

## Desain Kendali *Skill Painting Robot 2 DOF* via Jaringan Syaraf tiruan dan Proportional-Integral

Rafiuddin Syam, Hamada Abbas, Wahyu H. Piarah, dan Muh. Yamin,

Program Studi Teknik Mesin Jurusan Mesin, Universitas Hasanuddin,

Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10, Tamalanrea Makassar – 90245

Email: rafiuddin@internux.web.id

### Abstrak

Pada makalah ini penulis menguraikan eksperimen robot lengan untuk industri. Salah satu aplikasi robot lengan untuk industri yang sering dijumpai adalah welding, drilling, skill painting kasus dan lain-lain. Ketidaksamaan hasil operasi akibat kualitas operator yang berbeda menimbulkan tidak seragamnya produk yang dihasilkan serta tidak menjamin kontinuitas produk. Untuk itu penulis mendesain robot lengan atau manipulator robot untuk kelas skill painting. Pada penelitian ini penulis menentukan persamaan kinematika dari robot lengan 2 DOF dengan metode Jacobian. Metode Control dengan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan diaplikasikan secara offline pada sistem ini. Untuk penentuan parameter robot lengan, penulis menggunakan metode Denavit-Hartenberg, dengan jumlah 2 batang penghubung. Analisis kecepatan tiap link dapat diperoleh dengan metode ini. Dari hasil eksperimen dengan 2 DOF, robot lengan dapat melakukan pengecatan pada plat datar untuk berbagai macam huruf. Protipe robot lengan 2 DOF untuk industri adalah luaran dari penelitian ini.

Kata kunci: robot manipulator, Jaringan Syaraf Tiruan, Kinematika robot lengan, trajectory

### Pendahuluan

Tren sekarang ini mekanisme yang ada dianalogi dengan sistem biologi, mengintegrasikan suatu *musculo-skeletal* piranti dengan suatu sistem kejutan dan suatu piranti penyebaran. Disain mesin mengambil inspirasi dari biologi, seperti di analogi ini, kemudian itu dapat dikenal sebagai biomechatronics. Robotics, terutama, kini mengikuti arah ini, dengan suatu penekanan yang lebih kuat pada aplikasi biorobotics dan biomedical (Dario, 2005).

Evolusi dari paradigma modern biomechatronics dan robotics dapat dilihat di dua arah yang utama, kedudukan ketika dua ekstrimitas dari bidang masa depan sistem biomechatronics:

1. Meningkatkan capaian dan miniaturisasi dari platform perangkat keras.
2. Meningkatkan kecerdasan/inteligen dari sistem yang terintegrasi.

Mengenai arah yang pertama, tantangan arus adalah untuk kembangkan mesin yang canggih dengan suatu tingkat yang lebih tinggi dari miniaturisasi dan capaian, ketika mereka diilhami oleh serangga. Ke arah ekstrimitas yang lain, ada riset pada robot yang otonomi dan cerdas, seperti humanoid. Pada tingkatan intermediate, kita dapat mempertimbangkan pengembangan dari mesin dengan suatu derajat tingkat yang baik tentang kesempurnaan dan capaian dan dengan suatu derajat tingkat moderat dari kecerdasan/inteligen dan itu lebih cenderung akan pengawasan manusia dan kendali atau bahkan ke pengintegrasian dengan badan yang alami sebagai komponen bionik.

Sementara itu kemajuan tersebut tidak diimbangi dengan tingkat kemajuan penerapan dibidang industri, misalnya *skillfull motion robot*. Berbagai macam jenis robot manipulator dengan multifungsi dapat diperoleh di <http://www.robots.com>. Namun kebanyakan dari metode kendali yang digunakan adalah metode konvensional seperti metode *Proportional-Integration* (PI). Beberapa peneliti mencoba menerapkan metode *intelligent control system* ke sistem robotika seperti (syam, 2002), (syam, 2004), (David, 1995). Namun masih terbatas pada sistem sederhana misalnya *mobile robot*, *inverted pendulum* dsb.

