

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Mobile Robot

Untuk mengetahui arti kata *Mobile Robot*, maka kita harus menjabarkan terlebih dahulu menjadi *Mobile* dan *Robot*. *Robot* sendiri adalah sebuah alat yang dapat bergerak dan bekerja sendiri secara otomatis (terprogram), dan *Mobile* adalah pergerakan benda dari satu titik menuju ke titik yang lainnya.

Saat ini *robot* sudah lazim dan banyak digunakan untuk membantu manusia terutama dibidang industri. Penggunaan *robot* bertujuan untuk mengantikan dan membantu manusia untuk mengerjakan pekerjaan yang beresiko tinggi dan membutuhkan ketelitian serta membutuhkan kecepatan dan ketangkasan yang tinggi.

Dalam dunia industri, *robot* didefinisikan dalam berbagai macam arti, yang semuanya menyimpulkan bahwa *robot* adalah manipulator serba guna dan dapat diprogram ulang serta dapat mengerjakan berbagai hal.

Berikut ini merupakan berbagai definisi dari *Robot* menurut berbagai sumber:

- Kamus Webster

Robot adalah sebuah alat yang dapat mengerjakan dan membantu manusia menyelesaikan pekerjaannya.

- Menurut *Robot Institute of America*

Robot adalah manipulator yang memiliki banyak fungsi dan *reprogramable*, dimana didesain untuk dapat memindahkan peralatan-peralatan khusus melalui gerakan yang telah diprogram terlebih dahulu.

- Menurut *British Robot Association*

Robot industri merupakan sebuah alat yang dapat diprogram kembali, dan didesain secara khusus untuk dapat memanipulasi dan memindahkan komponen dari satu titik ke titik yang lainnya peralatan melalui pergerakan yang diprogram terlebih dahulu untuk tugas-tugas tertentu

- Menurut *Japanesse Industrial Robotic Association*

Robot adalah sebuah peralatan yang dapat diajari secara manual dan dapat mengambil dan meletakkan benda, dan juga *robot* harus dapat diprogram ulang (*reprogramable*) serta dapat dikendalikan oleh manusia dengan bahasa pemrograman.

Berikut ini adalah Tiga Hukum *Robotic* menurut *Isaac Asimov*:

- *Robot* tidak boleh mencederai manusia
- *Robot* harus mematuhi perintah manusia kecuali bila perintah tersebut melanggar aturan pertama
- *Robot* harus dapat mempertahankan eksistensinya diri sendiri, kecuali jika terjadi pelanggaran pada aturan pertama dan aturan kedua.

2.1.1 Berikut ini adalah Klasifikasi umum dari *Robot*:

Berdasarkan mobilitasnya dibagi menjadi 2 yaitu:

- *Fixed Robot*

Dapat dikatakan bahwa ini merupakan model dari *robot* yang lama, yang dimana *robot* itu statis dan tidak dapat berjalan. *Robot* seperti ini biasanya hanya digunakan untuk *robot* industri. *Fixed robot* biasanya pada basenya

melekat pada sebuah benda tetap / statis. Contoh *fixed robot* dapat dilihat pada industri perakitan mobil, industri farmasi.

- *Mobile Robot*

Ini merupakan jenis *robot* modern, dimana *robot* sudah dirancang untuk dapat berpindah tempat sehingga *robot* mempunyai jangkauan kerja yang luas. Model *mobile robot* sendiri dibagi menjadi 2 lagi menurut media yang digunakan *robot* untuk berjalan:

- *Wheeled Robot*

Robot jenis ini bergerak menggunakan roda sebagai medianya

- *Walking Robot*

Robot jenis ini bergerak menggunakan kakinya sebagai media, dan belakangan *robot* jenis ini sedang marak dikembangkan, seperti contohnya AIBO.

2.1.2 Gerak

Kontrol memegang peranan penting dalam sebuah aplikasi *robot*. Sebagai contoh untuk aplikasi *robot* yang dijalankan dimedan yang tidak kondusif untuk manusia. Seperti misalnya sebagai penjinak bom, ranjau, dikedalaman laut dan untuk observasi pada daerah-daerah yang belum jelas keadaannya. Untuk kondisi-kondisi seperti itu, biasanya *robot* yang dipakai menggunakan radio kontrol sebagai pengendali yang dihubungkan dengan ruang pengendali.

2.1.3 Sistem Penggerak *Robot*

Terdapat berbagai macam jenis fungsi gerak. Berikut ini adalah berbagai macam sistem penggerak *robot* :

- Hidrolik

Hidrolik adalah dengan menggunakan udara sebagai penggerak motornya

Keuntungan dari penggunaan hidrolik adalah :

- Piston dapat bekerja cepat dan mulus
- Dapat digunakan untuk lingkungan kerja yang risikan terhadap kebakaran.
- Mampu menghasilkan daya yang besar tanpa memerlukan roda-roda gigi, cukup dengan pengendalian arah.

- Pneumatik

Pneumatik merupakan suatu cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang udara yang bergerak, keadaan-keadaan keseimbangan udara dan syarat-syarat keseimbangan. Sistem pneumatik disini meliputi suatu sistem dimana sebagian atau seluruhnya proses yang terjadi, menggunakan medium udara mampat sebagai sumber tenaga (Krist, 1993, ppl-3)

Keuntungan dari penggunaan pneumatic adalah:

- Respon lebih cepat dari penggerak hidrolik
- Cost yang dibutuhkan lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan hidrolik.
- Ada toleransi terhadap kebocoran sampai batas tertentu.

