

# Purwarupa Lengan Robot Penyuar Makanan Berbasis Estimasi Posisi Mulut

Haris Hariza Ekarinda, Djoko Purwanto dan Ronny Mardiyanto  
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: djoko@ee.its.ac.id; ronny@ee.its.ac.id.

**Abstrak**—Lengan Robot atau *Robotic Arm* merupakan alat yang sering digunakan di berbagai bidang perindustrian baik untuk produksi maupun pemindahan produk. Beberapa lengan robot juga digunakan dalam pelayanan domestik seperti sebagai pembantu rumah tangga. Lengan Robot memiliki keunggulan dibanding dengan robot mobile seperti pengulangan gerakan yang presisi, efisiensi tinggi, dan kemampuan membawa beban yang besar di daerah sempit. Gerakan lengan Robot tergantung dengan jumlah DOF (*Degree Of Freedom*). Lengan robot dapat dikendalikan gerakannya menggunakan teknologi visi komputer dimana ujung dari lengan robot diarahkan pada objek yang tertangkap kamera. Pada studi ini, Lengan Robot akan diimplementasikan sebagai alat penyuar makanan untuk membantu orang – orang yang kesulitan melakukan gerakan mekanis memasukan makanan seperti pasien kecelakaan dan orang lansia. Alat ini menggunakan estimasi posisi berbasis visi komputer untuk menentukan posisi mulut manusia dan mengarahkan ujung lengan robot yang berupa sendok menuju depan mulut manusia. Hasil dari penelitian ini adalah lengan robot dapat mengarahkan sendok ke depan mulut dengan menerapkan metode invers kinematik dari titik koordinat posisi mulut yang telah didapat dengan error rate yang kecil sebesar 0.88 – 1.52 cm. Bentuk sendok akan mempengaruhi jenis makanan yang cocok dalam sistem lengan robot. Pada penelitian ini, sendok yang digunakan cocok dengan jenis makanan tidak berkuah seperti nasi dan buah.

**Kata Kunci**—Estimasi Posisi, Invers Kinematik, Lengan Robot, Visi Komputer.

## I. PENDAHULUAN

DI masa sekarang, telah banyak terjadi kecelakaan hingga mengakibatkan orang – orang menderita atau terluka di bagian alat gerak tangan dan membutuhkan waktu yang cukup lama dalam proses penyembuhan. Penderita ini kesulitan untuk melakukan aktivitas memasukan makanan dimana makan merupakan kebutuhan primer manusia untuk bertahan hidup [1]. beberapa orang yang menderita penyakit dan harus melakukan rawat inap di rumah sakit juga cukup kesulitan dalam melakukan aktivitas makan sedangkan mayoritas pelayanan atau fasilitas di rumah sakit hanya sebatas mengantar makanan dan minuman yang dilakukan oleh suster dan perawat

Lengan robot atau *robot arm* banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Kemampuan lengan robot dalam melakukan gerakan yang efisien dan presisi tanpa harus berpindah lokasi membuat lengan robot banyak digunakan di berbagai bidang seperti industri dan otomotif. Lengan robot terbagi menjadi bagian frame dan aktuator yang menghubungkan tiap frame dan sebagai penggerak pada lengan robot seperti sendi pada manusia. Aktuator ini disebut dengan istilah DOF atau *Degree Of Freedom* (derajat kebebasan) dan dapat melakukan gerakan rotasi atau translasi



Gambar 1. Lengan Robot

tergantung jenis aktuatornya. Layaknya lengan manusia, Lengan robot bergerak berdasarkan Gerakan tiap DOF dengan tujuan agar ujung lengan (*end-effector*) berada di posisi yang diinginkan.

Lengan robot diimplementasikan sebagai pengganti lengan manusia dalam mengambil makanan. Spesifikasi dari lengan robot yang digunakan adalah 4 DOF (*Degree Of Freedom*) dengan setiap DOF memiliki kemampuan gerak angular. Ujung dari lengan robot dilengkapi dengan sendok untuk mengambil makanan. Pengarahan ujung lengan ke mulut menggunakan metode Haar-cascade Classifier: *mouth detection* dengan kamera. Kamera dipasang di depan pengguna dan akan menangkap bagian mulut pada manusia yang nantinya akan dijadikan set point ujung lengan robot. Karena keterbatasan gerak dari lengan robot, kamera hanya mendeteksi bagian mulut saat posisi wajah menghadap kedepan. Terdapat trigger berupa deteksi kondisi mata saat tertutup untuk mengulangi sistem dari proses pengambilan makanan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

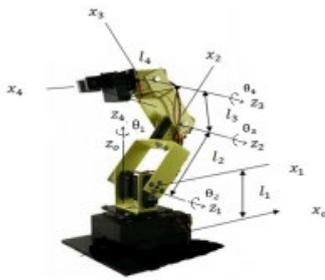
### A. Lengan Robot

Lengan robot atau *Robot Arm* merupakan alat yang banyak digunakan dalam dunia industri. Kelebihan dari lengan robot adalah kemampuan melakukan aktivitas secara presisi dan berulang ulang tanpa harus berpindah tempat. Lengan robot bekerja dengan mengatur sudut-sudut tiap *joint* / DOF sedemikian hingga dapat melakukan gerakan seperti yang diinginkan.

