

PENGEMBANGAN ROBOT 2-AXIS ROTASI UNTUK ROBOT LAS DENGAN 5 DERAJAT KEBEBASAN

Gandjar Kiswanto, Ario Sunar Baskoro dan Teguh Santoso

Laboratorium Teknologi Manufaktur dan Otomasi
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424, Tel: +62-21-7270032, Fax: +62-21-7270033
E-mail: ario@eng.ui.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi manufaktur untuk menghasilkan produk-produk dengan hasil yang efisien dan waktu cepat membutuhkan peralatan dengan fleksibilitas yang tinggi. Kebutuhan produksi pengelasan yang memerlukan fleksibilitas untuk dapat memproses benda kerja yang kompleks memerlukan integrasi teknologi permesinan yang sudah ada seperti permesinan multi-axis. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah lengan artikulasi robot las dengan 5 derajat kebebasan. Pada tahap awal sistem dirancang dan dibangun lengan robot artikulasi 2 derajat rotasi dengan sistem control. Lengan robot tersebut akan digabungkan pada sebuah gantry robot sistem yang mempunyai 3 derajat kebebasan, yaitu pergerakan pada sumbu x,y,z . Dalam penelitian ini digunakan sebuah komputer yang bertindak sebagai pengolah data dan juga mikrokontroler. Komputer digunakan untuk mengolah data dan mikrokontroler untuk memberikan perintah pergerakan ke lengan artikulasi robot tersebut. Data yang diolah pada komputer berupa nilai dalam x,y,z dan i,j,k yaitu posisi dan orientasi. Dari data ini akan didapat kinematika inverse yang ditujukan untuk menggerakkan motor-motor pada lengan robot tersebut agar end effector pada lengan robot mampu berada di posisi dan orientasi yang diinginkan. Dari hasil penelitian awal didapatkan robot mampu bergerak untuk koordinat input yang diberikan.

Kata kunci: Multi-axis, Robot Las, Robot 2-axis rotasi

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi manufaktur untuk menghasilkan produk-produk dengan hasil yang efisien dan waktu cepat membutuhkan peralatan dengan fleksibilitas yang tinggi [1]. Aplikasi teknologi pengelasan dalam dunia industri memberikan sumbangan yang besar terhadap perkembangan dunia konstruksi, perpipaan dan otomotif. Kebutuhan produksi pengelasan yang memerlukan fleksibilitas untuk dapat memproses benda kerja yang kompleks memerlukan integrasi teknologi permesinan yang sudah ada seperti permesinan multi-axis.

Mesin frais 5-axis adalah contoh teknologi permesinan multi-axis yang memberikan kemampuan aksibilitas dan orientasi tool. Jalur tool (*tool path*) frais 5-axis dihasilkan oleh perangkat lunak *computer-aided-manufacturing* (CAM) yang menghasilkan orientasi tool dan persentuhan tool-benda kerja di file *cutter location* (CL). File ini menyediakan informasi koordinat tool tip, vector sumbu tool dan parameter proses lainnya yang dibutuhkan oleh *computer numerical control* (CNC) [2].

Dengan menggabungkan dua teknologi yaitu teknologi pengolahan material dan teknologi permesinan

multi-aksis akan menghasilkan teknologi pengelasan yang lebih fleksibel dan hasil yang akurat dan cepat sehingga dapat menurunkan biaya produksi sebagaimana telah dilakukan pada retrofitmen mesin CNC untuk proses *layer manufacturing* [3]. Tool part dalam frais 5-axis akan digantikan dengan obor las (*welding torch*). Aplikasi mesin 5-axis untuk pengelasan sudah diterapkan untuk pengelasan dan pemotongan laser. Namun sistem ini belum banyak diaplikasikan untuk pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG). Oleh karena itu diperlukan pengembangan sistem pengelasan menggunakan mesin 5-axis.

