

IMPLEMENTASI *TRAJECTORY PLANNING* PADA ROBOT MANIPULATOR 4 DOF UNTUK Mencari Kebocoran GAS

Aditya P.P. Prasetyo¹⁾, Rendyansyah²⁾, dan Kemahyanto Exaudi³⁾

¹²³ Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya
Jl. Prabumulih-Palembang Km 32, Palembang, Indonesia
¹aditrecca@gmail.com, ²rendyansyah@ilkom.unsri.ac.id

ABSTRACT

Gas leakage in industrial areas will have negative impacts such as air pollution, loss, or even disaster. The occurrence of leakage can be caused by corrosion or from the valve crack in the pipe, and so forth. Therefore, it is necessary to have a system that can monitor the state of the gas pipeline so the possibility of leakage can be known earlier. This research has developed application of robot manipulator 4 DOF integrated with gas sensor that is MQ4 which placed at end of robot arm. The method used to determine the motion of the robot is trajectory planning in the form of cubic trajectory, where in this method the robot movement route will adjust the pattern of pipelines in cartesian coordinates. To determine the possibility of a leak of butane gas, observed the output signal from the gas sensor. If it exceeds 3.5 volts then the coordinates passed by the end-effector may leak. The experimental results show that robot manipulators with cubic trajectory planning are able to track paths according to the shape of pipes, and gas leaks can be detected by gas sensors.

Keywords : *Robot manipulator, Sensor gas, Trajectory planning*

ABSTRAK

Kebocoran gas dalam area industri akan berdampak buruk seperti pencemaran udara, timbul kerugian atau bahkan menjadi bencana. Terjadinya kebocoran bisa disebabkan oleh korosi atau dari celah katup yang berada pada pipa, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, perlu suatu sistem yang dapat memonitor keadaan pipa gas supaya kemungkinan adanya kebocoran diketahui lebih awal. Pada penelitian ini telah dikembangkan aplikasi robot manipulator 4 DOF yang terintegrasi dengan sensor gas yaitu MQ4 yang ditempatkan pada ujung lengan robot. Adapun metode yang digunakan untuk menentukan gerak robot adalah *trajectory planning* yakni *cubic trajectory*, pada metode ini rute pergerakan robot akan menyesuaikan pola jalur pipa dalam koordinat kartesian. Dalam mengetahui kemungkinan adanya kebocoran gas yaitu jenis gas butana, dilakukan pengamatan sinyal *output* dari sensor gas yang melebihi 3.5 volt maka koordinat yang dilalui oleh *end-effector* kemungkinan mengalami kebocoran. Dari hasil percobaan menunjukkan robot manipulator dengan *cubic trajectory planning* mampu melacak jalur sesuai bentuk pipa dan kebocoran gas dapat dideteksi oleh sensor gas.

Kata Kunci : *Robot manipulator, Sensor gas, Trajectory planning*

I. PENDAHULUAN

Kebocoran gas dalam area industri akan menyebabkan banyak masalah bagi perusahaan dan lingkungan sekitar.

Kebocoran gas susah untuk diketahui oleh penglihatan namun bisa dirasakan oleh penciumanan manusia. Misalkan adanya kebocoran yang halus pada pipa gas, hal ini akan sulit untuk diketahui secara dini.

Akibatnya gas akan menyebar ke udara yang dapat menimbulkan kebakaran pada area sekitarnya yang berefek pada kerugian perusahaan.

Keterbatasan manusia yang berakibat kelalaian dan jarang dalam memantau keadaan yang selalu berubah. Dalam membantu proses *me-monitor* keadaan pipa gas perlu dirancang suatu alat yang mampu mendeteksi dan menemukan target kebocoran gas. Pada era modern ini, teknologi telah berkembang cukup pesat untuk memudahkan atau membantu kehidupan manusia. Salah satunya teknologi robot yang berkembang begitu pesat. Dalam dunia industri telah banyak digunakan teknologi robot yang mana sudah menjadi bagian utama dalam proses produksi [1]. Contoh robot yang umum digunakan dalam industri yaitu robot manipulator [1]. Kegunaan robot manipulator dalam industri bermacam-macam, yaitu untuk mencetak, memotong maupun merakit, dan lain sebagainya [2]. Oleh karena itu, robot manipulator menjadi pilihan yang tepat untuk *me-monitor* keadaan pipa gas sejauh jangkauan lengannya. Sehingga target deteksi kebocoran gas dapat diketahui dengan cepat dan dapat dilakukan tindakan.

