

Robot Cartesian 3 Sumbu (X, Y, Z) Untuk Aplikasi Pengambilan dan Penempatan Benda Kerja

Dhanni Tri Andini Setyaning¹⁾, Didik Setyo Purnomo²⁾, Muhammad Iqbal Nugraha³⁾

²⁾ *Jurusan Teknik Mekatronika Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Institut Teknologi Sepuluh Nopember*

Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya 60111

Telepon: (031) 5947280, Fax: (031) 5946114

^{1,3)} *Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
Kawasan Air Kantung, Sungailiat-Bangka 33211*

Telepon: (0717) 93586, Fax: (0717) 93585

Email :¹⁾ dhanni@polman-timah.ac.id, ²⁾ didiksp@eepis-its.edu, ³⁾ iqbal_nugrah@yahoo.com

Abstrak

Laboratorium Otomasi Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung (Polman Babel), sejak didirikannya telah difasilitasi dengan sebuah robot cartesian merk Festo. Namun, robot ini hanya memiliki 2 sumbu (X,Y) dan tidak dapat beroperasi lagi dikarenakan kedua sensor jarak sumbu X,Y dan kontrol PLC yang digunakannya mengalami kerusakan. Untuk itu, perlu dilakukan tindakan perbaikan terhadap robot. Perbaikan robot dimaksudkan untuk mengoperasikan kembali robot cartesian tersebut sebagai bahan ajar praktikum. Agar pemanfaatannya dapat lebih maksimal untuk para mahasiswa, pada robot yang diperbaiki dilakukan modifikasi dengan tujuan agar robot dapat bergerak secara 3 sumbu (X,Y,Z) untuk melakukan aplikasi pengambilan dan penempatan benda kerja. Adapun peralatan yang dibutuhkan untuk modifikasi tersebut antara lain menggunakan sebuah *double acting cylinder* sebagai sumbu Z, dengan *vacuum gripper* pada ujungnya untuk mencekam benda kerja, 2 buah *reed switches* sebagai sensor sumbu Z, 3 buah sensor benda kerja, yaitu sensor optik, sensor kapasitif, dan sensor induktif, untuk proses pemilihan benda kerja agar dapat ditempatkan sesuai stasiunnya masing-masing. Untuk kontrol PLC diganti dengan IC Mikrokontroler ATmega16L menggunakan bahasa pemrograman *CodevisionAVR*. Begitu juga sensor jarak sumbu X,Y diganti dengan sensor sumbu yang baru. Sebagai hasil pengujian dengan metode *On-Off* yang dilakukan, didapat bahwa robot dapat melakukan fungsi aplikasi pengambilan dan penempatan benda sesuai stasiunnya masing-masing dengan baik walaupun untuk posisi koordinat yang dicapai masih terdapat *error* dengan kisaran +1—+3(mm) untuk sumbu X dan +3—+5(mm) untuk sumbu Y.

Kata kunci : *robot cartesian, vacuum gripper, sensor optik, sensor kapasitif, sensor induktif.*

1. Pendahuluan

Robot Cartesian (Robot Linier) banyak dijumpai di industri. Untuk itu pengetahuan tentang pengontrolan robot cartesian perlu diberikan kepada mahasiswa. Dalam komitmennya untuk memberikan pengajaran terbaik untuk putra-putri Indonesia, khususnya putra-putri daerah Bangka Belitung, sejak awal pendiriannya Laboratorium Otomasi Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung (Polman Babel), telah difasilitasi dengan beberapa merk Festo. Salah satunya adalah robot cartesian 2 sumbu (X,Y). Namun sayangnya, robot ini sejak lama tidak dapat beroperasi lagi dikarenakan kedua sensor jarak sumbu X,Y dan kontrol PLC yang digunakannya mengalami kerusakan.