2. Konstruksi Robot 2 Aksis Rotasi

Pada tahap awal, sistem pengelasan dengan menggunakan 5 derajat kebebasan ini didesain menggunakan 2-axis rotasi. Desain mekanikal robot merupakan jenis robot manipulator dengan tipe artikulasi seperti ditunjukkan pada Gb.1. Robot artikulasi 2 Axis ini memiliki sistem penggerak cukup reliable untuk menggerakkan *end effector* robot ke posisi yang diinginkan, melalui kombinasi pergerakan motor DC dan electric brake. Posisi alat perangkat sistem

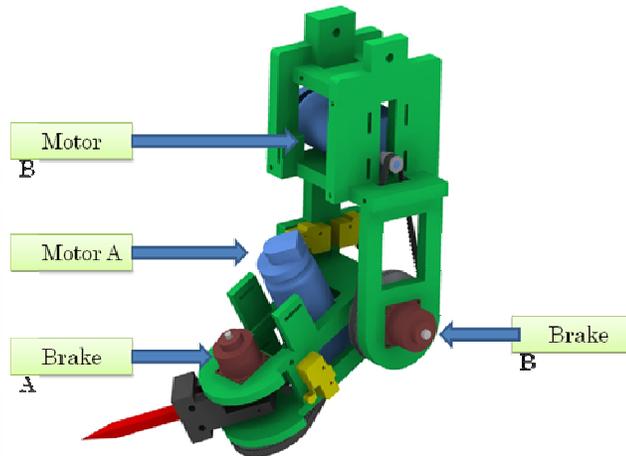


penggerak robot dapat dilihat pada Gb. 2.

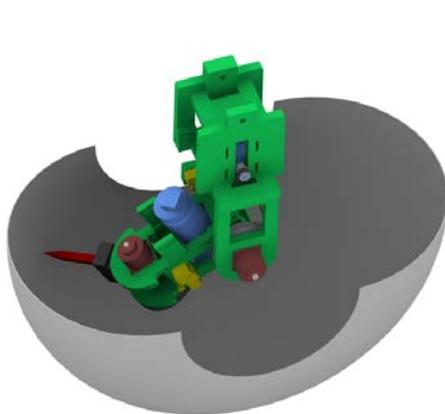
- 3.5 Ampere.



Gb.1. Konstruksi robot 2-axis rotasi



Gb. 2. Sistem penggerak robot 2-axis rotasi



a. Working envelope 1



b. Working envelope 2

Gb. 3. Working envelope robot 2-axis rotasi

Setiap robot manipulator mempunyai keterbatasan dalam melakukan pergerakan bergantung pada desain mekanikalnya itu sendiri. Keterbatasan pergerakan ini dapat didata dengan membuat diagram pergerakan robot atau biasa disebut dengan working envelope diagram seperti ditunjukkan pada Gb 3 a dan b.

- 24 Volt.
- 128 oz-in (torque).
- 490 RPM

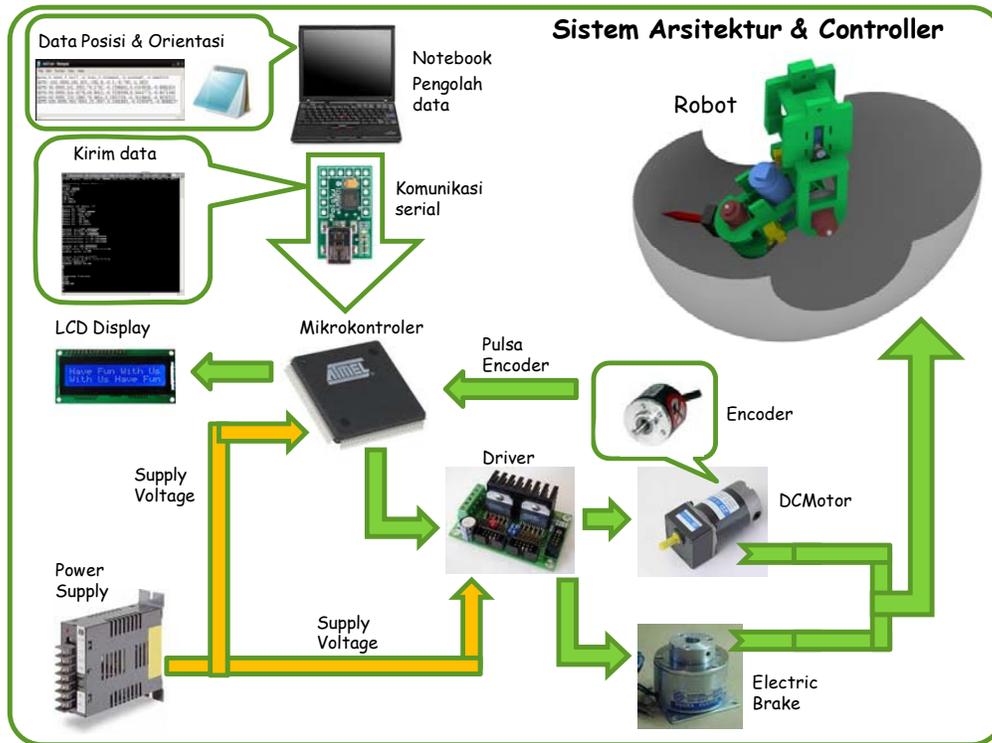
Motor DC yang digunakan pada kedua axis mempunyai spesifikasi yang serupa dan mempunyai perbandingan jumlah pulley mata yang sama yaitu sebesar 1 : 6.