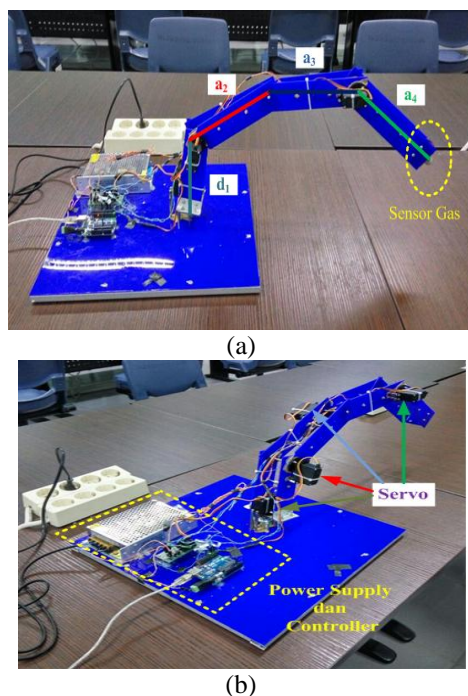
Robot manipulator dapat dikontrol secara manual ataupun otomatis [3]. Dalam kasus pendeteksian kebocoran gas maka robot dikontrol secara otomatis yang mana gerakannya ditentukan secara *trajectory* yang mengikuti jalur pipa gas. *Trajectory* merupakan metode perencanaan jalur pada robot [4][5][6]. Dalam penelitian ini robot manipulator dilengkapi dengan sensor gas yang dipasang pada ujung lengan sebagai pendeteksi aroma gas, yang disebut *Olfactory Manipulator Robot*.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengendalikan gerak robot manipulator secara otomatis berbasis komputer selama proses inspeksi untuk mencari kebocoran gas, dan mengetahui kemampuan *trajectory planning* sebagai metode dalam perencanaan jalur untuk pergerakan robot.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dirancang robot manipulator dengan empat derajat kebebasan (4 degree of freedom) yang terintegrasi dengan sensor gas tipe MQ4. Pada Gambar 1 ditunjukkan bentuk fisik robot manipulator 4 DOF.

Berdasarkan pada Gambar 1, masing-masing link lengan mempunyai panjang: $d_1 = 15$ cm, $a_2 = 20$ cm, $a_3 = 20$ cm dan $a_4 = 20$ cm. Panjang link lengan akan menentukan seberapa jauh jangkauan robot manipulator dalam kartesian x, y dan z.



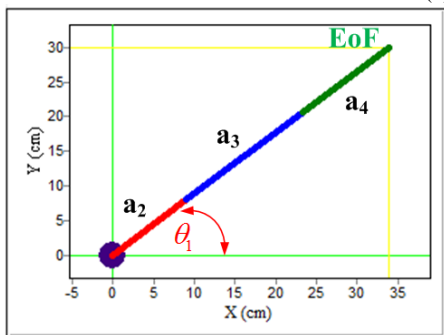
Gambar 1. Bentuk fisik robot manipulator, (a) tampak samping dan (b) tampak atas.

Dalam merancang gerak robot perlu dihitung persamaan kinematik baik *forwad* maupun *invers*. Untuk *forward kinematic* dapat dicari dengan mengamati setiap sendi dan link dan aturan Denavit-Hartenberg [6][7], dan solusi akhir *forward kinematic* seperti pada Persamaan (1), (2) dan (3).

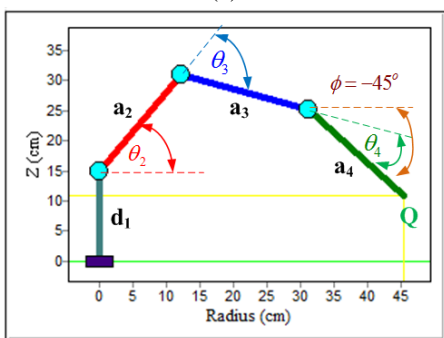
$$q_x = C\theta_1 (a_2 C\theta_2 + a_3 C\theta_{23} + a_4 C\theta_{234}) \quad (1)$$

$$q_y = S\theta_1 (a_2 C\theta_2 + a_3 C\theta_{23} + a_4 C\theta_{234}) \quad (2)$$

$$q_z = d_1 + a_2 S\theta_2 + a_3 S\theta_{23} + a_4 S\theta_{234} \quad (3)$$



(a)



(b)

Gambar 2. Arah pergerakan joint robot manipulator 4 DOF, (a) tampak samping, (b) tampak atas.