Untuk itu, tindakan perbaikan perlu dilakukan. Selain itu, tindakan modifikasi juga perlu dilakukan agar pemanfaatan robot dapat lebih maksimal untuk para mahasiswa, dan dapat mengikuti kemajuan di bidang robotika dewasa ini. Adapun modifikasi yang dilakukan bertujuan agar robot dapat bergerak secara 3 sumbu (X,Y,Z) untuk melakukan aplikasi pengambilan dan penempatan benda kerja. Dengan demikian, robot ini dapat lebih dimanfaatkan secara maksimal sebagai bahan ajar praktikum pada mata kuliah Aplikasi Robot.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perbaikan robot ini bahwa robot yang digunakan adalah Robot Cartesian merk FESTO yang sudah ada di Laboratorium Otomasi Polman Babel. Benda kerja yang digunakan adalah benda kerja logam berwarna silver, benda kerja non logam berwarna merah dan benda kerja non logam berwarna hitam. Untuk jarak antar stasiun adalah minimal 10 cm dengan koordinat sumbu X maksimum 20 cm dan minimum 5 cm, sedangkan koordinat sumbu Y maksimum 30 cm dan minimum 5 cm.

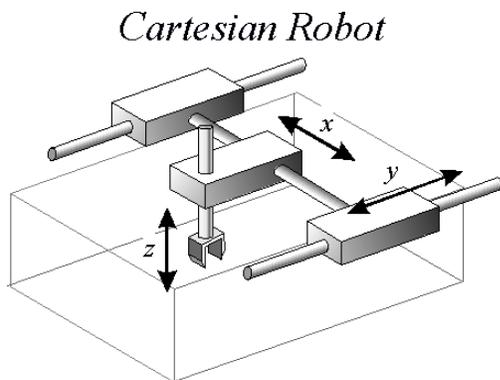
2. Dasar Teori

Kata robot yang berasal dari bahasa Czech, *robota*, yang berarti pekerja, mulai menjadi populer ketika seorang penulis berbangsa Czech (Ceko), Karl Capek, membuat pertunjukan dari lakon komedi yang ditulisnya pada tahun 1921 yang berjudul *RUR (Rossum's Universal Robot)* (Pitowarno, 2006).

Bentuk dasar dari sebuah robot cartesian terdiri dari tiga "lengan". Tiap lengan dapat bergerak hanya di sepanjang sumbunya secara dua dimensi—untuk pergerakan maju dan mundur, atau jika lengannya pada posisi vertikal, untuk pergerakan naik dan turun saja. Walaupun setiap lengan berada pada sudut 90° terhadap kedua sumbu lainnya, hal ini memungkinkan robot untuk memanfaatkan pergerakan ketiga lengannya untuk mencapai berbagai titik dalam ruang tiga dimensinya. Lengan-lengan ini dapat beragam-ragam ukurannya, tergantung dari kegunaan robot tersebut. Pada beberapa rancangan robot khusus yang besar, lengan horizontal robot akan mendukung kedua ujung robot. Robot ini dinamakan sebagai robot *gantry* (diterjemahkan dari Messmer, 2010).

Sebuah robot, sebagai suatu sistem, terdiri dari elemen-elemen berikut, yang terintegrasi satu sama lain sebagai kesatuan, yaitu *manipulator (rover)* sebagai bagian utama robot, *end effector* sebagai tangan robot, *actuators* sebagai otot robot, *sensors* untuk mengumpulkan informasi tentang status internal robot atau untuk berkomunikasi dengan lingkungan luar, *controller* untuk mengontrol pergerakan robot, *processor* sebagai otak robot, dan *software* untuk mengoperasikan *controller* (diterjemahkan dari Niku, 2001).

