

Inverse Kinematic In Motoman Industrial Robot

* A. Rianto Suryaningrat , ** V. Julia SNA
*** Harjanto.G

* Team Engineer, MEPPO, Puspitek, BPPT Serpong Tangerang

** Electrical Engineer, Teknik Elektro UGM,
Jl. Grafika 2 Kampus UGM Yogyakarta

*** Senior Engineer, Teknik Mesin UGM, Jl. Grafika 2 Kampus UGM Yogyakarta
Seminar SNTTM7 UNSRAT Manado

* ryanmesin@yahoo.com

** harjanto2005@yahoo.com

*** Suryaningrat2000@yahoo.com

Abstract

Industrial robots are very muchly used in manufacturing industries especially in automobile assembling and electronic industries. Its robots is the vertically and horizontally articulation robots, which are produced by Kawasaki, Panasonic, Fanuc, Yaskawa Motoman, Kuka, Hyundai, Genio etc. These robots have vertically rotating arms.

This paper will discuss about the Motoman robots, which is used in automobile assembling PT Toyota Astra Motor – Karawang Plant – KIIC, PT Toshiba, Lemahbang Cikarang, PT Indomobile, Imora motor etc. These Motoman robot is used for spot welding, pressng machine, material handling, that are very well coordinated with the other robot partner. The robot program is very complicated, because of the harmonic operation with his partner and can choose one of the two spot welding or other equipment for operation, that depend on the type of operation. Moreover, the precision and accuracy is very importance and really needed. The kinematics of the arm's movement is used to solved the operation problems. To solved the base coordinate from the end effector coordinate can normally use the Denavit-Hartenberg's formula. The moving from a point to another point can be solved by the best solution is inverse kinematics. The methode to solve the problem, comonly use the Euler Angles's formula or Paul-Peiper's formula etc.

In these case we use Euler Angle's formula to solved the Motoman robot. The difficulties to solve the problem is first angle position, because of the many probibility position of the arm.

Keywords : Asembling robot, Kinematics, Euler's Angles

PT Toyota Astra Motor, PT Indo Mobil, PT Sumimagne Utama adalah ketiga contoh industri manufaktur yang menggunakan robot industri dengan lengan robot artikulasi. Masih ada industri lainnya yang menggnakan jasa robot industri tersebut. Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dan Mekatronika Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma adalah kedua contoh perguruan tinggi di mana mahasiswanya mendapat praktek robot industri dengan Robot Mitsubishi RV-M1 .

Robot Kawasaki dan Motoman merupakan robot dengan kapasitas payload cukup besar yaitu sampai 300 kg bahkan lebih, dengan *verticalreach* dan *horizontalreach* cukup panjang. Robot Kawasaki dan Motoman merupakan robot *multi purpose*, artinya dapat digunakan untuk : *palletizing, tending, dispensing, welding, material handling* dll. Salah satu contoh yaitu: EH 120 dan Motoman Robot Yaskawa Motoman akan dipakai sebagai contoh dalam perhitungan kinematika. Di mana ;

JT 1 adalah joint satu dengan gerak putar horisontal

JT 2 adalah joint dua dengan arah gerak putar vertikal

JT 3 adalah joint tiga dengan gerak putar vertikal

JT 4 adalah joint empat dengan gerak putar terhadap sumbu lengan.

L1, L2 panjang lengan 1, 2

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ adalah sudut lengan pada joint 1, 2, 3, 4



Gambar 1 : Robot Kawasaki EH 120, payload =120 kg



Gambar 2 : Robot Yaskawa Motoman

Gerak putar dari setiap joint dibatasi sesuai dengan working envelope dari robot tersebut. Setiap joint mempunyai satu gerakan, sehingga setiap joint mempunyai satu derajat kebebasan (degree of freedom). Robot Yaskawa Motoman termasuk robot yang mempunyai 6 derajat kebebasan dengan tambahan satu derajat kebebasan lagi sebagai gerak optional.

Dalam persoalan kinematika setiap joint mempunyai koordinat sendiri-sendiri, untuk kawasaki menggunakan sistem koordinat Cartesian. Mulai dari *Base coordinate*, *joint coordinate* sampai *end effector coordinate*.

