

Perancangan Robot Lengan Lima Derajat Kebebasan untuk Misi *Pick and Place* Berbasis *Inverse Kinematics*

Muhammad Agni¹, Adnan Rafi Al Tahtawi²

¹Program Studi Teknik Komputer, Politeknik Sukabumi
Jl. Babakan Sirna No. 25 Kota Sukabumi, Indonesia

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga Bandung 40012, Indonesia
agniid@live.com

Abstrak

Robot lengan kerap menjadi alat yang banyak digunakan didunia Industri saat ini perkembangan semakin pesat. Dengan adanya teknologi robot lengan maka perpindahan barang tidak lagi dipersulit. Sistem mengambil dan meletakkan suatu barang dapat dengan mudah menggunakan robot lengan. Salah satunya robot yang dapat memindahkan barang dengan berbagai persendian dilengkapi dengan kamera yang berfungsi sebagai sensor untuk mendeteksi objek. Penelitian ini bertujuan untuk merancang robot lengan dengan 5 derajat kebebasan untuk misi mengambil dan menyimpan benda (*pick and place*) dengan metode *inverse kinematics*. Arduino Mega digunakan sebagai mikrokontroler dengan kecepatan proses data yang cepat sehingga dapat memproses data yang telah ditetapkan dalam robot lengan. Robot lengan dirancang menggunakan 6 buah motor servo yang memungkinkan robot untuk bergerak dan mengambil objek serta meletakkan objek ke tempat yang diinginkan. Sensor yang digunakan adalah kamera Kinect XBOX 360 model 1414 digunakan sebagai piranti penangkap citra yang terintegritasi dengan Processing IDE. Hasil pengolahan citra berupa koordinat objek selanjutnya koordinat objek tersebut digunakan sebagai masukan untuk *inverse kinematics*. Hasil dari perhitungan *inverse kinematics* berupa derajat sudut motor servo pada setiap *joint* robot lengan, sehingga *end-effector* robot lengan dapat mencapai objek yang dituju.

Kata kunci: robot lengan, kinematika balik, pengolahan citra, Processing IDE

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri *robot arm* (robot lengan) digunakan untuk berbagai macam kegiatan dalam membantu melakukan pekerjaan dengan tingkat kesulitan rendah hingga tingkat kesulitan tertinggi. *Robot arm* merupakan salah satu robot yang sering digunakan dalam dunia industri dengan fungsi *end-effector* yang berbeda-beda sesuai kebutuhan user. Berdasarkan cara kerjanya robot tersebut dapat melakukan gerak perpindahan posisi dari satu titik ke titik lain dengan menentukan posisi koordinat pada robot lengan. Penggunaan teknologi robot lengan ini bertujuan agar mempertimbangkan beberapa faktor dalam hal ini pemindahan barang yang dilakukan oleh manusia yaitu beratnya barang. Penggunaan robot sebagai alat bantu kerja kian berkembang untuk alternatif yang aman bagi manusia untuk bekerja.

Penelitian tentang robot pun terus dilakukan atas dasar ilmu pengetahuan dan teknologi untuk memudahkan pekerjaan yang dilakukan manusia agar lebih mudah dan aman. Dalam industri, robot ini terdiri dari link (rangka) dan joint (sendi) [4]. Dua gerakan robot yang paling dasar adalah gerakan rotasional (*revolute*) dan gerakan *linear* (*prismatic*) [5]. Ada 2 jenis *joint* (sendi) pada robot lengan dijelaskan dalam [6]. Terdapat berbagai macam metode yang dapat digunakan untuk melakukan pergerakan secara tepat pada robot lengan, salah satunya adalah metode *inverse kinematics* [1]. *Inverse kinematics* robot lengan dapat beroperasi sesuai koordinat yang telah ditentukan untuk memindahkan sebuah barang dengan cara *pick and place* [7] ditempat yang telah ditentukan. *Inverse kinematics* adalah suatu metode yang bekerja dengan cara menentukan titik lokasi dari tujuan akhir (*end-effector*) ke titik tujuan [8]. Saat ini robot lengan sedang dikembangkan dengan

berbagai sensor untuk mendeteksi suatu objek yang akan dipindahkan dan yang banyak diaplikasikan di industri adalah pengolahan citra (*image processing*).