Sedangkan untuk *invers kinematic* menggunakan aturan trigonometri [6], dalam hal ini memperhatikan ilustrasi pada Gambar 2. Adapun solusi akhir dari *invers kinematic* pada Persamaan (4) sampai (8). Perlu diketahui bahwa sudut orientasi (ϕ) ditentukan sebesar -45° terhadap sumbu-x supaya posisi *end-effector* selalu menghadap kearah target.

$$Q_{z1} = \sqrt{(Q_x)^2 + (Q_y)^2}$$

$$P_x = Q_{z1} - (a_4 \cdot c\phi)$$

$$P_y = Q_z - d_1 - (a_4 \cdot s\phi) \quad (4)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{(P_x)^2 + (P_y)^2 - (a_2)^2 - (a_3)^2}{2a_2a_3} \right) \quad (5)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{P_y}{P_x} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{a_3 \cdot s\theta_3}{a_2 + a_3 \cdot c\theta_3} \right) \quad (6)$$

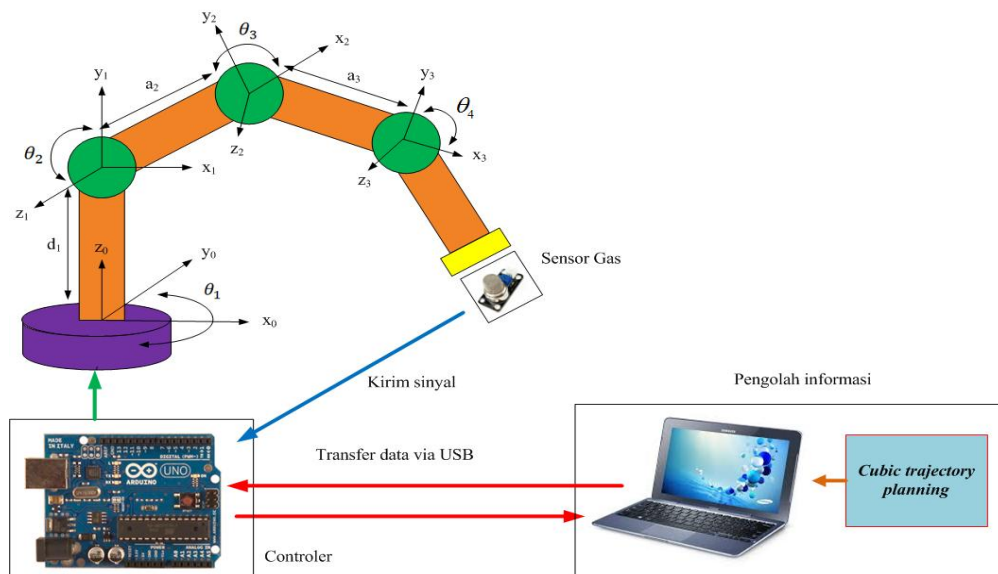
$$\theta_4 = \phi - \theta_2 - \theta_3$$

dan

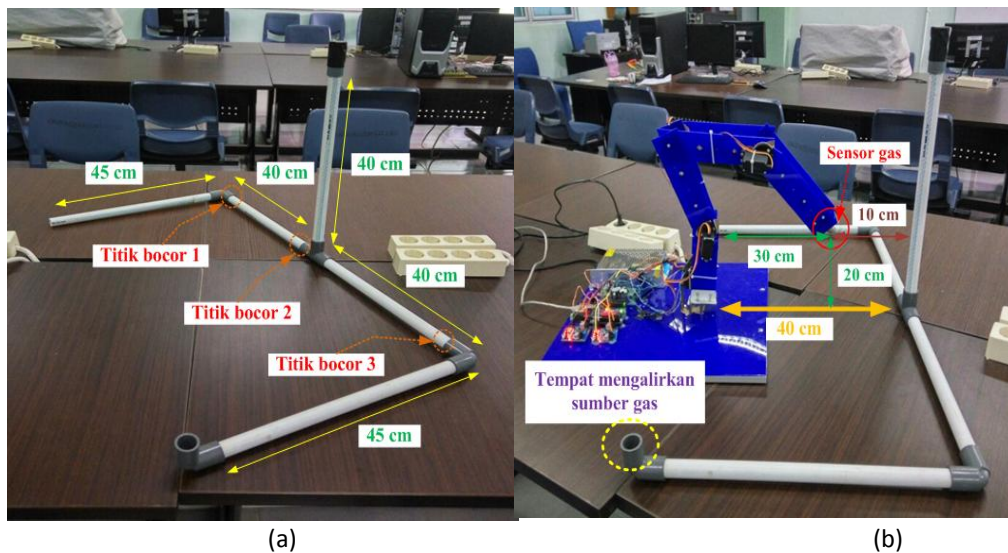
$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{Q_y}{Q_x} \right) \quad (8)$$

