theta_0$ . Panjang *link1* dan *link2* terlihat sedikit berbeda dari sudut pandang atas, ditandai dengan  $L_1'$  dan  $L_2'$ . Dari sudut pandang atas ini koordinat  $x$  dan  $y$  *end effector* dapat diketahui.

$$x_{ef} = ((L_1' + L_2') \cos \theta_0) \quad (2.2)$$

$$y_{ef} = ((L_1' + L_2') \sin \theta_0) \quad (2.3)$$

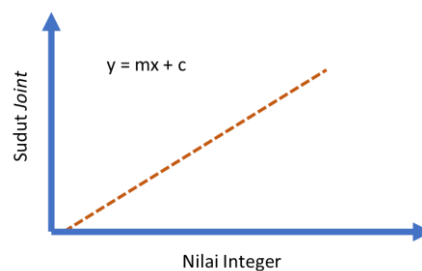
### 2.2.4 Hubungan Motor DC dan *Rotary Encoder*

Motor DC adalah jenis motor yang digerakkan dengan sumber daya listrik DC. Motor ini berputar dengan kecepatan konstan saat terhubung dengan tegangan yang konstan pula. *Rotary encoder* adalah perangkat sensor yang dapat menunjukkan posisi putaran. *Rotary encoder* hanya akan mengeluarkan sinyal pulsa saat terhubung dengan sumber daya dan porosnya diputar. Sinyal pulsa ini yang akan dikonversi oleh PLC menjadi integer. Pada penelitian ini, motor DC digunakan untuk menggerakkan *joint* robot dan poros *rotary encoder*. Sedangkan, *rotary encoder* digunakan untuk mengetahui posisi putaran motor DC [36] [37].



Gambar 2.3. Ilustrasi hubungan motor DC dengan *rotary encoder*

Gerakan motor DC akan menentukan nilai sudut *joint* dan angka integer *encoder*. Pada gambar 2.3, antara motor DC dengan *rotary encoder* dihubungkan dengan *belt*. Sehingga saat motor DC bergerak *rotary encoder* juga ikut bergerak. Semakin jauh putaran motor DC, sudut *joint* yang terbentuk semakin besar dan nilai integer *encoder* juga semakin besar. Melalui hubungan ini, persamaan liniernya dapat diketahui dengan variabel nilai integer sebagai  $x$  dan variabel sudut *joint* sebagai  $y$  [35].



Gambar 2.4. Ilustrasi grafik hubungan nilai integer dan sudut *joint* [35]

## 2.3 Komponen Penyusun Robot Lengan

### 2.3.1 PLC Omron CP2E-N30DR-A

*Programmable Logic Controller* (PLC) adalah alat pengendali terprogram yang memanfaatkan memori sebagai tempat pengolahan program dan data, bekerja berdasarkan fungsi logika dan mampu melakukan fungsi aritmatika. Terdapat berbagai cara untuk memprogram PLC, umumnya menggunakan bahasa yang disebut *ladder diagram* (LD). Bahasa ini digunakan karena mudah dipahami, sederhana, dan mudah diterapkan dengan gerbang logika. Penggunaan PLC tidak terbatas pada logika pemrograman saja. Namun, dapat dikombinasikan dengan *sequence*, *timer*, dan *counter* [10]. Tipe PLC yang digunakan ada pada gambar 2.5 dan spesifikasinya ada pada tabel 2.1.



Gambar 2.5. PLC Omron CP2E-N30DR-A

Prinsip kerja dari PLC yaitu sinyal input yang masuk akan diolah pada *Central Processing Unit* (CPU) berdasarkan pada instruksi yang telah diprogramkan. Hasil pengolahan ini akan disimpan pada memori tertentu sesuai alamat instruksinya. Lalu, CPU akan meneruskan hasil instruksi ke modul *output*. Sinyal *output* inilah yang nantinya akan menggerakkan aktuator yang terhubung dengan PLC [21] [22].