---

Hasil penelitian ini dibiayai melalui proyek Nomor: 018/SP2H/PP/DP2M/III/2007 Tanggal: 29 Maret 2007  
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional

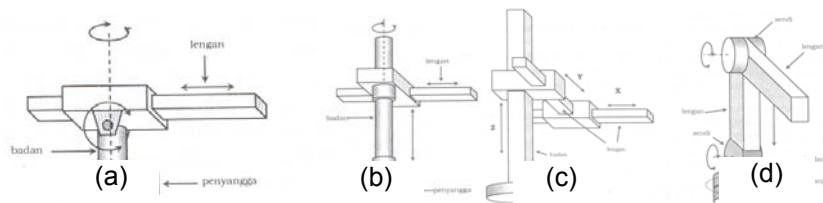
Applikasi yang lain dengan metode Jaringan syaraf tiruan tentang pengendalian nonholonomic mobile robot dapat diperoleh pada (Syam, 2004). Syam dkk, menjelaskan dalam journal tersebut mengenai inverse kendali dari jaringan syaraf tiruan dengan metode *feedforward*. Dimana diasumsikan bahwa persamaan *inverse dynamics* diketahui. Metode yang sama diperkenalkan oleh Widrow dan Lamago (2002) dimana controller dikonstruksikan oleh NN, metode ini sangat mirip dengan metode Internal Model Controller (IMC). Metode ini intinya terbagi atas dua bagian: satu adalah inverse sistem yang direalisasikan oleh NN untuk menjalankan metode *feedforward* dan yang kedua adalah sebagai mekanisme feedback untuk meredam error yang dihasilkan akibat gangguan internal dan eksternal. Jenis jaringan syaraf yang digunakan adalah *multi-layer* dengan fungsi aktivasi nonlinear.

Komponen utama dari robot industri terdiri dari empat bagian, yaitu:

1. Manipulator; bagian mekanik yang dapat difungsikan untuk memindah, mengangkat dan memanipulasi benda kerja.
2. Sensor; komponen berbasis instrumentasi (pengukuran) yang berfungsi sebagai pemberi informasi tentang berbagai keadaan atau kedudukan dari bagian-bagian manipulator.
3. Aktuator; komponen penggerak yang jika dilihat dari prinsip penghasil gerakannya dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu penggerak berbasis motor listrik (motor DC dan motor AC),
4. Kontroler; rangkaian elektronik berbasis mikroprosesor yang berfungsi sebagai pengatur seluruh komponen dalam membentuk fungsi kerja. (Endra, 2006)

## B. Konfigurasi Manipulator

Konfigurasi manipulator dapat dibagi dalam 4 kelompok yaitu:



Gambar 1. Konfigurasi Polar, Silinder, Cartesian dan Sendi lengan

Pada Gambar 1a terlihat konfigurasi polar dimana badan dapat berputar ke kiri atau kanan. Sendi pada badan dapat mengangkat atau menurunkan pangkal lengan secara polar. Lengan ujung dapat digerakkan maju-mundur secara translasi.

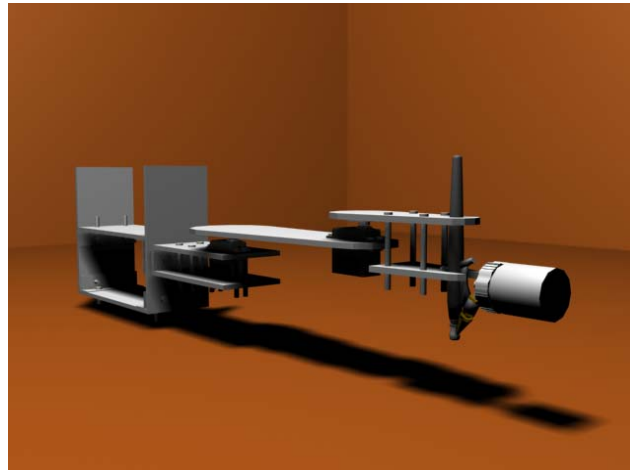
Konfigurasi silinder mempunyai kemampuan jangkauan berbentuk ruang silinder yang lebih baik, meskipun sudut ujung lengan terhadap garis penyangga tetap. Konfigurasi ini banyak diadopsi untuk sistem *gantry* atau *crane* karena strukturnya yang kokoh untuk tugas mengangkat beban seperti terlihat pada Gambar 1.