Adapun pergerakan robot manipulator 4 DOF ini mengikuti rute pada jalur pipa yang disesuaikan dalam koordinat kartesian x,y dan z. Pergerakan robot akan aktif jika diberikan sinyal oleh pengguna berbasis komputer sehingga informasi adanya kebocoran gas dapat di-monitor. Pada Gambar 3 memperlihatkan skematik *hardware* pada robot manipulator 4 DOF. Selama proses inspeksi berlangsung sensor gas akan memberikan sinyal elektrik ke mikrokontroler dan dikonversi ke data digital untuk dikirim dan ditampilkan ke komputer. Jika indikator sinyal *output* dari sensor gas lebih dari 3.5 volt maka terdapat kebocoran gas di area yang dilalui oleh *end-effector*.

Pergerakan robot manipulator ini menggunakan metode *trajectory planning*. Pada penelitian ini metode *trajectory planning* menggunakan konsep polynomial orde tiga atau disebut dengan *cubic trajectory* [4][6], ditunjukkan pada Persamaan (9). *Cubic trajectory planning* ini berbasis kartesian space yang diprogram di dalam komputer. Adapun untuk *input* yaitu nilai koordinat kartesian dan *output* adalah sudut joint. Adapun data sudut joint yang diberikan ke mikro akan menggerakkan robot berdasarkan kartesian yang diinginkan.



Gambar 3. Skematik hardware pada robot manipulator 4 DOF.

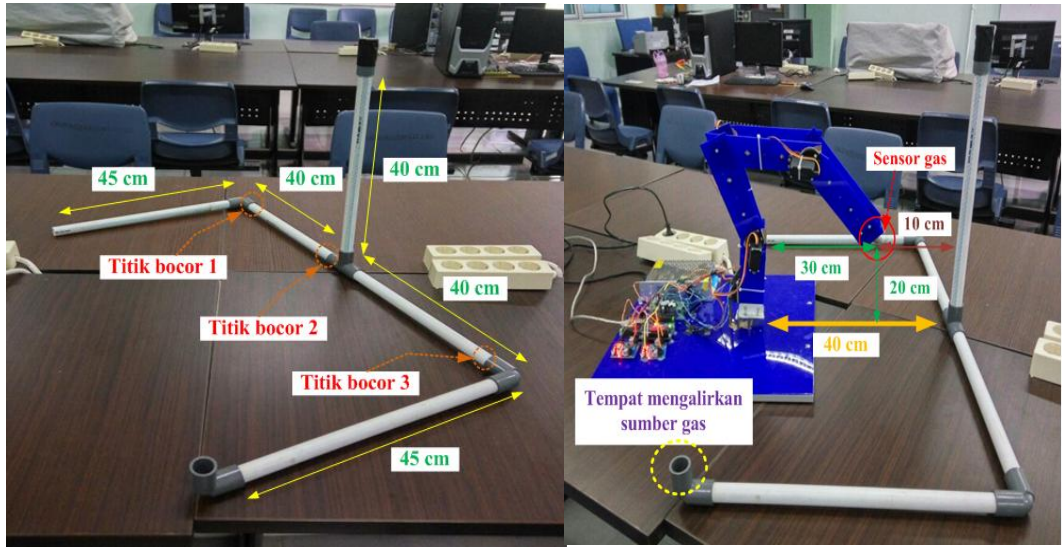


Gambar 4. Instrumen percobaan, (a) ilustrasi aliran pipa gas, dan (b) posisi origin end-effector saat robot aktif.

$$q(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 \quad (9)$$

nilai a_0 , a_1 , a_2 dan a_3 [6], dan diperoleh Langkah selanjutnya mencari solusi untuk