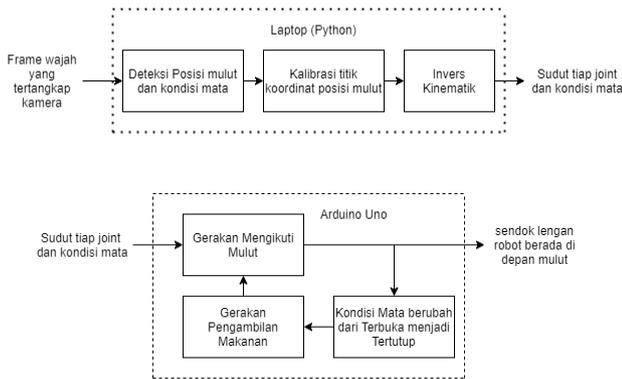
### B. Denavit-Hartenberg Parameter

Denavit-Hartenberg Parameter (DH Parameter) merupakan parameter yang digunakan dalam perhitungan invers kinematik yang nantinya digunakan sebagai algoritma gerakan lengan robot [2]. DH parameter menggunakan sistem koordinat x-y atau x-y-z sesuai dengan desain dari lengan robot. DH parameter terdiri dari 4 parameter yaitu:

- a : jarak antar joint tinjauan sumbu x
- d : jarak antar joint tinjauan sumbu z



Gambar 2. Ilustrasi DH Parameter



Gambar 3. Blok Diagram.

Tabel 1. DH Parameter

joint	a	$\alpha$	d	$\theta$
1	0	90	$l_1$	$\theta_1$
2	$l_2$	0	0	$\theta_2$
3	$l_3$	0	0	$\theta_3$
4	$l_4$	0	0	$\theta_4$

$\theta$  : sudut putar joint tinjauan sumbu z  
 $\alpha$  : sudut putar joint tinjauan sumbu x

C. Invers Kinematik

Invers kinematik adalah algoritma gerakan lengan robot yang digunakan untuk mencari posisi sudut tiap joint dengan mengubah/ mentransformasi titik koordinat posisi end-efektor (x,y,z) menjadi posisi sudut tiap joint [3]. Dengan menggunakan invers kinematik, lengan robot dapat dikendalikan untuk mengarah ke titik yang diinginkan ( titik end-efektor) tanpa harus memberi input posisi sudut tiap joint secara manual. Ada 2 macam metode perhitungan invers kinematik, yaitu metode aljabar dan geometri [4]. Pada penelitian ini, metode perhitungan invers kinematik yang diterapkan adalah metode geometri. invers kinematik akan digunakan sebagai algoritma gerakan lengan robot ketika melakukan gerakan menuju ke posisi mulut yang telah di estimasi. Persamaan Invers kinematik yang akan digunakan adalah Invers Kinematik 4 dof dengan membagi perhitungan menjadi 2. Perhitungan yang pertama adalah perhitungan sudut pada joint base berdasarkan koordinat x dan y sedangkan perhitungan kedua adalah perhitungan sudut pada joint shoulder, elbow, dan wrist berdasarkan koordinat x dan z.

D. Estimasi Posisi Mulut

Estimasi Posisi Mulut merupakan metode yang digunakan untuk menentukan Posisi sebuah titik pada mulut yang memiliki nilai koordinat x dan y yang dideteksi oleh kamera.



Gambar 4. Lengan Robot Penyuaap Makanan.



(a) Kondisi Mata Terbuka

(b) Kondisi Mata Tertutup

Gambar 5. Hasil Deteksi Kondisi

Estimasi posisi mulut memiliki dua proses, yaitu deteksi posisi mulut dan kalibrasi posisi real mulut. Deteksi posisi mulut merupakan penerapan dari Haar-Cascade classifier yang digunakan untuk mengetahui daerah wajah dan posisi mulut yang tertangkap oleh kamera [5]. Jenis jenis fitur haar antara lain fitur edge, fitur line, fitur four-rectangle [6]. Setiap fitur merupakan nilai pengurangan dari jumlah pixel dibawah kotak putih dengan jumlah pixel dibawah kotak hitam. Setelah posisi mulut pada kamera didapat, dilakukan kalibrasi posisi real mulut dengan menentukan Panjang dan lebar dari frame kamera dalam satuan cm sehingga dapat diketahui posisi real mulut dengan kalibrasi pixel ke cm.