Makalah ini terdiri dari lima bagian. Bagian pertama berisi latar belakang beserta kajian terhadap penelitian-penelitian terkait. Bagian dua menjelaskan perangkat keras yang digunakan pada sistem yang dirancang. Bagian tiga menjelaskan tentang perancangan sistem, baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Terakhir, bagian empat memberikan kesimpulan dari makalah ini.

II. PERANCANGAN SISTEM

A. Komponen Perangkat Keras

Motor servo adalah sebuah motor DC yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik (*positional feedback control*) yang memungkinkan rotor dapat diposisikan secara akurat. Motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian control dan potensiometer. Serangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat torsi motor servo, dan memperkuat tenaga putaran dari motor.



Gambar 1. Motor Servo MG996R [9]

Motor Servo MG996R Torsi tinggi ini dilengkapi roda gigi logam yang menghasilkan torsi 10kg. fitur peredam kejutan yang sudah ditingkatkan dan sistem control PCB dan IC yang didesain ulang membuatnya jauh lebih akurat daripada pendahulunya MG995. Roda gigi dan motor juga telah ditingkatkan untuk meningkatkan keakuratan. Servo ini dapat berputar kira-kira 120° (60° disetiap arah).



Gambar 2. Motor Servo SG90 [9]

Motor servo SG90 dengan bentuk yang kecil dan ringan daya keluaran tinggi. SG90 bisa berputar kira-kira 180° (90° disetiap arah), dan bekerja seperti jenis standar lebih kecil.

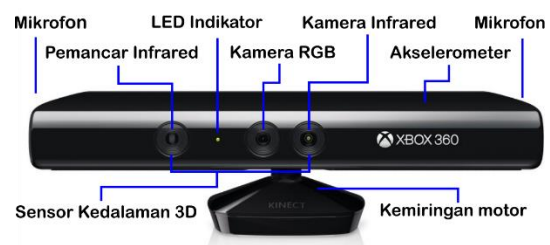
Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler yang berdasarkan *chip* mikro Atmega 2560. Arduino Mega 2560 mempunyai 54 pin masukan atau keluaran digital (dimana 14 pin bisa dijadikan PWM), mempunyai 16 masukan analog, 4 UART (*port serial hardware*), 16 MHz kristal osilator, koneksi menggunakan USB, mempunyai *jack power*, *ISCP header*, dan tombol reset.



Gambar 3. Modul Arduino Mega 2560 [10]

Arduino Mega 2560 memuat semua yang dibutuhkan untuk mendukung kerja dari mikrokontroler. Arduino Mega 2560 dapat secara mudah disambungkan dengan baterai untuk menghidupkan Arduino Mega 2560.

Sensor Kinect adalah sebuah alat berbentuk batang horizontal yang terhubung dengan alas kecil yang memiliki poros yang dapat berputar dan penempatan sensor Kinect berada di atas televisi. Perangkat ini memiliki kamera RGB, sensor kedalaman, sensor Infrared dan mikrofon yang berjalan di perangkat software khusus, yang menyediakan kemampuan untuk menangkap gerak secara 3D, mengenali wajah dan mengenali suara [11].