Pada Gambar 1 memperlihatkan manipulator berkonfigurasi cartesian dimana secara relatif adalah yang paling kokoh untuk tugas mengangkat beban yang berat. Struktur ini banyak dipakai secara permanen pada instalasi pabrik baik untuk mengangkat dan memindah barang-barang produksi maupun untuk mengangkat peralatan-peralatan berat pabrik ketika melakukan kegiatan instalasi.

Konfigurasi ini yang paling populer untuk melaksanakan fungsi layaknya pekerja pabrik seperti mengangkat barang, mengelas, memasang komponen mur dan baut, dan sebagainya. Struktur lengan-sendi cocok digunakan untuk menjangkau daerah kerja yang sempit dengan sudut jangkauan yang beragam.

## PERHITUNGAN DAN TRAJEKTORI ROBOT LENGAN

Untuk trajektori dapat dilihat pada gambar 3 dan 4, sedang untuk menghitung manipulator diuraikan sebagai berikut: menghitung kecepatan rotasi dan kecepatan linear dari *tool frame* relatif terhadap *base frame* dimana dihitung *tool frame*  ${}^5\omega_5$  dan  ${}^5v_5$  dimana sebelum kita menghitung maka kita tentukan dulu parameter-parameter yang akan digunakan berdasarkan gambar berikut:



Gambar 1. Model Robot Lengan

**A. Kinematika Manipulator**

Tabel 2. Parameter

$l$	$\alpha_i - 1$	$a_i - 1$	$d_i$	$\Theta_i$
1	0	0	0	$\Theta_1$
2	0	L1	0	$\Theta_2$

**Dengan menggunakan metode Denavit-Hartenberg (D-H)**

Prinsip dasar representasi D-H adalah melakukan transformasi koordinat antara dua link yang berdekatan. Hasilnya adalah suatu matriks (4x4) yang menyatakan sistem koordinat dari suatu link dengan link yang terhubung pada pangkalnya ( link sebelumnya). Dalam konfigurasi serial, koordinat (ujung) link-1 dihitung berdasarkan sendi -0 atau sendi pada sudut tubuh robot. Sistem koordinat link-2 dihitung berdasarkan posisi sendi link-1 yang berada diujung link-1 dengan mengasumsikan link-1 adalah basis gerakan link-2. demikian seterusnya, link-3 dihiutng berdasarkan link-2, sehingga link ke (n) dihitung berdasarkan link ke(n-1). Dengan cara ini maka tiap langkah perhitungan atau transformasi hanya melibatkan sistem 1DOF saja. Terakhir, posisi koordinat tangan atau posisi ujung robot ( end-effector) akan dapat diketahui.

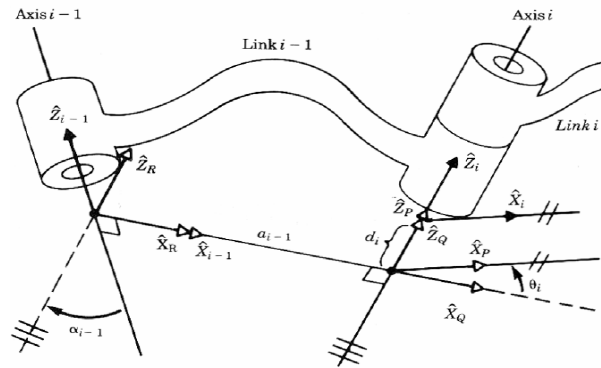
Pada gambar diatas mengilustrasikan tiga buah lengan yang terhubung secara serial. Konfigurasi hubungan dapat berupa sendi rotasi ataupun sendi translasi. Dalam hal ini, representasi D-H menggunakan 4 buah parameter, yaitu  $\theta, \alpha, d, a$  . untuk robot dengan n-DOF maka 4 parameter ini ditentukan hingga yang ke-n. penjelasannya,

$\theta_n$  adalah sudut putaran pada sumbu  $z_{n-1}$ ,  $\alpha_n$  adalah sudut putaran pada sumbu  $X_n$ ,  
 $d_n$  adalah translasi pada sumbu  $z_{n-1}$  dan  $a_n$  adalah translasi pada sumbu  $X_n$  .

