

Pengendalian Robot Lengan Pemilah Benda Berdasarkan Bentuk Menggunakan Teknologi *Computer Vision*

Hanif Septyan Nu'man¹, Yusuf Sofyan², Adnan Rafi Al Tahtawi³

^{1,2,3}Prodi Teknik Otomasi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung
Jalan Gegerkalong Hilir, Kabupaten Bandung Barat 40559, Indonesia
hanif.septyan.toi16@polban.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi robot yang terus berkembang, berperan penting dalam membantu pekerjaan manusia. Pada industri manufaktur dan makanan peningkatan kebutuhan produksi terus meningkat disebabkan kebutuhan manusia yang juga meningkat. Penggunaan robot menjadi sangat penting dengan keterbatasan manusia yang bisa lelah, hal tersebut membuat risiko kesalahan produksi dan kecelakaan kerja meningkat. Robot lengan yang dapat bekerja secara otomatis menjadi solusi dari permasalahan tersebut. Robot lengan menggunakan motor servo MG996R dengan memiliki lima derajat kebebasan. Robot lengan dikontrol menggunakan Raspberry Pi dengan sebuah sensor kamera endoskop. Metode *inverse kinematic* diterapkan pada robot lengan untuk mempermudah robot bergerak ke koordinat tujuan. Sementara penggunaan teknologi *computer vision* dengan metode *shape detection* diterapkan pada sensor kamera agar robot lengan dapat mengidentifikasi bentuk objek yang akan dipindahkan. Pendeteksian bentuk mendapat *error* 2 kali pada bentuk segitiga dari total pengujian sebanyak 15 kali. Metode *inverse kinematic* pada robot lengan memiliki *error* 0,6 cm sampai 5.3 cm. Sensor kamera bekerja baik pada intensitas cahaya 59 lux dengan segmentasi *Hue*, *Saturation*, dan *Value* (HSV) dengan rentang nilai *low*-HSV(0,103,120) hingga *high*-HSV(180,255,255).

Kata kunci: Robot lengan, *inverse kinematic*, *computer vision*, *shape detection*.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi robot berperan penting dalam membantu pekerjaan manusia. Pada industri manufaktur dan makanan peningkatan kebutuhan produksi terus meningkat disebabkan kebutuhan manusia yang juga meningkat. Penggunaan robot menjadi sangat penting dengan keterbatasan manusia yang bisa lelah, hal tersebut membuat risiko kesalahan produksi dan kecelakaan kerja meningkat. Berdasarkan data yang dikumpulkan, selama periode 2018 terjadi 147.000 kasus kecelakaan kerja menimpa peserta Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) Ketenagakerjaan, 3,18% mengalami cacat dan 1,75% lainnya meninggal dunia [1]. Robot menjadi pilihan yang tepat, karena teknologi ini dapat melakukan banyak pekerjaan sesuai dengan

kebutuhan. Salah satunya adalah teknologi robot lengan atau sering disebut manipulator.

Robot lengan membutuhkan algoritma dalam pergerakannya. Metode *inverse kinematics* merupakan metode gerak robot lengan dengan parameter yang dibutuhkan adalah titik koordinat yang diinginkan, agar perubahan-sudut pada robot lengan dapat mencapai titik tersebut. Metode ini mempermudah proses komputasi agar *end-effector* robot lengan dapat mencapai titik tujuan dengan mengetahui nilai-nilai sudut pada tiap joint-nya. Metode yang telah dirancang untuk diintegrasikan pada robot lengan, seperti metode pendeteksian warna untuk menyortir benda berdasarkan warnanya menggunakan kamera endoskop telah dilakukan oleh [2] dengan *mini-computer* Raspberry Pi dan *software* pemrograman python. Selain itu telah dilakukan pendeteksian kode angka untuk robot lengan penulis angka oleh [3]

menggunakan kamera *webcam* Logitech C270H dan *software* MATLAB. Adapun penelitian mendeteksi bentuk dan warna seperti yang dilakukan oleh [4] dalam tesis *bachelor*-nya, digunakan metode *hough transform* yakni metode untuk mendeteksi pola garis atau bentuk dan untuk warna menggunakan nilai BGR (*Blue, Green, and Red*) dengan metode HSV (*Hue, Saturation, and Value*) color.