- Electric

Electric adalah dengan menggunakan listrik sebagai sarananya untuk menggerakkan motor, bisa berfungsi sebagai magnet.

Penggerak Electric dibagi lagi menjadi 2 lagi, yaitu :

- *Servo Motor*

Motor ini bergerak sesuai dengan lebar pulsanya, dan *servomotor* tidak dapat berputar lebih dari 360 derajat. Pada ukuran lebar pulsa tertentu motor ini mempunyai posisi tertentu pula. .

- *Motor Stepper*

Motor ini bergerak menggunakan listrik, dimana listrik yang mengalir itu berfungsi sama seperti magnet. Setiap pengiriman satu pulsa ke motor maka motor akan bergerak.

2.2 *Walking Robot*

Seperti namanya, *Walking Robot* dapat diartikan *robot* yang dapat bergerak dengan kaki sebagai media untuk berpindah tempat. Jenis dari *walking robot* itu sendiri ada bermacam-macam menurut kaki yang digunakan. Pada dasarnya semua *walking robot* itu dibuat dengan mencontoh binatang sebagai paduannya.

Pada skripsi kali ini digunakan *servo* sebagai kaki-kakinya. Walking robot kali ini menggunakan 8 *servo*, dimana tiap kakinya terdapat 2 *servo*. Pengembangan yang dilakukan pada skripsi ini adalah membuat *robot* dapat *trotting*. Yang dimaksud

trotting adalah gaya berjalan antara berjalan biasa dan berlari, dengan dua kaki diagonal melangkah secara bersamaan.

2.3 Mekanika Robot

Mekanik merupakan bagian dari ilmu fisika yang mempelajari gejala-gejala alam yang berkaitan dengan gerak. Secara umum ilmu mekanik meliputi kinematik dan dinamika. Pada kinematik, membahas tentang gerak tanpa memperhitungkan penyebab geraknya yaitu kecepatan dan percepatan. Sedangkan pada dinamika yang dibahas adalah penyebab terjadinya perubahan keadaan gerak.

Secara khusus, ilmu mekanika meliputi mekanika untuk benda tegar/kaku, mekanika untuk benda yang berubah bentuk dan mekanika pada fluida. Dalam skripsi ini menggunakan mekanika benda tegar, yang dibagi menjadi 2 kategori yaitu :

1. Mekanika benda tegar statika, mekanika yang berhubungan dengan benda tegar dalam keadaan diam tidak bergerak.
2. Mekanika benda tegar dinamika, yaitu mekanika yang berhubungan dengan benda tegar dalam keadaan bergerak.

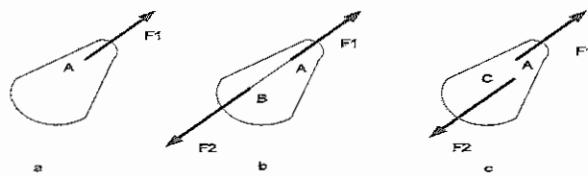
Dalam mekanika statika, benda bersifat homogen, dimana berat benda tersebar merata sepanjang luas benda tersebut dan titik pusatnya berada ditengah-tengah. Dalam mekanika statika, *Sir Isaac Newton* mengeluarkan hukum Newton yang berhubungan dengan gerak translasi yang akan digunakan untuk mendapatkan perhitungan keseimbangan pada robot. Ketiga Hukum Newton tersebut adalah :

1. Hukum Newton I, yaitu “jika gaya resultan pada satu objek sama dengan nol maka objek tersebut akan tetap diam atau bergerak lurus beraturan (GLB)”.

2. Hukum Newton II, yaitu “Vektor percepatan yang dialami suatu objek sebanding dengan gaya resultan yang bekerja pada objek dan berbanding terbalik dengan massa objek tersebut”.
3. Hukum Newton III, yaitu “Dua objek yang berinteraksi saling mengerjakan gaya yang sama besar satu terhadap yang lain, tetapi dengan arah yang berlawanan”.

2.4 Keseimbangan

Pada umumnya apabila ada sebuah gaya yang sedang bekerja maka akan terjadi perubahan beberapa gerak sekaligus seperti perubahan gerak translasi dan gerak rotasi, dan apabila ada 2 buah gaya yang bekerja bersamaan maka pengaruhnya adalah saling meniadakan, dan saat seperti itulah benda dikatakan dalam keadaan seimbang.



Gambar 2.1 Benda kaku yang diberi dua buah gaya

Pada gambar 2.1 sebuah benda datar dan berbentuk sembarang terletak di atas bidang datar yang licin. Apabila ada gaya F_1 bereaksi pada benda tersebut, dimana mula-mula benda tersebut tidak bergerak maka akan ada gerakkan seperti pada gambar 2.1a dan benda itu akan berotasi searah dengan arah putaran jarum jam. Tetapi keseimbangan dapat terjadi, dengan memberikan gaya F_2 seperti pada

gambar 2.1b, asalkan F_2 besarnya sama dengan F_1 , berlawanan arah dengan F_1 , dan garis kerjanya sama pula dengan F_1 maka resultan dari kedua gaya itu adalah nol. Apabila ditambahkan gaya namun garis kerja gaya tidak sama, seperti pada gambar 2.1c, maka benda tersebut akan seimbang dalam translasi tetapi tidak seimbang dalam rotasi (kedua gaya membentuk kopel). *Kopel* adalah gaya yang ada pada suatu benda melibatkan dua buah gaya yang sama besarnya dan berlawanan arah, dengan garis kerja yang sejajar tetapi tidak berhimpit.