Tabel 2.1. Spesifikasi PLC Omron CP2E-N30DR-A

| Spesifikasi PLC    |    |
|--------------------|----|
| <i>Input point</i> | 18 |

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| <i>Input voltage</i>       | 24 VDC                            |
| <i>Output point</i>        | 12                                |
| <i>Output voltage</i>      | Maks. 2A 250VAC<br>Min. 10mA 5VDC |
| <i>Input power</i>         | 100 - 240 VAC                     |
| <i>Output type</i>         | Relay                             |
| <i>Program capacity</i>    | 2k steps                          |
| <i>Current consumption</i> | 5 VDC : 0,41A<br>24 VDC : 0,07 A  |
| <i>Dimension</i>           | 580g<br>130 x 110 x 78,6 mm       |

### 2.3.2 Rotary Encoder LPD3806-600BM-G5-24C

*Rotary Encoder* adalah perangkat elektronik yang dapat menunjukkan posisi putaran. Umumnya, perangkat ini menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah. Sehingga, sudut poros benda putar dapat diolah menjadi informasi digital untuk diteruskan ke rangkaian kendali. *Rotary encoder* banyak digunakan pada pengendalian gerak robot dan menghitung putaran motor [10]. Tipe *rotary encoder* yang digunakan ada pada gambar 2.6 dan spesifikasinya ada pada tabel 2.2.



Gambar 2.6. *Rotary encoder*

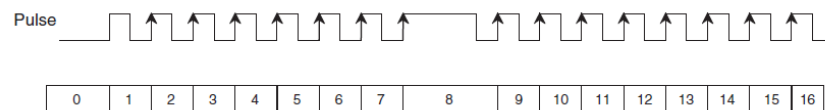
Rotary encoder disusun dari LED dan piringan tipis yang berlubang pada bagian tepi. Piringan ini berperan untuk menghalangi sinar LED yang masuk ke *photosensor*. Saat piringan berputar, sinar akan dapat tembus ke *photosensor* melewati lubang dan akan terhalang saat tidak terkena lubang.

Cahaya yang dapat lewat ini yang nantinya diartikan sebagai gelombang pulsa digital [24] [37].

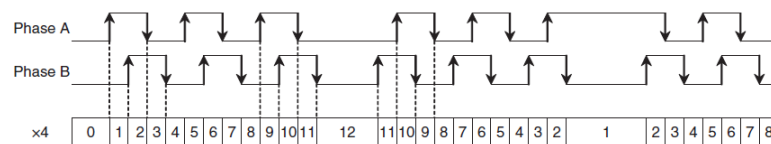
Pada kondisi *single-phase*, revolusi yang diperoleh sebesar 600 *pulse/revolution*. Jika dalam kondisi *2-phase*, revolusinya menjadi 2400 *pulse/revolution* ( $600 \times 4 = 2400$ ). Putaran encoder dalam sekali revolusi penuh adalah  $360^\circ$ , maka akan didapatkan persamaan:

$$\text{sudut per pulse} = \frac{360^\circ}{PPR} \quad (2.4)$$

Persamaan 2.4 menunjukkan hubungan antara sudut putar dengan *pulse*. Sehingga didapatkan nilai sudut putar *single-phase* sebesar  $0,6^\circ/\text{pulse}$  dengan ketelitian  $\pm 0,3^\circ$ . Nilai sudut putar *2-phase* sebesar  $0,15^\circ/\text{pulse}$  dengan ketelitian  $\pm 0,075^\circ$  [42].