2.1 Motor DC

Pada robot artikulasi 2 axis ini mempunyai penggerak bertenaga motor DC untuk menggerakkan kedua axisnya. DC motor yang digunakan adalah Japan Servo Motor DC dilengkapi dengan encoder. Spesifikasi yang tertera pada datasheet motor DC tersebut adalah :



Encoder merupakan perangkat electromechanical



Gb.4. Sistem arsitektur dan kontroler yang dikembangkan

2.2 Electric Brake

Kedua axis tersebut dilengkapi dengan *electric brake* karena kedua axis tersebut merupakan aksis yang memiliki beban, untuk menahan orientasi dari *end effector* tersebut. *Electric brake* merupakan perangkat elektromekanikal yang bekerja dengan memanfaatkan prinsip elektromagnet untuk menghubungkan atau memisahkan poros yang berputar dengan chassis robot yang diam. Electric brake yang digunakan pada robot tangan 2 axis ini merupakan tipe NO (*Normally Open*) dan membutuhkan tegangan 24V untuk merubahnya menjadi *close state*.

3. Sistem Elektronik dan Perangkat Lunak Robot

3.1 Sensor

Robot artikulasi mempunyai beberapa sensor elektromekanikal. Sensor-sensor ini yang berfungsi untuk mendeteksi pergerakan robot dan mengirimkan data ke mikrokontroler lalu kemudian diolah.

3.1.1 Encoder

yang berfungsi sebagai alat feedback berupa pulsa digital yang sangat bermanfaat dalam pengendalian motor DC. Setiap motor penggerak pada robot artikulasi 2 axis memiliki enkoder tipe E30S4 Autonics dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Incremental Encoder.
- Digital Voltage 5V.
- 360 PPR.

3.1.2 Limit Switch

Robot artikulasi memiliki 4 *limit switch* sebagai feedback untuk posisi default robot. *Limit switch* ini digunakan sebagai feedback pada program untuk mencari posisi default robot juga untuk menjadi batas pergerakan rotational robot tersebut. Setiap axis memiliki 2 limit switch dan salah satunya sebagai sensor posisi default. Limit switch yang digunakan adalah tipe tactile dengan kondisi NC (*Normally Closed*).

3.2 Kendali Digital

Sistem kendali yang dikembangkan untuk mengendalikan robot artikulasi ini adalah kendali digital. Sistem kendali digital digunakan karena kemudahan



untuk menerapkan logika kendali dan mempermudah pengembangan sistem lebih lanjut.

3.2.1 Mikrokontroler

Mikrokontroler dapat digunakan untuk mengendalikan berbagai perangkat elektronika dengan logika pemrograman, sehingga dalam penelitian kontrol robot ini digunakan mikrokontroler sebagai pengontrol robot. Tipe mikrokontroler yang dipilih adalah Atmega16 dari Atmel [4]. Pemilihan mikrokontroler jenis ini didasarkan pada kebutuhan controller dari robot artikulasi ini yaitu :

- Mempunyai minimal 4 PWM channel.
- Mempunyai minimal 2 Interrupt channel.
- Mampu melakukan komunikasi serial.

Mikrokontroler ATmega 16 pada penelitian ini menggunakan clock source 11.0592 Mhz sehingga mampu mencapai kecepatan 11.0592 MIPS. Kecepatan ini dianggap sangat cukup sekali untuk dipakai dalam aplikasi pengendalian robot ini.