E. Deteksi Kondisi Mata

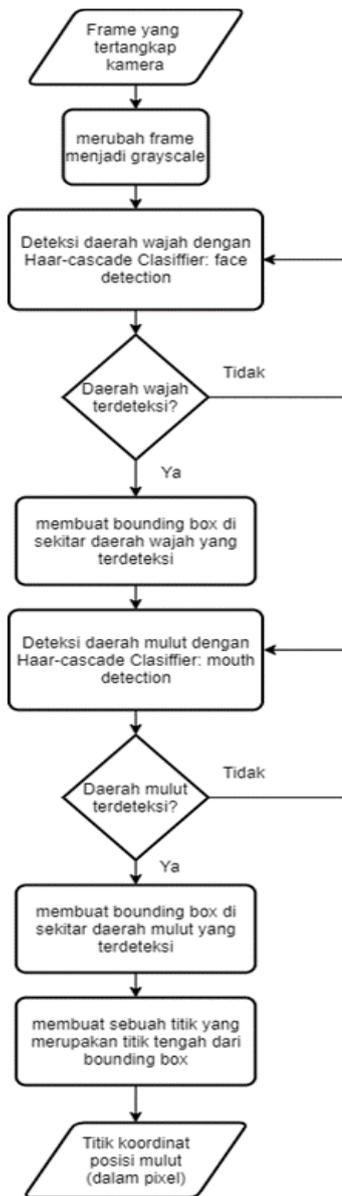
Deteksi kondisi mata merupakan metode yang digunakan untuk mendeteksi kondisi mata terbuka atau tertutup. Metode ini digunakan sebagai indikator lengan robot kembali melakukan pengambilan makanan setelah melakukan proses penyuaapan makanan. Mula – mula dicari posisi mata menggunakan Haar-cascade Classifier dan setelah itu dibuat algoritma kondisi saat mata terbuka dan tertutup [7]. Kondisi mata berubah dari terbuka menjadi tertutup atau disebut dengan istilah berkedip merupakan trigger proses pengambilan makanan oleh lengan robot setelah melakukan gerakan penyuaapan makanan.

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Blok Diagram

Pada penelitian ini , terdapat 4 sistem utama yaitu : Deteksi posisi mulut dan kondisi mata, invers kinematik, pengiriman data melalui komunikasi serial, dan gerakan lengan robot. Berdasarkan keempat sistem utama tersebut dibuat sebuah blok diagram sistem seperti pada Gambar III-1.

Secara umum, sistem ini memiliki input berupa tampilan wajah pada kamera. titik koordinat posisi mulut (x dan y) akan dicari dengan menggunakan deteksi posisi mulut dan titik koordinat tersebut akan diubah ke dalam bentuk sudut - sudut tiap joint lengan robot melalui invers kinematik. Kondisi mata juga dicari dan ditentukan menjadi 2 kondisi : terbuka dan tertutup. Terdapat 2 jenis data yang didapat, yaitu sudut – sudut tiap joint dan kondisi mata. Data tersebut

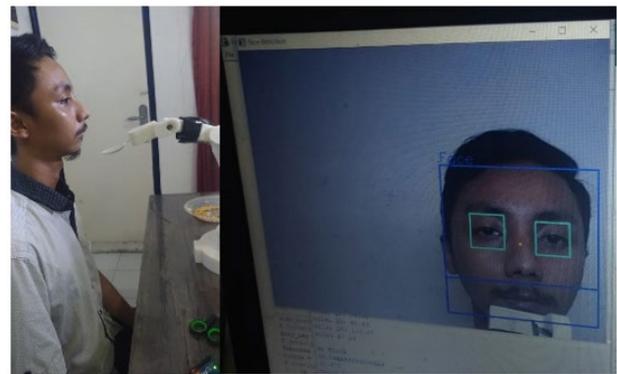


Gambar 6. Diagram Alur Deteksi Posisi Mulut

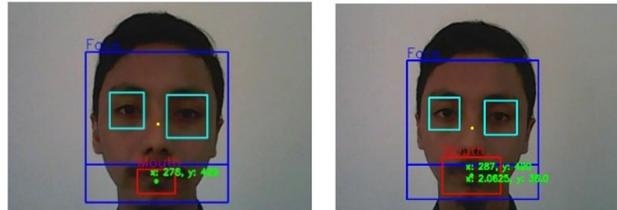
dikirimkan ke Arduino Uno melalui komunikasi serial yang nantinya akan menjalankan perintah gerakan lengan robot sesuai dengan data yang didapat.

