

Kinematika dan Antarmuka Robot SCARA Serpent

AFRIZAL MAYUB¹, IVAN SYAHRONI², FAHMIZAL², MUHAMMAD ARROFIQ²

¹Pascasarjana S2 Pendidikan IPA FKIP, Universitas Bengkulu, Indonesia

²Teknik Elektro dan Informatika Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Email: afrizalmayub@unib.ac.id

Received 24 Maret 2020 | Revised 14 April 2020 | Accepted 29 April 2020

ABSTRAK

Penelitian ini menyajikan kendali pergerakan posisi dari robot SCARA Serpent menggunakan persamaan kinematika dan antarmuka berbasis Processing IDE. Antarmuka bertujuan untuk memudahkan dalam pengendalian robot SCARA Serpent dan mendapatkan data koordinat objek. Data ini digunakan sebagai masukan persamaan kinematika balik untuk menentukan besar sudut tiap joint. Untuk mendapatkan hasil pergerakan robot SCARA Serpent yang baik, kendali Proporsional, Integral, Differensial (PID) diterapkan dalam mengendalikan posisi setiap joint-nya. Pada pengujian, robot SCARA Serpent diuji dengan tiga pengujian, yaitu pengujian sudut joint, pengujian koordinat end-effector, dan pengujian kendali PID. Dari hasil pengujian, sistem dapat berjalan dengan baik. Hasil parameter kendali PID diperoleh dengan tuning secara eksperimental dengan parameter $K_p=5.5$, $K_i=0.001$ dan $K_d=10$ untuk sudut joint shoulder pada robot SCARA Serpent menuju error steady state bernilai nol.

Kata kunci: SCARA Serpent, Kinematika, Antarmuka, Kendali PID.

ABSTRACT

This paper presents position control of the SCARA Serpent robot using kinematics equations and Processing IDE-based interfaces. The interface aims to make it easier in controlling the SCARA Serpent robot and to get object coordinate data. This data are used as input to the reverse kinematics equation to determine the angle of each joint. To get good SCARA Serpent robot movement results, Proportional, Integral, Differential (PID) control is applied in controlling the position of each joint. In the testing, the SCARA Serpent robot is tested with three tests, namely joint angle testing, end-effector coordinate testing, and PID control testing. From the test results, the system can run well. The results of the PID control parameters were obtained by experimental tuning with parameters $K_p = 5.5$, $K_i = 0.001$ and $K_d = 10$ for the joint shoulder angle of the SCARA Serpent robot towards zero steady state error.

Keywords: SCARA Serpent, Kinematics, Interface, PID Controller.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi serta ilmu pengetahuan dari masa ke masa semakin berkembang. Perkembangan ini berjalan seiring dengan penelitian-penelitian di berbagai disiplin ilmu khususnya dalam bidang otomasi. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya penggunaan sistem otomasi dalam dunia industri seperti penggunaan robot dalam menyelesaikan pekerjaan manusia. Untuk itu, perancangan robot merupakan salah satu solusi dalam memenuhi tuntutan dan membantu kebutuhan manusia **(Faris, dkk, 2012)**.

Pemilihan robot untuk menggantikan pekerjaan manusia tidak terlepas dengan berbagai kelebihanannya. Salah satu kelebihanannya, robot dapat melakukan suatu pekerjaan yang sama dan berulang tanpa merasakan lelah seperti halnya manusia. Pekerjaan ini dapat ditemukan dalam bidang industri khususnya pada bagian produksi. Robot dengan sistem lengan (*robot arm system*) merupakan salah satu jenis robot yang dominan berada dalam bidang industri **(Bimantaka & Harjoko, 2014)**.

Selective Compliance Assembly Robot Arm atau biasa dikenal dengan robot SCARA merupakan salah satu jenis dari robot lengan yang umumnya sering digunakan di dalam dunia industri **(Mandal, 2016)**. Robot SCARA terdiri dari *base*, lengan *shoulder*, lengan *elbow* dan *end-effector*. Posisi *end-effector* pada robot SCARA berada pada sebuah koordinat kartesian (x, y) . Pengembangan dari robot lengan saat ini telah berkembang pesat. Beberapa robot lengan memiliki beberapa fitur kecerdasan seperti ditambahkannya sebuah kamera sehingga pergerakan dari robot bergantung pada warna atau bentuk dari setiap objek **(Vijayalaxmi, dkk, 2013)**.

Robot SCARA memiliki banyak jenis, robot SCARA Serpent merupakan jenis yang dibahas pada penelitian ini. Robot SCARA Serpent didesain oleh Richard Becker pada pertengahan tahun 1980 setelah keluar dari perusahaan lamanya. Richard kemudian mendirikan sebuah perusahaan dengan nama "Cybernetic Applications" yang merupakan perusahaan pada bidang robot manufaktur **(Fazakerley & BeebControl, 2018)**. Robot SCARA Serpent dirancang untuk memindahkan sebuah objek menuju titik koordinat yang sudah ditentukan. Untuk mencapai sebuah koordinat, sebuah robot memerlukan sebuah perhitungan kinematika balik yang membuat titik koordinat tersebut dapat diubah menjadi sebuah nilai sudut untuk setiap *joint*-nya. Setiap *joint* pada robot nantinya bergerak sesuai dengan besaran sudut *joint* yang sudah ditentukan **(Setiawan, dkk, 2015)**. Untuk mendapatkan sebuah respon, umumnya setiap robot mempunyai sebuah sistem umpan balik yang berfungsi untuk membandingkan nilai yang terukur dengan nilai yang ditentukan. Pada robot SCARA Serpent, umpan balik menggunakan sensor potensiometer yang diletakkan pada setiap *joint* pada robot **(Az Uchrowi, dkk, 2019)**.

Penelitian terkait robot SCARA telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti seperti pada **(Shariatee, dkk, 2014)**. Pada makalah ini peneliti merancang sebuah desain robot SCARA yang memiliki spesifikasi sejajar dengan robot industri pada negaranya, Iran. Peneliti merancang desain mekanik, elektronik, sistem kontrol dengan biaya seminimal mungkin. Robot SCARA tersebut menggunakan kontrol kendali PID, dengan tingkat kesalahan yang kecil serta dapat menghasilkan pergerakan dengan tingkat presisi kurang lebih 0.01 mm dan melakukan pergerakan 8.5 m/s pada bidang xy.