3.2.2 Motor dan Brake Driver

Dalam pengendalian motor DC dan pengendalian Brake DC melalui mikrokontroler diperlukan perangkat elektronika yaitu motor / *brake driver*. Driver diperlukan karena perbedaan suplai daya yang dikeluarkan mikrokontroler dengan yang dibutuhkan oleh motor & brake DC. Mikrokontroler menggunakan power 0-5 V sedangkan motor dan brake DC menggunakan 24VDC. Selain itu motor yang dikontrol juga harus mempunyai kemampuan berbalik arah dan pengaturan kecepatan, algoritma kontrol arah dan kecepatan ini diberikan oleh mikrokontroler dan dijalankan oleh motor driver namun untuk *brake driver* hanya cukup satu arah saja. Driver juga berguna sebagai pengamanan dari arus balik akibat adanya medan elektromagnetis dari motor atau brake, arus balik ini sangat berbahaya bagi mikrokontroler.

3.3 Perangkat Lunak Robot

Perangkat lunak pada sebuah sistem pengendali berfungsi untuk mengatur informasi antara input, proses dan output dari sistem yang dikendalikan. Mikrokontroler diprogram dengan algoritma yang disesuaikan dengan *software interface* ke PC. Program pada mikrokontroler harus mampu menerima dan mengirim data ke komputer dan harus mampu mengontrol perangkat keras lainnya yang terhubung ke robot. Program yang dibuat menggunakan compiler Codevision AVR ini mempunyai beberapa fungsi yang dibuat untuk mengatur mikrokontroler agar dapat menjalankan fungsi yang dibutuhkan. Berikut adalah algoritma yang dirancang untuk perangkat lunak sistem pengendali :

- START
- Setting mikrokontroler.

- Menunggu perintah dari komputer.
- IF perintah dari komputer = nilai perintah default, lakukan pergerakan posisi default.
- IF perintah dari komputer = nilai perintah gerak ke titik, lakukan pergerakan ke titik.
- END

Untuk menjalankan sebuah perintah yang diberikan, mikrokontroler harus mengenali nilai perintah yang dikirim oleh komputer. Nilai perintah ini merupakan sebuah nilai yang ditentukan untuk menjadi protokol komunikasi antara mikrokontroler dengan komputer. Nilai perintah tersebut berupa bit yang dikirimkan secara serial oleh komputer.

4. Eksperimen dan Analisis

4.1 Pergerakan Rotasi B Sudut $0^\circ - 90^\circ$ dan $0^\circ - (-90^\circ)$

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan kurva karakteristik dari motor B. Pengujian tersebut dilakukan dengan menggerakkan motor B ke 2 arah berbeda yaitu kearah $+90^\circ$ dan -90° dari posisi 0, 0, 0. Pergerakan tersebut dilakukan dengan kelipatan 5° dan selalu dimulai dari posisi 0, 0, 0 hingga pergerakannya mencapai $+90^\circ$ atau -90° seperti pada Gb. 5. Data pengujian pada grafik ini, merupakan data sebaran variasi nilai minimal PWM yang dibutuhkan ketika motor B tersebut masih mampu bergerak ke posisi titik yang sesuai dengan sudut yang diinginkan.

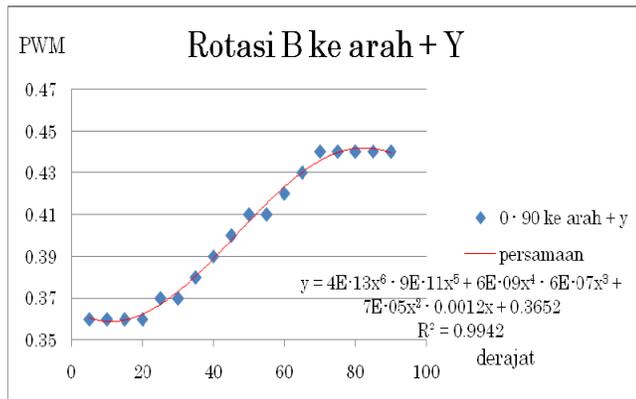
Dari grafik didapatkan peningkatan PWM seiring dengan makin besarnya sudut yang diinginkan, yaitu saat pergerakan dari titik 0° sampai $(+90^\circ)$ atau (-90°) sebesar 0.44 – 0.45 sehingga dibutuhkan minimal PWM sebesar itu agar mampu bergerak kesuatu posisi titik sudut sebesar 90° dari titik 0, 0, 0.