Makalah ini bertujuan menghasilkan pengendalian robot lengan pemilah benda berdasarkan bentuk. Perbedaan dengan penelitian sebelumnya adalah penggunaan metode *shape detection* untuk mengidentifikasi bentuk benda sebagai benda kerja yang akan dipilah. Benda kerja berbentuk persegi, segitiga, dan lingkaran yang dilihat dari satu sisi tampak atas. Menggunakan metode *inverse kinematic* pada robot lengan dalam algoritma pergerakannya dengan *error* koordinat *end-effector* kurang dari 5 cm.

II. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini dilakukan dari mendeskripsikan sistem, menentukan spesifikasinya, membuat diagram blok, dan merancang sistem secara keseluruhan.

II.1 Deskripsi sistem

Sistem yang dibuat berupa robot lengan yang mampu memindahkan benda dari titik pengambilan ke tempat penyimpanan. Robot lengan dapat memilah benda berdasarkan bentuk benda tersebut. Pendeteksian bentuk dilakukan dari satu sisi yakni dari tampak atas. Bentuk benda yang digunakan adalah segitiga, persegi, dan lingkaran. Pendeteksian bentuk dilakukan menggunakan sensor kamera yang diolah pada mini-computer. Kamera dapat mendeteksi benda menggunakan metode *shape detection*. Sementara robot lengan dengan 5 derajat kebebasan memiliki 5 buah motor servo yang masing-masing motor digunakan pada *base, shoulder, elbow, wrist*, dan *gripper*.

Cara kerja robot lengan yaitu mula-mula robot lengan pada keadaan siap. Setelah itu benda diletakan pada titik pengambilan. Lalu kamera mulai menangkap gambar dan mengolah gambar tersebut untuk kemudian mengidentifikasi benda tersebut, apakah berbentuk segitiga, persegi, atau lingkara. Jika tidak terdeteksi ketiga bentuk tersebut robot tetap pada keadaan siap. Namun, jika benda terdeteksi antara ketiga bentuk tersebut, robot lengan akan bekerja mengambil benda ke titik pengambilan dan menyimpan benda tersebut ke tempat penyimpanan sesuai dengan bentuk yang terdeteksi.

II.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem ini dilakukan, agar penelitian yang dikerjakan sesuai dengan perencanaan. Sistem yang akan dirancang pada penelitian ini yaitu sistem kendali robot lengan pemilah benda berdasarkan bentuk.

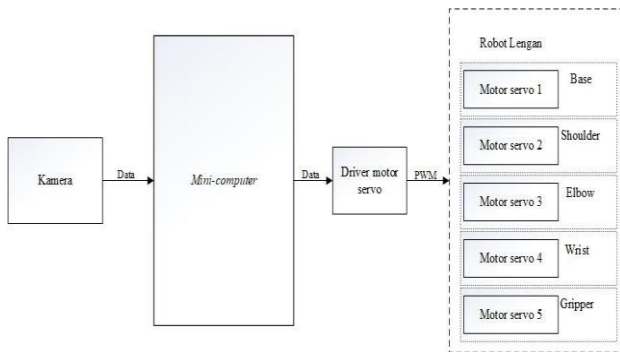
II.2.1 Arsitektur Sistem

Setelah dibuat deskripsi dari sistem yang dibuat, langkah selanjutnya adalah menentukan spesifikasi dari sistem robot pemilah beda ini. Adapun spesifikasi sistem penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi sistem

No.	Spesifikasi	Keterangan
<i>Hardware</i>		
1	Jangkauan maks. robot lengan	24 cm dari pusat base
2	Jangkauan min. robot lengan	8,5 cm dari pusat base
3	Rentang sudut area kerja	0o sampai 180o
4	Benda kerja yang dapat diangkat	Lebar 1 sampai 5 cm dengan berat maksimal 1 kg.
5	Rangka robot	Alumunium 345 gram
6	Kontroler	Raspberry Pi
7	Kamera	Endoskop 640x480 <i>pixel</i>
8	Motor servo	Supply 4.8-6V, Torsi 11 Kg.cm
9	Driver motor servo	Driver PWM 12 bit, 16 channel
10	Catu daya	5 VDC
<i>Software</i>		
1	Operating system	Raspbian Buster
2	Bahasa pemrograman	Python