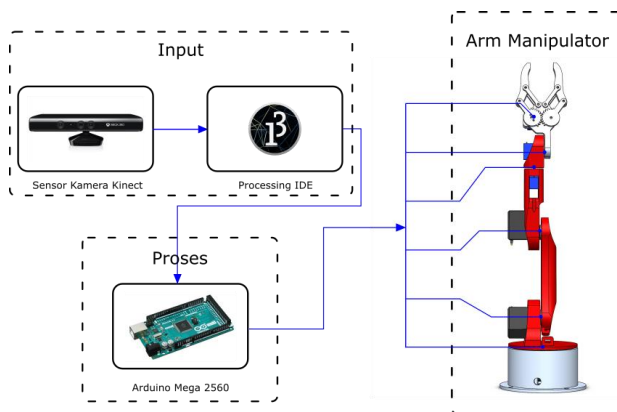


Gambar 4. Kamera Kinect XBOX 360

B. Perancangan Perangkat Keras

Dalam penelitian ini perancangan perangkat keras robot lengan lima DOF meliputi beberapa bagian mekanik dan elektronis. Sistem mekanik dari

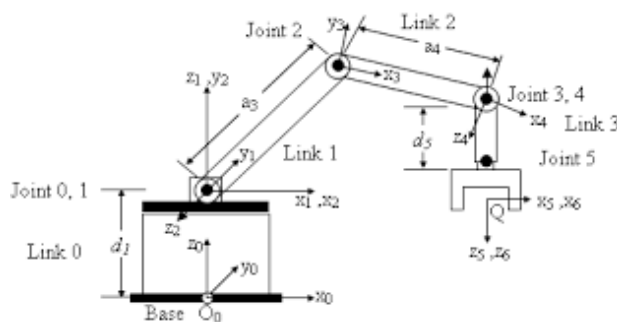
robot lengan bergantung dari konfigurasi robot lengan. Konfigurasi robot lengan pada makalah ini adalah konfigurasi *articulated*, dengan lima *joint revolute* dan satu *end-effector*. Sistem mekanik dari lengan robot lima DOF sangat berpengaruh dan mendominasi sistem karena bentuk dan pergerakan dari mekanik akan mempengaruhi *inverse kinematics*. Adapun diagram blok dari perangkat keras robot dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Diagram Blok Perangkat Keras

C. Perancangan Sistem Mekanik

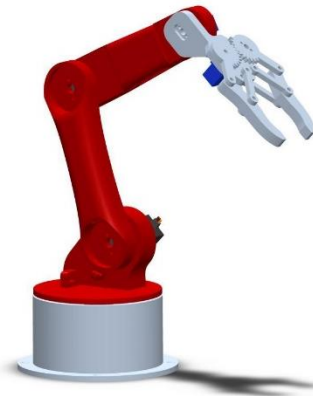
Material yang digunakan pada pembuatan robot lengan lima DOF ini menggunakan material PLA (*Polylactic Acid*) filament adalah bahan 3D printing yang berbahan dasar dari sari pati jagung. Pada material yang digunakan dengan *Infill Density* 5% artinya ketebalan fill pada bahan pembuatan lebih besar dan akan lebih ringan dibandingkan *Infill Density* 100% yang mempunyai ketebalan fill sangat rapat atau tidak ada lubang sama sekali tentunya ini akan ada selisih lebih berat beberapa gram, maka digunakanlah *Infill Density* 5%. Terkecuali untuk part yang kecil jika menggunakan fill tersebut akan mudah patah maka digunakanlah *Infill Density* 100% [12].



Gambar 6. Free Body Robot Lengan [13]

Bentuk keseluruhan model tiga dimensi dirancang menggunakan Solidworks 3D modelling software. Struktur joint dari robot lengan dengan

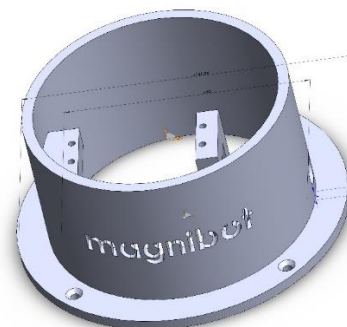
DOF berjumlah enam adalah *base*, *waist*, *shoulder*, *elbow*, *wrist*, dan *gripper*. *Joint* dikendalikan dengan motor servo untuk menggerakkan tiap joint. Motor servo yang berjumlah enam diletakkan di tiap joint. Untuk 3 axis pertama motor servo MG996R diletakkan pada joint *base*, *waist*, dan *shoulder*, sedangkan SG90 diletakkan pada joint *elbow*, *wrist*, dan *gripper*.



