

**RANCANG BANGUN MESIN PEMOTONG RUMPUT
TENAGA SURYA UNTUK NAVIGASI**

***BUILDING DESIGN OF LOWN MOWER OF SOLAR ENERGY
FOR NAVIGATION***

JOHANES OHOIWUTUN



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

**RANCANG BANGUN MESIN PEMOTONG RUMPUT
TENAGA SURYA UNTUK NAVIGASI**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

JOHANES OHOIWUTUN

kepada

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

TESIS

RANCANG BANGUN MESIN PEMOTONG RUMPUT TENAGA SURYA UNTUK NAVIGASI

Disusun dan diajukan oleh

JOHANES OHOIWUTUN

Nomor Pokok P2202211405

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 1 Agustus 2013

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat

Rafiuddin Syam,ST,M.Eng.Ph.DProf.Dr.Ir.H.Hammada Abbas,MSME

Ketua

Anggota

Ketua Program Studi
Teknik Mesin,

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,

Rafiuddin Syam,ST,M.Eng.Ph.DProf.Dr.Ir.Mursalim

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : JOHANES OHOIWUTUN

Nomor Pokok : P 2202211405

Program Studi : Teknik Mesin/Konstruksi Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 1 Agustus 2013
Yang menyatakan,

JOHANES OHOIWUTUN

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkah dan rahmatNya sehingga penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Penyusunan tesis dengan judul **Rancang Bangun Mesin Pemotong Rumput Tenaga Surya Untuk Navigasi** telah selesai. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan saran, bimbingan, dan petunjuk, terutama kepada :

1. Rafiuddin Syam, ST.M.Eng.Ph.D., selaku ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Mesin sekaligus sebagai ketua komisi penasehat atas segala waktu dan bimbingannya selama penyusunan tesis ini.
2. Prof.Dr.Ir.H.Hammada Abbas, MSME, selaku anggota komisi penasehat atas segala waktu dan bimbingannya selama penyusunan tesis ini.
3. Dr.Ir.Johannes Leonard, DEA, selaku Ketua Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian tesis ini
4. Prof. Dr. Ir. Syukri Himran, MSME, selaku Sekretaris Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian tesis ini.
5. Dr. Rustan Tarraka, ST, MT, selaku Anggota Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian tesis ini

6. Dr-Ing.Ir.. Wahyu H. Piarah, MSME, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Bapak Direktur beserta Staf Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas segala pelayanannya.
8. Bapak Rektor Universitas Hasanuddin.
9. Ptr Paul Tan, Pr selaku Ketua Yayasan Paramitha Katolik Sorong atas segala bantuan dan dukungannya.
10. Bapak Ir.Yoes Anggara Gunawan selaku Direktur Politeknik Katolik Saint Paul Sorong, Bapak Johannes. E. Ola, ST, MT. selaku Asisten Direktur I, Sr. Agripina, SE selaku Asisten Direktur II dan Bapak Herry Widjasena, ST selaku Asisten Direktur III serta Ketua-Ketua Jurusan dalam lingkungan Politeknik Katolik Saint Paul Sorong, atas segala dukungannya.
11. Anak-anak tercinta Ruddy, Debby, Lois dan Lisna atas dukungan moril dan materiil dalam penyelesaian tesis ini.
12. Seluruh staf Workshop Jurusan Mesin Universitas Hasanuddin di Gowa atas segala bantuannya

Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan oleh karena itu masukan dan kritikan sekalian kiranya dapat membantu pengembangan penelitian ini selanjutnya.

Makassar, Juli 2013

Johanes Ohoiwutun

ABSTRAK

JOHANES OHOIWUTUN. *Rancang Bangun Mesin Pemotong Rumput Tenaga Surya Untuk Navigasi*(dibimbing oleh Rafiuddin Syam dan Hammada H. Abbas)

Penelitian ini bertujuan untuk membuat formulasi kinematika dan dinamika untuk mengetahui pergerakan Mesin Pemotong Rumput Tenaga Surya.

Penelitian ini menggunakan tenaga surya sebagai sumber tenaga untuk mengisi batere yang selanjutnya menjalankan robot. Perancangan dan penelitian ini dilaksanakan di Workshop Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa. Sistem kendali yang digunakan adalah sistem manual dengan menggunakan gelombang radio pemancar dan penerima yang selanjutnya menggerakkan robot sesuai arah yang dituju.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dari perlakuan dengan tiga variasi kecepatan yaitu 0,754 m/det, 0,565 m/det dan 0,314 m/det maka diperoleh hasil pemotongan rumput terbaik terjadi pada kecepatan 0,314 m/det dan tinggi pemotongan rumput 5 cm. Formulasi kinematika dan dinamika untuk mesin pemotong rumput terdapat 2 variabel input kontrol yaitu \dot{x} dan \dot{y} untuk mengendalikan 3 variabel output yaitu x , y dan θ sehingga terdapat 1 variabel redundan.