Berbeda dengan makalah pada **(Zhang & Zhang, 2019)** yang melakukan simulasi robot SCARA menggunakan SimMechanics yang terdapat pada aplikasi Matlab. Simulasi yang dilakukan peneliti meliputi dari pergerakan kinematika maju yang dilakukan menggunakan parameter DH. SimMechanics pada penelitian tersebut digunakan untuk merancang diagram

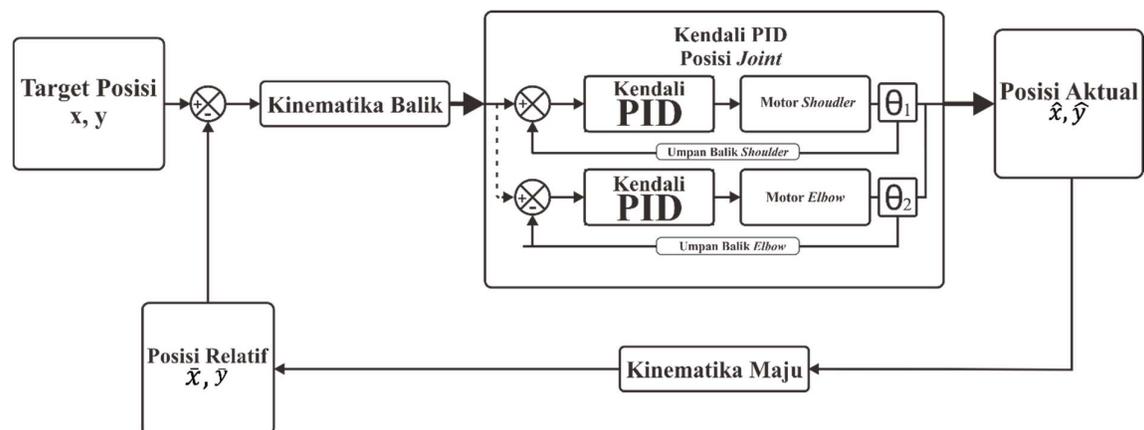
blok dari sistem serta menyimulasikan untuk mengubah perpindahan, kecepatan, dan akselerasi dari setiap *joint*. Selain itu, Robot SCARA dapat dikembangkan lebih jauh seperti yang dilakukan pada (Pillajo & Sierra, 2013). Pada makalah ini, peneliti menambahkan sebuah sensor Kinect untuk merekam pergerakan dari sebuah tangan. Robot SCARA pada makalah ini, melakukan pergerakan sesuai dengan pergerakan tangan secara langsung. Hal ini menunjukkan bahwa, robot SCARA dapat dikembangkan beraneka ragam.

Sedangkan pada makalah ini, disajikan kendali pergerakan posisi dari robot SCARA Serpent menggunakan persamaan kinematika dan antarmuka berbasis Processing IDE. Antarmuka bertujuan untuk memudahkan dalam mengendalikan robot SCARA Serpent dan mendapatkan data koordinat objek. Selain itu, implementasi Kendali PID digunakan untuk membuat pergerakan menjadi stabil dan membuat posisi dari *end-effector* dari robot SCARA Serpent menjadi lebih cepat dan tepat saat menuju titik yang telah ditentukan. Susunan pada makalah ini disusun menjadi empat bagian. Pada bagian 2 perancangan kinematika dan antarmuka Robot SCARA Serpent dijelaskan. Prosedur pengujian dan pembahasan sistem disajikan di bagian 3 beserta data eksperimen. Dan bagian 4 adalah kesimpulan dari makalah ini.

2. PERANCANGAN SISTEM

2.1 Kinematika

Kinematika pada robot lengan SCARA Serpent terbagi menjadi dua jenis yaitu kinematika balik (*inverse kinematic*) dan kinematika maju (*forward kinematic*). Kinematika balik digunakan untuk mendapatkan nilai sudut pada setiap *joint* jika diketahui posisi (x, y) . Sedangkan untuk kinematika maju digunakan untuk mendapatkan posisi (x, y) jika diketahui besar nilai pada setiap *joint* (Prabantara & Harjoko, 2013). Penjelasan terkait pergerakan kinematika dapat digambarkan melalui sebuah blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 1.

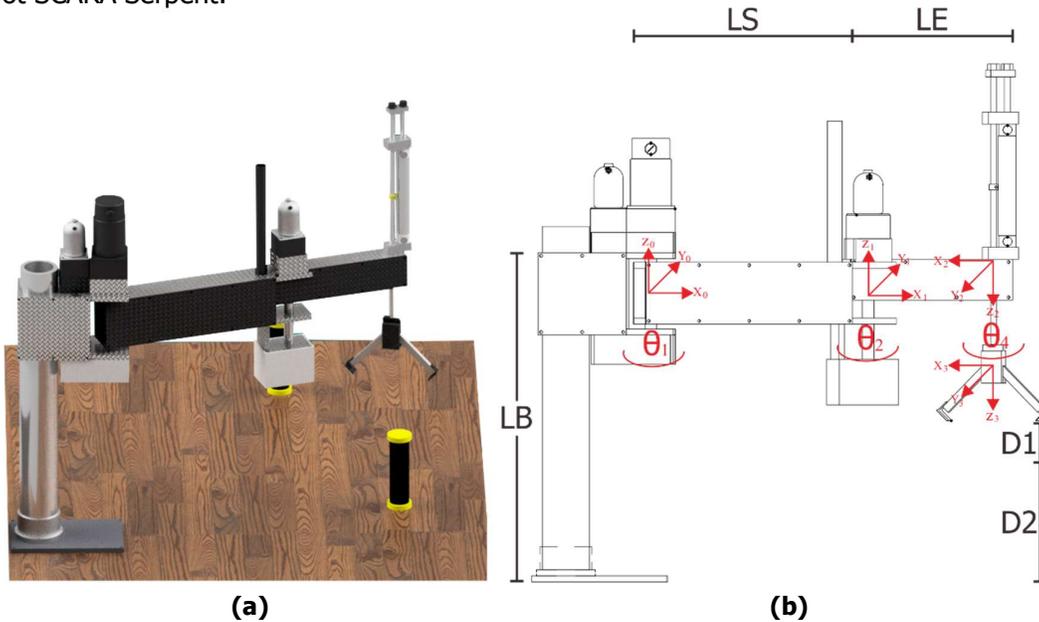


Gambar 1. Blok Diagram Sistem Keseluruhan

2.1.1 Kinematika Maju

Dalam kinematika maju terdapat beberapa metode untuk memudahkan dalam mencari sebuah posisi akhir. Salah satu metode yang umum digunakan adalah metode Denavit-Hartenberg (DH). Metode DH merupakan metode yang menggabungkan proses perhitungan rotasi dan translasi menjadi sebuah matriks dengan menyertakan nilai sudut putar dan jarak sendi dari sebuah lengan robot yang didapat dari konfigurasi pada setiap robot (Dharmawan & Lina, 2017).