World coordinate	: koordinat lantai	$(X_{\#}, Y_{\#}, Z_{\#})$
Base coordinate	: koordinat dasar	(X_0, Y_0, Z_0)
Waist coordinate	: koordinat JT 1	(X_1, Y_1, Z_1)
Shoulder coordinate	: koordinate bahu (JT2)	(X_2, Y_2, Z_2)
Elbow coordinate	: koordinat lengan(JT3)	(X_3, Y_3, Z_3)
Wrist coordinate(roll)	: koordinat tangan(JT4)	(X_4, Y_4, Z_4)
Wrist coordinate(yaw)	: koorbinat tangan(JT5)	(X_5, Y_5, Z_5)
End effector coord	: koordinat ujung (JT6)	(X_6, Y_6, Z_6)

Untuk memperoleh transformasi matrik dari *Base Coordinate* hingga *End Effector Coordinate* , salah satu cara yang mudah dengan Denavit Hartenberg. Di mana :

A_1 = transformasi matrik dari base ke JT1

A_2 = transformasi matrik dari Jt1 ke JT2 dan seterusnya sampai:

A_6 = transformasi matrik dari JT5 ke JT6

$$A_1 = \begin{pmatrix} c1 & 0 & -s1 & 0 \\ s1 & 0 & c1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_2 = \begin{pmatrix} c2 & -s2 & 0 & a2c2 \\ s2 & c2 & 0 & a2s2 \\ 0 & 0 & 1 & d2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} c3 & 0 & s3 & a3c3 \\ s3 & 0 & -c3 & a3s3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_4 = \begin{pmatrix} c4 & 0 & -s4 & 0 \\ s4 & 0 & c4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_5 = \begin{pmatrix} c5 & 0 & s5 & 0 \\ s5 & 0 & -c5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_6 = \begin{pmatrix} c6 & -s6 & 0 & 0 \\ s6 & c6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_1 = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3$$

$$T_2 = A_4 \cdot A_5 \cdot a_6$$

$$T = T_1 \cdot T_2 \quad - \quad \text{transformasi matrik total.}$$

*Denavit-Hartenberg (D-H)

Di mana :
 $C_{1,2,3,4,5,6}$ = cosinus $\square_{1,2,3,4,5,6}$
 $S_{1,2,3,4,5,6}$ = sinus $\square_{1,2,3,4,5,6}$
 a_2, a_3 = panjang lengan
 d_2, d_4, d_6 = offset lengan

Denavit Hartenberg menyelesaikan persoalan merubah koordinat *end effector* ke koordinat dasar (base) dari suatu titik. Tetapi bila suatu titik pada end effector ditentukan sebagai tujuan dari robot tersebut, maka harus diselesaikan posisi dari setiap lengan yang ada yaitu dengan menghitung sudut lengan yang sesuai, ini dalam Teknik Mesin disebut *inverse kinematics*.

Penyelesaian *inverse kinematics* dengan beberapa metoda: mulai dengan Euler Angles, metoda Paul(1981), Milenkovic & Huang(1983), Lee & Ziegler(1984) dan mungkin juga dengan metoda yang lebih baru. Persoalan *inverse kinematics* tidak hanya menyelesaikan perhitungan saja, tetapi juga kemungkinan pola gerak lain (alternative). Misalnya robot dua lengan, untuk menuju satu titik dapat dilakukan dengan empat pola gerakan, yang menghasilkan dua posisi lengan robot (gerak kiri, gerak kanan).

Bentuk transformasi matrik secara umum :

$$T = \begin{pmatrix} N_x & S_x & A_x & P_x \\ N_y & S_y & A_y & P_y \\ N_z & S_z & A_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Di mana bilangan pada kotak ditengah, merupakan perubahan sudut rotasi. Bila hanya diselesaikan untuk tiga joint saja, maka matrik rotasi sebagai berikut :

$$T_1 = \begin{pmatrix} N_x & S_x & A_x \\ N_y & S_y & A_y \\ N_z & S_z & A_z \end{pmatrix} = R_{z\phi} \cdot R_{u\theta} \cdot R_{w\psi}$$

$R_{z\phi}, R_{u\theta}, R_{w\psi}$ matrik rotasi

Inverse kinematic menyelesaikan transformasi matrik, di mana dicari berapa sudut yang diperlukan bila suatu titik tujuan dari lengan robot telah ditentukan.