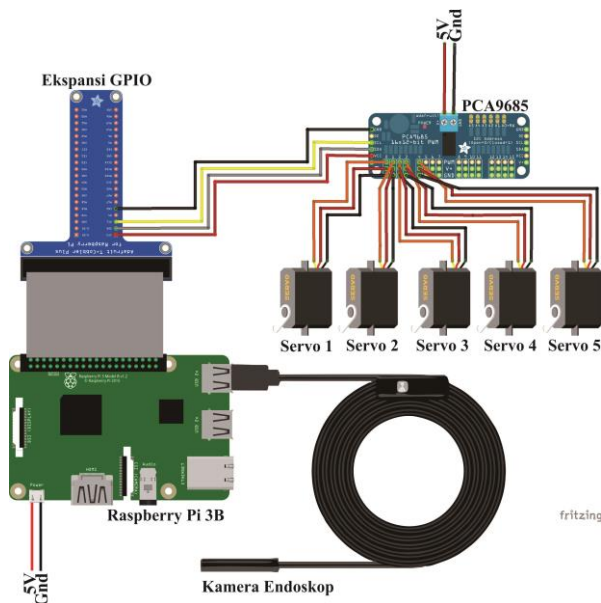
Perancangan sistem pada penelitian ini merupakan perancangan robot lengan yang dapat memilah dan memindahkan benda berdasarkan bentuk dari benda tersebut. Sensor yang digunakan adalah kamera, digunakan sebagai pendeteksi benda dan masukan citra yang mana citra tersebut diolah oleh sebuah mini-computer. Aktuator pada robot lengan adalah 5 buah motor servo. Gambar 1 merupakan blok diagram sistem yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 1. Diagram blok sistem

II.2.2 Perancangan wiring input-output

Perancangan ini dilakukan untuk inialisasi awal sebelum perancangan dan realisasi *software* maupun *hardware*. Hal ini mempermudah dalam realisasi baik pada pembuatan program maupun pada instalasi pengkabelan pada panel kontrol.



Gambar 2. Wiring input-output

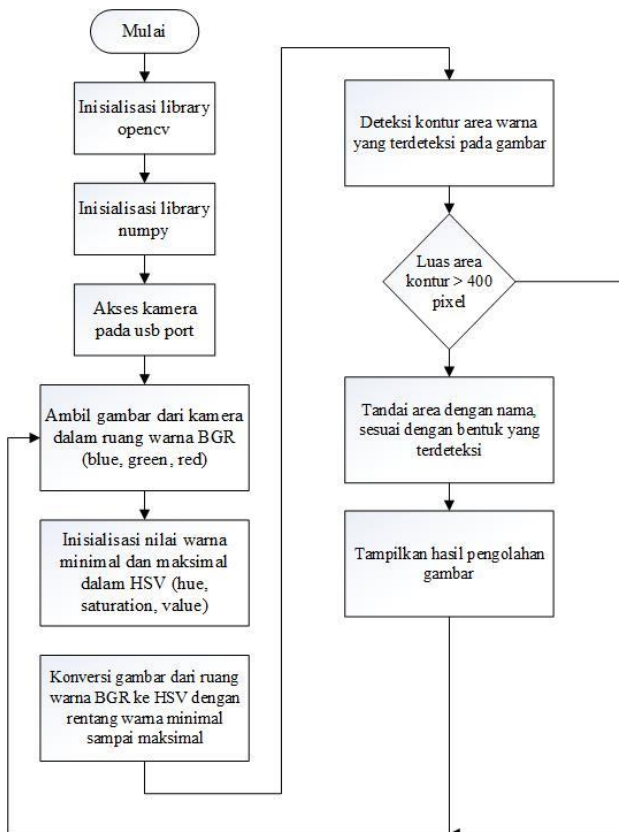
II.2.3 Perancangan pengolahan citra digital

Computer vision merupakan serangkaian transformasi data dari gambar menjadi sebuah representasi baru [5]. Sumber gambar atau citra yang digunakan adalah dari kamera. Penangkapan citra oleh kamera merupakan masukan ke kontroler yang digunakan untuk mengetahui bentuk benda yang terdeteksi. Proses tersebut dilakukan menggunakan *library* bernama OpenCV. OpenCV merupakan *Application Programming Interface* (API) pustaka yang populer untuk pengolahan citra pada teknologi computer vision [6]. Pengolahan tersebut menggunakan bahasa pemrograman python.