Metode DH mempunyai empat buah aturan terkait penulisan dari matriks robot, empat aturan tersebut yaitu pertama, sumbu z harus menjadi sumbu rotasi atau translasi dari sebuah *joint*. Kedua, sumbu x harus tegak lurus dari sumbu z *frame* sebelumnya. Ketiga, sumbu x harus memotong atau menyilang dari sumbu z *frame* sebelumnya. Keempat, sumbu y harus digambarkan sesuai dengan aturan tangan kanan setelah sumbu x dan sumbu z setiap *frame* digambarkan. Gambar 2 merupakan struktur dari konfigurasi SCARA Serpent, sedangkan Tabel 1 merupakan spesifikasi robot SCARA Serpent dan Tabel 2 merupakan tabel konfigurasi DH robot SCARA Serpent.



Gambar 2. (a) Bentuk Fisik Robot SCARA Serpent; (b) Konfigurasi Robot SCARA Serpent

Pada konfigurasi robot SCARA Serpent yang ditunjukkan pada Gambar 2 terdapat lengan *shoulder* (LS). Lengan *shoulder* berporos pada sebuah *base* yang memiliki tinggi 500 mm. Lengan *shoulder* dalam pergerakannya akan membuat nilai sudut yang ditandai dengan θ_1 . Lengan *elbow* (LE) berporos pada ujung lengan *shoulder* yang pergerakannya membentuk sebuah sudut yang ditandai dengan θ_2 . Sedangkan untuk *end-effector* (D1) yang berporos pada ujung dari lengan *elbow* akan membentuk sebuah sudut yang ditandai dengan θ_3 . Selain itu, *end-effector* juga memiliki pergerakan secara vertikal, D1 merupakan jarak dari pergerakan *end-effector* dan D2 merupakan jarak *end-effector* dengan permukaan saat kondisi *end-effector* sedang dalam posisi awal.

Tabel 1. Spesifikasi Robot SCARA Serpent

Keterangan	Nilai
Panjang lengan <i>base</i> (LB)	500 mm
Panjang lengan <i>shoulder</i> (LS)	360 mm
Panjang lengan <i>elbow</i> (LE)	290 mm
Pergerakan <i>end-effector</i> (D1)	90 mm
Jarak <i>end-effector</i> dengan permukaan (D2)	250 mm

Tabel 2. Spesifikasi Robot SCARA Serpent

Link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	LS	0	0	θ_1
2	LE	π	0	θ_2
3	0	0	D1	0
4	0	0	D2	θ_4

Dari parameter DH yang ditunjukkan pada Tabel 2 maka didapatkan nilai untuk ditransformasikan ke dalam bentuk matriks DH seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (1). Nantinya ke empat buah nilai yang dihasilkan oleh setiap *joint* digabungkan ke dalam satu bentuk matriks yang menghasilkan persamaan untuk mencari koordinat $x, y,$ dan z . Selanjutnya panjang lengan *shoulder* (LS), lengan *elbow* (LE), dan panjang naik *end-effector* dimasukkan ke dalam persamaan tersebut.

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i\sin\theta_i & \sin\alpha_i\sin\theta_i & a_i\cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i\cos\theta_i & -\sin\alpha_i\cos\theta_i & a_i\sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Keempat buah nilai dari setiap *joint* yang sudah ditransformasikan ke dalam bentuk matriks ditunjukkan pada Persamaan (2), (3), (4), (5). Keempat buah matriks tersebut kemudian digabungkan menjadi satu buah matriks seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (6). C direpresentasikan sebagai \cos dan S direpresentasikan sebagai \sin .

$$A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & a_1C_1 \\ S_1 & C_1 & 0 & a_1S_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} C_2 & S_2 & 0 & a_2C_2 \\ S_2 & -C_2 & 0 & a_2S_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} C_4 & -S_4 & 0 & 0 \\ S_4 & C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$T_4^0 = A_1 \dots A_4 = \begin{bmatrix} C_{12}C_4S_{12}S_4 & -C_{12}S_4 + S_{12}C_4 & 0 & a_1C_1 + a_2C_{12} \\ S_{12}C_4 - C_{12}S_4 & -S_{12}S_4 - C_{12}C_4 & 0 & a_1S_1 + a_2S_{12} \\ 0 & 0 & -1 & -d_3 - d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Dengan menggunakan Persamaan (6) memungkinkan untuk menghitung nilai dari koordinat x, y dan z . Nilai koordinat dari x dapat ditentukan melalui Persamaan (7). Nilai koordinat y dapat ditentukan melalui Persamaan (8). Dan Nilai koordinat z dapat ditentukan melalui Persamaan (9).