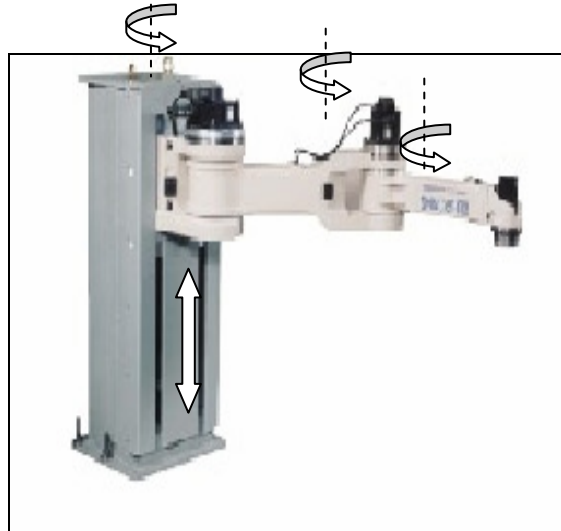
Sudut tersebut dapat dicari dengan :

$$\theta = \cos^{-1}(A_z)$$

$$\psi = \cos^{-1}(S_z / S\theta)$$

$$\phi = \cos^{-1}(-A_y / S\theta)$$

Untuk suatu gerakan robot dengan artikulasi vertikal, maka dapat ditentukan bahwa sudut θ adalah sudut yang selalu mengarah pada titik yang dituju. Tetapi untuk robot dengan artikulasi horisontal, seperti robot Sacra dari Toshiba maka sudut θ biasanya diperoleh lebih dari satu sudut, misalnya θ_1, θ_2



Gambar 3 : Robot artikulasi horisontal(SCARA): Toshiba SR-1504HZ

Dengan demikian maka sudut yang lain juga mempunyai sudut lebih dari satu, misal sudut ψ_1, ψ_2 dan ϕ_1, ϕ_2 .

Apabila robot mempunyai derajat kebebasan sampai dengan enam, maka jumlah sudutnya juga sampai enam dan kemungkinan nilai dari berapa derajat sudut yang sesuai menjadi lebih banyak. Ini merupakan kesulitan tersendiri dan menjadi suatu tantangan.

Kesimpulan

1. Robot Motoman termasuk dalam katagori Industrial Robot Systems merupakan robot yang cukup memadai untuk praktek mahasiswa atau operasi :material handling, spot welding, palletizing dll
2. Struktur yang kompak serta sistem gerakan yang sederhana sangat mudah dalam operasional dan maintenance-nya.
3. Cara pengendalian yang sederhana dengan program basic atau dengan teaching box, menjadikan sistem pengendaliannya lebih sangat mudah.
4. Struktur robot juga dapat dipakai untuk contoh/acuan dalam perhitungan matrik posisi terutama untuk inverse kinematic maupun dinamika lengan robot.
5. Perhitngan inverse kinematic tidak begitu mudah penyelesaiannya, mengingat banyak nya kemungkinan posisi yang ada, maka untuk mempermudah diperlukan penentuan satu sudut posisi awal.

Penutup

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium CNC Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada atas referensi Robot Industri.

Makalah ini disarikan dari buku “*Industrial Robots for Manufacturing Industry*” diterbitkan oleh: Fak. Teknik USD pada akhir tahun 2002.

Pustaka

Fanuc, 2001, *Arc Tool Setup and Operation Manual*, Fanuc Robot Series, Yamanashi Japan

- Festo Didactic, 1997, *Assembly Station with Industrial Robot*, Esslingen, Germany, Modular Production System,
- Harjanto, 2002, *Industrial Robots for Manufacturing Industry*, Yogyakarta, Fak. Teknik USD,
- Harjanto, 2003, *Smart Robots in Manufacturing Industry*, Fak. Teknik USD Yogya.
- Kawasaki, 1996, *Maintenance and Inspection*, Robot & Factory Automation Division, Tokyo, Japan.
- Mitsubishi, 2002, *Instruction Manual*, Industrial Micro Robot System, Nagoya, Japan
- Panasonic, --, *Operation Manual Pana-Robo*, Industrial Robot, Matsushita Industrial Equipment, Japan.
- Parker, 1993/1994, *Positioning Systems and Drive*, Compumotor Digiplan, Dorset, England
- Siemens, 2001, *Automation Systems for Machine Tool*, Cat. NC 60-2000/ 2001, www.ad.siemens.de, Germany.
- Teknik Mesin, 2004, *Robot Industri 1,2,3*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Toyota Astra Motor, 2003, *Leaflet Toyota*, Karawang Plant, KIIC, Cikampek, Jawa Barat.
- Yaskawa Electric Corporation, 2005, *Motoman –HP Series*, Japan