4.2 Pergerakan Rotasi A Sudut $0^\circ - 90^\circ$ dan $0^\circ - (-90^\circ)$

Pengujian ini untuk mendapatkan kurva karakteristik dari motor A. Pengujian tersebut dilakukan dengan menggerakkan motor A ke 2 arah berbeda yaitu kearah $+90^\circ$ dan -90° dari posisi 0, 0, 0. Pergerakan tersebut dilakukan dengan kelipatan 5° dan selalu dimulai dari posisi 0, 0, 0 hingga pergerakannya mencapai $+90^\circ$ atau -90° seperti pada Gb. 6.

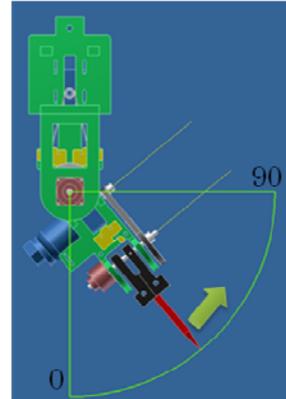
Pada pergerakan rotasi A ini variasi sebaran nilai PWM tidak sebanyak pada pergerakan rotasi B, dikarenakan berat dari beban linkage tidak sama, lebih berat pada linkage B yang dimana linkage A merupakan bagian dari linkage B. Jadi pada pergerakan rotasi B variasi nilai terendah dan tertinggi PWM sebesar 0,1 sedangkan pada pergerakan rotasi A variasi nilai terendah dan tertinggi PWM sebesar 0,04.



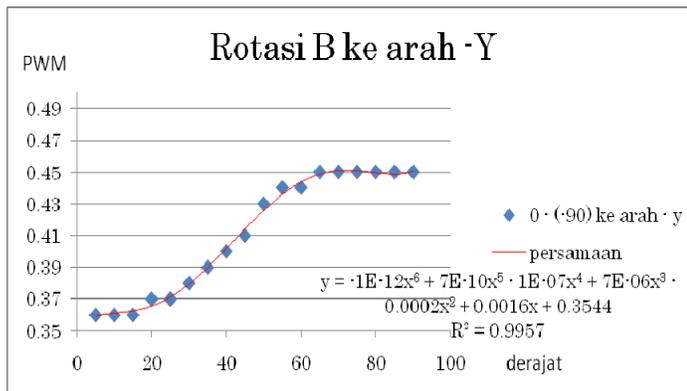


a. Grafik PWM – sudut rotasi

Gb.5. Pengujian pergerakan rotasi B sudut 0° – 90° dan 0° – (-90°) ke arah +Y



b. Skema pengujian



a. Grafik PWM – sudut rotasi

Gb.6. Pengujian pergerakan rotasi B sudut 0° – 90° dan 0° – (-90°) ke arah -Y



b. Skema pengujian

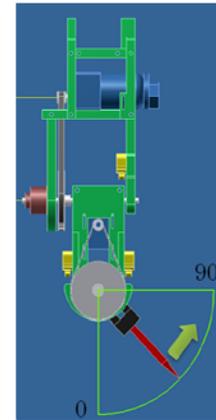
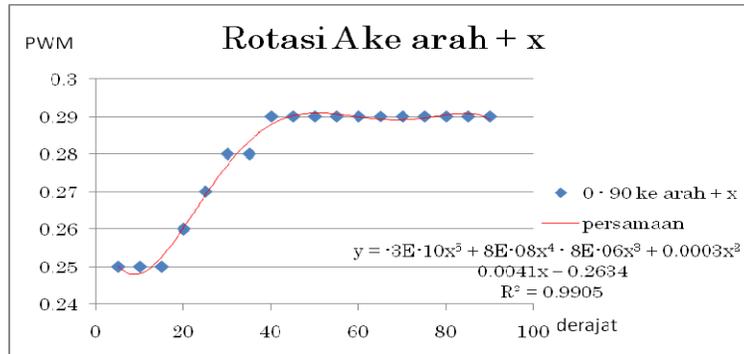
4.3 Pergerakan Rotasi B Sudut (-45°) – (-15°), (-15°) – 15°, dan 15° – 45°