Untuk lebih jelas, konstruksi robot cartesian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

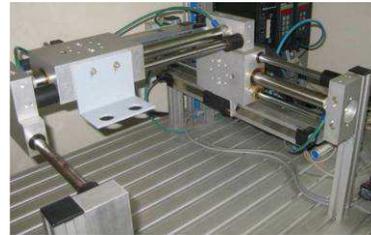


Gambar 1. Konstruksi Robot Cartesian

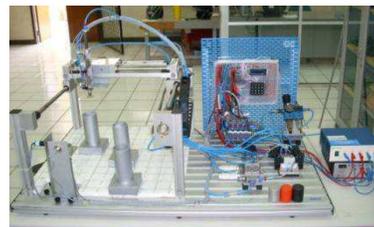
Sumber: (<http://prime.jsc.nasa.gov/ROV/images/cartesian.GIF>)

3. Perancangan Alat

Sistem Mekanik dan Hardware: Untuk sistem mekanik robot cartesian, lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 2**, **Gambar 3**. Sedangkan untuk komponen *hardware*, lebih jelas dapat dilihat pada **Tabel 1**.



Gambar 2. Robot Cartesian 2 Sumbu (X,Y) Merk FESTO

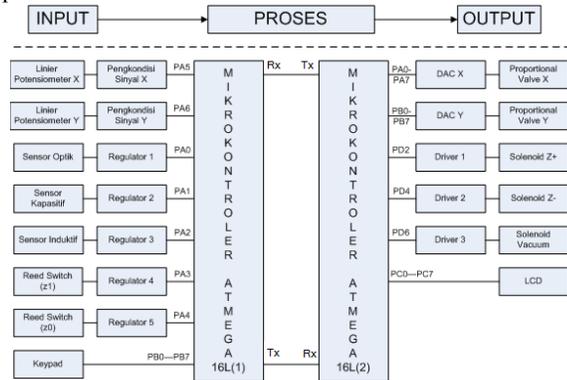


Gambar 3. Robot Cartesian 3 Sumbu (X,Y, Z) Yang Dibuat

Tabel 1. Modifikasi Robot Cartesian yang Dilakukan

Modifications	Old Cartesian Robot	Modified Cartesian Robot
<i>Axes</i>	X,Y	X,Y,Z
<i>Cylinders</i>	linear drive cylinder for both X and Y axes	linear drive cylinder for both X and Y coordinates double acting cylinder for Z axis
<i>Sensors</i>	linear potentiometer for both X and Y axes	linear potentiometer for both X and Y axes reed switches for Z axis Optic sensor Capacitive sensor Inductive sensor
<i>Valves</i>	proportional valve for both X and Y axes	proportional valve for both X and Y axes 5/2 double solenoids valve for Z axis 3/2 single solenoid valve and venture valve for vacuum gripper
<i>Vacuum Gripper</i>	none	Suction cup at the end point of the Z axis
<i>Controller</i>	PLC type FST101	ATMega16 Microcontroller Signal conditioning circuits Regulator circuits Driver circuits DAC circuits

Control Diagram: Untuk mengontrol robot, digunakan dua buah mikrokontroler ATmega16L yang diprogram dengan Bahasa Pemrograman CodevisionAVR. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 4.

