

e-ISSN: 2598-8263 **p-ISSN**: 2089-4880

Kinematika *Dual-Arm Manipulator* Dasar dengan Metode Forward Kinematics dan Berbantuan Aplikasi Autodesk Inventor

Basic Dual-Arm Manipulator Kinematics Using Forward Kinematics Method and Aided by Autodesk Inventor Application

Asmara Yanto

Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

Received 31 October 2018; Revised 08 November 2018; Accepted 08 November 2018, Published 15 November 2018 http://dx.doi.10.21063/JTM.2018.V8.78-86

*Correspondence should be addressed to asmarayanto@itp.ac.id Copyright © 2018 A. Yanto. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Abstract

This research aims to simulate the kinematics of a basic dual-arm manipulator by using the forward kinematics method and aided by the Autodesk Inventor application. Dual-arm manipulator consists of 7 joints and 6 links. One base link, one shoulder link, two right arm links and two left arm links. Each link is designed with the following length: length of link base 310 mm, shoulder link length 580 mm, length of the first right arm link and left arm link 222 mm. The degree of freedom of the dual-arm manipulator is five rotations (5R) namely R1 for base link and shoulder link, R2 for the first left arm link. R4 for the first right arm link and R5 for the second right arm link. Parts and assembly of the dual-arm manipulator are designed with Autodesk Inventor. Dual-arm manipulator motion is simulated in two types of trajectory planning. From the simulation of both trajectory planning, the position of ended left arm and right arm for each step-in trajectory planning was obtained.

Keywords: dual-arm manipulator, degrees of freedom, simulation, trajectory planning, position of ended left arm, right arm.

1. Pendahuluan

Implementasi dual-arm manipulator lebih daripada single-arm manipulator efektif terutama ketika ada beberapa target jangkauan yang berbeda posisi [1]. Dual-arm manipulator mempunyai efektifitas dan efisien kerja untuk melaksanakan proses seperti perakitan yang kompleks secara otomatis [2-3]. Dual-arm secara manipulator dapat bersamaan mengendalikan gerak relatif dan saling berinteraksi seperti pada proses perakitan dengan cara yang dilakukan oleh pekerja profesional. Ini didukung oleh pemrograman dan algoritma kontrol yang kompak [4-5]. Di industri maju, sistem dual-arm manipulator memiliki kemampuan berinteraksi dalam semua fase proses perakitan. Secara umum, dual-arm

manipulator dapat dengan mudah diintegrasikan dengan pekerja manusia dalam proses perakitan di berbagi ruang kerja yang sama [6].

Selain pada proses perakitan, implementasi dual-arm manipulator juga dapat untuk melakukan pekerjaan seperti memanen sebagaimana yang telah dipaparkan oleh Yuansen mengembangkan Yuanshen [7]. sistem dual-arm manipulator yang bekerja berdasarkan kolaborasi antara manusia dan robot dengan kompleksitas lingkungan kerja. Sistem pendeteksi lokasi tomat oleh operator digunakan untuk pemindai objek tomat dengan antarmuka grafis yang digunakan untuk mendeteksi lokasi tomat. Sebuah dual-arm end-efektor manipulator dengan yang

digunakan untuk memilih tomat telah berhasil dirancang dan diuji. Kerjasama dari dua buah *end-efektor* dapat meningkatkan efisiensi panen secara signifikan.

Dual-arm manipulator adalah jenis robot berlengan yang dapat beradaptasi dengan tugas yang berbeda dengan cara mengubah endefektornya. Modul-modul kontrol yang berbeda dapat digunakan walaupun hanya dengan menggunakan konektor standar. Dual-arm manipulator sangat efektif digunakan pada pekerjaan perakitan yang cepat dan fleksibel [8-10]. Untuk memahami bagaimana sebuah dualarm manipulator bekerja, perlu terlebih dahulu dilakukan simulasi pergerakan (kinematik) dari dual-arm manipulator. Pada makalah ini sebuah simulasi gerak dual-arm dilakukan manipulator dasar yang terdiri atas 7 joint dan 6 link. Derajat kebebasan dual-arm manipulator adalah lima rotasi (5R). Bagian-bagian (parts) dan assembly dari dual-arm manipulator dirancang dengan berbantuan Autodesk Inventor. Di sini, gerak dual-arm manipulator disimulasikan dalam dua macam trajectory planning.