OpenCV memiliki dokumentasi yang baik, hal tersebut menjadi alasan dari penggunaan *library* ini pada penelitian.

Penggunaan *library* lain pada pengolahan citra digital ini adalah *Numerical Python* (Numpy). Numpy merupakan *library* pada bahasa pemrograman python yang fokus pada *scientific computing*. *Library* ini memiliki kelebihan yakni konsumsi memori yang lebih kecil serta runtime yang lebih cepat dibandingkan misalnya dengan fungsi *list* pada pemrograman python. Penggunaannya untuk mengolah seluruh *pixel* untuk diambil nilainya dengan resolusi kamera endoskop yakni 640x480 *pixel*. Apabila tidak menggunakan *library* Numpy ini mengolah seluruh *pixel* perlu satu persatu, akan sangat memakan waktu dan memberi beban berat pada kinerja kontroler.

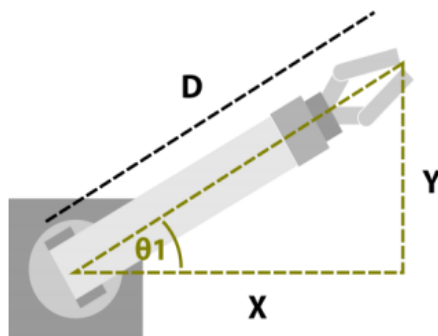
Pengolahan citra yang digunakan segmentasi warna HSV. *Hue* (warna) adalah suatu nilai yang digunakan dalam menentukan jenis warna berdasarkan derajat setiap hue-nya. *Saturation* adalah nilai untuk mengatur banyaknya intensitas warna, dan *value* adalah nilai yang dipakai untuk mengatur ketajaman warna [7]. adalah menggunakan metode *shape detection*. Penggunaan metode ini karena sesuai dengan tujuan yakni mengidentifikasi bentuk benda. Pengolahan citra digital untuk pendeteksian bentuk benda memiliki tahap-tahap seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart pengolahan citra digital

II.2.4 Perancangan perhitungan metode inverse-kinematic

Metode *inverse-kinematics* merupakan metode gerak robot lengan dengan parameter yang dibutuhkan adalah titik koordinat yang diinginkan, agar perubahan-sudut pada robot lengan dapat mencapai titik tersebut [8]. Metode *inverse kinematic* digunakan untuk perhitungan mencari nilai sudut masing-masing motor servo agar robot lengan mampu mencapai koordinat yang diinginkan. Parameter yang digunakan untuk menentukan sudut tiap motor servo adalah panjang setiap lengan dan koordinat tujuan *end-effector*.



Gambar 4. Parameter metode *inverse kinematic* tampak atas [9]

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$= \sqrt{20^2 + 11.54^2}$$

$$= \sqrt{400 + 133,17}$$

$$= 23.1 \text{ cm}$$

Nilai θ_1 didapat berdasarkan persamaan (1) dan dijabarkan sebagai berikut :

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{Y}{X} \dots \dots \dots (1)$$

$$= \tan^{-1} \frac{11,54}{20}$$

$$= 30^\circ$$

Hasil perhitungan D sebelumnya digunakan dalam perhitungan dalam mencari nilai sudut motor pada *shoulder* dan *elbow*. Perhitungan *inverse kinematic* dibantu oleh ilustrasi pada gambar 5 Selanjutnya dicari nilai Z1 yang merupakan tinggi dari dasar *base* dan Z2 merupakan Z dikurangi Z1 dimana Z adalah tinggi robot lengan dari *base* sampai *end-effector*.