Pengujian ini untuk mendapatkan gambaran karakteristik dari motor B pada sudut tertentu dengan pembagian 3 segmen yaitu dari posisi sudut (-45°) – (-15°) lalu bergerak dari posisi sudut (-15°) – 15° dan terakhir bergerak dari posisi sudut 15° – 45° seperti terlihat pada Gb. 7. Pengujian tersebut dilakukan dengan menggerakkan motor B dari posisi - 45° ke posisi + 45°.

Pergerakan tersebut dilakukan dengan kelipatan 5° dan selalu dimulai dari posisi sudut -45, -15, dan 15.

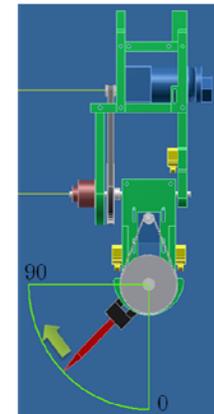
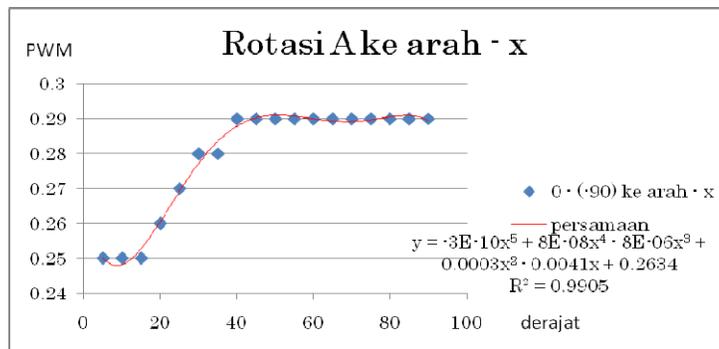
Saat pergerakan dari -45 menuju -15 membutuhkan PWM yang sangat kecil yaitu sebesar 0,25 hal ini dikarenakan adanya gaya berat dari robot tersebut. Namun pada posisi sudut -30 menuju -15 terjadi kenaikan PWM karena gaya berat mulai berkurang seiring perubahan sudut. Setelah itu PWM langsung mengalami peningkatan sesuai posisi sudutnya.





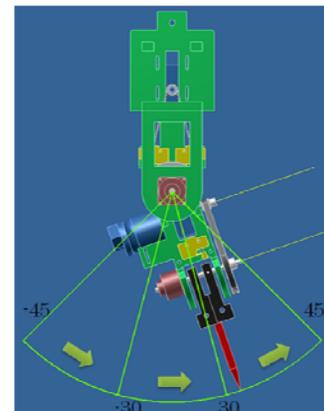
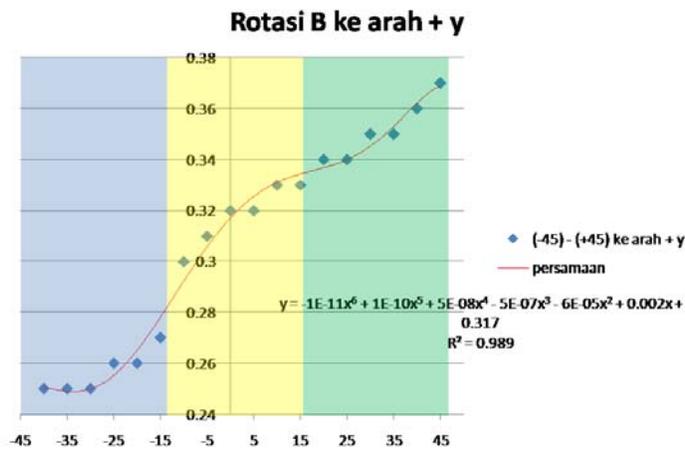
a. Grafik PWM – sudut rotasi
Gb.7. Pengujian pergerakan rotasi A sudut 0° – 90° dan 0° – (-90°) ke arah +X