2. Metode

Dual-arm manipulator dirancang terdiri atas 7 joint dan 6 link. Satu base link, satu shoulder link, dua right arm link dan dua left arm link. Masing-masing link dirancang dengan panjang sebagai berikut: panjang base link 310 mm, panjang shoulder link 580 mm, panjang right arm link dan left arm link yang pertama 280 mm, panjang right arm link dan left arm link yang kedua 222 mm.

Derajat kebebasan *dual-arm manipulator* adalah lima rotasi (5R) yaitu R_1 untuk *base link* dan *shoulder link*, R_2 untuk *left arm link* petama, R_3 untuk *left arm link* kedua, R_4 untuk *right arm link* pertama dan R_5 untuk *right arm link* kedua sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 1. Bagian-bagian (*part*) dan *assembly* dari *dual-arm manipulator* dirancang dengan Autodesk Inventor.

Nama joint dan gerakan joint pada dual-arm manipulator yang dirancang dapat dilihat pada Tabel 1. Joint R_1 dengan gerakan Base roll, joint R_2 dengan Right shoulder roll, joint R_3 dengan gerakan Right elbow pitch, joint R_4 dengan gerakan Left shoulder roll, joint R_5 dengan gerakan Left elbow pitch, joint A dengan gerakan End point of right arm dan joint B dengan gerakan End point of left arm.

Panjang *base link* sebesar 310 mm dinotasikan dengan L_0 . Panjang *shoulder link* dibagi atas dua bagian yaitu panjang *left*

shoulder link dan panjang right shoulder link. Panjang left shoulder link sebesar 290 mm dinotasikan dengan L_1 dan panjang left shoulder link sebesar 290 mm dinotasikan dengan L_4 . Panjang left arm link pertama sebesar 280 mm dinotasikan dengan L_2 dan panjang left arm link yang kedua sebesar 222 mm dinotasikan dengan L_3 Begitu pula halnya degnan panjang right arm link. Dimana panjang right arm link pertama sebesar 280 mm dinotasikan dengan L_5 dan panjang right arm link yang kedua sebesar 222 mm dinotasikan dengan L_6 sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 2 dan Tabel 2.



Gambar 1. Rancangan dual-arm manipulator.

Tabel 1. Joint	dual-arm manipulator
Nama Joint	Gerakan Joint
R_1	Base roll
\mathbf{R}_2	Right shoulder roll
R ₃	Right elbow pitch
R 4	Left shoulder roll
R5	Left elbow pitch
А	End point of right arm
В	End point of left arm



Gambar 2. Rancangan dual-arm manipulator.

Tabel 2. Panjang link page	da <i>dual-arm manipulato</i>
Panjang Link	Value (mm)
Lo	310
L_1	290
L_2	280
L ₃	222
L_4	290
L_5	280
L ₆	222