Dari gambar dapat didefinisikan suatu matriks transformasi homogen yang mengandung unsur rotasi dan translasi, yaitu

$$A = R(z, \theta_n) Ttran ( 0,0,dn ) Ttran ( a ,0,0 ) R ( x, \alpha_n ) \tag{9}$$

$$A_n = \begin{bmatrix} \cos \theta_n & -\sin \theta_n & 0 & a_n \\ \sin \theta_n \cos \alpha_n & \cos \theta_n \cos \alpha_n & -\sin \alpha_n & -\sin \alpha_n d_n \\ \sin \theta_n \sin \alpha_n & \cos \theta_n \sin \alpha_n & \cos \alpha_n & \cos \alpha_n d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{10}$$



Gambar 3. Location of Intermediate frames {P}, {Q}, dan {R}.  
 Sumber: John Craig (1984)

Vektor dalam frame (i) adalah dinyatakan dalam frame (i-1) sebagai berikut :

Atau

$${}^{i-1}P = {}^{i-1}T_i P$$

Dimana

Jadi kita dapat menuliskan :

$${}^{i-1}T_i = R_x(\alpha_{i-1}) D_x(a_{i-1}) R_z(\theta_i) D_z(d_i)$$

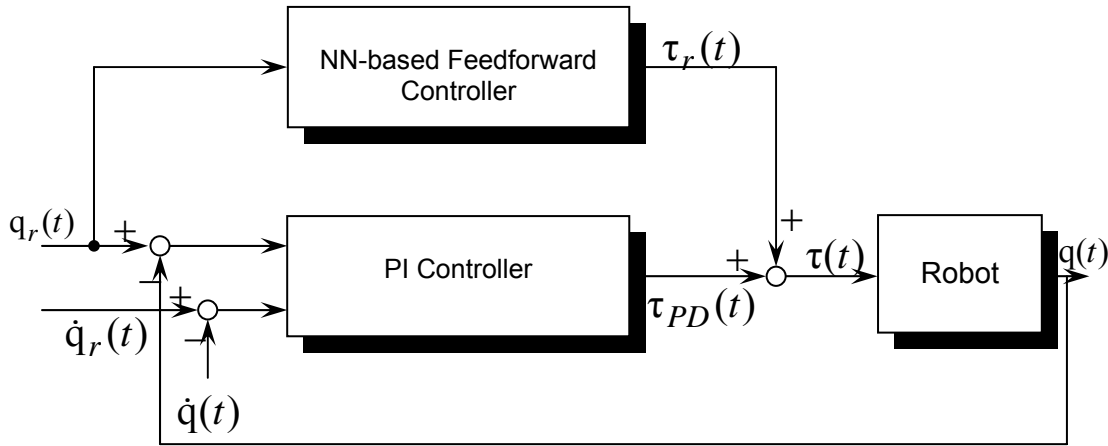
$${}^{i-1}T_i =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & \sin \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_{i-1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin \theta_i \cos \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \cos \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} d_i \\ \sin \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dari Tabel 2 kita dapat menghitung *homogeneous transform matriks* untuk setiap *link*.

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^1_2T = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & L_1 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Gambar 4. Diagram blok

## 2. Desain Controller dan Jaringan Syaraf Tiruan

Untuk bagian kedua adalah sistem kendali PI Controller dimana input percepatan dirangkaikan sbb,

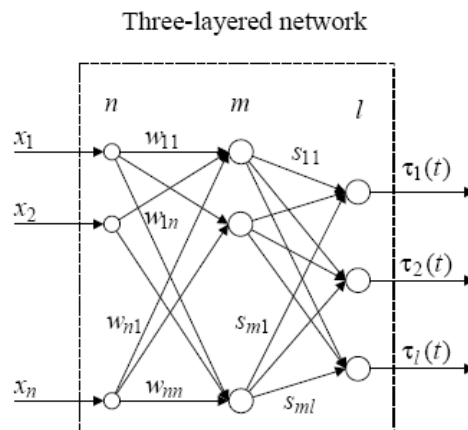
$$\ddot{q}_{PD} = K_p(t) + K_d\dot{e}(t) \tag{10}$$

Input ini kemudian ditransformasikan ke formula yang lebih sederhana untuk dikendali