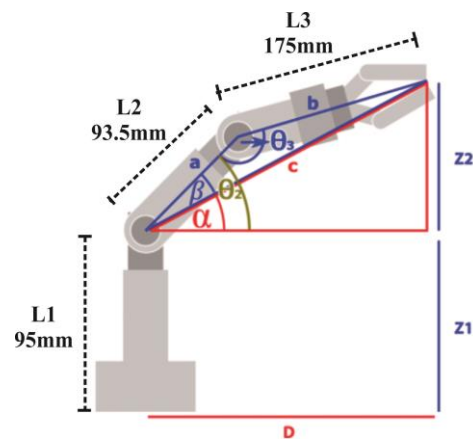
$$Z1 = L1$$

$$= 9,5 \text{ cm}$$

$$Z2 = Z + Z1$$

$$= 16 - 9,5$$

$$= 6,5 \text{ cm}$$



Gambar 5. Parameter metode *inverse kinematic* tampak samping [10]

Garis imajiner dari titik pusat rotasi pada *shoulder* ditarik hingga ujung *end-effector*. Garis tersebut diberi lambang sebagai c.

$$c = \sqrt{D^2 + Z2^2}$$

$$= \sqrt{23,1^2 + 6,5^2}$$

$$= \sqrt{533,61 + 42,25}$$

$$= \sqrt{575,86}$$

$$= 23,99 \text{ cm}$$

Nilai θ_2 didapat dengan menghitung nilai sudut α dan β berdasarkan aturan cosinus pada rumus (2) dan rumus (3).

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{z_2}{D} \dots \dots \dots (2)$$

$$= \tan^{-1} \frac{6,5}{23,1}$$

$$= 15,7^\circ$$

$$\beta = \cos^{-1} \frac{(a^2+c^2-b^2)}{2ac} \dots \dots \dots (3)$$

$$= \cos^{-1} \frac{(9,35^2 + 23,99^2 - 17,5^2)}{2 \times 9,35 \times 23,99}$$

$$= \cos^{-1} \frac{356,69}{448,61}$$

$$= 36,9^\circ$$

$$\theta_2 = \alpha + \beta \dots \dots \dots (4)$$

$$= 15,7^\circ + 36,9^\circ$$

$$= 52,6^\circ$$

Rumus (5) merupakan aturan cosinus untuk mencari nilai θ_3 . Berikut penghitungan mencari θ_3 .

$$\theta_3 = \cos^{-1} \frac{(a^2+b^2-c^2)}{2ab} \dots \dots \dots (5)$$

$$= \cos^{-1} \frac{(9,35^2 + 17,5^2 - 23,99^2)}{2 \times 9,35 \times 17,5}$$

$$= \cos^{-1} \frac{-181,85}{327,25}$$

$$= 124,1^\circ$$

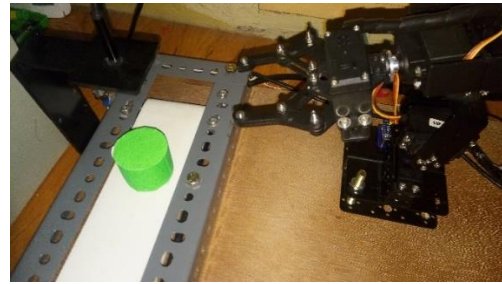
Nilai θ_3 merupakan nilai sudut *elbow* pada robot lengan yang merupakan sudut antara link a dan b.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dilakukan pengujian system, terdapat dua pengujian yakni pengujian pengolahan citra digital dan pengujian koordinat robot lengan.

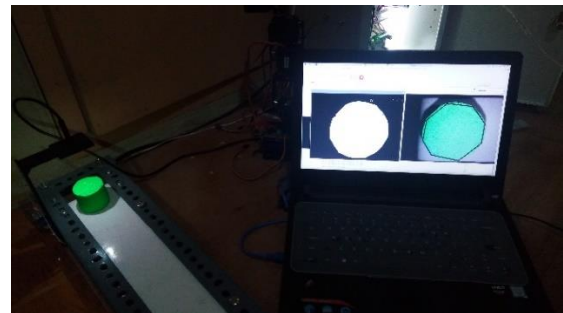
III.1 Pengujian pengolahan citra digital.

Pengolahan citra digital diuji untuk mendeteksi benda kerja yang akan digunakan dalam proses pemilahan benda. Benda kerja diuji dari satu sisi yakni kamera ditempatkan dibagian atas untuk mendeteksi tampak atas benda tersebut. Benda kerja berbentuk persegi, segitiga dan lingkaran diuji untuk dideteksi bentuknya.