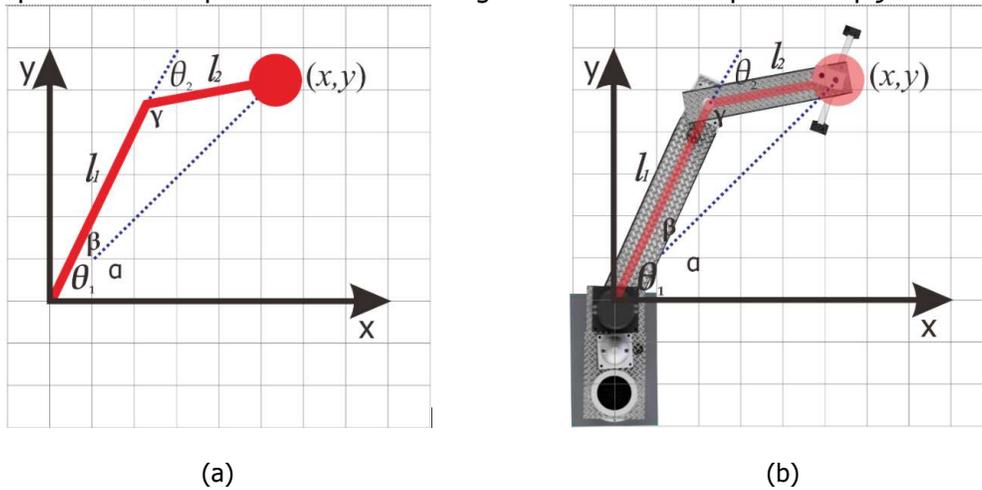
$$x = a_1C_1 + a_2C_{12} \tag{7}$$

$$y = a_1S_1 + a_2S_{12} \tag{8}$$

$$z = -d_3 - d_4 \tag{9}$$

2.1.2 Kinematika Balik

Kinematika balik merupakan perhitungan untuk mencari variabel sudut (*joint*) robot dalam menentukan posisi dan orientasi dari *end-effector*. Penyelesaian kinematika balik ini dapat diselesaikan dengan menggunakan hukum *Pythagoras* dan aturan *cosinus*. Penyelesaian kinematika dalam robot SCARA Serpent diselesaikan menggunakan satu sisi, yaitu sisi atas (*top view*) dari struktur robot lengan. Dengan begitu, nilai sudut *joint shoulder* dan sudut *joint elbow* dapat ditemukan (Oktama, dkk, 2018). Gambar 3 merupakan gambaran untuk mendapatkan sebuah persamaan untuk menghasilkan nilai sudut pada setiap *joint*.



Gambar 3. (a) Diagram Kartesian Robot SCARA Serpent; (b) Diagram Kartesian Tampak Atas Robot SCARA Serpent

Dilihat pada Gambar 3, l_1 merupakan panjang lengan *shoulder* dan l_2 merupakan panjang lengan dari *elbow*. θ_1 merupakan sudut dari *shoulder* dan θ_2 merupakan sudut dari *elbow*. Dengan menggunakan hukum *cosinus*, didapatkan sebuah persamaan seperti Persamaan (10). Pada Persamaan (10) terdapat fungsi *cos* yang dapat diubah sesuai dengan prinsip dari hukum *cosinus* menjadi seperti pada Persamaan (11).

$$(x^2 + y^2) = l_1^2 + l_2^2 - 2l_1^2l_2^2\cos(180 - \theta_2) \tag{10}$$

$$(x^2 + y^2) = l_1^2 + l_2^2 - 2l_1^2l_2^2\cos(\theta_2) \tag{11}$$

Inti dari perhitungan ini adalah mencari sebuah nilai dari θ_2 maka jika dilihat dari Persamaan (11) untuk lebih memudahkannya, persamaan menjadi seperti pada Persamaan (12). Pada Persamaan (12), nilai dari θ_2 dapat diketahui dengan melanjutkan persamaan menjadi seperti Persamaan (13). Nilai dari θ_2 atau sudut dari *elbow* dapat diketahui dengan cara memasukkan nilai dari koordinat x, y serta nilai dari l_1 dan l_2 . Nilai x, y merupakan posisi akhir dari *end-effector*. Sedangkan dalam menentukan sudut *shoulder* yang ditandai dengan simbol θ_1 menggunakan persamaan *cosinus* yang dituliskan pada Persamaan (14).

$$\cos(\theta_2) = \frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1^2l_2^2} \tag{12}$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1^2 l_2^2} \right) \quad (13)$$

$$\frac{\sin(\beta)}{l_2} = \frac{\sin(\gamma)}{\sqrt{x^2 + y^2}} ; \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad (14)$$

Pada Persamaan (14) beberapa nilai dapat diubah sesuai dengan hukum *cosinus* seperti $\sin(\gamma) = \sin(180 - \theta_2) = \sin(\theta_2)$ dengan mengubah $\sin(\gamma)$ menjadi $\sin(\theta_2)$ maka persamaan menjadi seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (15). Jika dilihat pada Gambar 3 maka besar sudut *shoulder* yang ditandai dengan θ_1 yang artinya $\theta_1 = \beta + \alpha$ dapat diselesaikan seperti Persamaan (16).

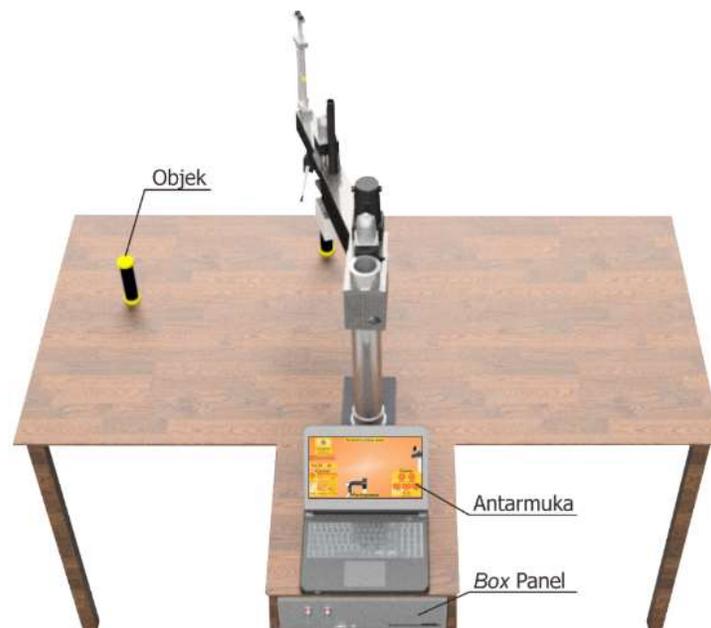
$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{l_2 \sin(\theta_2)}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \quad (15)$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{l_2 \sin(\theta_2)}{\sqrt{x^2 + y^2}} + \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \right) \quad (16)$$

Dengan Persamaan (16) besar sudut *shoulder* dapat diketahui dengan memasukkan nilai panjang *elbow*, sudut *elbow*, dan juga posisi koordinat x, y dari posisi *end-effector*.

2.2 Sistem Keseluruhan

Perancangan sistem keseluruhan merupakan gabungan dari perancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang diintegrasikan sesuai dengan blok diagram sistem. Perangkat keras pada sistem terdiri dari dari segi mekanis dan segi elektronis. Sedangkan perangkat lunak merupakan perancangan antarmuka untuk mengendalikan robot SCARA Serpent secara keseluruhan. Gambar 4 merupakan rancangan sistem secara keseluruhan.