Gambar 7. Rancangan Robot Lengan Lima DOF

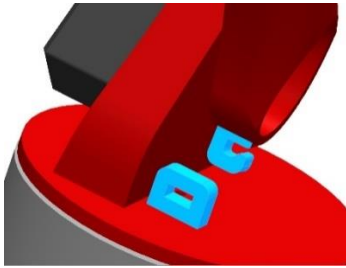
Robot arm didesain mirip seperti pada robot arm di industri dengan lekukan-lekukan pada setiap link dan joint agar tidak terlihat kaku seperti *robotic arm* yang biasa digunakan untuk pembelajaran. Dengan bentuk mekanik seperti itu robot lengan ini dapat dipakai untuk umum, industri atau untuk edukasi. Robot lengan ini diberi nama oleh penulis dengan “magnibot”.

Pada bagian *base* dan *waist* memiliki bentuk yang melingkar desain ini dibuat agar pondasi pada robot lengan menjadi penopang yang baik untuk beban yang berat pada *arm* yang gerakannya memutar menangkat juga beban yang dibawahnya menjangkau seluruh area *workspace*.



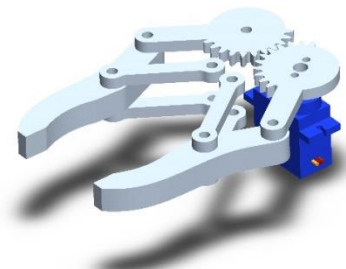
Gambar 8. Bentuk Base Robot Lengan

Waist dan *shoulder* ada bagian part kecil yang sedikitnya berguna ketika mengangkat beban yang berat bagian ini digunakan untuk dikaitkan pegas atau karet gelang. Untuk membantu menarik kembali putaran motor servo ke posisi awal berdiri pada *shoulder*.



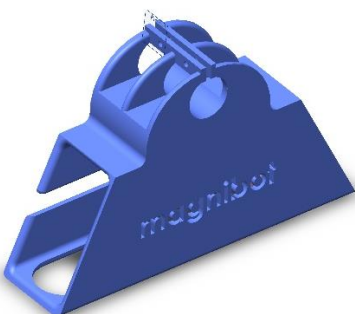
Gambar 9. Bentuk Pegas Penahan Shoulder

End-effector dibuat sebagaimana pergelangan dan tangan manusia yang dapat berputar ke arah *roll* dan *pitch*, maka di sebutlah *wrist roll* dan *wrist pitch* kemudian di bagian *end-effector* nya adalah *gripper* yang mempunyai mekanisme *gear* membantu membuka dan menutup caput.

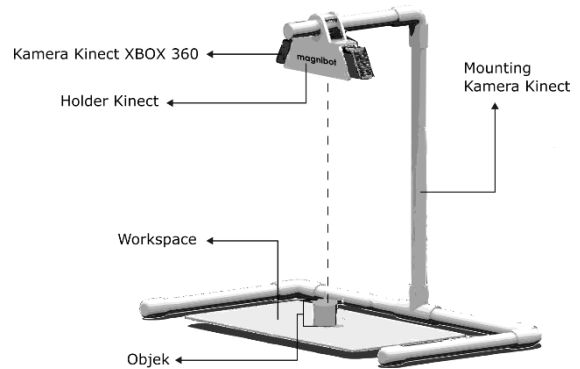


Gambar 10. Bentuk Pegas Penahan Shoulder

Holder untuk kamera Kinect yang dapat membaca seluruh workspace robot lengan. Kamera Kinect digunakan sebagai masukan citra yang nantinya akan diolah didalam Processing IDE. Kamera Kinect ditempatkan pada posisi yang vertical mengarah kebawah tepat diatas objek. Agar kamera Kinect pada posisi yang tetap maka diperlukan holder (pegangan) sehingga gambar yang diambil oleh kamera Kinect tetap stabil.