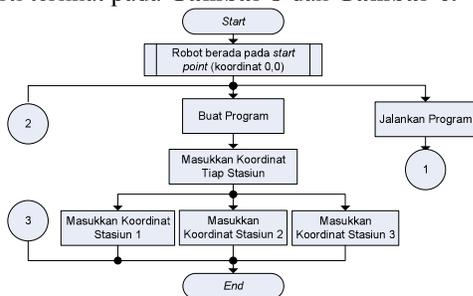


Gambar 4. Pemanfaatan Port Mikrokontroler ATmega16L pada Komponen Hardware

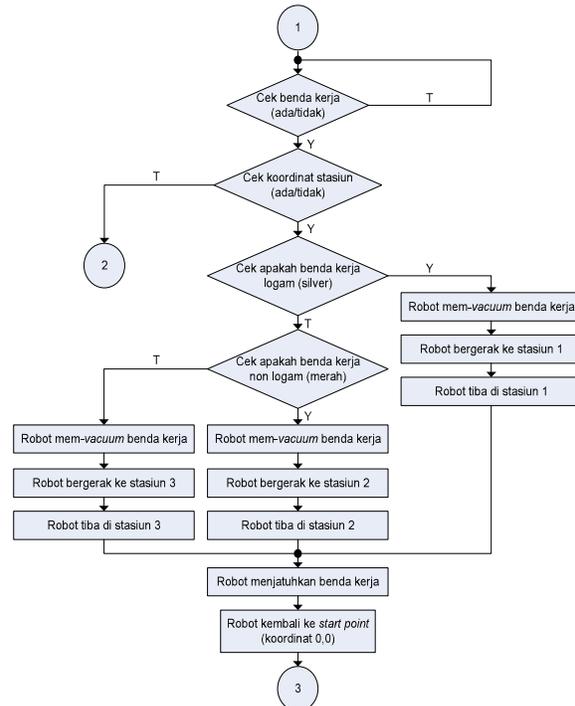
Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa rangkaian pengkondisi sinyal digunakan untuk mengkondisikan sinyal (yang berupa tegangan analog) dari kedua sensor jarak sumbu X,Y agar dapat diproses oleh mikrokontroler setelah diubah melalui ADC internal mikrokontroler. Kemudian sinyal yang keluar dari mikrokontroler diubah lagi melalui rangkaian DAC agar menjadi tegangan analog untuk mengoperasikan kedua *proportional valve* sumbu X,Y agar dapat memindahkan robot sesuai dengan koordinat tujuan yang diinginkan.

Begitu juga untuk rangkaian *regulator*, digunakan untuk menurunkan tegangan +24VDC dari sensor optik, kapasitif, induktif, dan reed switches, menjadi tegangan +5VDC agar dapat diolah oleh mikrokontroler. Setelah itu, sinyal hasil olahan mikrokontroler ini diubah lagi oleh rangkaian driver agar menjadi tegangan +24VDC untuk mengoperasikan, baik *5/2 double solenoids valve* dan *vacuum gripper* pada sumbu Z untuk aplikasi pengambilan dan penempatan benda kerja.

Flowchart Program: Adapun program untuk menjalankan robot ini terbagi menjadi dua, yaitu proses pembuatan program (memori) dan kerja robot, seperti terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Flowchart Pembuatan Program Robot Cartesien



Gambar 6. Flowchart Kerja Robot Cartesien

Pada *flowchart* terlihat bahwa proses awal menjalankan robot dimulai dengan membuat program kerja robot yang disimpan sebagai memori. Adapun pembuatan program ini dimaksudkan untuk menetapkan posisi/koordinat tujuan robot, maksimal 3 buah, antara lain posisi 1 sebagai stasiun benda kerja logam berwarna silver, posisi 2 sebagai stasiun benda kerja non logam berwarna merah, dan posisi 3 sebagai stasiun benda kerja non logam berwarna hitam. Selanjutnya, robot akan bekerja untuk melakukan proses pengambilan dan penempatan benda kerja sesuai dengan jenis benda kerja dan posisi masing-masing stasiun yang telah ditetapkan. Sedangkan untuk posisi start point robot adalah koordinat 0,0 cm.

4. Pengujian dan Analisa

Proportional Valve: Pengujian dilakukan sebanyak dua kali.

Pengujian pertama, untuk mendapatkan nilai tegangan referensi masing-masing saluran *output proportional valve*. Pengujian ini hanya bersifat pengamatan pada bukaan saluran output 4(A) dan 2(B) *proportional valve*. Untuk hasilnya lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.