Gerak dual-arm manipulator disimulasikan dalam dua macam trajectory planning. Trajectory planning pertama yaitu dari posisi awal dengan $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 0^{\circ}$ ke posisi memegang benda dengan gerak rotasi R₂ $= +120^{\circ}, R_4 = -120^{\circ}, R_3 = +57^{\circ}, R_5 = -57^{\circ}, lalu$ memindahkan benda dengan gerak rotasi $R_2 = 45^{\circ}$ dan $R_4 = +45^{\circ}$, $R_1 = +180^{\circ}$, $R_2 = +45^{\circ}$ dan $R_4 = -45^\circ$, kemudian melepaskan benda dan kembali ke posisi awal dengan gerak rotasi $R_3 =$ -57° , $R_5 = +57^{\circ}$, $R_2 = -120^{\circ}$, $R_4 = +120^{\circ}$, $R_1 = -120^{\circ}$, $R_2 = -120^{\circ}$, $R_3 = -120^{\circ}$, $R_4 = -120^{\circ}$, $R_5 = -120^{\circ}$, 180°. Trajectory planning kedua yaitu dari posisi awal dengan $R_1 = R_3 = R_5 = 0^\circ$, $R_2 = +55^\circ$ dan $R_4 = -55^\circ$, ke posisi memegang benda dengan gerak rotasi $R_2 = +70^\circ$, $R_4 = -70^\circ$, $R_3 =$ $+57^{\circ}$, $R_5 = -57^{\circ}$, lalu memindahkan benda dengan gerak rotasi $R_2 = -45^\circ$ dan $R_4 = +45^\circ$, R_1 $= -90^{\circ}$, $R_2 = +45^{\circ}$ dan $R_4 = -45^{\circ}$, kemudian melepaskan benda dan kembali ke posisi awal dengan gerak rotasi $R_3 = -57^\circ$, $R_5 = +57^\circ$, $R_2 = -$ 70°, $R_4 = +70°$, $R_1 = +90°$.

Untuk menentukan pergerakan setiap link berdasarkan trajectory planning, maka perlu disusun parameter DH dari dual-arm manipulator. Karena dual-arm manipulator terdiri atas dua lengan yaitu left arm dan right arm, maka penyusunan parameter DH untuk left arm dan right arm menggunakan konfigurasi sumbu yang terpisah. Parameter DH untuk left arm dengan konfigurasi sumbu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 dengan parameter DH seperti pada Tabel 3. Sedangkan parameter DH untuk right arm dengan konfigurasi sumbu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dengan parameter DH seperti pada Tabel 3. Parameter DH disusun berdasarkan harga-harga parameter θ , α , a, dan d untuk setiap sumbu lokal yang digambarkan. Meskipun demikian, sistem dual-arm manipulator yang dirancang akan mempunyai parameter DH yang identik untuk left arm dan right arm (Lihat Tabel 3 dan Tabel 3).



Gambar 3. Diagram kinematik *dual-arm manipulator* untuk *left arm*



Gambar 3. Diagram kinematik *dual-arm manipulator* untuk *right arm*

abel 3. Paramet	ter DH untuk <i>left arm</i>		
	an	an	dn
$\Theta_1 = R_1$	$\alpha_1=0^{\circ}$	0	0
$\Theta_2 = 90^{\circ}$	$\alpha_2 = 0^{\circ}$	L_1	L ₀
$\Theta_3 = -90^{\circ}$	α ₃ = -90°	0	0
$\Theta_4 = -90^{\circ} + R_2$	α4 = -90°	L_2	0
$\Theta_5 = R_3$	$a_5 = 0$	La	0

$$A_{1} = \begin{bmatrix} Cos(R_{1}) & -Sin(R_{1}) & 0 & 0\\ Sin(R_{1}) & Cos(R_{1}) & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \dots (1)$$

$$A_{2} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & L_{1} \\ 1 & 0 & 0 & L_{1} \\ 0 & 0 & 1 & L_{0} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \dots (2)$$

$$A_{3} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \dots (3)$$

$$A_{4} = \begin{bmatrix} Cos(-90 + R_{2}) & 0 & 0 & L_{2} \\ Sin(-90 + R_{2}) & 0 & 0 & L_{2}Sin(-90 + R_{2}) \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \dots (4)$$

$$A_{5} = \begin{bmatrix} Cos(R_{3}) & -Sin(R_{3}) & 0 & L_{3} \\ Sin(R_{3}) & Cos(R_{3}) & 0 & L_{3}Sin(R_{3}) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \dots (5)$$

Kinematika Maju (Forward Kinematics)

Analisis gerak *link* atau posisi *joint* pada lengan robot mengacu kepada parameter D-H setiap lengan. Dalam hal ini, matrik transformasi homogen (A_n) yang merupakan matriks konfigurasi sendi untuk setiap harga θ_n harus ditentukan terlebih dahulu. Untuk *left arm*, matriks A_n untuk setiap harga θ_n pada Tabel 3 dapat ditentukan dengan Persamaan (1) hingga Persamaan (5).