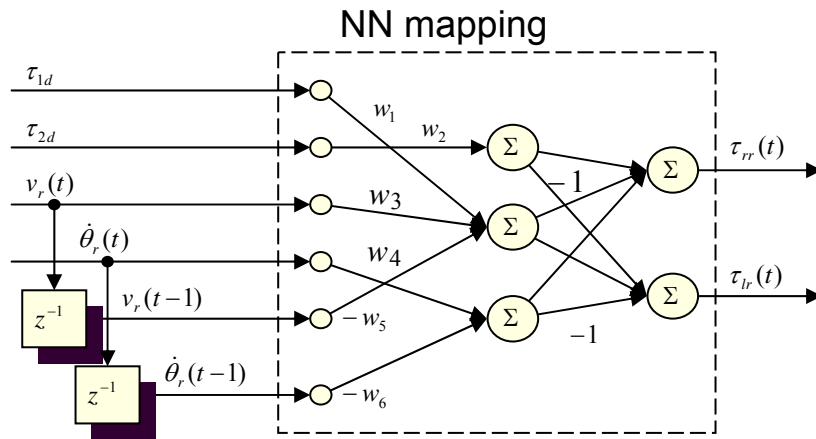
$$\ddot{v}_{PD}(t) = J^+(\theta_r(t))[\ddot{q}_{PD}(t) - \dot{J}(\theta(t))v_{PD}] \tag{11}$$

Pada gambar 2 memperlihatkan komposisi yang lain PD feedback compensator bersama-sama dengan NN-feedforward controller. Jaringan syaraf tiruan mengenai pengendalian nonholonomic mobile robot dapat diperoleh pada (Syam, 2004). Syam dkk, menjelaskan dalam journal tersebut mengenai inverse kendali dari NN dengan metode feedforward. Dimana diasumsikan bahwa persamaan inverse dynamics diketahui. Metode yang sama diperkenalkan oleh Widrow dan Lamengo (2002) dimana controller dikonstruksikan oleh NN, metode ini sangat mirip dengan metode Internal Model Controller (IMC).

Metode ini intinya terbagi atas dua bagian: satu adalah inverse sistem yang direalisasikan oleh NN untuk menjalankan metode feedforward dan yang kedua adalah sebagai mekanisme feedback untuk meredam error yang dihasilkan akibat gangguan internal dan eksternal. Jenis jaringan syaraf yang digunakan adalah *multi-layer* dengan fungsi aktifasi nonlinear.



Gambar 5. Multilayer Jaringan Syaraf Tiruan



Gambar 6. Mapping Jaringan Syaraf Tiruan

### Trajektori Manipulator

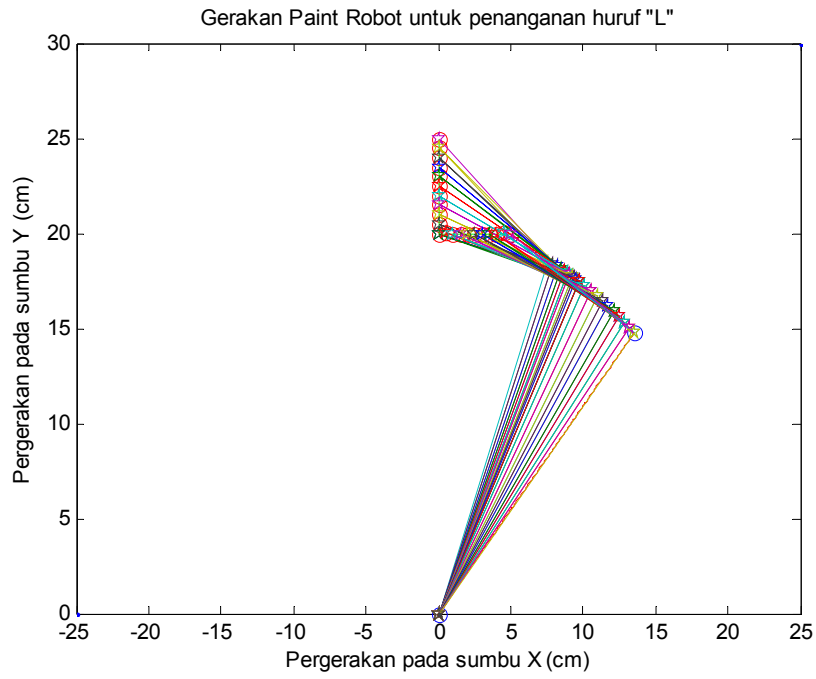
Trajektori adalah lintasan yang merupakan jalur beroperasinya suatu robot. Berikut adalah *script* untuk trajektori manipulator yang dikerjakan pada program matlab 6. Dan untuk hasilnya dapat kita lihat pada gambar berikut dimana hasil yang terbentuk berupa huruf A.