**Gambar 2.7.** Bentuk gelombang pulsa *single phase*



**Gambar 2.8.** Bentuk gelombang pulsa *2-phase*

**Tabel 2.2.** Spesifikasi rotary encoder

| Spesifikasi                    |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| <i>Shaft Outer diameter</i>    | Ø6mm                  |
| <i>Type</i>                    | <i>Incremental</i>    |
| <i>Output</i>                  | <i>AB Phase / NPN</i> |
| <i>Max. response frequency</i> | 20 kHz                |
| <i>Max. speed</i>              | 5000 rpm              |
| <i>Revolution</i>              | 600 PPR               |
| <i>Power supply</i>            | 24V DC                |

### 2.3.3 Motor DC 12V JGB37-520

Motor DC adalah jenis motor listrik yang dapat digerakkan dengan sumber daya listrik DC. Motor ini bekerja berdasarkan prinsip gaya Lorentz yang menyatakan ketika sebuah konduktor beraliran diletakkan dalam medan magnet, maka sebuah gaya akan tercipta secara otogonal diantara medan magnet dan arus listrik. Struktur dalam motor DC terdapat 2 magnet permanen yang menimbulkan medan magnet diantara keduanya. Di dalam medan magnet ini tempat rotor berputar.



Gambar 2.9. Motor DC 12V

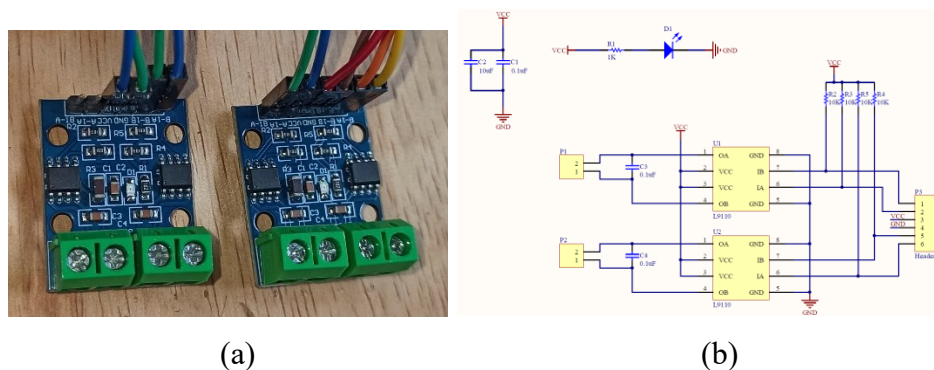
Lilitan ditambahkan pada rotor agar memberikan gaya magnet sementara. Penghubung antara lilitan dengan tegangan input, yang disebut brush, ditambahkan agar sifat magnet sementara dapat berubah dan dapat menggerakkan shaft motor. Motor DC dengan tegangan 12V digunakan pada proyek ini karena dinilai mampu menggerakkan lengan robot.

Tabel 2.3. Spesifikasi motor DC

| Spesifikasi      |                |
|------------------|----------------|
| Power Daya       | 10W            |
| Tegangan Listrik | 12 VDC         |
| Torsi            | Maks. 16 kg.cm |
| RPM              | 12 RPM         |

### 2.3.4 Module Driver Motor L9110s

Driver motor L9110s memiliki dua sistem *H-Bridge* yang mampu mengubah arah putar 2 motor DC. Driver ini mempermudah kontrol motor DC dalam hal pengaturan arah putar. Gambar dan spesifikasi modul driver L9110 dapat dilihat pada gambar 2.8 dan tabel 2.4.



Gambar 2.10. (a) dan (b) module Driver Motor DC L9110s dan skematiknya

Modul driver ini mampu menggerakkan hingga 2 motor DC dengan maksimal tegangan 12V. Saat tidak digunakan, tegangan yang masuk dari pin VCC akan diteruskan langsung ke semua pin output. Sehingga, motor DC tidak akan bergerak. Saat pin *logic voltage* A dihubungkan dengan sumber negatif, tegangan dari VCC akan mengalir ke pin *logic voltage* A. Sehingga, akan ada perbedaan potensial pada pin output dan akan menggerakkan motor DC yang terhubung [23] [25].