Gambar 4. Perancangan Sistem Keseluruhan Robot SCARA Serpent

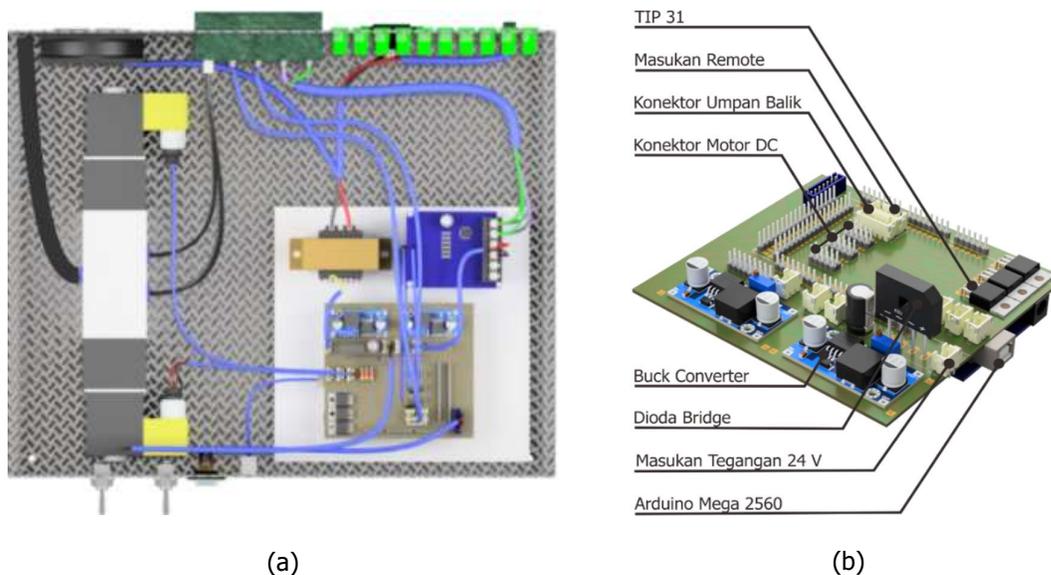
Robot SCARA Serpent yang digunakan pada penelitian ini memiliki lengan *shoulder*, *elbow*, dan satu buah *end-effector* yang menggunakan *pneumatic* sebagai penggerakannya. Jika dilihat pada

Gambar 4, sistem keseluruhan terdapat tiga komponen utama untuk mendukung kinerja dari sistem. Komponen tersebut yaitu, objek, antarmuka, dan *box* panel. Objek merupakan target dari robot SCARA Serpent yang memiliki tinggi 150 mm dan berdiameter 50 mm. Objek ini ditempatkan pada koordinat tertentu dan robot SCARA Serpent akan menuju posisi tersebut dengan antarmuka *Processing* IDE sebagai pemberi nilai koordinatnya. Antarmuka berfungsi sebagai pengendali dari robot SCARA Serpent seperti memberikan nilai koordinat dari objek dan melakukan perhitungan kinematika untuk mendapatkan nilai sudut setiap *joint*. Gambar 5 merupakan antarmuka dari Robot SCARA Serpent.



Gambar 5. Antarmuka Robot SCARA Serpent

Box panel berfungsi sebagai tempat dari keseluruhan sistem elektronis. Sistem elektronis pada robot SCARA Serpent terdiri dari PCB utama, transformator, *driver* motor serta *valve pneumatic*. Gambaran dari sistem elektronis pada robot SCARA Serpent ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. (a) Sistem Elektronis Robot SCARA Serpent; (b) Desain PCB Sistem Utama

3. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

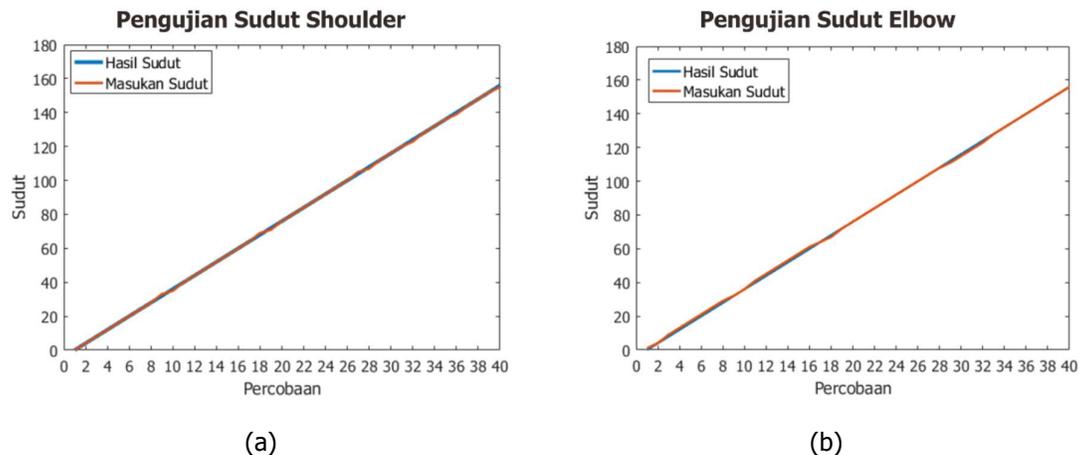
Pengujian yang dilakukan terdiri dari pengujian sub-sistem dan pengujian sistem terintegrasi. Pengujian sub-sistem meliputi pengujian sudut *shoulder*, sudut *elbow*, koordinat x dan y . Sedangkan pengujian sistem terintegrasi meliputi pengujian kendali PID.

3.1 Pengujian Sub-Sistem

Pengujian sub-sistem dilakukan untuk melihat respon dan karakteristik sensor dan respon pada setiap lengan robot SCARA Serpent. Respon yang dihasilkan dari setiap pengujian kemudian dibandingkan dengan nilai yang terukur untuk menentukan akurasi dan nilai kesalahan pada setiap sudut *joint*.

3.1.1 Pengujian Sudut

Pengujian sudut bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi pada masing-masing *joint*. Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai pada masing-masing *joint* yang kemudian diukur secara aktual. Perbedaan nilai dari yang terukur dengan yang ditentukan merupakan nilai kesalahan yang dihasilkan. Gambar 7 merupakan hasil pengujian dari sudut *shoulder* dan *elbow*.