**B. Perancangan Perangkat Keras**

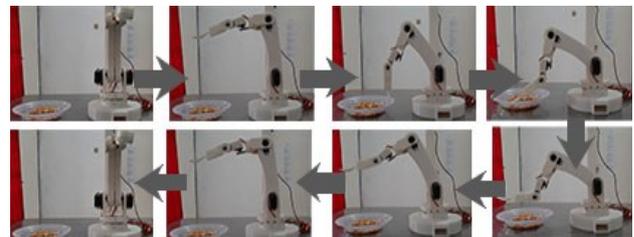
Desain lengan robot dibagi menjadi 5 bagian : *base*, *shoulder*, *elbow*, *wrist*, dan *end-efektor*. Base merupakan bagian paling bawah pada lengan robot, digunakan untuk menopang bagian lengan robot lainnya. *Base* juga digunakan sebagai titik acuan koordinat dalam perhitungan invers kinematik. Pada *base* diberi servo untuk menghubungkan dengan bagian shoulder dan dapat melakukan gerakan rotasi ke kiri dan kanan. *Shoulder* merupakan bagian kedua yang terletak diatas *base*. Pada *shoulder* dipasang 2 servo yang digunakan untuk menggerakkan *frame elbow*. Kedua servo ini dapat melakukan gerakan rotasi ke atas dan bawah. Pada *elbow* dipasang sebuah servo yang digunakan untuk menggerakkan *frame wrist*. Servo ini dapat melakukan gerakan rotasi ke atas dan bawah. Pada *wrist* terdapat servo yang digunakan untuk menggerakkan *end-efektor* [8]. Servo ini melakukan gerakan rotasi ke atas dan bawah. Bagian terakhir adalah *end-efektor* yang digunakan sebagai penentu



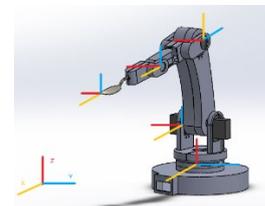
Gambar 7. Gerakan Mengikuti Mulut



Gambar 8. Hasil Kalibrasi.



Gambar 9. Urutan Gerakan Pengambilan Makanan.

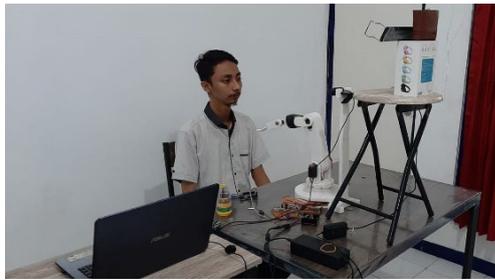


Gambar 10. Sistem Koordinat Lengan Robot

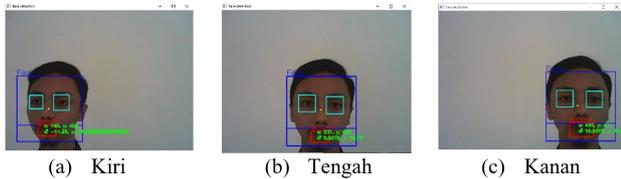
koordinat tujuan lengan robot. Pada *end-efektor* ini terdapat sendok yang digunakan untuk membawa makanan dan ujung sendok merupakan titik koordinat akhir pada lengan robot. Selain desain lengan robot, dibuat desain *frame* tempat kamera diletakan. Hasil dari perancangan adalah seperti pada Gambar 4.

**C. Perancangan Perangkat Lunak**

Perancangan Perangkat Lunak dibagi menjadi dua tahapan, perancangan deteksi posisi mulut serta kondisi mata dan perancangan gerakan lengan robot. Perancangan deteksi posisi mulut serta kondisi mata menggunakan hasil tangkapan kamera sebagai input yang nantinya akan diolah menggunakan metode pengolahan citra dan OpenCV. Tujuan dari perancangan deteksi posisi mulut serta kondisi mata adalah mendapatkan nilai posisi koordinat mulut (x dan y) dan kondisi mata; 'a berkedip atau tidak berkedip. Perancangan gerakan lengan robot menggunakan servo sebagai aktuator dan Arduino sebagai pengatur Gerakan. Ada dua macam sistem gerakan yaitu gerakan pengambilan makanan dan gerakan mengikuti mulut. Gerakan pengambilan makanan ditentukan secara manual dan tidak



Gambar 11. Situasi Pengujian.



Gambar 12. Posisi Pengguna di depan kamera.



Gambar 13. Daftar Jenis Makanan

bergantung pada input koordinat posisi mulut. Gerakan mengikuti mulut dapat berubah – ubah dan bergantung pada input koordinat posisi mulut.