Matrik kinemtaika maju dari *left arm* dapat ditentukan dengan Persamaan (6) samapai dengan Persmaan (10).

$${}^{0}_{1}T = A_{1} \qquad \dots (6)$$

$${}_{2}^{0}T = A_{1}A_{2} \qquad \dots (7)$$

$${}^{0}_{3}T = A_1 A_2 A_3 \qquad \dots (8)$$

$${}^{0}_{4}T = A_1 A_2 A_3 A_4 \qquad \dots (9)$$

$${}_{5}^{0}T = A_{1}A_{2}A_{3}A_{4}A_{5} \qquad \dots (10)$$

Untuk *right arm*, matriks A_n dengan harga θ_n yang terdapat pada Tabel 4. Sedangkan matrik kinemtaika maju dari *right arm* juga dapat ditentukan dengan Persamaan (6) samapai dengan Persmaan (10), akan tetapi dengan harga matriks A_n yang telah ditentukan dengan harga θ_n yang terdapat pada Tabel 4.

Trajectory Planning

Trajectory planning pertama yaitu dari posisi awal dengan $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 0^{\circ}$ ke posisi memegang benda dengan gerak rotasi $R_2 = +120^{\circ}$, $R_4 = -120^{\circ}$, $R_3 = +57^{\circ}$, $R_5 = -57^{\circ}$, lalu memindahkan benda dengan gerak rotasi $R_2 = -45^{\circ}$ dan $R_4 = +45^{\circ}$, $R_1 = +180^{\circ}$, $R_2 = +45^{\circ}$ dan $R_4 = -45^{\circ}$, kemudian melepaskan benda dan kembali ke posisi awal dengan gerak rotasi $R_3 =$ -57° , $R_5 = +57^{\circ}$, $R_2 = -120^{\circ}$, $R_4 = +120^{\circ}$, $R_1 = -180^{\circ}$ (Gambar 5). *Trajectory planning* kedua yaitu dari posisi awal dengan $R_1 = R_3 = R_5 = 0^\circ$, $R_2 = +55^\circ$ dan $R_4 = -55^\circ$, ke posisi memegang benda dengan gerak rotasi $R_2 = +70^\circ$, $R_4 = -70^\circ$, $R_3 = +57^\circ$, R_5 $= -57^\circ$, lalu memindahkan benda dengan gerak rotasi $R_2 = -45^\circ$ dan $R_4 = +45^\circ$, $R_1 = -90^\circ$, $R_2 =$ +45° dan $R_4 = -45^\circ$, kemudian melepaskan benda dan kembali ke posisi awal dengan gerak rotasi $R_3 = -57^\circ$, $R_5 = +57^\circ$, $R_2 = -70^\circ$, $R_4 = +70^\circ$, $R_1 = +90^\circ$ (Gambar 6).



Gambar 5. Simulasi gerak dengan trajecroty planning pertama



Gambar 6. Simulasi gerak dengan trajecroty planning kedua

3. Hasil dan Pembahasan

Trajectory Planning Pertama

Posisi awal *dual arm manipulator* adalah dengan $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 0^\circ$ (Gambar 7). Pada posisi ini, *end point of left arm* (A) berada pada koordinat (0,00 ; 290,00 ; 812,00) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (0,00 ; -290,00 ; 812,00).



Gambar 7. Posisi awal Trajectory Planning Pertama

Berikutnya posisi kedua lengan turun dengan $R_2 = +120^\circ$ dan $R_4 = -120^\circ$ (Gambar 8). Di kondisi ini, posisi *end point of left arm* (A) pada koordinat (434,74 ; 290,00 ; 59,00) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (434,74 ; -290,00 ; 59,00).