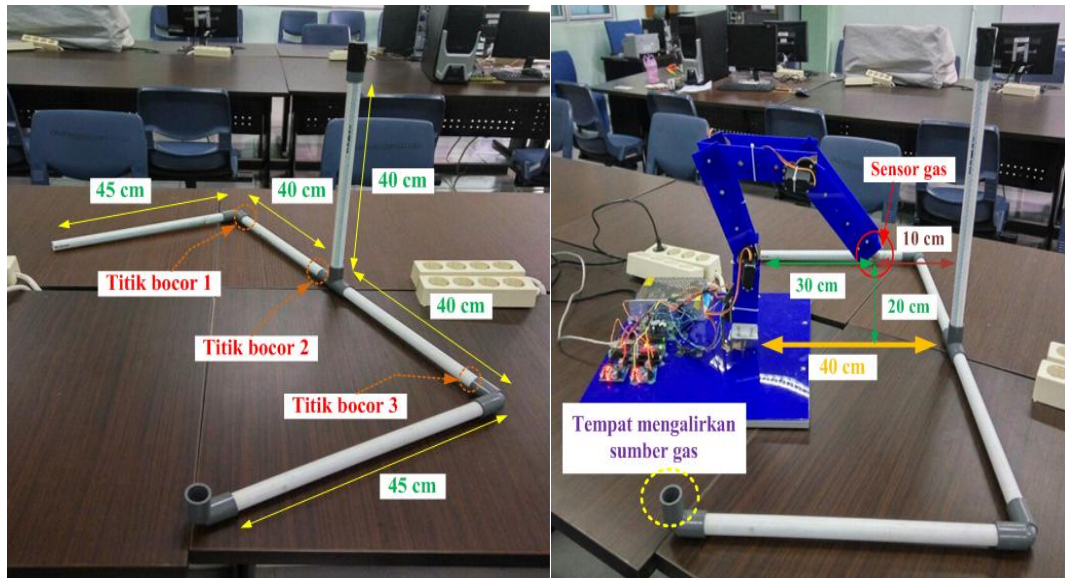
$$q(t) = q_s + 3\left(\frac{q_f - q_s}{t_f^2}\right)t^2 - 2\left(\frac{q_f - q_s}{t_f^3}\right)t^3 \quad (10)$$



(a)

(b)

Gambar 4. Instrumen percobaan,(a) ilustrasi aliran pipa gas, dan (b) posisi origin end-effector saat robot aktif.



(a)

(b)

Gambar 4. Instrumen percobaan,(a) ilustrasi aliran pipa gas, dan (b) posisi origin end-effector saat robot aktif.

Trajectory ini menggunakan input kartesian, maka pada Persamaan (10) dikembangkan untuk tiga

kartesian yaitu x, y dan z seperti pada Persamaan (11), (12) dan (13).

$$q_x(t) = q_{xs} + 3\left(\frac{q_{xf} - q_{xs}}{t_{yf}^2}\right)t^2 - 2\left(\frac{q_{xf} - q_{xs}}{t_{yf}^3}\right)t^3 \quad (11)$$

$$q_y(t) = q_{ys} + 3\left(\frac{q_{yf} - q_{ys}}{t_{yf}^2}\right)t^2 - 2\left(\frac{q_{yf} - q_{ys}}{t_{yf}^3}\right)t^3 \quad (12)$$

$$q_z(t) = q_{zs} + 3\left(\frac{q_{zf} - q_{zs}}{t_{zf}^2}\right)t^2 - 2\left(\frac{q_{zf} - q_{zs}}{t_{zf}^3}\right)t^3 \quad (13)$$

Tabel 1. Koordinat kartesian pola jalur pipa.

Titik	Koordinat (cm)		
	X	Y	Z
1	0	30	20
2	-30	10	20
3	-30	10	10
4	-30	35	10
5	0	35	10
6	0	35	30
7	0	35	10
8	30	35	10
9	30	10	10
10	30	10	20
11	0	30	20

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan percobaan untuk mengetahui kemampuan dari sistem. Jangkauan lengan robot manipulator 4 DOF tidak melebihi dari ±40 cm terhadap posisi horizontal maupun vertikal. Gambar 4 memperlihatkan *instrument* percobaan pipa yang telah disesuaikan dalam kartesian dan posisi origin *end-effector* saat robot aktif. Adapun dalam pengujian ini digunakan simulasi berbasis visual untuk memudahkan dalam monitoring. Pada Gambar 5 memperlihatkan perangkat lunak berbasis

komputer untuk robot manipulator 4 DOF. Berdasarkan pada Gambar 4 dan Gambar 5, saat pertama kali robot diaktifkan akan membentuk posisi origin di sumbu-x 0 cm, sumbu-y 30 cm dan sumbu-z 20 cm, dimana posisi ini telah ditentukan oleh pengguna.