Pada perancangan deteksi posisi mulut dan kondisi mata menerapkan Teknik dan metode pengolahan citra dan mengaplikasikannya dengan menggunakan library OpenCV dan menggunakan pemrograman Python. Perancangan deteksi posisi mulut dan kondisi mata bertujuan untuk mendapatkan input dari sistem berupa koordinat posisi (x dan y) dari mulut serta kondisi mata apakah terbuka atau tertutup. Tahapan – tahapan perancangan deteksi posisi mulut dan kondisi mata antara lain : penentuan jarak antara kamera dan pengguna, deteksi posisi mulut, kalibrasi titik koordinat posisi mulut, Invers Kinematik, Deteksi kondisi mata, dan pengiriman data input dengan komunikasi serial. Deteksi posisi mulut dan deteksi kondisi mata menggunakan library Haar-cascade Classifier.

Pada deteksi kondisi mata terdapat dua kondisi, yaitu terbuka dan tertutup. Kondisi ini akan digunakan sebagai trigger sistem mengulangi proses pengambilan makanan. Pada saat mata terbuka, sistem akan mengirimkan data berupa nilai  $k = 0$  dan lengan robot tidak mengulangi proses pengambilan makanan dan melanjutkan proses mengikuti posisi mulut. Pada saat mata tertutup, sistem akan mengirimkan data berupa nilai  $k = 1$  dan lengan robot akan

Tabel 2.  
DH-Parameter.

joint	$a$	$\alpha$	$d$	$\theta$
1	0	90	14.5	$\theta_1$
2	18	0	0	$\theta_2 + 90$
3	15	-90	0	$\theta_3 - 90$
4	16	0	0	$\theta_4$

Tabel 3.  
Data Pengguna.

Pengguna ke-	Tinggi badan (cm)	Jenis Kelamin	Usia (Tahun)
1	160	L	23
2	172	L	26
3	162	P	25

Tabel 4.  
Hasil Pengujian Gerakan Mengikuti Mulut.

Pengguna	Error Rate (cm)		
	Kiri	Tengah	Kanan
Pengguna 1	1,2 cm	1,23 cm	1,21 cm
Pengguna 2	1,9 cm	0,6 cm	1,31 cm
Pengguna 3	1,46 cm	0,81 cm	1,2 cm

Tabel 5.  
Hasil Pengujian Pengambilan Makanan.

Jenis Makanan	Rata-rata keberhasilan	Rata-rata waktu pengambilan
Bubur	70%	23 detik
Sop Krim	80%	21 detik
Nasi putih	80%	19 detik
Buah	80%	18 detik

Tabel 6.  
Hasil Pengujian Menyuaip Makanan

Jenis Makanan	Rata – rata keberhasilan	Waktu
Bubur	40%	31 detik
Sop Krim	60%	29 detik
Nasih putih	90%	29detik
Buah	80%	28 detik

mengulangi proses pengambilan makanan. Hasil dari deteksi kondisi mata dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada deteksi posisi mulut, Ketika mulut telah terdeteksi, akan dibuatkan *bounding box* di sekitar bagian mulut yang terdeteksi. Dari *bounding box* tersebut dicari titik tengah (x dan y). titik tengah tersebut akan digunakan sebagai titik koordinat posisi dari mulut. Diagram alur dari deteksi posisi mulut dapat dilihat pada Gambar 6.

Hasil dari titik koordinat yang telah didapat masih dalam satuan *pixel* sehingga perlu diubah menjadi dalam bentuk centimeter [9]. Kalibrasi dari satuan *pixel* ke *centimeter* dilakukan dengan cara menempel kertas yang sesuai dengan Panjang dan lebar dari frame yang tertangkap kamera pada jarak 40 cm dari kamera. Hasil yang didapat adalah kertas memiliki Panjang 40 cm dan lebar 24 cm dan resolusi kamera yang digunakan adalah 640 x 480 pixel. Hasil dari deteksi posisi mulut dapat dilihat pada Gambar 7 dan Hasil dari kalibrasi titik dapat dilihat pada Gambar 8.

Perancangan gerakan lengan robot adalah perancangan algoritma gerakan yang akan digunakan lengan robot dalam bergerak. Perancangan gerakan dibagi menjadi dua, yaitu perancangan gerakan mengambil makanan dan perancangan gerakan mengikuti mulut berdasarkan titik koordinat posisi mulut. Dua jenis gerakan ini memiliki *input* yang berbeda. Pada gerakan mengambil makanan *input* yang diperlukan

adalah kondisi mata terbuka atau tertutup ( $k = 0$  atau  $k = 1$ ). Ketika nilai  $k = 0$  maka gerakan mengambil makanan tidak dilakukan dan Ketika nilai  $k = 1$  gerakan mengambil makanan dilakukan. Saat sistem dijalankan pertama kali lengan robot melakukan gerakan pengambilan makanan tanpa memperhatikan nilai  $k$ . gerakan mengikuti posisi mulut berdasarkan titik koordinat membutuhkan input sudut – sudut dari tiap *joint* yang telah dihitung secara matematis melalui *invers kinematic*. Gerakan ini berubah ubah sesuai dengan titik koordinat posisi dari mulut pengguna.