Gambar 8. Gerak #1 Trajectory Planning Pertama

Kemudian, posisi kedua lengan memegang dengan $R_3 = +57^\circ$ dan $R_5 = -57^\circ$ (Gambar 9). Pada posisi ini, *end point of left arm* (A) pada koordinat (347,20 ; 103,82 ; 109,55) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (347,20 ; -103,82 ; 109,55).



Gambar 9. Gerak #2 Trajectory Planning Pertama

Selanjutnya adalah posisi mengangkat dengan $R_2 = -45^{\circ}$ dan $R_4 = +45^{\circ}$ (Gambar 10). Di kondisi ini, posisi *end point of left arm* (A) pada koordinat (387,25 ; 103,82 ; 413,76) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (387,25 ; -103,82 ; 413,76).



Gambar 10. Gerak #3 Trajectory Planning Pertama

Lalu posisi memindahkan dengan $R_1 = +180^{\circ}$ (Gambar 11). Pada posisi ini, *end point of left arm* (A) pada koordinat (387,25 ; -103,82 ; 413,76) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (-387,25 ; 103,82 ; 413,76).



Gambar 11. Gerak #4 Trajectory Planning Pertama

Berikutnya adalah posisi meletakkan dengan $R_2 = +45^\circ$ dan $R_4 = -45^\circ$ (Gambar 12). Di kondisi ini, posisi *end point of left arm* (A) pada koordinat (347,20; -103,82 ; 109,55) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (-347,20; 103,82 ; 109,55).



Gambar 12. Gerak #5 Trajectory Planning Pertama

Kemudian posisi melepaskan dengan $R_3 = -57^{\circ}$ dan $R_5 = +57^{\circ}$ (Gambar 13). Pada posisi ini, end point of left arm (A) pada koordinat (434,74; -290,00; 59,00) dan posisi end point of right arm (B) pada koordinat (-434,74; 290,00; 59,00).



Gambar 13. Gerak #6 Trajectory Planning Pertama

Selanjutnya adalah posisi kedua lengan naik dengan $R_2 = -120^\circ$ dan $R_4 = +120^\circ$, Posisi *end point of left arm* (A) pada koordinat (0,00 ; -290,00 ; 812,00) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (0,00 ; 290,00 ; 812,00). Gerak terakhir pada *trajectory planning* pertama kembali ke posisi awal dengan sudut $R_1 = -180^\circ$.

Trajectory Planning Kedua

Posisi awal *dual arm manipulator* adalah dengan $R_1 = R_3 = R_5 = 0^\circ$, $R_2 = +55^\circ$ dan $R_4 = -55^\circ$ (Gambar 14). Pada posisi ini, *end point of left arm* (A) berada pada koordinat (411,21 ; 290,00 ; 597,94) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (411,21 ; 290,00 ; 597,94).



Gambar 14. Posisi awal Trajectory Planning Kedua

Berikutnya posisi kedua lengan turun dengan $R_2 = +70^\circ$ dan $R_4 = -70^\circ$ (Gambar 15). Di kondisi ini, posisi *end point of left arm* (A) pada koordinat (411,21 ; 290,00 ; 22,06) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (411,21 ; -290,00 ; 22,06).



Gambar 15. Gerak #1 Trajectory Planning Kedua

Kemudian, posisi kedua lengan memegang dengan $R_3 = +57^\circ$ dan $R_5 = -57^\circ$ (Gambar 16). Pada posisi ini, *end point of left arm* (A) pada koordinat (328,41; 103,82; 80,05) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (328,41; -103,82; 80,05).



Gambar 16. Gerak #2 Trajectory Planning Kedua

Selanjutnya adalah posisi mengangkat dengan $R_2 = -45^\circ$ dan $R_4 = +45^\circ$ (Gambar 17). Di kondisi ini, posisi *end point of left arm* (A) pada koordinat (394,82; 103,82; 379,62) dan

posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (394,82; -103,82; 379,62).