Proses *tracking* pada robot manipulator dimulai dari menentukan rute gerak dalam kartesian sesuai pola jalur pipa. Pada Tabel 1 menunjukkan koordinat kartesian pola jalur pipa. Dari posisi origin titik pertama akan menuju koordinat titik kedua dengan lama durasi waktu yang ditentukan yaitu 10 detik dengan interval 0.01 detik. Begitu juga untuk koordinat titik dua menuju titik tiga dan seterusnya sampai selesai. Adapun hasil *tracking* dari pergerakan robot manipulator dapat dilihat pada Gambar 6. Hasil *tracking* mengikuti jalur yang telah ditentukan, dan *end-effector* tidak menyentuh pipa tapi ada jarak sekitar 5 cm. Setelah robot selesai melacak pipa maka robot kembali pada posisi origin.

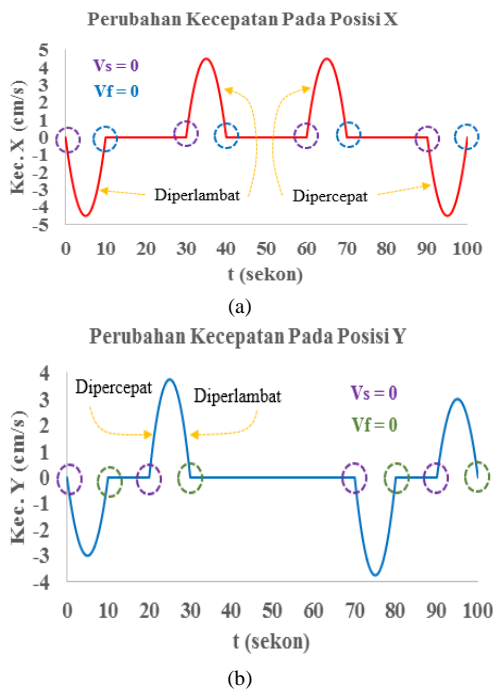


(a)

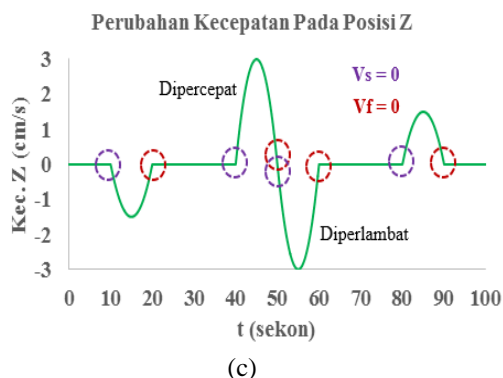


(b)

Perubahan posisi *end-effector* setiap interval 0.01 detik untuk koordinat sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z dapat dilihat pada Gambar 7. Begitu juga perubahan kecepatan yang dialami oleh robot ditunjukkan pada Gambar 8. Dalam pergerakan *trajectory* ini ditentukan bahwa kecepatan awal (v_s) bernilai 0 dan kecepatan akhir (v_f) juga di-*setting* dengan nilai 0. Oleh karena itu pergerakan robot awalnya lambat kemudian dipercepat dan saat menuju titik akhir diperlambat lagi. Hal ini juga berlaku untuk setiap titik menuju titik berikutnya. Adapun fungsi diperlambat saat mencapai titik koordinat supaya sensor gas dapat mendeteksi aroma gas dengan baik.