Pada gerakan pengambilan makanan, algoritma perubahan sudut tiap *joint* dibuat sedemikian hingga lengan robot bergerak dengan stabil agar makanan dapat diambil dan dibawa dengan baik oleh lengan robot.

$$Q = Q_1 + ((Q_2 - Q_1)/n * t) \quad (1)$$

Pada persamaan (1), nilai  $Q$  merupakan sudut *joint* pada saat perubahan sudut ke- $n$ , dimana  $n$  merupakan banyaknya perubahan sudut yang dilakukan dari sudut  $Q_1$  ke  $Q_2$ . pada penelitian ini ditetapkan jumlah perubahan sudut sebanyak 100 perubahan sudut.  $Q_1$  adalah sudut awal dan  $Q_2$  merupakan sudut akhir. urutan gerakan pengambilan makanan dapat dilihat pada Gambar 9.

Gerakan mengikuti mulut merupakan gerakan lengan robot yang gerakannya bergantung dari nilai *input* titik koordinat posisi mulut yang didapat pada deteksi posisi mulut. Gerakan mengikuti posisi mulut diatur dalam persamaan invers kinematik dimana sudut – sudut tiap *joint* didapatkan dengan memberikan input titik koordinat posisi mulut. Gerakan mengikuti mulut dilakukan setelah lengan robot berhasil melakukan gerakan pengambilan makanan. Setelah melakukan gerakan pengambilan makanan lengan robot akan berada pada kondisi awalnya. Arduino akan mendapatkan sudut – sudut tiap *joint* yang merupakan hasil dari perhitungan invers kinematik yang dilakukan oleh python. Hasil dari gerakan mengikuti mulut dapat dilihat pada Gambar 10.

#### D. Invers Kinematik

Invers Kinematik merupakan metode yang digunakan dalam proses kinematika gerak lengan robot. Invers Kinematik mengubah input berupa titik koordinat  $(x,y)$  atau  $(x,y,z)$  yang merupakan titik tujuan dari *end-efektor* lengan robot menjadi nilai – nilai sudut tiap *joint* dari lengan robot. Metode invers kinematik yang digunakan adalah invers kinematik *three-link planar manipulator* dengan tambahan satu *link* yang menghubungkan *base* dengan bagian lengan robot yang lain. Pada invers kinematik digunakan sistem koordinat  $(y,z,x)$  sehingga titik koordinat tujuan *end-efektor* memiliki nilai  $y = x_2(\text{cm})$ ,  $z = y_2(\text{cm})$ ,  $x = 30$  cm. nilai  $x$  ditetapkan 30 cm sesuai dengan jarak titik pusat *base* terhadap pengguna sehingga parameter yang berubah – ubah hanyalah nilai  $y$  dan  $z$ . nilai dari  $z$  dihitung dengan titik awal *joint* 2 atau pada bagian *shoulder*, sehingga untuk menyesuaikan dengan sistem koordinat yang sebenarnya nilai  $z$  dikurangi dengan nilai tinggi dari base, yaitu 14.5 cm. metode invers kinematik ini menerapkan prinsip *elbow up* dan memiliki orientasi sejajar dengan sumbu  $x$  ( $\phi = 0$ ) dengan tujuan posisi sendok tetap sejajar sumbu  $x$  sehingga makanan yang dibawah tidak jatuh. Parameter dalam menghitung invers kinematik adalah menggunakan tabel DH-Parameter.

Ilustrasi sistem koordinat dapat dilihat pada Gambar 10 dan Tabel dari DH-Parameter dapat dilihat pada Tabel 2.

Invers Kinematik dihitung dengan menggunakan metode geometri dengan parameter yang telah ditentukan dari DH-Parameter.

$$\theta_1 = \text{atan2}(y,x) \quad (2)$$

Dimana nilai  $x = 30$  dan  $y =$  nilai  $x$  pada titik koordinat posisi mulut dalam satuan *centimeter*

$$x_3 = x - 16 * \cos(\phi) \quad (3)$$

$$y_3 = z - 16 * \sin(\phi) \quad (4)$$

Dimana nilai  $z =$  nilai  $y$  pada titik koordinat posisi mulut dalam satuan centimeter dikurangi nilai  $d_1$  dan  $\phi = 0$ . Berdasarkan persamaan (3) dan (4), didapatkan nilai  $\theta_3$ :

$$a = \frac{(x_3^2 + y_3^2 - 18^2 - 15^2)}{(2 * 18 * 15)} \quad (5)$$

$$\theta_3 = -\text{acos}(a) \quad (6)$$

Setelah didapatkan nilai  $\theta_3$ , nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai  $\theta_2$  :