Sebuah benda berada dalam keadaan keseimbangan bila :

1. Benda itu diam dan tetap diam (disebut keseimbangan statis / *static equilibrium*)
2. Benda itu bergerak dengan vector kecepatan yang tetap (disebut keseimbangan translasi / *translational equilibrium*)

Syarat benda berada dalam keadaan keseimbangan :

1. Bila gaya-gaya F_1 dan F_2 sama besar tetapi berlawanan arahnya, maka salah satu gaya sama dengan negative dari gaya lainnya.

$$F_2 = -F_1 \quad (2.1)$$

Maka, bila R menyatakan resultan F_1 dan F_2 ,

$$R = F_1 + F_2 = F_1 - F_1 = 0 \quad (2.2)$$

Untuk singakatnya secara sederhana kita akan sering mengatakan dua buah vector “sama dan berlawanan”, berarti besar kedua vector sama dan yang satu negatif dari yang lain. Untuk suatu benda yang diberi beberapa gaya, bahwa gaya-gaya dapat digabungkan dengan menggunakan kaidah penjumlahan

vector. Bila suatu benda dalam keadaan seimbang, jumlah vector, atau resultan, dari semua gaya yang bereaksi padanya haruslah nol. Dengan demikian setiap komponen resultan juga harus nol. Maka, untuk suatu benda yang seimbang,

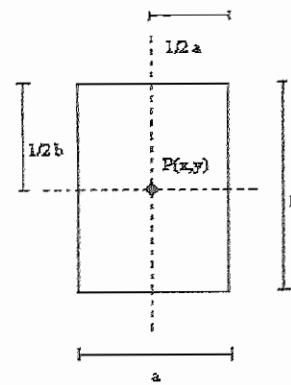
$$\mathbf{R} = \sum \mathbf{F} = \mathbf{0} \quad (2.3)$$

atau

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0$$

2. Suatu pernyataan matematis tentang kenyataan bahwa gaya tidak mempunyai kecenderungan untuk memutar benda. Syarat pertama untuk keseimbangan meyakinkan bahwa benda dalam keadaan seimbang translasi; syarat kedua, meyakinkan bahwa benda dalam keadaan seimbang rotasi. Pernyataan bahwa suatu benda dalam keadaan seimbang sempurna bila kedua syarat dipenuhi merupakan pokok dari hukum pertama Newton untuk gerak, "Setiap benda tetap dalam keadaan diam, atau bergerak sepanjang garis lurus dengan laju tetap, kecuali bila dipaksa untuk mengubah keadaan tersebut oleh gaya-gaya yang diberikan kepadanya.

Setiap benda yang ada dimuka bumi ini pasti memiliki gaya tarik yang dimana disebut gaya gravitasi bumi. Pada setiap benda pasti memiliki pusat massa yang terletak ditengah-tengah benda tersebut.



Gambar 2.2 Pusat massa benda

2.5. Kinematika dari Link

Pada kinematika ini mengambarkan hubungan antara link dari lengan robot yang bergerak dengan mengacu pada sistem koordinat basis.

Sistem koordinat orthonormal $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$ dibangun pada joint i . Sistem koordinat (x_0, y_0, z_0) adalah sistem koordinat basis, sementara sistem koordinat $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$ dan (x_i, y_i, z_i) terletak pada link $i-1$ dengan titik awal O^* dan link i dengan titik pusat O . Titik pusat O ditempatkan oleh vektor posisi p_{i-1} dari titik pusat O dengan mengacu pada sistem koordinat basis.

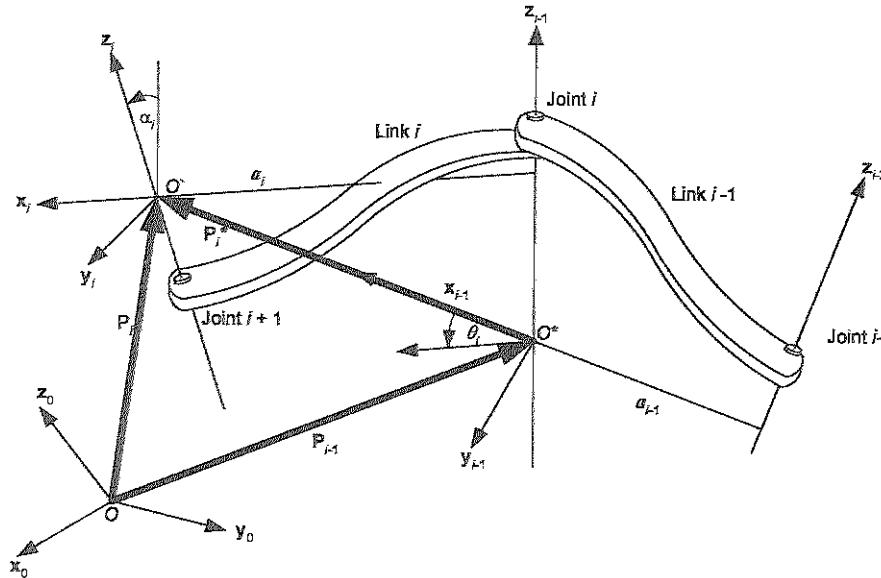
v_{i-1} dan ω_{i-1} adalah kecepatan linier dan angular dari sistem koordinat $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$ dengan mengacu pada sistem koordinat basis (x_0, y_0, z_0) . Didefinisikan ω_i , dan ω_i^* menjadi kecepatan angular dari O dengan mengacu pada (x_0, y_0, z_0) dan $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$. Lalu kecepatan linier v_i dan kecepatan anguler ω_i dari sistem koordinat (x_i, y_i, z_i) dengan mengacu pada sistem koordinat basis adalah :