Gambar 11. Holder Kamera Kinect



Gambar 12. Mounting Kamera Kinect

Adapun hasil implementasi awal dari robot yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Implementasi Sistem

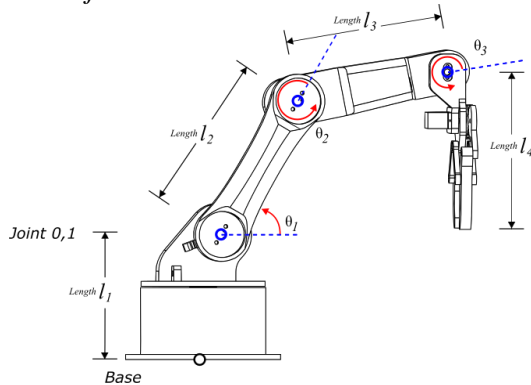
D. Inverse Kinematics

Penyelesaian inverse kinematics ini harus diselesaikan dengan memandang dua sisi, yaitu sisi atas (top view) dan sisi samping (side view) dari struktur robot lengan. Sisi atas digunakan untuk menemukan derajat sudut θ_1 dari joint base, dan joint yang sumbu putar vertikal. Sisi samping digunakan untuk menemukan derajat sudut θ_2 dari joint shoulder, derajat sudut θ_3 dari joint elbow, dan joint wrist roll.

Dalam menentukan derajat sumbu dari joint base bisa digunakan rumus persamaan tangen. Variabel yang bisa digunakan adalah posisi koordinat *end-effector* pada sumbu X dan sumbu Y.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left[\frac{Y_{ef}}{X_{ef}} \right]$$

Xef adalah posisi koordinat *end-effector* pada sumbu X. Yef adalah posisi koordinat *end-effector* pada sumbu Y. θ_1 adalah besar derajat sumbu sudut dari *joint base*.



Gambar 14. Sisi Samping Robot Lengan

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \left[\frac{r_2}{r_1} \right]$$

$$a_3^2 = (a_2)^2 + (r_3)^2 - 2a_2r_3 \cos\varphi_2$$

$$\cos\varphi_1 = \frac{(a_2)^3 + (r_3)^2 - (a_3)^2}{2a_2r_3}$$

$$\varphi_2 = \cos^{-1} \left[\frac{(a_2)^3 + (r_3)^2 - (a_3)^2}{2a_2r_3} \right]$$

$$r_3^2 = (a_2)^2 + (a_3)^2 - 2a_2a_3 \cos\varphi_3$$

$$\cos\varphi_3 = \frac{(a_2)^3 + (a_3)^2 - (r_3)^2}{2a_2a_3}$$

$$\varphi_3 = \cos^{-1} \left[\frac{(a_2)^2 + (a_3)^2 - (r_3)^2}{2a_2a_3} \right]$$

φ_1 merupakan nilai tangen atau perbandingan r_1 dan r_2 , φ_2 merupakan sudut untuk segitiga sembarang yang panjang sisi-sisinya adalah a_2 , a_3 , dan r_2 , dimana φ_2 adalah sudut di hadapan sisi yang panjangnya a_3 . φ_3 merupakan sudut untuk segitiga sembarang yang panjang sisi-sisinya adalah a_2 , a_3 , dan r_1 , dimana φ_3 adalah sudut dihadapan sisi yang panjangnya a_3 . Setelah mendapatkan nilai sudut bantu tersebut, dapat ditemukan nilai dari sudut θ_2 dan θ_3 . Nilai sudut θ_2 dapat ditemukan dengan menjumlahkan derajat sudut φ_1 dan φ_2 . Sementara nilai sudut θ_3 dapat ditemukan dengan mengurangi besar sudut perpanjangan a_2 (180°) dengan nilai sudut φ_3 .