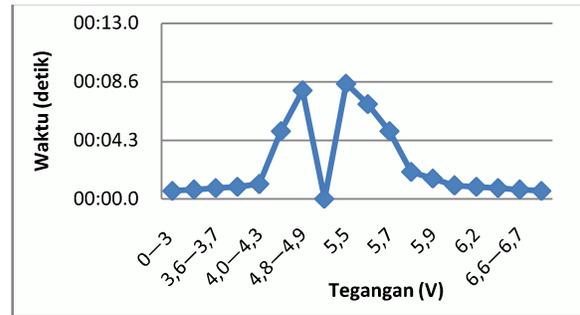
Tabel 2. Prinsip Kerja Saluran Output Proportional Valve Berdasarkan Tegangan Referensi yang Diberikan

Tegangan Referensi	Kerja Proportional Valve
5,50V—10V	Saluran output 4(A) <i>proportional valve</i> terbuka.
4,91V—5,49V	Saluran output 4(A) dan output 2(B) <i>proportional valve</i> tertutup, tidak ada angin yang keluar pada kedua saluran output.
0V—4,90V	Saluran output 2(B) <i>proportional valve</i> terbuka.

Dari data **Tabel 2**, didapat kesimpulan bahwa:

1. Pada tegangan 5,50V—10V, semakin besar tegangan yang diberikan (tegangan $\geq 10V$), bukaan saluran output 4(A) *proportional valve* akan semakin lebar sehingga udara yang keluar pun akan semakin banyak. Sebaliknya, semakin kecil tegangan yang diberikan (tegangan $\leq 5,50V$), bukaan saluran output 4(A) *proportional valve* akan semakin sempit sehingga udara yang keluar pun akan semakin sedikit.
2. Pada tegangan 4,91V—5,49V, saluran output 4(A) dan output 2(B) *proportional valve* tertutup, sehingga tidak ada angin yang keluar pada kedua saluran output.
3. Pada tegangan 0V—4,90V, semakin kecil tegangan yang diberikan (tegangan $\geq 0V$), bukaan saluran output 2(B) *proportional valve* akan semakin lebar sehingga udara yang keluar pun akan semakin banyak. Sebaliknya, semakin kecil tegangan yang diberikan (tegangan $\leq 4,90V$), bukaan saluran output 2(B) *proportional valve* akan semakin sempit sehingga udara yang keluar pun akan semakin sedikit.

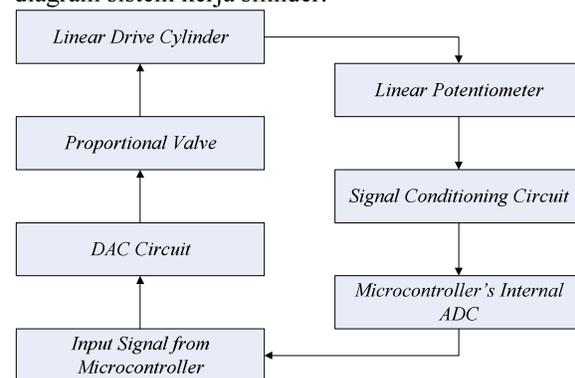
Pengujian kedua, untuk mendapatkan referensi kecepatan gerak maju dan mundur pada masing-masing sumbu x dan sumbu Y, berdasarkan data **Tabel 2**. Pengujian ini dilakukan secara manual menggunakan *stopwatch*, sehingga masih terdapat *delay* walaupun dalam selisih hitungan yang kecil karena adanya perbedaan kecepatan antara silinder dan tangan saat menekan *stopwatch*. Untuk hasilnya lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Grafik Kecepatan Gerak Linear Drive Cylinder X Berdasarkan Tegangan Referensi Proportional Valve X

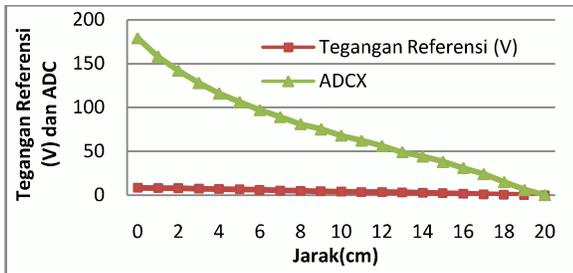
Dari **Gambar 7** dan hasil pengamatan pada *linear drive cylinder*, disimpulkan bahwa kecepatan gerak maju dan mundur masing-masing sumbu sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai tegangan yang diberikan. Kecepatan yang terlalu besar akan mengakibatkan hentakan yang keras pada ujung sumbu X, begitu juga pada ujung sumbu Y. Apabila dibiarkan terus-menerus, tentu saja akan menyebabkan usia pakai robot yang tidak lama.