$$\dot{v}_i = \frac{d^* p_i^*}{dt} + \omega_{i-1} \times p_i^* + v_{i-1} \quad (2.4)$$

dan

$$\omega_i = \omega_{i-1} + \omega_i^* \quad (2.5)$$

$d^*(\cdot)/dt$ menyatakan turunan waktu dengan terhadap sistem koordinat bergerak $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$. Percepatan linier \ddot{v}_0 dan percepatan anguler ω_i dari sistem koordinat (x_i, y_i, z_i) dengan mengacu kepada sistem koordinat basis adalah [Lie Hian, 2006] :



Gambar 2.3 Hubungan antara kerangka koordinat O, O^* dan O' .

[Fu; Gonzalez; Lee, 1987]

$$\dot{v}_i = \frac{d^* \omega_i^*}{dt} + \dot{\omega}_{i-1} \times p_i^* + 2\omega_{i-1} \times \frac{d^* p_i^*}{dt} + \omega_{i-1} \times (\omega_{i-1} \times p_i^*) + \dot{v}_{i-1} \quad (2.6)$$

dan

$$\dot{\omega}_i = \dot{\omega}_{i-1} + \dot{\omega}_i^* \quad (2.7)$$

Lalu dari persamaan [Lie Hian, dkk (2002), Simulasi Dinamika pada Robot], percepatan anguler dari sistem koordinat (x_i, y_i, z_i) yang mengacu pada $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$ adalah :

$$\dot{\omega}_i^* = \frac{d^* \omega_i^*}{dt} + \dot{\omega}_{i-1} \times \omega_i^* \quad (2.8)$$

Karena itu, persamaan (2.7) dapat dinyatakan sebagai:

$$\dot{\omega}_i^* = \dot{\omega}_{i-1} + \frac{d^* \omega_i^*}{dt} + \dot{\omega}_{i-1} \times \omega_i^* \quad (2.9)$$

Sistem koordinat $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$ dan (x_i, y_i, z_i) melekat pada link $i-1$ dan i . Jika link i translasional pada sistem koordinat $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$, maka ia bergerak dengan arah z_{i-1} dengan kecepatan joint q_i relatif terhadap link $i-1$. Jika link i bergerak rotasi pada sistem koordinat $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$, maka link i mempunyai kecepatan angular ω_i^* dan pergerakan angular dari link I bersumbu pada sumbu z_{i-1} . Karena itu :

$$\omega_i^* = \begin{cases} z_{i-1} \dot{q}_i & \text{jika link } i \text{ rotasional} \\ 0 & \text{jika link } i \text{ translasional} \end{cases} \quad (2.10)$$

q_i adalah besar dari kecepatan angular link i dengan acuan sistem koordinat $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$. Dengan cara yang mirip :

$$\frac{d^* \omega_i^*}{dt} = \begin{cases} z_{i-1} \dot{q}_i & \text{jika link } i \text{ rotasional} \\ 0 & \text{jika link } i \text{ translasional} \end{cases} \quad (2.11)$$

Menurut persamaan (2.10) dan (2.11), maka persamaan (2.7) dan (2.9) dapat dinyatakan sebagai:

$$\omega_i = \begin{cases} \omega_i + z_{i-1}\dot{q}_i & \text{jika link } i \text{ rotasional} \\ \dot{\phi}_{i-1} & \text{jika link } i \text{ translasional} \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\dot{\omega}_i = \begin{cases} \dot{\phi}_{i-1} + z_{i-1}\ddot{q}_i + \omega_{i-1} \times (z_{i-1}\dot{q}_i) & \text{jika link } i \text{ rotasional} \\ \dot{\phi}_{i-1} & \text{jika link } i \text{ translasional} \end{cases} \quad (2.13)$$

Dengan melakukan manipulasi, maka dapat diperoleh [Lie Hian, dkk (2002), Simulasi Dinamika pada Robot] kecepatan dan percepatan linier dari link i dengan mengacu kepada link $i - 1$ sebagai berikut :

$$\frac{d^* p_i^*}{dt} = \begin{cases} \omega_i^* \times p_i^* & \text{jika link } i \text{ rotasional} \\ z_{i-1}\dot{q}_i & \text{jika link } i \text{ translasional} \end{cases} \quad (2.14)$$

$$\frac{d^{**} p_i}{dt} = \begin{cases} \frac{d^* \omega_i^*}{dt} \times p_i^* + \omega_i^* \times (\omega_i^* p_i^*) & \text{jika link } i \text{ rotasional} \\ z_{i-1}\ddot{q}_i & \text{jika link } i \text{ translasional} \end{cases} \quad (2.15)$$

Karena itu dengan menggunakan persamaan (2.14) dan persamaan (2.5), kecepatan linier link i dengan acuan frame referensi adalah

$$v_i = \begin{cases} \omega_i \times p_i^* + v_{i-1} & \text{jika link } i \text{ rotasional} \\ z_{i-1} + \omega_i \times p_i^* + v_{i-1} & \text{jika link } i \text{ translasional} \end{cases} \quad (2.16)$$

Dengan menggunakan identitas perkalian silang vektor berikut.