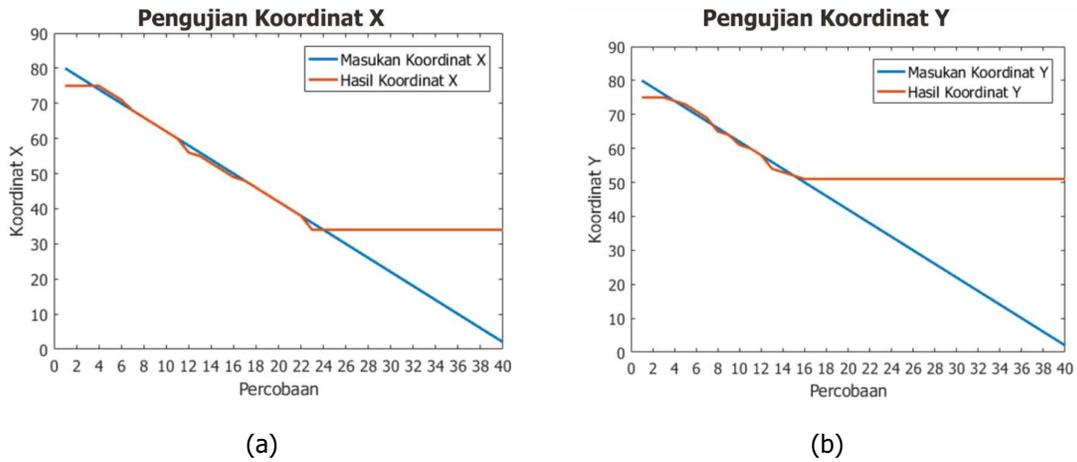
Gambar 7. (a) Pengujian Sudut *Shoulder*; (b) Pengujian Sudut *Elbow*

Hasil dari pengujian sudut yang ditunjukkan pada Gambar 7 menunjukkan beberapa perbedaan nilai pada beberapa kondisi. Hal ini merupakan besar nilai kesalahan yang dihasilkan pada masing-masing *joint*. Terlihat bahwa pengujian *joint shoulder* mendapatkan hasil yang cukup baik dengan ditandai oleh nilai terukur yang tidak menyimpang dari nilai yang diberikan. Begitu juga dengan *joint elbow* yang terlihat bahwa nilai terukur tidak menyimpang dengan nilai yang dimasukkan. Dengan hasil kedua pengujian tersebut, pengujian sudut dapat dikatakan berjalan dengan baik karena tingkat kesalahan yang dihasilkan tidak melebihi batas toleransi.

3.1.2 Pengujian Koordinat

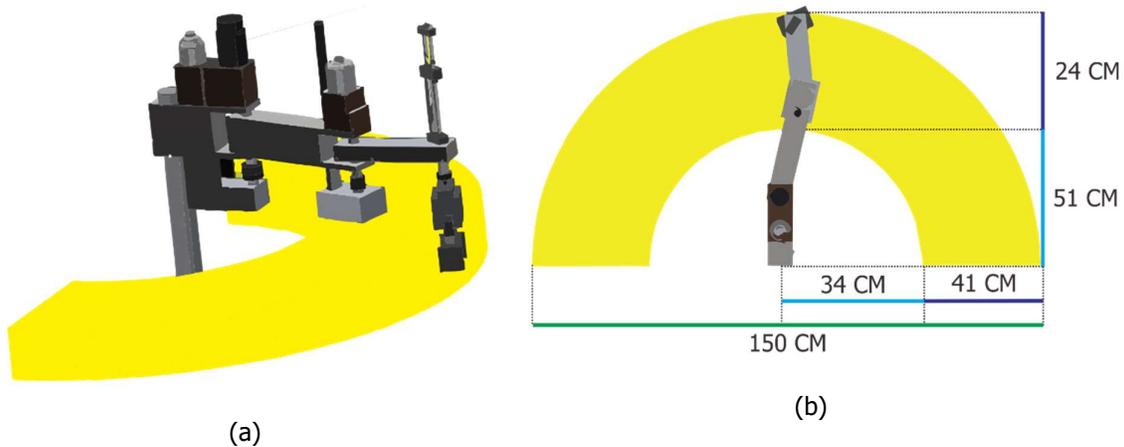
Pengujian koordinat bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi pada *end-effector* dalam mencapai sebuah posisi. Pada pengujian ini, penggunaan kinematika balik sangat berperan karena pengujian dilakukan dengan cara memberikan sebuah nilai koordinat (x, y) kepada robot SCARA Serpent. Koordinat tersebut di dalam Processing IDE dilakukan sebuah proses perhitungan kinematika balik sehingga pergerakan pada masing-masing lengan dapat

membuat *end-effector* menuju pada posisi yang diberikan. Gambar 8 merupakan hasil pengujian koordinat x dan koordinat y dari robot SCARA Serpent.



Gambar 8. (a) Pengujian Koordinat x ; (b) Pengujian Koordinat y

Dari pengujian koordinat yang telah ditunjukkan pada Gambar 8, terlihat bahwa pada saat telah mencapai nilai tertentu, nilai yang terukur menunjukkan hasil yang sangat menyimpang. Pada pengujian koordinat x ketika nilai yang diberikan kurang dari 34 cm, nilai x yang terukur tetap berada pada posisi 34 cm. Hal ini disebabkan karena terbatasnya pergerakan yang dimiliki setiap lengan dari robot SCARA Serpent sehingga posisi tersebut tidak dapat dicapai oleh *end-effector*. Begitu juga dengan pengujian koordinat y , pada koordinat y robot hanya dapat mencapai nilai pada posisi 51 cm hingga 75 cm. Batas dari pengujian koordinat x dan y dapat dijadikan sebuah *workspace* dari robot SCARA Serpent yang dapat digambarkan seperti Gambar 9.



Gambar 9. (a) *Workspace* Robot SCARA Serpent; (b) Dimensi *Workspace* Robot SCARA Serpent

3.2 Pengujian Kendali PID

Kendali PID digital merupakan bentuk lain dari kendali PID yang diprogram dan dijalankan menggunakan komputer atau mikrokontroler. Untuk dapat mengimplementasikan PID digital di komputer atau mikrokontroler, maka kendali PID analog harus diubah terlebih dahulu ke bentuk digital. Penurunan kendali PID digital dapat dilihat pada Persamaan (17)–(19). Bentuk

persamaan matematis dari kendali PID disajikan pada Persamaan (17) **(Ogata & Yang, 2010)**.