### Kesimpulan

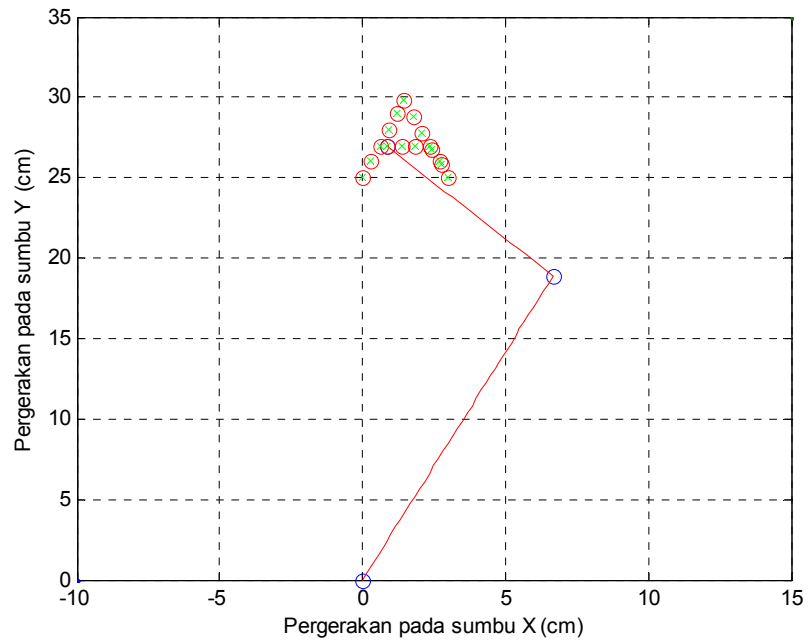
Telah menjelaskan pada uraian sebelumnya tentang skill robot lengan untuk *class painting* dengan dua derajat kebebasan (2 DOF), beserta spesifikasi teknis. Teknik kendali yang digunakan adalah jaringan syaraf tiruan dan invers kinematik. Adapun trajektori yang digunakan adalah berbentuk huruf A dan H. Dengan Simulasi robot pengecatan yang didesain adalah kecepatan 0.04 m/detik dengan jarak pengecatan 10 cm.