$$\begin{aligned} (a \times b) \times c &= b(a \cdot c) - a(b \cdot c) \\ a \times (b \times c) &= b(a \cdot c) - c(a \cdot b) \end{aligned} \quad (2.17)$$

Dan persamaan (2.10) sampai persamaan (2.15) percepatan link i dengan mengacu kepada sistem koordinat referensi adalah

$$\dot{v}_i = \begin{cases} \dot{\omega}_i \times p_i^* + \omega_i \times (\omega_i \times p_i^*) + \ddot{v}_{i-1} \\ z_{i-1} \ddot{q}_i + \dot{\omega}_i \times p_i^* + 2\omega_i \times (z_{i-1} \dot{q}_i) \\ + \omega_i \times (\omega_i \times p_i^*) + \ddot{v}_{i-1} \end{cases} \quad (2.18)$$

Pada kinematika, pergerakan link lengan robot menggunakan prinsip d'Alembert kepada tiap link. Prinsip d'Alembert bekerja pada kondisi kesetimbangan statis untuk masalah dalam dinamika dengan mempertimbangkan gaya yang berasal dari luar yang menyebabkan pergerakkan dan gaya reaksi dari elemen-elemen mekanis yang menahan gerakan. Prinsip d'Alembert adalah sedikit perubahan dari hukum kedua Newton tentang gerak dan dinyatakan sebagai berikut :

For any body, the algebraic sum of externally applied forces and the forces resisting motion in any given direction is zero.

[Untuk setiap benda, penjumlahan aljabar dari gaya luar dan gaya yang menahan pergerakan pada arah manapun nol.]

Perhatikan link I seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9, titik pusat O' diletakkan dipusat massa. Maka dengan menghubungkan variabel-variabel yang didefinisikan digambar 2.8 dengan variabel-variabel yang didefinisikan pada gambar 2.9, dengan variabel-variabel yang belum terdefinisi, dinyatakan dengan mengacu pada system koordinat basis (x_0, y_0, z_0) adalah :

m_i = total massa link i

\bar{r}_i = posisi pusat massa link i terhadap titik pusat dari kerangka koordinat referensi basis.

\bar{s}_i = posisi pusat massa link i terhadap titik pusat sistem koordinat (x_i, y_i, z_i)

p_i = titik pusat dari sistem koordinat ke i dengan mengacu kepada sistem koordinat ke $(i - 1)$

\bar{v}_i = $\frac{d\bar{r}_i}{dt}$, kecepatan linear pusat massa link i

\bar{a}_i = $\frac{d\bar{v}_i}{dt}$, percepatan linear pusat massa link i

F_i = total gaya eksternal yang bekerja pada link i pada pusat massa

N_i = total momen eksternal yang bekerja pada link i pada pusat massa

I_i = Matriks inersia link i dengan referensi pada sistem koordinat (x_0, y_0, z_0)

f_i = gaya eksternal yang bekerja pada link i oleh link $i - 1$ pada kerangka koordinat $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$ untuk mengerakkan link i dan link-link diatasnya

n_i = momen eksternal yang bekerja pada link i oleh $i - 1$ pada kerangka koordinat $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$.

Lalu dengan mengabaikan "viscous damping effects"/efek redaman dari semua joint, dan menerapkan prinsip d'Alembert kepada tiap link, didapat:

$$F_i = \frac{d(m_i \bar{v}_i)}{dt} = m_i \bar{a}_i \quad (2.19)$$

Dan

$$N_i = \frac{d(I_i \omega_i)}{dt} = I_i \dot{\omega}_i + \omega_i \times (I_i \omega_i) \quad (2.20)$$

Menggunakan persamaan (2.71) dan (2.74), kecepatan liniear dan percepatan dari pusat massa link i adalah :

$$\bar{v}_i = \omega_i \times \bar{s}_i + v_i \quad (2.21)$$

Dan

$$\bar{a}_i = \dot{\omega}_i \times \bar{s}_i + \omega_i (\omega_i \times \bar{s}_i) + \dot{v}_i \quad (2.22)$$

Dari gambar 2.9 dengan memperhatikan semua gaya dan momen yang bekerja pada link i , total gaya F_i dan momen N_i adalah semua yang di berikan pada link i oleh gravitasi dan link-link yang bersebelahan dengannya, link $i - 1$ dan $i + 1$. Yaitu:

$$F_i = f_i - f_{(i+1)} \quad (2.23)$$

Dan

$$N_i = n_i - n_{i+1} + (p_{i-1} - \bar{r}_i) \times f_i - (p_i - \bar{r}_i) \times f_{i+1} \quad (2.24)$$

$$= n_i - n_{i+1} + (p_{i-1} - \bar{r}_i) \times F_i - p_i^* \times f_{i+1}$$

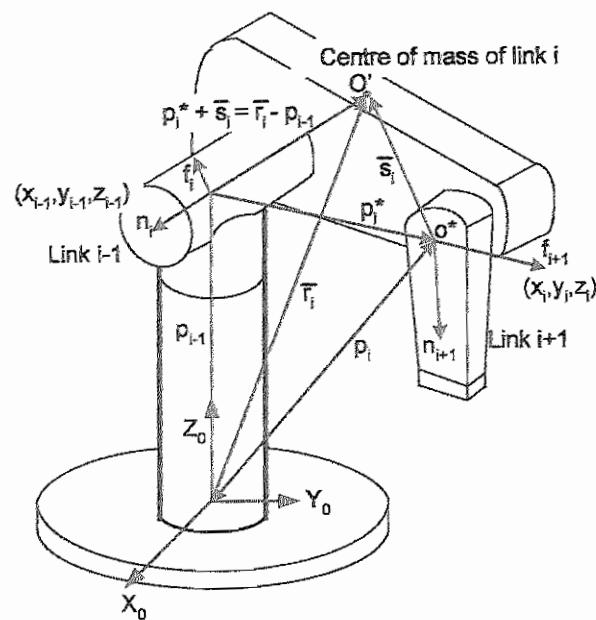
Persamaan diatas dapat ditulis kembali menjadi persamaan rekursif dengan memperhatikan: $\bar{r}_i - p_{i-1} = p_i^* + \bar{s}_i$