Tabel 2.4. Spesifikasi *module driver* motor DC L9110

| Spesifikasi               |              |
|---------------------------|--------------|
| <i>Input voltage</i>      | 2.5 – 12 VDC |
| <i>Current Capability</i> | 800 mA       |
| <i>Dimension</i>          | 29.3 x 23 cm |

### 2.3.5 MCB

MCB (Miniature Circuit Breaker) adalah komponen keamanan dalam kelistrikan. MCB dapat berperan sebagai pengaman korsleting atau

hubungan pender listrik dan juga sebagai pengaman arus beban berlebih. MCB akan secara otomatis memutus daya apabila arus yang melewatinya melebihi angka nominal yang tertera pada bodi MCB. Gambar dan spesifikasi MCB dapat dilihat pada gambar 2.9 dan tabel 2.5.



Gambar 2.11. MCB 6A

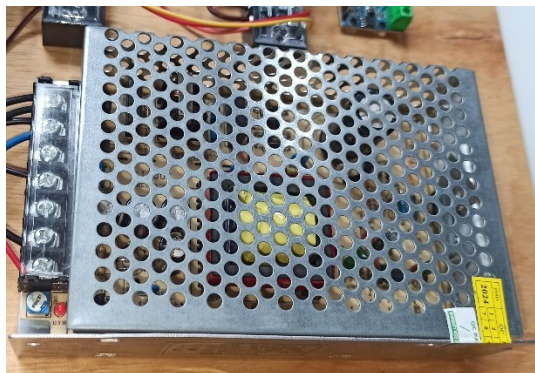
Tabel 2.5. Spesifikasi MCB 6A

| Spesifikasi                |             |
|----------------------------|-------------|
| Tegangan                   | 220VAC      |
| Pole                       | 1P          |
| Arus                       | 6A          |
| <i>Breaking capacity</i>   | 6kA         |
| <i>Mechanical lifetime</i> | 20000 times |
| <i>Electrical lifetime</i> | 10000 times |

### 2.3.6 Power Supply DC 24V S-120-24

*Power supply* atau catu daya adalah alat elektronik yang dapat memberikan daya listrik kepada perangkat elektronik sesuai kebutuhan perangkat yang terhubung. *Power supply* DC 24 V dapat mengubah dan menurunkan tegangan sumber listrik 220VAC menjadi tegangan 24VDC. Di dalam *power supply* terdapat berbagai komponen elektronik yang menjadi penyusunnya, antara lain rangkaian dioda sebagai penyearah

gelombang dan rangkaian filter yang terdiri dari resistor, kapasitor, dan induktor sebagai penurun dan penstabil tegangan. Gambar dan spesifikasi *power supply* dapat dilihat pada gambar 2.10 dan tabel 2.6.



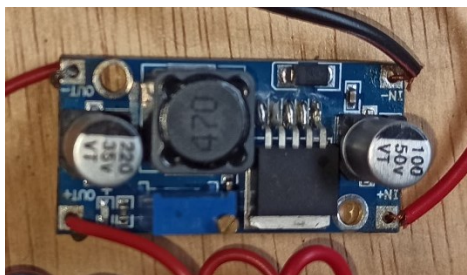
Gambar 2.12. *Power supply* DC 24V

Tabel 2.6. Spesifikasi *power supply* DC 24V

| Spesifikasi            |        |
|------------------------|--------|
| Tegangan input         | 220VAC |
| Tegangan <i>output</i> | 24VDC  |
| Arus <i>output</i>     | 5A     |
| Daya <i>output</i>     | 120W   |

### 2.3.7 Modul *Stepdown voltage regulator* LM2596

Modul penurun tegangan atau *buck converter* adalah alat elektronik untuk menurunkan tegangan DC. Di dalam modul ini terdapat komponen filter berupa resistor, induktor, dan kapasitor sebagai penstabil dan penurun tegangan. Modul ini dilengkapi potensiometer untuk mengatur nilai tegangan keluarannya. IC yang digunakan pada modul ini adalah LM2596 dengan spesifikasi *switching frequency* 150kHz, memiliki toleransi tegangan input output  $\pm 4\%$ , dan toleransi frekuensi osilator  $\pm 15\%$ . Gambar dan spesifikasi dapat dilihat pada gambar 2.11 dan tabel 2.7.