Gambar 6. Robot lengan pada media kerja

Pendeteksian bentuk tersebut menggunakan segmentasi warna HSV dengan rentang nilai *low*-HSV (0, 103, 120) hingga *high*-HSV(180, 255, 255) dan berdasarkan pencarian nilai kontur yang menghasilkan bentuk dan identifikasi dengan menghitung jumlah sudut.



Gambar 7. Pengujian pengolahan citra digital dengan metode *shape detection*

Pengolahan citra digital sangat berpengaruh terhadap jumlah fluks per satuan luas (lux). Nilai lux ini digunakan untuk meminimalisir noise atau kesalahan pendeteksian dengan jenis kamera endoskop dengan jarak dari kamera ke benda adalah 6 cm. Pengujian intensitas cahaya tersebut menggunakan lux meter Lutron LM-8000. Pengujian pendeteksian bentuk benda dengan menggunakan metode *shape detection* terdapat pada tabel 2. Pengujian dilakukan sebanyak 15 kali dengan masing-masing bentuk sebanyak 5 kali didapat bentuk segitiga tidak teridentifikasi sebanyak 2 kali.

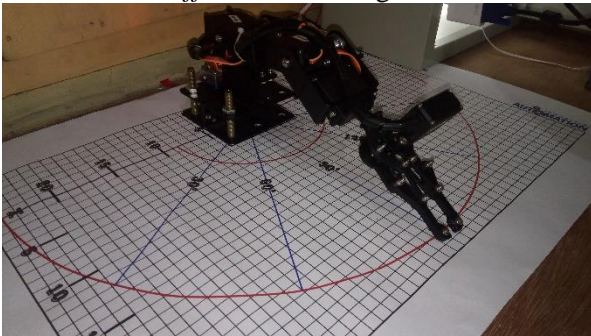
Tabel 2. Pengujian pengolahan citra digital dengan metode *shape detection*

Percobaan ke-	Bentuk Benda	Lux	Keterangan
1	Persegi	59	Terdeteksi
2		59	Terdeteksi
3		59	Terdeteksi

4	Segitiga	59	Terdeteksi
5		59	Terdeteksi
6		59	Terdeteksi
7		59	Tidak terdeteksi
8		59	Terdeteksi
9		59	Terdeteksi
10	Lingkaran	59	Tidak terdeteksi
11		59	Terdeteksi
12		59	Terdeteksi
13		59	Terdeteksi
14		59	Terdeteksi
15		59	Terdeteksi

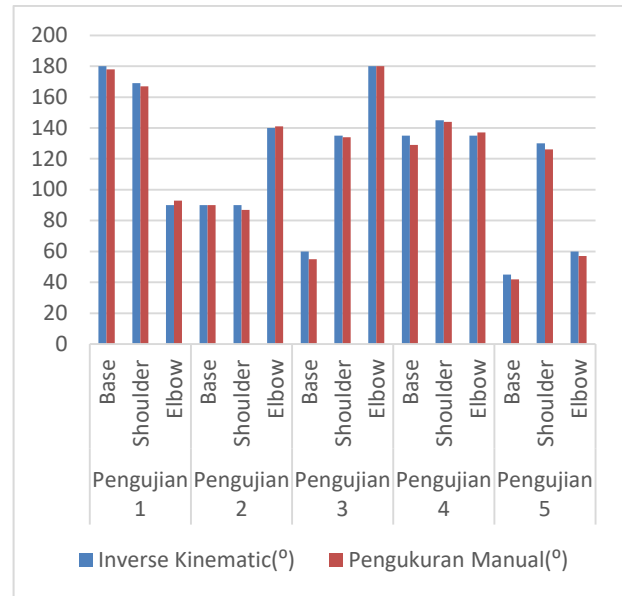
III.2 Pengujian koordinat robot lengan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui koordinat *end-effector* robot lengan mencapai koordinat tujuan. Pengukuran dilakukan secara langsung menggunakan papan koordinat dan bantuan penggaris untuk mengetahui perbedaan antara perhitungan dengan hasil yang dicapai dikarenakan tidak ada alat yang dapat mengukur koordinat *end-effector* robot lengan.