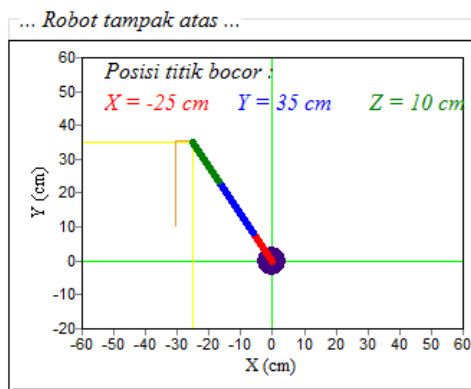


bocor. Pada percobaan ini terdapat tiga titik bocor. Gambar 9 menunjukkan tampilan koordinat ketika sensor gas mendeteksi adanya kebocoran gas, dan hasil pengujian untuk deteksi gas pada tiga posisi titik bocor ditunjukkan pada Tabel 2. Dari Gambar 9 dan Tabel 2, bahwa koordinat posisi titik bocor yang ditampilkan belum presisi dan selalu berubah karena aroma gas yang keluar dari titik bocor dipengaruhi oleh udara. Udara bebas mempengaruhi sensor gas dan terkadang terdeteksi aroma sebelum atau sesudah melalui titik bocor, namun hal ini masih bisa ditoleransi. Untuk itu sebagai asumsi tampilan koordinat titik bocor menunjukkan bahwa posisi kebocoran berada pada area sekitar koordinat tersebut.



Gambar 8. Perubahan kecepatan yang dialami oleh robot, (a) pada sumbu-x, (b) pada sumbu-y dan (c) pada sumbu-z.

Jika sensor gas pada *end-effector* mendeteksi aroma gas maka sistem akan menampilkan koordinat yang terdeteksi adanya kebocoran dan robot terus melacak aliran pipa gas sampai selesai. Berdasarkan Gambar 4(a) ditentukan titik bocor pada area sambungan yang mengilustrasikan target



Gambar 9. Tampilan sistem ketika sensor gas mendeteksi adanya kebocoran gas.

Tabel 2. Hasil percobaan untuk deteksi gas pada tiga posisi titik bocor.

Posisi titik bocor	Koordinat yang terbaca (cm)		
	X	Y	Z
1	-25	35	10
	-30	22	10
	-30	31	10
2	-10	35	10
	0	35	16
	-12	35	10
3	26	35	10
	29	35	10
	21	35	10

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian telah dirancang robot manipulator 4 DOF untuk mendeteksi atau mencari target kebocoran gas. Robot terintegrasi dengan sensor gas tipe MQ4 dengan ambang batas deteksi yaitu 3,5 volt. Berdasarkan dari hasil percobaan bahwa *cubic trajectory planning* yang diimplementasikan pada robot mampu melacak jalur yang berbentuk pola pipa. Dalam *instrument* percobaan terdapat tiga posisi titik bocor yang berbeda, dan robot diaktifkan untuk melakukan inspeksi. Hasil percobaan menunjukkan sensor gas dapat mendeteksi aroma gas butana yang melalui titik bocor tersebut, namun posisi koordinat yang ditampilkan ke sistem belum konsisten. Adapun factor yang mempengaruhinyaitu aliran udara bebasdisekitar robot dan *instrument* percobaan. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya akan digunakan sensor vision sebagai interaksi manusia dan robot.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada LPPM Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Aparnathi dan V.V. Dwivedi. "The Novel of Six Axes Robotic Arm for Industrial Applications", *International Journal of Robotics and Automation (IJRA)*, vol. 3, no. 3, pp. 161-167, 2014.
- [2] G. Hu, W.P. Tay, dan Y. Wen, "Cloud Robotics : Architecture, Challenges and Applications", *Network, IEEE*, pp. 21-28,2012.
- [3] V. Ramya, B. Palaniappan dan T. Akilan, "Embedded System for Robotic Arm Movement Control Using Web Server and Zigbee Communication", *International Conference on Research Trends in Computer Technologies (ICRTCT)*, 2013, pp. 30-34.
- [4] L. Biagiotti dan C. Melchiorri, *Trajectory Planning for Automatic Machines and Robots*, Germany, Springer, 2008.
- [5] Rendyansyah, R. Passarella dan K. Exaudi, "Aplikasi Linier Trajectory Planning Pada Simulasi Pergerakan Robot SCARA 3 DOF Dalam Menulis Huruf", *Proceeding Annual Research Seminar*, 2015, vol. 1, no. 1, pp. 101-104.
- [6] Rendyansyah dan A.P.P. Prasetyo, "Simulasi Robot Manipulator 4 DOF Sebagai Media Pembelajaran Dalam Kasus Robot Menulis Huruf", *Jurnal Nasional Teknik Elektro (JNTE)*, vol. 5, no. 3, pp. 339-349,2016.
- [7] J. Shah, S.S. Rattan dan B.C. Nakra, "End-Effector Position Analysis Using Forward Kinematics for 5 DOF PravaK Robot Arm", *International Journal of Robotics and Automation (IJRA)*, vol. 2, No. 3, pp. 112-116, 2013.