**Gambar 2.13.** *Stepdown voltage regulator* LM2596

**Tabel 2.7.** Spesifikasi *Stepdown voltage regulator* LM2596

| Spesifikasi                |                   |
|----------------------------|-------------------|
| Tegangan input             | 3.2 VDC – 40 VDC  |
| Tegangan <i>output</i>     | 1.25 VDC – 37 VDC |
| Arus <i>output</i>         | 3A                |
| Frekuensi <i>switching</i> | 150kHz            |
| Ukuran                     | 42 x 20 x 14 mm   |

### 2.3.8 Limit Switch V-151-1C25

Limit switch adalah jenis saklar yang digunakan untuk membatasi gerakan alat. Saklar ini dirancang memiliki ukuran kecil namun dengan daya tahan yang baik. Terdapat tuas engsel yang menjadi aktuator untuk tombol kontak. Saat tuas engsel tertekan, maka kontak akan bergerak dari terminal NC ke terminal NO. Pada proyek ini, limit switch digunakan untuk membatasi gerak rotasi *joint* robot lengan. Saat tuas engsel tersentuh, maka itu menjadi batas gerakan dan putaran *joint* akan berhenti. Kontak NO limit switch akan digunakan agar arus listrik hanya akan masuk ke input PLC saat tuas tertekan [26]. Gambar dan spesifikasi dapat dilihat pada gambar 2.12 dan tabel 2.8.



**Gambar 2.14.** Limit switch V-151-1C25

Tabel 2.8. Spesifikasi limit switch V-151-1C25

| Spesifikasi               |  |
|---------------------------|--|
| Tegangan dan Arus Terukur | 250VAC/15A<br>125VDC/0.6A<br>250VDC/0.3A |
| Arus Masuk                | Maks. 30A                                |
| Min. Beban                | 5VDC/160mA                               |
| Batas Frekuensi Pemakaian | Mekanik : 600/min<br>Elektrik : 60/min   |
| Tipe Kontak               | SPDT Momentary                           |
| Jumlah Terminal           | 3 (NC, NO, COM)                          |
| Jenis Aktuator            | Tuas Engsel                              |

### 2.3.9 Gear

Roda gigi (gear) merupakan salah satu komponen mekanik yang berfungsi untuk mentransmisikan gaya gerak dan torsi motor penggerak. Gear bekerja melalui kontak antar gigi untuk mengubah kecepatan, arah putaran, maupun gaya dalam sistem mekanik. Jumlah gigi antar gear menentukan rasio kecepatan dan torsi. Semakin besar jumlah gigi pada roda gigi, maka putaran akan menjadi lebih lambat namun dengan torsi yang lebih besar, dan sebaliknya. Prinsip ini menjadikan gear sebagai elemen penting dalam sistem penggerak otomatis maupun manual.

Dalam penelitian ini digunakan dua buah gear, 16 gigi dan 24 gigi, yang menciptakan rasio transmisi 1:1,5. Gear ini dicetak menggunakan metode 3D printing dengan material PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol). Material PETG dipilih karena tahan terhadap getaran, lebih lentur, dan tahan suhu tinggi, sehingga cocok untuk komponen fungsional yang bergerak. Penggunaan gear plastik ini juga mempertimbangkan efisiensi biaya, kemudahan fabrikasi, serta sifat non-korosifnya yang sesuai untuk aplikasi lingkungan lembap atau kimia ringan. Dengan spesifikasi tersebut, gear ini dirancang untuk bekerja dalam sistem mekanik ringan yang tidak

memerlukan beban torsi tinggi, seperti pada prototipe robot pemindah bahan kimia.



**Gambar 2.15.** Gear 16 gigi dan 24 gigi

**Tabel 2.9.** Spesifikasi gear 16 gigi dan 24 gigi

| Spesifikasi      |                    |
|------------------|--------------------|
| Ukuran Gear      | 16 gigi<br>24 gigi |
| Metode Fabrikasi | Cetak 3D Print     |
| Bahan            | Plastik PETG       |
| Infill           | 100%               |