$$f_i = F_i + f_{i+1} = m_i \bar{a}_i + f_{i+1} \quad (2.25)$$

Dan

$$n_i = n_{i+1} + p_i^* \times f_{i+1} + (p_i^* + \bar{s}_i) \times F_i + N_i \quad (2.26)$$

Persamaan diatas bersifat rekursif dan bisa dipakai untuk menurunkan gaya dan momen pada link untuk $i = 1, 2, \dots, n$ untuk manipolar dengan link sebanyak n . f_{i+1} dan n_{i+1} adalah gaya dan momen yang diberikan tangan manipolar pada obyek eksternal.



Gambar 2.4 : Gaya dan momen pada link i

[Fu; Gonzalez; Lee, 1987]

Hubungan kinematika antar link yang bersebelahan dan dalam pembangunan dari sistem koordinat menunjukkan bahwa jika joint i berotasi, maka rotasinya adalah sebesar q_i radian pada sistem koordinat $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$ sekitar sumbu z_{i-1} , torsi masukan pada joint i adalah penjumlahan dari proyeksi n_i kepada sumbu z_{i-1} dan "viscous damping moment" / momen redaman pada

sistem koordinat tersebut. Namun, jika joint i translasional, maka joint tersebut mentranslasikan link i sebanyak q_i relatif terhadap sistem koordinat $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$ sepanjang sumbu z_{i-1} , dan torsi masukan τ_i pada joint tersebut adalah jumlah dari proyeksi f_i pada sumbu z_{i-1} dan "viscous damping moment" / momen redaman pada sistem koordinat tersebut. Dengan demikian, torsi atau gaya input untuk joint i adalah :

$$\tau_i = \begin{cases} n_i^T z_{i-1} + b_i \dot{q}_i & \text{Jika link } i \text{ rotasional} \\ f_i^T z_{i-1} + b_i \dot{q}_i & \text{Jika link } i \text{ translasional} \end{cases} \quad (2.27)$$

Dimana b_i adalah "viscous damping coefficient" / koefisien redaman untuk joint i dari persamaan diatas.

Jika basis ditaruh dibaut pada sebuah tempau dan link 0 tetap, maka $\omega_0 = \omega_0 = 0$ dan $v_0 = 0$ dan \dot{v}_0 (yang menyertakan gravitasi) adalah :

$$\dot{v}_0 = g = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{bmatrix} \text{ dimana } |g| = 9.8062 \text{ m/s}^2 \quad (2.28)$$

Untuk ringkasnya, persamaan gerak Newton-Euler mengandung satu set persamaan rekursif maju dan rekursif mundur. Persamaan-persamaan ini adalah persamaan (2.12), (2.13), (2.18), (2.22), dan (2.25) sampai (2.27). Untuk persamaan rekursif maju, kecepatan dan percepatan linear, kecepatan dan percepatan angular untuk tiap link, dihitung dari basis keujung lengan. Untuk persamaan rekursif mundur, torsi dan gaya yang diberikan pada tiap link

dihitung secara rekursif dari ujung lengan ke basis. Persamaan-persamaan dalam arah maju membawa informasi kinematika dari tiap link mulai dari basis menuju keujung lengan, sementara Persamaan-persamaan dalam arah mundur menghitung torsi dan gaya untuk setiap joint dari ujung lengan ke basis. Persamaan dalam arah maju : $i = 1, 2, \dots, n$

$$\omega_i = \begin{cases} \omega_{i-1} + z_{i-1}q_i & \text{Jika link } i \text{ rotasional} \\ \omega_{i-1} & \text{Jika link } i \text{ translasional} \end{cases}$$

$$\dot{\omega}_i = \begin{cases} \dot{\omega}_{i-1} + z_{i-1}\ddot{q}_i + \omega_{i-1} \times z_{i-1}\dot{q}_i & \text{Jika link } i \text{ rotasional} \\ \dot{\omega}_{i-1} & \text{Jika link } i \text{ translasional} \end{cases}$$

$$\dot{v}_i = \begin{cases} \dot{\omega}_i \times p_i^* + \omega_i \times (\omega_i \times p_i^*) + \dot{v}_{i-1} & \text{jika link } i \text{ rotasional} \\ z_{i-1}\ddot{q}_i + \omega_i \times p_i^* + 2\omega_i \times (z_{i-1}\dot{q}_i) & \text{jika link } i \text{ translasional} \\ + \omega_i \times (\omega_i \times p_i^*) + \dot{v}_{i-1} \end{cases}$$

$$\bar{a}_i = \dot{\omega}_i \times \bar{s}_i + \omega_i \times (\omega_i \times \bar{s}_i) + \dot{v}_{i-1}$$

Persamaan dalam arah mundur : $i = 1, 2, \dots, n$

$$F_i = m_i a_i$$

$$N_i = I_i \dot{\omega}_i + \omega_i (I_i \times \omega_i)$$

$$f_i = F_i + f_{i+1}$$

$$n_i = n_{i+1} + p_i^* \times f_{i+1} + (p_i^* + \bar{s}_i) \times F_i + N_i$$

$$\tau_i = \begin{cases} n_i^T z_{i-1} + b_i \dot{q}_i & \text{jika link } i \text{ rotasional} \\ f_i^T z_{i-1} + b_i \dot{q}_i & \text{jika link } i \text{ translasional} \end{cases}$$

b_i adalah "viscous damping coefficient" (koefisien gesekan) untuk joint i .