b. Skema pengujian



a. Grafik PWM – sudut rotasi
Gb.8. Pengujian pergerakan rotasi A sudut 0° – 90° dan 0° – (-90°) ke arah -X

b. Skema pengujian



a. Grafik PWM – sudut rotasi
Gb. 9. Pengujian pergerakan rotasi B sudut (-45°) – (-15°), (-15°) – 15° dan 15° – 45°

b. Skema pengujian



4.4 Analisa PWM vs Derajat Putaran Rotasi A & B

Hasil pengujian PWM vs derajat putaran rotasi A dan B merupakan representasi karakteristik motor DC pada robot. Pada pergerakan rotasi di kedua motor tersebut variasi PWM tidak berbanding lurus terhadap sudut derajatnya, melainkan berbentuk kurva polynomial yang merupakan representasi karakteristik dari motor tersebut pada robot ini. Untuk karakteristik antara pergerakan rotasi motor A dan B pun tidak sama, dikarenakan beban berat dan posisi pusat putaran poros dari motor tersebut berbeda, sehingga grafik memperlihatkan variasi PWM motor A dari sudut $0^\circ - 90^\circ$ berkisar 0,25 – 0,29 sedangkan variasi PWM motor B dari sudut $0^\circ - 90^\circ$ berkisar 0,36 – 0,45. Variasi PWM tersebut mempunyai persamaan polinomial yang merupakan representasi dari karakteristik dengan nilai deviasinya di titik-titik tertentu.

Sehingga semakin tinggi posisi titik terhadap posisi 0, 0, 0 maka akan semakin besar juga nilai PWM yang harus dihasilkan. Hal ini bertujuan agar torsi motor tersebut yang dihasilkan semakin besar. Peningkatan PWM terhadap sudut derajatnya mengacu pada kurva polynomial yang ada pada gambar grafik-grafik diatas dengan deviasi tertentu.

Dalam pengendalian motor pada robot, aspek-aspek fisika seperti gaya berat robot, torsi dan momen inersia yang dihasilkan motor saat bergerak dimana momen inersia tersebut dipengaruhi oleh momentum angular, kecepatan angular, percepatan angular and posisi sangat erat kaitannya. Berdasarkan hal tersebut aspek dinamis dari robot tentunya harus diperhitungkan, agar pergerakan rotasi robot mampu bergerak dengan mulus, yaitu bergerak dengan percepatan dan perlambatan sesuai yang diinginkan. Semua hal tersebut mampu dilakukan dengan sistem kendali yang handal dalam pengendalian robot.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian di atas dapat disimpulkan beberapa hal di bawah ini.

1. Penelitian ini telah berhasil mendesain dan membuat prototype robot 2-axis rotasi yang digunakan untuk robot las dengan 5 derajat kebebasan.
2. Dari hasil pengujian, semakin besar pergerakan sudut *end effector* terhadap posisi 0, 0,0 robot maka torsi yang diperlukan untuk mencapai posisi titik tujuan pun semakin besar.
3. Peningkatan PWM terhadap sudut derajatnya mengacu pada kurva polynomial yang ada pada grafik dengan deviasi tertentu yang didapat dari hasil pengujian.
4. Variasi PWM motor A dari sudut $0^\circ - 90^\circ$ berkisar 0,25 – 0,29 sedangkan variasi PWM motor B dari sudut $0^\circ - 90^\circ$ berkisar 0,36 – 0,45. Hal ini

dikarenakan beban torsi untuk pergerakan putar pada rotasi B lebih besar dibanding rotasi A.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada program I-MHERE Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah mendanai penelitian ini.

Referensi

- [1] Carrino L., Natale U., Nele L., Sabatini M. L., Sorrentino, A neuro-fuzzy approach for increasing productivity in gas metal arc welding processes, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2007, Vol. 32, pp. 459-467.
- [2] Tunc L. T., Budak E., Extraction of 5-axis milling conditions from CAM data for process simulation, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009, Vol. 43, pp. 538-550.
- [3] Karunakaran K.P., Suryakumar S., Pushpa V., Akula S., Retrofitmen of a CNC machine for hybrid layered manufacturing, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009, Vol. 45, pp. 690-703.
- [4] DigiKey, Atmega16 Microcontroller Package, April 27, 2009. www.digikey.com