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int e(t) dt + \tau_d \frac{d}{dt} e(t) \tag{17}$$

Dengan $K_i = \frac{1}{\tau_i}$ dan $K_d = \tau_d$, bentuk integral dan diferensial dapat ditulis dalam bentuk diskrit seperti pada Persamaan (18). Sehingga diperoleh dalam bentuk kendali PID diskrit pada Persamaan (19).

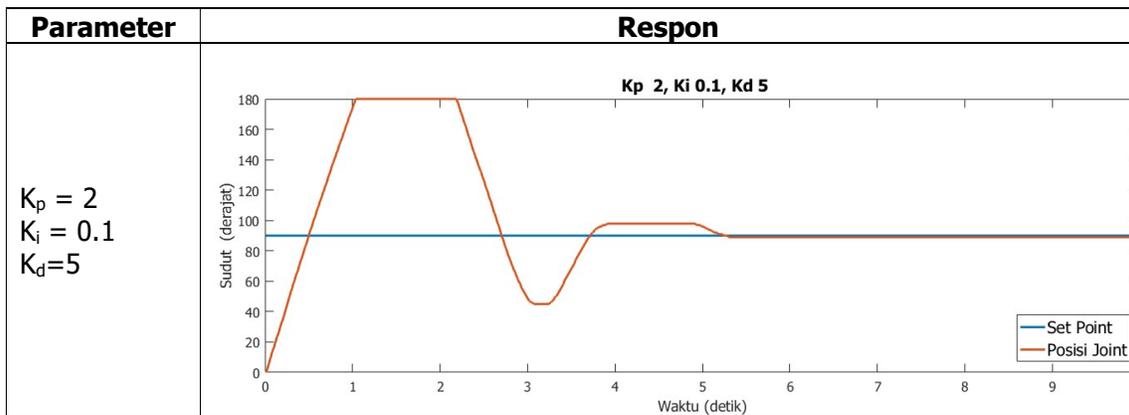
$$\int_0^t e(t) dt \approx T \sum_0^k e(k) \text{ dan } \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e_k - e_{k-1}}{T} \tag{18}$$

$$u(k) = K_p e_k + K_i T \sum_0^k e_k + \frac{1}{T} K_d (e_k - e_{k-1}) \tag{19}$$

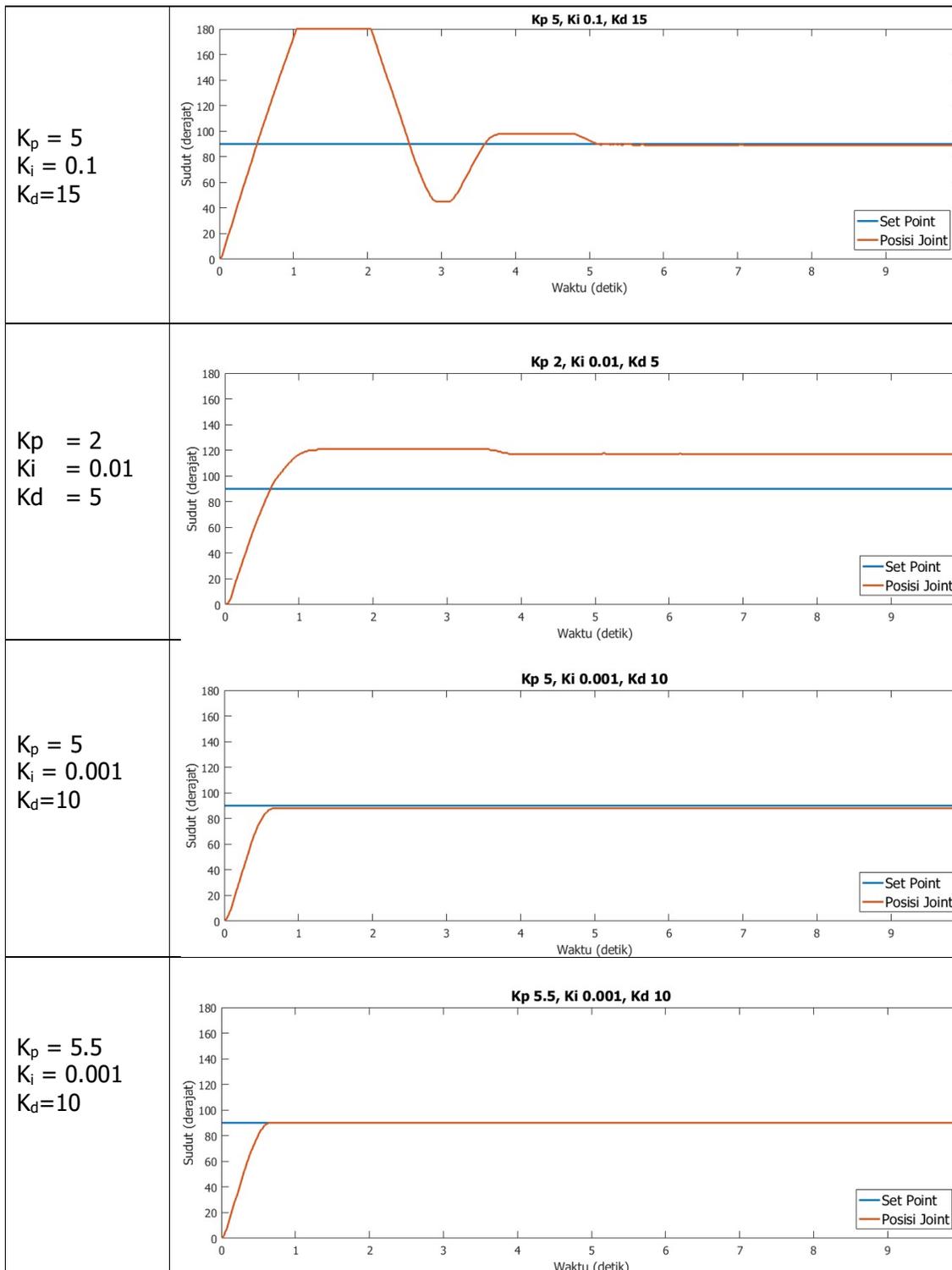
Dimana K_p ialah konstanta *proportional*, K_i ialah konstanta integral, K_d ialah konstanta diferensial, *error* ialah nilai kesalahan, dan *last_error* ialah nilai kesalahan sebelumnya serta T_s ialah *sampling time* (waktu cuplik).