Gambar 8. Pengujian koordinat robot lengan dengan metode *inverse kinematic*

Proses yang berlangsung terjadi secara bergantian antara proses pendeteksian dan proses kerja robot lengan. Hal ini karena algoritma sistem tidak menggunakan algoritma paralel atau multitasking. Pada satu siklus kerja robot lengan dari mulai mendeteksi bentuk benda hingga memindahkan benda ke tempat penyimpanan dibutuhkan waktu selama 29,7 detik. *Error* yang terjadi pada pengujian ini rentang 0,6 cm sampai 5,3 cm Hasil pengujian terdapat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik pengujian koordinat robot lengan dengan metode *inverse kinematic*

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem robot lengan pemilah benda sudah dapat bekerja sesuai tujuan, dengan satu siklus kerja dengan waktu 29,7 detik. Proses berlangsung secara berurutan dari mulai pendeteksian hingga penyimpanan benda kerja.
2. Kamera mampu mengidentifikasi dengan baik bentuk benda dengan jarak kamera ke benda yang dideteksi sejauh 8 cm. Bentuk dideteksi yakni persegi, segitiga, dan lingkaran dengan *error* 2 kali pada pendeteksian bentuk segitiga dari total pendeteksian sebanyak 15 kali. Pendeteksian menggunakan segmentasi *Hue*, *Saturation*, dan *Value* (HSV) dengan rentang nilai *low*-HSV(0,103,120) hingga *high*-HSV(180,255,255) dan nilai intensitas cahaya diatur sebesar 59 lux.
3. Pemilahan benda kerja dilakukan untuk kemudian dipindahkan berdasarkan bentuk masing-masing. *Error* yang terjadi pada robot lengan menggunakan metode *inverse kinematic* saat proses pemilahan benda tidak mencapai tujuan awal, *error* yang didapat dengan rentang 0,6 cm sampai 5,3 cm.

Diharapkan penelitian selanjutnya dilakukan menggunakan algoritma paralel, yakni masing-

masing sub-sistem bekerja bersamaan. Lalu system pada robot ditambahkan metode *dynamic* agar torsi motor dapat diperhitungkan dan *error* pada robot lengan berkurang.

Menggunakan Arduino,” , p. 8, 2014.

REFERENSI

- [1] S. Pembaruan, “Tekan Angka Kecelakaan, BPJS Ketenagakerjaan Bagikan Helm,” 10 09 2019. [Online]. Available: <https://www.bpjsketenagakerjaan.go.id/berita/25967/-Tekan-Angka-Kecelakaan,-BPJS-Ketenagakerjaan-Bagikan-Helm>.
- [2] T. W. Prasetio, Rancang Bangun Pengendalian Robot Lengan dengan 4 Derajat Kebebasan Sebagai Penyeleksi Objek Menggunakan Kamera Berbasis Raspberry-PI, Bandung: Politeknik Negeri Bandung, 2019.
- [3] R. W. S. Nugroho, Aplikasi Computer Vision Pada Lengan Robot Pemindah Benda Berdasarkan Kode Angka, Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma, 2019.
- [4] T. Fredriksson and S. Strom, Color Sorting Robot, Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, 2016.
- [5] M. Qomaruzzaman, Semi Autonomous Mobile Robot with Arm to Pick Object, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember , 2016.
- [6] T. Apsari, Perancangan Robot Vision Menggunakan OpenCV Berbasis Raspberry PI B+, Palembang: Politeknik Negeri Surabaya, 2015.
- [7] F. Humani, K. Adi and C. E. Widodo, “Aplikasi Pengolahan Citra Pada Raspberry Pi untuk Membedakan Benda Berdasarkan Warna dan Bentuk,” *Youngster Physics Journal*, vol. 5, no. 4, p. 6, 2016.
- [8] R. Oktama, R. Maulana and G. E. Setyawan, “Implementasi Robot Lengan Pemindah Barang 3 DOF Menggunakan Metode Inverse Kinematics,” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 8, p. 8, 2018.
- [9] H. D. Siswaja, Prinsip Kerja dan Klasifikasi Robot, Bandung: Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer LIKMI, 2008.
- [10] D. Caysar, “Pengaturan Pergerakan Robot Lengan Smart Arm Robotic AX-12A Melalui Pendekatan Geometry Based Kinematic