Linier Potentiometer: Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan referensi dan ADC pada *linear potentiometer X* dan *linear potentiometer Y*, berdasarkan perubahan jarak setiap 1 cm. Data ini kemudian akan digunakan sebagai *feedback* untuk menghentikan kerja *linear drive cylinder X* dan *linear drive cylinder Y*. Karena data pada *linear potentiometer* bersifat analog, perlu dikonversikan terlebih dahulu menjadi data digital melalui ADC internal mikrokontroler agar dapat diolah. Hal ini sesuai dengan **Gambar 8** yang menunjukkan diagram sistem kerja silinder.

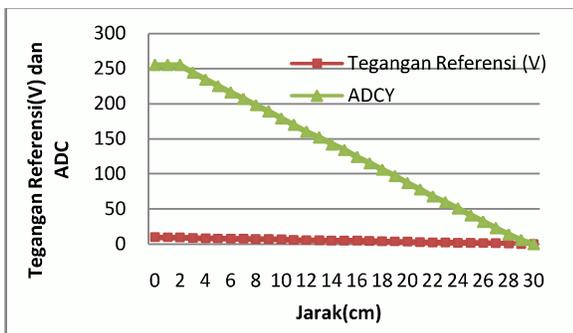


Gambar 8. Diagram Sistem Kerja Silinder

Untuk hasil yang didapat, dapat dilihat lebih jelas pada **Gambar 9** dan **Gambar 10**.



Gambar 9. Grafik ADC dan Tegangan Referensi Setiap Perubahan Jarak Per 1cm pada *Linear Potentiometer X*



Gambar 10. Grafik ADC dan Tegangan Referensi Setiap Perubahan Jarak Per 1cm pada *Linear Potentiometer Y*

Berdasarkan **Gambar 9** dan **Gambar 10** diperoleh kesimpulan bahwa semakin jauh jarak yang dituju, nilai tegangan referensi dan *ADC linear potentiometer* akan semakin kecil. Atau, dapat dikatakan juga bahwa nilai tegangan referensi dan *ADC linear potentiometer* berbanding terbalik dengan jarak yang dituju.

Sensor Benda Kerja: Pengujian ini dilakukan agar didapat data kombinasi sensor sebagai pemberi sinyal kepada mikrokontroler untuk diolah sebagai data tujuan pergerakan robot dalam mencari stasiun benda kerja yang tepat. Adapun sensor benda kerja yaitu sensor optik, sensor kapasitif, dan sensor induktif. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Uji Coba Sensor Terhadap Tiap Benda Kerja

Jenis Benda Kerja	Indikator Sensor		
	Induktif	Optik	Kapasitif
Logam (<i>silver</i>)	'1'	'1'	'1'
Non logam berwarna merah	'0'	'1'	'1'
Non logam (hitam)	'0'	'0'	'1'

Keterangan:

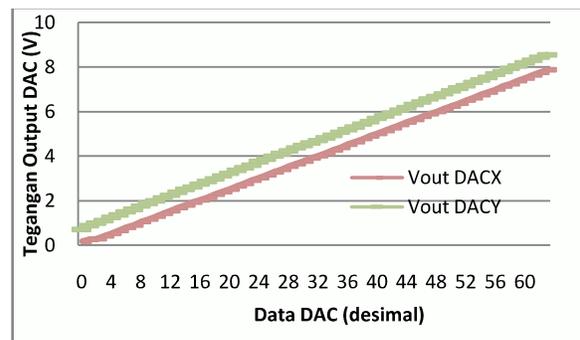
'0' = Tidak aktif

'1' = Aktif

Berdasarkan **Tabel 3**, dapat disimpulkan bahwa:

1. Untuk mendeteksi benda kerja logam berwarna silver, data kombinasi yang harus dimasukkan ke dalam program adalah data saat ketiga sensor aktif.
2. Untuk mendeteksi benda kerja non logam berwarna merah, data kombinasi yang harus dimasukkan ke dalam program adalah data saat hanya sensor optik dan sensor kapasitif saja yang aktif.
3. Untuk mendeteksi benda kerja non logam berwarna hitam, data kombinasi yang harus dimasukkan ke dalam program adalah data saat hanya sensor kapasitif saja yang aktif.

Rangkaian DAC: Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan tegangan referensi yang pas saat mengatur kecepatan gerak *linear drive cylinder* dalam hubungannya dengan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap *proportional valve*. Rangkaian *DAC* ini diperlukan untuk mengubah data digital dari mikrokontroler menjadi data analog sehingga dapat diolah pada *proportional valve*. Pengujian dilakukan dengan memberikan kombinasi 2⁶ bit pada *PortA0—PortA5* mikrokontroler 2 untuk sumbu X dan *PortB0—PortB5* mikrokontroler 2 untuk sumbu Y. Untuk hasil pengujian, dapat dilihat lebih jelas pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Grafik Tegangan Referensi Hasil Pengukuran pada Rangkaian DACX dan DACY

Pada **Gambar 11**, terlihat bahwa tegangan output pada *DAC X* dan *DAC Y* mengalami perbedaan walaupun rangkaian *DAC* yang digunakan adalah sama. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan beban, dimana *DAC X* dihubungkan pada *proportional valve X* untuk mengatur pergerakan *linear drive cylinder X* pada jarak 0—20 cm, sedangkan *DAC Y* dihubungkan pada *proportional valve Y* untuk mengatur pergerakan *linear drive cylinder Y* pada jarak 0—30 cm.

Berdasarkan **Gambar 11** dalam hubungannya dengan **Gambar 7**, pada akhirnya didapat kombinasi bit *PortA0—PortA5* dan kombinasi bit *PortB0—PortB5* saat memberikan

tegangan referensi yang cukup aman kepada *proportional valve* X dan *proportional valve* Y untuk menjalankan robot cartesian, antara lain seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Tegangan Referensi yang Aman Diberikan pada *Proportional Valve* pada Metode *On-Off*

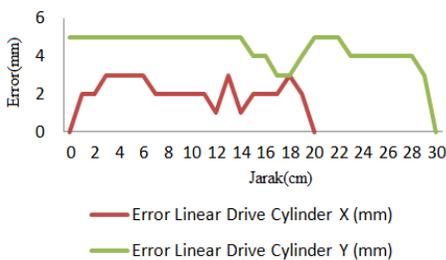
Arah Pergerakan Linear Drive Cylinder	Proportional Valve X		Proportional Valve Y	
	Data DAC (desimal)	Tegangan Output (V)	Data DAC (desimal)	Tegangan Output (V)
Mundur	35--38	4,39—4,76	29--33	4,35—4,81
Iddle	39--43	4,90—5,41	34--38	4,93—5,43
Maju	44--47	5,53—5,91	39--42	5,56—5,94

Pengaturan Kecepatan dan Posisi *Linear Drive Cylinder* dengan Metode *On-Off*: Proses pengujian dengan metode *On-Off* dilakukan pertama kali dengan cara memilih tegangan referensi untuk kecepatan pergerakan *linear drive cylinder* sumbu X dan *linear drive cylinder* sumbu Y berdasarkan **Tabel 4**. Adapun tegangan referensi yang digunakan saat pengujian beserta hasilnya, dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Tegangan Referensi yang Digunakan untuk Pengujian Kecepatan *Linear Drive Cylinder* pada Metode *On-Off*