$$\theta_2 = \varphi_1 + \varphi_2$$

$$\theta_3 = 180^\circ - \varphi_3$$

$$\theta_4 = \theta_2 - \theta_3 + 90^\circ$$

III. KESIMPULAN

Dari perancangan yang dilakukan terhadap alat yang didesain untuk kendali sistem robot lengan lima DOF seluruhnya di buat menggunakan 3D printing. 3D Printing menjadi suatu penerapan model 3D yang dibuat menjadi kenyataan dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan ataupun percobaan. Penelitian ini masih dalam tahap perancangan penulis masih terus mengembangkan penelitian ini untuk tahap yang lebih lanjut yaitu robot lengan yang dapat diposisikan dengan looping otomatis mendeteksi benda oleh kamera Kinect.

REFERENSI

- [1] Oktama, Rimas, Rizal M, and Gembong E S. "Implementasi Robot Lengan Pemindah Barang 3 DOF Menggunakan Metode Inverse Kinematics." Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer e-ISSN 2548 2018: 964X.
- [2] Prasetyo, Aditya PP. "Simulasi Robot Manipulator 4 DOF Sebagai Media Pembelajaran dalam Kasus Robot Menulis Huruf." Jurnal Nasional Teknik Elektro 5.3 2016: 339-349.
- [3] Zulfardi, Nur Fery, Dede I S, and Abdullah D A. "Aplikasi Deteksi Benda Menggunakan Metode Image Substraction Sebagai Masukan Koordinat Pada Robot Lengan 3 DOF." Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan (SEMNASTERA). Vol. 1. 2019.
- [4] Raka A, Wahyu, and Muhamad S Z. "Perancangan Kontroler PID Tyreus-Luyben Untuk Kendali Vibrasi Pada *Robot Single Link Flexible Joint Manipulator*." Jurnal Teknik Elektro 8.3 2019.
- [5] Nugraha, Deny Wiria. "Perancangan Sistem Kontrol Robot Lengan yang Dihubungkan dengan Komputer." MEKTEK 12.3 (2010).
- [6] Farozi, Istiqlal, Rizal Maulana, and Wijaya Kurniawan. "Implementasi Sensor Warna Pada Robot Lengan Pemindah Barang Menggunakan *Inverse Kinematics*." Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer e-ISSN 2548 (2019): 964X.
- [7] Harada, Kensuke, et al. "Pick and place planning for dual-arm manipulators." 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2012.

- [8] Singh, Tarun Pratap, P. Suresh, and Swet Chandan. "*Forward and inverse kinematic analysis of robotic manipulators.*" *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 4.2 (2017): 1459-1468.
- [9] Baihaqi, M "Rancang Bangun Alat Mesin Cuci Steam Berbasis Arduino Uno" (*Doctoral dissertation*, Institut Teknologi Nasional Malang). 2019.
- [10] Caysar, D., Nusantoro, G. D., & Yudaningtyas, E. "Pengaturan Pergerakan Robot Lengan *Smart Arm Robotic Ax-12a* Melalui Pendekatan *Geometry Based Kinematic* Menggunakan Arduino". *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 2(7). 2015.
- [11] Sukhairi, S. "Penerapan Teknologi *Sound and Visual Tracking* pada Kinect sebagai keamanan Identifikasi *User Account*". In Prosiding SENTRA (Seminar Teknologi dan Rekayasa) (No. 1). August 2018.
- [12] Moscato, S., Bahr, R., Le, T., Pasian, M., Bozzi, M., Perregrini, L., & Tentzeris, M. M. "*Infill-dependent 3-D-printed material based on NinjaFlex filament for antenna applications*". *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 15, 1506-1509. 2016.
- [13] Agnihotri, P., Banga, V., & Singh, E. G. ANFIS "*Based Forward and inverse Kinematics of Robot Manipulator with five Degree of Freedom*". *Amritsar college of engineering and technology*. 2015.