Pengujian Kendali PID dilakukan untuk mengetahui kinerja pengendali PID ketika diimplementasikan pada sebuah robot lengan SCARA Serpent. Pada pengujian ini diamati tiga buah nilai parameter kendali PID yang akan diberikan untuk mengendalikan posisi sudut *joint shoulder*. Tujuan pengujian ini untuk mendapatkan hasil terbaik yang ditunjukkan dengan pengamatan waktu yang diperlukan untuk mencapai posisi tertentu menuju *setpoint* atau *error steady state* menuju nol. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan nilai K_p , K_i , dan K_d kepada sistem secara ekperimental dan melihat respon yang diberikan oleh robot SCARA Serpent. Terdapat lima jenis variasi parameter kendali PID yang diterapkan. Tabel 3 merupakan hasil pengujian dari kendali PID pada sudut *joint shoulder*.

Tabel 3. Pengujian Kendali PID Sudut *Joint Shoulder*



Tabel 3. Pengujian Kendali PID Sudut *Joint Shoulder* (Lanjutan)



Dari hasil pengujian kendali PID seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, terlihat bahwa respon yang dihasilkan oleh sudut *joint shoulder* menunjukkan respon yang berbeda-beda. Perbedaan

pada setiap respon dipengaruhi oleh tiga parameter yang diberikan kepada sistem. Setiap nilai parameter yang diberikan memberikan efek terhadap respon dari sudut *joint shoulder*. Pada percobaan kendali PID dengan nilai $K_p=2$, $K_i=0.1$, dan $K_d=5$ terlihat bahwa respon sudut *joint shoulder* menghasilkan bentuk bergelombang dengan nilai terukur 20 hingga 180 derajat. Nilai ini disebabkan oleh kurang tepatnya pemberian nilai parameter kendali PID ke dalam sistem sehingga menghasilkan respon yang memiliki osilasi. Respon ini kurang baik. Nilai yang baik pada percobaan ditunjukkan pada respon dengan nilai $K_p=5.5$, $K_i=0.001$, dan $K_d=10$ karena pada respon tersebut menunjukkan sudut *joint shoulder* dapat mencapai posisi secara cepat dan berhenti tepat sesuai dengan *set point* yang diberikan dan kemudian tidak mengalami osilasi dalam arti lain *error steady state* bernilai nol.

4. KESIMPULAN

Makalah ini menyajikan pembahasan terkait kinematika dan antarmuka berbasis Processing IDE pada robot lengan SCARA Serpent. Untuk membuat pergerakan sudut *joint* pada robot lengan SCARA Serpent bergerak stabil dan membuat posisi dari *end-effector* dari robot SCARA Serpent menjadi lebih cepat dan tepat saat menuju titik yang telah ditentukan maka kendali PID diterapkan. Pada hasil pengujian kendali PID menunjukkan bahwa dengan nilai $K_p=5.5$, $K_i=0.001$, dan $K_d=10$ membuat pergerakan sudut *joint shoulder* robot SCARA Serpent menjadi lebih baik dalam hal pencapaian posisi, akurasi, dan kestabilan saat melakukan sebuah pergerakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi S2 Pendidikan IPA FKIP, Universitas Bengkulu dengan Departemen Teknik Elektro dan Informatika Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada atas dukungan yang telah diberikan kepada penulis untuk melakukan kolaborasi riset antar universitas.

DAFTAR RUJUKAN

- Bimantaka, B. N. W., & Harjoko, A. (2014). Purwarupa Robot Lengan Pemilah Objek Berdasarkan Label Tulisan Secara Realtime. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 4(2), 135-146.
- Dharmawan, A. B., & Lina, L. (2017). Penerapan Metode Denavit-Hartenberg Pada Perhitungan Inverse Kinematics Gerakan Lengan Robot. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, 1(1), 287-292.
- Faris, M. F., Triwiyatno, A., & Setiawan, I. (2012). Perancangan Arm Manipulator 4 DOF Dengan Menggunakan Pengendalian Cartesian Space-Trajectory Planning. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 1(4), 151-158.
- Fazakerley, N. (2018). Serpent - a SCARA robot arm. Diakses dari Beep Control: <http://www.riscy.uk/beebcontrol/index.html>.

- Mandal, D. K. (2016). CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future. *Proceedings of the 28th International Conference on CARs & Fof 2016* (pp. 128-133). India: Springer India.
- Ogata, K., & Yang, Y. (2010). *Modern control engineering* (Vol. 5). Upper Saddle River, NJ: Prentice hall.
- Oktama, R., Maulana, R., & Setyawan, G. E. (2018). Implementasi Robot Lengan Pemindah Barang 3 DOF Menggunakan Metode Inverse Kinematics. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 2811-2812.
- Pillajo, C., & Sierra, J. E. (2013). Human Machine Interface HMI using Kinect sensor to control a SCARA Robot. In *2013 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM)*, (pp. 1-5). IEEE.
- Prabantara, S. H., & Harjoko, A. (2013). Analisis Kinematika Balik pada Kendali Robot Lengan Dental Light Berbasis Pengolahan Citra Digital Berdasarkan Isyarat Tangan. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 3(2), 207-218.
- Setiawan, S., Firdaus, F., Rahmadya, B., & Derisma, D. (2015). Penerapan Invers Kinematika untuk Pergerakan Kaki Robot Biped. *Prosiding Semnastek*.
- Shariatee, M., Akbarzadeh, A., Mousavi, A., & Alimardani, S. (2014, October). Design of an economical SCARA robot for industrial applications. In *2014 Second RSI/ISM International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM)*, (pp. 534-539). IEEE.
- Uchrowi, A. Z., Lasmadi, L., & Soekarno, S. (2019). Pemodelan dan Simulasi Robot Lengan 3 DOF Menggunakan V-REP. *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, and Controls*, 1(1), 87-98.
- Vijayalaxmi, P., Putta, R., Shinde, G., & Lohani, P. (2013). Object Detection Using Image Processing for an Industrial Robot. *International Journal of Advanced Computational Engineering and Networking*, 21-25.
- Zhang, C., & Zhang, Z. (2019, October). Modelling and Simulation of SCARA Robot using MATLAB/SimMechanics. In *2019 IEEE 3rd Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)* (pp. 516-519). IEEE.