$$b = \frac{15 * \sin(\theta_3)}{18 + 15 * \cos(\theta_3)} \quad (7)$$

$$c = \frac{y_3}{x_3} \quad (8)$$

$$\theta_2 = \text{atan}(c) - \text{atan}(b) \quad (9)$$

Nilai  $\theta_2$  dan  $\theta_3$  digunakan untuk mencari nilai  $\theta_4$  melalui persamaan :

$$\theta_4 = \phi - \theta_2 - \theta_3 \quad (10)$$

## IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian ini memiliki 2 jenis pengujian antara lain pengujian gerakan mengikuti mulut dan pengujian kecocokan sistem terhadap berbagai makanan. Pengujian gerakan mengikuti mulut adalah pengujian gerakan lengan robot dalam mengikuti titik koordinat posisi mulut dari 3 pengguna yang berbeda. Pengujian kecocokan sistem terhadap berbagai makanan adalah pengujian gerakan lengan robot dengan melakukan uji coba 4 jenis makanan yang berbeda. Pengujian kecocokan sistem terhadap berbagai makanan dibagi menjadi 2 pengujian yaitu pengambilan makanan dan penyuaapan makanan. Pengujian pengambilan makanan adalah pengujian gerakan lengan robot dalam melakukan gerakan pengambilan makanan dengan 4 jenis makanan yang berbeda. Pengujian penyuaapan makanan adalah pengujian gerakan lengan robot dalam melakukan gerakan pengambilan makanan dan gerakan mengikuti titik koordinat posisi mulut dengan 4 jenis makanan yang berbeda. Situasi pengujian yang akan dilakukan sesuai dengan Gambar 11.

Pengujian pertama yang dilakukan adalah pengujian gerakan mengikuti mulut. Pengujian dilakukan dengan terhadap 3 orang yang berbeda dan setiap orang berada pada 3 macam posisi (Gambar 12). Yang pertama berada tepat di depan lengan robot, kedua berada di samping kiri robot dan yang ketiga berada di samping kanan robot. Pada setiap pengguna pengujian dilakukan sebanyak 10 kali setiap posisi. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui keberhasilan

sistem menggerakkan lengan robot ke depan mulut. Data dari pengguna dapat dilihat pada Tabel 3.

Pengujian dilakukan dengan mengukur selisih dari bagian tengah mulut dan ujung sendok dengan menggunakan penggaris 30 cm. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

*Error Rate* merupakan selisih jarak antara pengguna dan ujung sendok diukur dengan menggunakan penggaris 30 cm berdasarkan sumbu x (*error* sebelah kiri dan kanan). *Error* berdasarkan sumbu y tidak diukur karena sistem mengarahkan lengan robot 1 cm dibawah mulut agar mulut tetap terlihat di kamera sebelum memakan makanan. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2, *error rate* pada pengguna 1 stabil di 1,2 cm dengan *error rate* paling tinggi sebanyak 1,23 cm di posisi tengah. Untuk pengguna 2, *error rate* paling sedikit berada pada posisi tengah sebesar 0,6 cm. sedangkan pada posisi kiri memiliki *error rate* paling besar sebesar 1,9 cm. untuk pengguna 3, *error rate* paling sedikit sebesar 0,81 cm di posisi tengah dan *error rate* paling besar berada di posisi kiri sebesar 1,46. Dari hasil pengujian pada Tabel 4.2, kinerja lengan robot bekerja paling baik ketika pengguna berada di posisi tengah karena *error rate* di posisi tengah paling kecil.

Pengujian kedua adalah pengujian kecocokan sistem dalam melakukan pengambilan makanan dan gerakan mengikuti mulut saat membawa berbagai jenis makanan yang berbeda. Jenis makanan yang digunakan pada pengujian ini ada 4 : bubur, sop krim, nasi putih, dan buah yang telah dipotong kecil – kecil (Gambar 13). Pengujian ini dibagi menjadi 2 yaitu pengujian pengambilan makanan dan pengujian menyuap makanan ke depan mulut.

Pada pengujian pengambilan makanan dilakukan pengujian sebanyak 10 kali pengujian pengambilan makanan pada masing – masing jenis makanan. Setiap pengambilan makanan akan dicatat waktu pengambilan dan keberhasilannya. Keberhasilan diukur dengan banyak sedikitnya makanan yang tumpah saat proses pengambilan makanan. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5, nasi putih, buah, dan sop krim memiliki rata – rata keberhasilan lebih tinggi 10% dibanding dengan bubur. Buah memiliki rata – rata waktu pengambilan paling singkat dibandingkan dengan bahan lainnya yaitu sebesar 18 detik.