Arah Pergerakan Linear Drive Cylinder	Proportional Valve X		Proportional Valve Y	
	Data DAC (desimal)	Tegangan Output (V)	Data DAC (desimal)	Tegangan Output (V)
Mundur	37	4,65	30	4,47
Iddle	40	5,03	35	5,06
Maju	46	5,78	41	5,81

Setelah tegangan referensi seperti pada **Tabel 5** selesai ditentukan, kemudian dilakukan pengujian pada setiap perubahan 1 cm untuk posisi *linear drive cylinder* X dan *linear drive cylinder* Y. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah *linear drive cylinder* dapat berhenti pada posisi yang tepat sesuai dengan yang koordinat yang dimasukkan ke dalam program. Pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan pengukuran secara manual menggunakan penggaris pada posisi berhenti *linear drive cylinder*. Untuk lebih jelasnya, hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Grafik Error Posisi *Linear Drive Cylinder*

Berdasarkan **Tabel 5** dan **Gambar 12**, dapat disimpulkan bahwa pada Metode *On-Off*, dengan menggunakan kecepatan gerak yang stabil akan menimbulkan *error* (+) pada posisi *linear drive cylinder* yang diinginkan. *Error* posisi yang ditimbulkan bekisar +1—+3(mm) untuk koordinat X dan +3—+5(mm) untuk koordinat Y. Hal ini dikarenakan adanya *delay* yang terjadi pada proses *feedback* sistem, yaitu dari hasil pembacaan *linear potentiometer* sampai dengan pemberian tegangan pada *proportional valve* untuk menghentikan kerja *linear drive cylinder*, sesuai dengan **Gambar 8**.

5. Kesimpulan

Berdasarkan data-data yang didapat, disimpulkan bahwa :

1. Agar dapat menyeleksi benda kerja untuk diletakkan ke stasiunnya masing-masing secara tepat, diperlukan kombinasi data sensor yang tepat pula dari semua sensor benda kerja yang digunakan.
2. Pada metode *On-Off*, sangat perlu untuk melakukan pengujian terhadap tegangan *proportional valve* agar dapat mengatur kecepatan gerak sumbu X dan sumbu Y, sehingga dapat menghindari terjadinya hentakan pada sumbu robot apabila kecepatan gerak sumbu robot terlalu cepat. Hal ini bertujuan untuk mengusahakan usia pakai robot yang lebih lama dalam pemakaian dan perawatannya.
3. Pengaturan kecepatan *linear drive cylinder* dengan menggunakan metode *On-Off* belum menghasilkan posisi yang tepat pada koordinat X,Y robot cartesian. Masih terdapat *error* pada setiap posisi koordinat X,Y yang dituju. Kisaran error antara +1—+3(mm) untuk koordinat X dan +3—+5(mm) untuk koordinat Y. Hal ini dikarenakan adanya *delay* yang terjadi pada proses *feedback* sistem, yaitu dari hasil pembacaan *linear potentiometer* sampai dengan pemberian tegangan pada *proportional valve* untuk menghentikan kerja *linear drive cylinder*, sesuai dengan **Gambar 8**.

Daftar Pustaka

[1] Pitowarno, Endra, *ROBOTIKA: Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*, Ed. 1, Yogyakarta: ANDI, 2006.
 [2] Niku, Saeed B., *Introduction to Robotics: Analysis, Systems, Applications*, New Jersey: Prentice Hall, 2001.
 [3] Messmer, D., *What Is A Cartesian Robot?*, ed. Joseph, A., 2010, <http://www.wisegeek.com/what-is-a-cartesian-robot.htm>.
 [4] _____, *Cartesian Robot*, <http://prime.jsc.nasa.gov/ROV/images/cartesian.GIF>.