Gambar 17. Gerak #3 Trajectory Planning Kedua

Lalu posisi memindahkan dengan $R_1 = -90^{\circ}$ (Gambar 18). Pada posisi ini, *end point of left arm* (A) pada koordinat (103,82 ; -394,82 ; 379,62) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (-103,82 ; -394,82 ; 379,62).



Gambar 18. Gerak #4 Trajectory Planning Kedua

Berikutnya adalah posisi meletakkan dengan $R_2 = +45^\circ$ dan $R_4 = -45^\circ$ (Gambar 19). Di kondisi ini, posisi *end point of left arm* (A) pada koordinat (103,82; -328,41; 80,05) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (-103,82; -328,41; 80,05).



Gambar 19. Gerak #5 Trajectory Planning Kedua

Kemudian posisi melepaskan dengan $R_3 = -57^{\circ}$ dan $R_5 = +57^{\circ}$ (Gambar 20). Pada posisi ini, end point of left arm (A) pada koordinat (290,00; -411,21; 22,06) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (-290,00; -411,21; 22,06).



Gambar 20. Gerak #6 Trajectory Planning Kedua



Gambar 21. Gerak #7 Trajectory Planning Kedua

Selanjutnya adalah posisi kedua lengan naik kedua lengan naik dengan $R_2 = -70^\circ$, $R_4 = +70^\circ$ (Gambar 21). Pada kondisi ini, posisi *end point of left arm* (A) pada koordinat (290,00 ; -411,21 ; 597,94) dan posisi *end point of right arm* (B) pada koordinat (-290,00 ; -411,21 ; 597,94). Terakhir kembali ke posisi awal dengan $R_1 = +90^\circ$.

4. Simpulan

Pada makalah ini telah disumulasikan pergerakan sebuah dual-arm manipulator dasar. Simulasi dilakukan untuk pergerakan dalam dua macam trajectory planning. Perbedaan antara kedua trajectory planning ini untuk menguji metode forward kinematics ynag digunakan untuk menentukan posisi end-effector dari dualarm manipulator. Simulasi yang dilakukan telah mampu untuk memvisualisasikan gerak dual-arm manipulator dan mampu menentukan posisi koordinat kedua end-effector pada kedua lengan.

Referensi

- [1] J. Kruger, G. Schreck and D. Surdilovic, Dual arm robot for flexible and cooperative assembly. http: / /ees.elsevier.com/cirp/default.asp
- [2] B. Zhang, B. Liang, X. Wang, G. Li, Z. Chen and X. Zhu, Manipulability Measure of Dual-arm Space Robot and Its Application to Design an Optimal Configuration, *Acta Astronautica*, 07, 040, 2016.
- [3] S. Lingling, K. Sharmila and K. Jay. Robust coordinated control of a dual-arm space robot. www.elsevier.com/locate/actaastro
- [4] G. Purnawan, 2013 Kontrol Robot Arm dengan Arduino, Retrieved 2017, from inkubator-teknologi.com
- [5] L. Robert, *Baxter Humanoid Robot Kinematics*, Mechanical Engineering Ohio University, Ohio, April 2017
- [6] J. Rosen, (1989). Model of Robot XE "Robot" Manipulation : Introduction & Basic Ideas – Speed Description & Transformation. Washinton: Department of Electrical Engineering - University of Washinton.
- [7] Z. Yuanshen, G. Liang, L. Chengliang and H. Yixiang. Dual-arm Robot Design and Testing for Harvesting Tomato in Greenhouse. www.sciencedirect.com
- [8] S. Syam, *Kinematika dan Dinamika Robot Lengan*, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar, 2015.
- [9] S. Cremer, L. Mastromoro, and D.O. Popa, 2016, "On the Performance of the Baxter Research Robot", IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM),
- [10] Suwarno, Analisis Kinematika Manipulator Pada Robot Penjinak Bom [tesis]. Makassar: Universitas Hasanuddin; 2008.