Pada pengujian menyuap makanan ke depan mulut dilakukan pengujian sebanyak 10 kali pengujian penyuaan makanan dengan masing – masing jenis makanan. Setiap pengujian menyuap makanan akan dicatat keberhasilan dan waktu yang dibutuhkan lengan robot dalam melakukan proses pengambilan makanan dan mengarahkan sendok ke depan mulut. Keberhasilan diukur dengan banyak sedikitnya makanan yang tumpah saat sendok sampai di depan mulut. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan Tabel 6, nasi memiliki rata – rata keberhasilan paling tinggi sebesar 90% dan bubur memiliki rata – rata keberhasilan paling rendah sebesar 40%. Kegagalan terjadi akibat servo yang digunakan pada lengan robot tidak kuat dalam membawa makanan dan makanan ada yang tumpah saat didekatkan ke depan mulut. Buah memiliki rata – rata waktu penyuaan paling singkat dibandingkan dengan bahan lainnya yaitu sebesar 28 detik dan bubur memiliki rata – rata waktu penyuaan paling tinggi sebesar 31 detik. Hal ini

dikarenakan bubur memiliki berat yang lebih besar dibandingkan dengan buah.

## V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil uji coba dan evaluasi Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ujung lengan robot dapat mengarah ke depan mulut dengan menggunakan invers kinematik dari titik koordinat posisi mulut yang didapatkan oleh deteksi posisi mulut dibuktikan dengan rata-rata error rate yang cukup kecil dengan rincian : posisi kiri sebesar 1.52 cm , posisi tengah sebesar 0.88 cm , dan posisi kanan sebesar 1,24.
2. Bentuk sendok mempengaruhi kecocokan makanan yang dapat digunakan. Makanan yang paling cocok dengan bentuk sendok pada sistem ini adalah nasi dan buah. Hal ini dibuktikan dengan tingkat keberhasilan yang paling tinggi yaitu 80-90% dan membutuhkan waktu pengambilan dan penyuaan makanan paling singkat yaitu 28-29 detik. Makanan yang paling tidak cocok dengan sistem ini adalah bubur. Hal ini dibuktikan dengan tingkat keberhasilan paling rendah yaitu 40-70% dan membutuhkan waktu pengambilan dan penyuaan paling lama yaitu 31 detik .

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. J. Perera, T. D. Lalitharatne, and K. Kiguchi, "EEG-controlled meal assistance robot with camera-based automatic mouth position tracking and mouth open detection," in *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2017, pp. 1760–1765, doi: 10.1109/ICRA.2017.7989208.
- [2] J. Di Sun, G. Z. Cao, W. B. Li, Y. X. Liang, and S. D. Huang, "Analytical inverse kinematic solution using the D-H method for a 6-DOF robot," in *2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, URAI 2017*, 2017, pp. 714–716, doi: 10.1109/URAI.2017.7992807.
- [3] A. A. Mohammed and M. Sunar, "Kinematics modeling of a 4-DOF robotic arm," in *Proceedings - 2015 International Conference on Control, Automation and Robotics, ICCAR 2015*, 2015, pp. 87–91, doi: 10.1109/ICCAR.2015.7166008.
- [4] A. Novitarini, Y. Aniroh, D. Y. Anshori, and S. Budiprayitno, "A closed-form solution of inverse kinematic for 4 DOF tetrix manipulator robot," in *Proceeding - ICAMIMIA 2017: International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation*, 2018, pp. 25–29, doi: 10.1109/ICAMIMIA.2017.8387551.
- [5] A. Priadana and M. Habibi, "Face detection using haar cascades to filter selfie face image on instagram," in *Proceeding - 2019 International Conference of Artificial Intelligence and Information Technology, ICAIIT 2019*, 2019, pp. 6–9, doi: 10.1109/ICAIIIT.2019.8834526.
- [6] M. Khan, S. Chakraborty, R. Astya, and S. Khepra, "Face detection and recognition using OpenCV," in *Proceedings - 2019 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems, ICCIS 2019*, 2019, vol. 2019-Janua, pp. 116–119, doi: 10.1109/ICCIS48478.2019.8974493.
- [7] N. L. Fitriyani, C. K. Yang, and M. Syafrudin, "Real-time eye state detection system using haar cascade classifier and circular hough transform," 2016, doi: 10.1109/GCCE.2016.7800424.
- [8] S. Parvathi and S. T. Selvi, "Design and fabrication of a 4 Degree of Freedom (DOF) robot arm for coconut harvesting," in *Proceedings of 2017 International Conference on Intelligent Computing and Control, I2C2 2017*, 2018, pp. 1–5, doi: 10.1109/I2C2.2017.8321925.
- [9] R. Mardiyati, E. Mulyana, I. Maryono, K. Usman, and T. Priatna, "The derivation of matrix transformation from pixel coordinates to real-world coordinates for vehicle trajectory tracking," 2019, doi: 10.1109/ICWT47785.2019.8978254.