### DAFTAR PUSTAKA

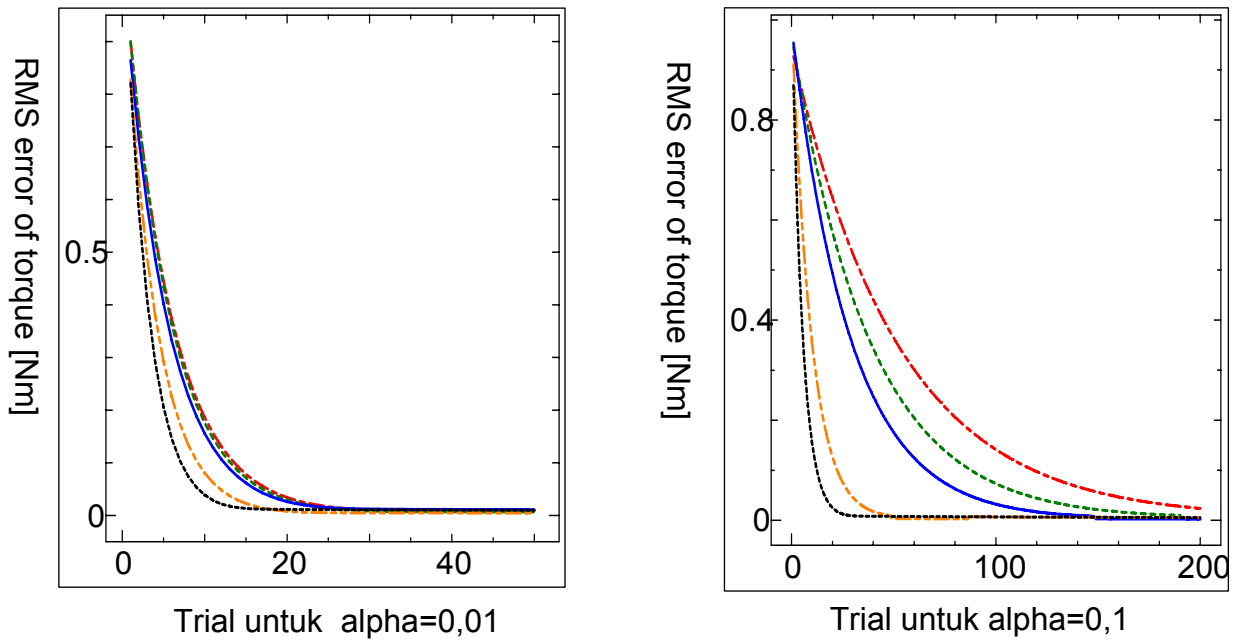
1. Craig, John. 1989. *Introduction to Robotics: Mechanism & Control*. Addison: Wesley
2. F.U, K.S., R.C. Gonzalez, C.S.G. Lee. 1987. *Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence*. United States of America: McGraw-Hill, Inc.
3. Groover, Mikell P., Mitchell Weiss, Roger N. Nagel, dan Nicholas G. Odrey. 1988. *Industrial Robotics: Technology, Programming, and Applications*. Virginia: Reston Publishing Company, Inc.
4. Hartanto, Thomas Wahyu Dwi dan Y. Wahyu Agung Prasetyo. 2004. *Analisis dan Desain Sistem Kontrol dengan Matlab*. Yogyakarta: Andi.
5. Kreyszig, Erwin. 1993. *Matematika Teknik Lanjutan Edisi ke-6*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
6. Pitowarno, Endra. *Disain*, 2006. *Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Andi.
7. Rony, Peter R., Karl E. Rony dan Paul A. Rony. 1985. *Introduction to Robot Programming in Basic*. Virginia: Reston Publishing Company, Inc.
8. Rosen, Jacob 2001. Model of Robot Manipulation. Department of Electrical Engineering University of Washington.



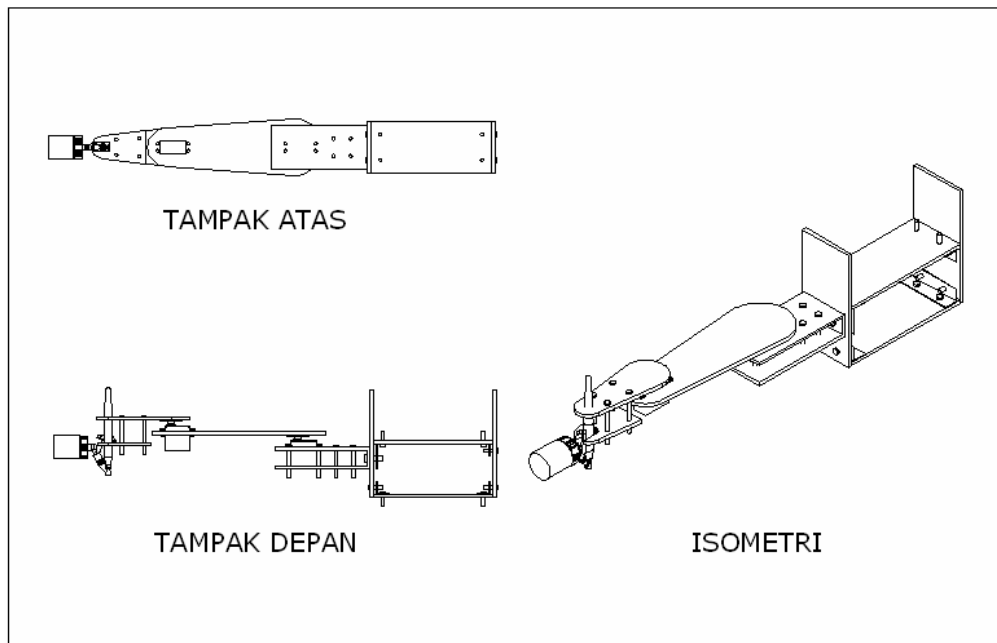
Gambar 7. Simulasi trajektori untuk huruf L dari painting robot



Gambar 8. Simulasi painting robot untuk huruf A



Gambar 9. Training offline Jaringan Syaraf Tiruan



Gambar 10. Model Painting Robot 2 DOF