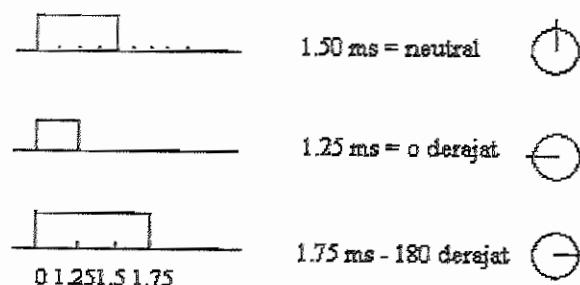
Kondisi awal yang umum adalah $\omega_0 = \dot{\omega}_0 = v_0 = 0$ dan $v_0 = (g_x, g_y, g_z)^T$ (untuk menyertakan gravitasi), nilai $|g| = 9.8062 \text{ m/s}^2$.

2.6 Servo Motor

Servo motor adalah motor kecil yang mempunyai output silinder dengan feedback device yang memberikan closed loop system. Silinder ini dapat digerakkan sesuai dengan yang kita inginkan dengan cara mengirimkan sinyal pulsa kepada servo motor yang kemudian sinyal itu disimpan didalam servo motor. Apabila ada sinyal yang dikirimkan tidak sesuai, maka sinyal feedback yang dihasilkan akan menggerakkan silinder menuju posisi yang semula dikehendaki.

2.6.1 Pulse Width Modulation

Cara menggerakkan shaft dengan menggunakan pulsa sinyal yang dikirim dari kabel kontrol. Servo butuh sinyal tiap 20ms atau 0,02s (50-60Hz). Panjang pulsa akan menentukan sudut pergerakan. Pulsa 1.5 ms akan menghasilkan putaran shaft 90° (posisi netral). Bila sinyal input kurang dari 1.3ms, shaft berputar mendekati 0° . Bila sinyal input lebih dari 1.5ms, maka shaft berputar mendekati 180° . Perputaran tersebut digambarkan lewat diagram berikut :



Gambar 2.5 : Sinyal Pulsa

Keuntungan jika menggunakan servo motor adalah:

- Jenis dari *servo motor* ada banyak.
- Dapat mencapai kecepatan tertinggi dengan menggunakan alat kontrol tertentu .
- Ukuran kecil, sehingga banyak aplikasi yang dapat dibuat dengan menggunakan alat ini.
- Kekuatan besar.

Selain itu ada juga kerugian saat kita menggunakan servo motor:

- Harga yang mahal untuk ukuran alat yang sejenisnya.
- Adanya pembatasan torsi kumulator.
- Kekuatan yang besar dibatasi oleh kontrol feedback.

2.6.2 Cara Kerja *Servo Motor*

Apabila ada sinyal yang dikirimkan oleh *user interface* panel ke bagian *positioning controller*, maka sinyal tersebut akan diteruskan untuk diproses di *servo control amplifier*, dimana sinyal itu harus dikuatkan supaya bisa mencapai level power tertentu yang dapat menggerakkan motor. Kemudian motor bergerak yang diikuti oleh perangkat lainnya seperti *tachometer* dan *feedback device*, yang dimana *feedback device* akan mengontrol jalannya dari motor tersebut.

2.6.3 Sistem Kontrol *Closed Loop*

Sistem control *Closed loop* merupakan salah satu system control dengan menggunakan umpan balik untuk membandingkan keluaran dan masukan sehingga menghasilkan system sesuai dengan yang dikehendaki, umpan balik tersebut dapat berupa sinyal kesalahan yang dihasilkan oleh system tersebut. Dalam servo digunakan system *closed loop*, yang dikenal dengan istilah *servo control*, yang merupakan system control umpan balik dengan keluaran berupa posisi, kecepatan dan percepatan.(Ogata,1997,pp 4-6).

Bagian dalam sistem control :

- *Push button*, merupakan bagian interface bagi user untuk memilih instruksi yang ada dalam kontroller untuk menggerakan robot.
- Kontroller, merupakan mikrokontroller yang berfungsi sebagai CPU dalam sistem pengontrolan ini. Dalam kontroller ini, terdapat algoritma program yang berisi instruksi yang akan dieksekusi oleh robot.
- *Positioning Controller Servo*, merupakan komponen servo yang berfungsi untuk menyimpan sinyal instruksi yang diberikan oleh kontroller.
- *Servo Control (Amplifier)*, merupakan komponen servo yang berfungsi untuk menguatkan sinyal yang masuk pada *Positioning Controller Servo* sehingga dapat menggerakan *Shaft motor*.

2.6.4 Komponen dari *Servo Motor*

Berikut ini adalah komponen dari *servo motor*:

- Sirkuit kontrol

Didalamnya terdapat *potensio meter* dan *output shaft* yang saling berhubungan.

- Motor

Dikontrol sepenuhnya oleh *servo motor*. Servo motor yang normal bergerak dari 0 derajat hingga 180 derajat. Antara power yang dihasilkan dan jarak yang ditempuh berbanding lurus.

- Gir

Berguna untuk membantu perputaran dari *servo motor* itu.

- Kabel

Menghubungkan servo motor dengan komponen lainnya. Terdiri dari 3 macam kabel, yaitu kabel positif 5 V, kabel ground dan kabel pengontrol servo.

2.6.5 Aplikasi dari *Servo Motor*

Berikut ini adalah berbagai aplikasi dari *servo motor*:

- *Robot industri*
- *Walking Robot* dan Lengan *Robot*
- Pengontrolan pada sayap pesawat
- Menggerakkan satelit

2.6.6 Mekanika pada Servo Motor

Dalam setiap *servo motor* pasti memiliki karakteristik yang berbeda-beda, seperti ukuran, torsi dan kecepatan yang dihasilkan. Antara torsi dan kecepatan yang dihasilkan mempunyai hubungan berbanding lurus, dimana semakin besar nilai torsinya maka akan semakin pelan kecepatan yang dihasilkan, dan juga berlaku sebaliknya.

Pada *servo*, torsi terbalik lurus dengan kecepatannya, semakin besar nilai torsinya maka kecepatannya akan semakin berkurang, demikian juga sebaliknya, bila kecepatannya makin besar maka torsi yang dimiliki akan semakin kecil. Selain itu dalam *servo*, juga terdapat *stall torque*, yaitu torsi dimana motor tersebut sudah tidak mampu untuk berputar. Berikut ini adalah persamaan untuk mengukur kemampuan torsi dan kecepatan:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta\tau}$$

$$P_m = \tau \cdot \omega$$

$$P_e = I \cdot V$$

$$\begin{aligned} P_m &= \eta \cdot P_e \\ &= \eta \cdot I \cdot V \end{aligned}$$

Keterangan :

P_m adalah daya mekanik yang dimiliki motor.

P_e adalah daya elektrik yang dimiliki motor.

τ adalah torsi yang dimiliki motor.

ω adalah kecepatan sudut.

I adalah besarnya arus yang masuk ke motor.

V adalah besarnya tegangan yang digunakan motor.

θ adalah jarak sudut

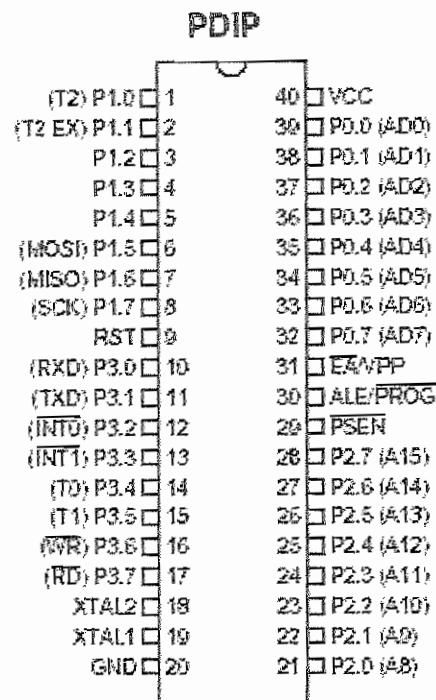
η adalah efisiensi yang dimiliki motor

2.7 Mikrokontroller

Mikrokontroller adalah sebuah prosesor yang dipergunakan khusus untuk keperluan kontrol. Didalam mikrokontroller sudah terdapat I/O port, timer controller, serial controller, interrupt controller sehingga praktis tidak memerlukan device-device luar untuk membantu proses kontrol dan juga mikrokontroller memiliki RAM dan ROM internal walaupun dalam kapasitas yang kecil. Mikroprosesor sangat tergantung dari *external devices* (peralatan dari luar) untuk melakukan suatu proses misalnya *interrupt controller*, *I/O port controller*, *timer controller*, dan *serial controller* juga mikroprosesor membutuhkan RAM dan ROM eksternal untuk mengeksekusi program.

AT89S52 adalah mikrokontroller 8 bit yang dirancang khusu untuk system control merupakan suatu system minimum. AT89S52 memiliki RAM sebesar 256 byte dan ROM sebesar 8 byte.

Berikut ini adalah spesifikasi singkat dari mikrokontroller yang digunakan. Untuk lebih lengkap dapat dilihat pada halaman lampiran.



Gambar 2.6 : mikrokontroller AT89S52

Berdasarkan data sheet IC ATMEL89S52 (2003,p1), spesifikasi mikrokontroller At89S52 dibagi menjadi :

- 8 bit mikrokontroller yang dikhususkan untuk aplikasi pengendalian.
- Memory flash sebesar 8 Kbyte yang terdapat dalam system.
- Mampu melakukan siklus penulisan atau penghapusan sampai 1000 kali.
- Operasi static penuh (*fully static operation*) 0Hz sampai 24 MHz.
- 256x8 bit RAM internal.
- 32 saluran input output (I/O) yang dapat diprogram.
- 3 buah timer/counter sebesar 16 bit.

- Saluran (channel) serial yang dapat diprogram.
- Mempunyai vector interupsi sebanyak 6 buah.
- Mempunyai 4 buah I/O port yang dapat dialamati secara langsung dan sifatnya mandiri.

Untuk lebih detail tentang mikrokontroller AT89S52 dapat dilihat pada lampiran.