Kata kunci : robot mobile, mesin pemotong rumput, tenaga surya

ABSTRACT

JOHANES OHOIWUTUN. Building Design of Lawn Mower of Solar Energy For Navigation (supervised by Rafiuddin Syam dan Hammada H. Abbas)

The research aimed to make the kinematics and dynamics formulation to find out lawn mower movement of Solar energy.

In the research, solar energy was used as energy source to charge the battery which eventually drove the robot. The designing and research were carried out in the Workshop of Mechanical Department Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Gowa.

The control system used was a manual system by using radio wave transmitter and receiver which in turn drive the robot in the direction intended.

Experimental results indicated that treatment with three speed variations of 0,754 m/s, 0,565 m/s and 0,314 m/sec is obtained that the best grass cutting results occur on speed of 0,314 sec and the grass cutting high is 5 cm. The kinematics and dynamics formulation for lawn mowers, have 2 control input variables i.e \dot{x} and \dot{y} to control 3 the output variables of x , y and θ so that there is one variable redundant.

Keywords: mobile robots, lawn mower, solar power

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR NOTASI	xi
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian	4
II. LANDASANTEORI	5
A. Pengertian Robot	5
1. Mobile Robot	8
2. Non Mobile Robot	9
B. Sistem Kendali Robot	10
1. Kendali Loop Terbuka	11
2. Kendali Loop Tertutup	12
C. Tenaga Surya	13
1. Fotovoltaik	14

2. Sel Fotovoltaik	15
D. Mikrokontroler	
E. Motor DC	17
F. Persamaan Dasar Mobile Robot	20
III.METODOLOGI PENELITIAN	21
A. Waktu Dan Tempat	30
B. Alat Dan Bahan	30
C. Spesifikasi	30
D. Dimensi Mesin Pemotong Rumput	31
E. Sistim Kendali Mesin	32
F. Prinsip kerja Sistim Kontrol	33
G. Prosedur Penelitian	33
H. Diagram Alir Penelitian	35
I. Jadwal Penelitian	36
J. Ilustrasi Gambar desain Mesin Pemotong Rumput	37
IV.HASIL DAN PEMBAHASAN	38
A. Mesin Pemotong Rumput	41
B. Fotovoltaik	41
C. Perhitungan Error Tracking Lintasan	41
D. Kecepatan Robot	43
E. Diagram Kontrol	48
F. Perhitungan Kinematika dan Dinamika	50
	50

V. PENUTUP	57
A. Kesimpulan	57
B. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58

DAFTAR GAMBAR

Nomor	halaman
Gambar 1. Robot mobile	8
Gambar 2. Robot hummanoid	10
Gambar 3. Sistim kendali	11
Gambar 4. Kendali loop terbuka	12
Gambar 5. Kendali loop tertutup	12
Gambar 6. Skema pengoperasian dasar sel fotovoltai	15
Gambar 7. Elektron hole	16
Gambar 8. Motor Tenaga Surya	17
Gambar 9. Mikrokontroler ATmega 8535	19
Gambar 10. Motor DC	21
Gambar 11. Mobile robot pada koordinat X - Y	21
Gambar 12. Gaya yang terjadi pada mobile robot	24
Gambar 13. Perpindahan Mobile robot	26
Gambar 14. Kecepatan mobile robot	28
Gambar 15. Sistim kontrol	35
Gambar 16. Gambar tampak	38
Gambar 17. Gambar isometrik	39

Gambar 18. Gambar tiga dimensi	40
Gambar 19. Gambar Lintasan 1	43
Gambar 20. Grafik 1 operator 1	44
Gambar 21 Grafik 2 operator 2	45
Gambar 22 Gambar lintasan 2	46
Gambar 23 Grafik 3 lintasan 2, operator 1	47
Gambar 24 Grafik 4 lintasan 2 operator 2	48
Gambar 25 Variasi kecepatan	59
Gambar 26 Diagram control mobile robot	50

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	halaman
A Spesifikasi	59
1. Modul sel Surya	59
2. Battery Control Regulator	59
3. Penggerak Pemotong Rumput	60
B Foto Dokumentasi	61
C. Tabel Error Lintasan 1	74
D. Tabel Error Lintasan 2	102

DAFTAR NOTASI

No.	Notasi	Keterangan	Satuan
1	q_r	Input controller	-
2	q_e	Error	-
3	q_{act}	Koordinat Aktual	-
4	$U_{(t)}$	Output kontroler	-
5	$g(q)$	Matriks Transformasi	-
6	K_p	Kontrol proporsional	-
7	θ	sudut arah hadap robot	$^{\circ}$
8	L	Panjang robot diukur dari garis tengah roda ke roda	m
8	$2b$	lebar robot yang diukur dari garis tengah roda ke roda	m
9	r	jari-jari roda	m
10	d	Jarak antara titik berat dengan poros roda	m

11	ω_1	Kecepatan sudut roda kiri	rad/sec
12	ω_2	Kecepatan sudut roda kanan	rad/sec
13	m	Massa total <i>mobile robot</i>	kg
14	v	Kecepatan Linear <i>mobile robot</i>	m/s
15	w	Kecepatan sudut <i>mobile robot</i>	rad/s
16	\dot{v}	Percepatan Linear <i>mobile robot</i>	m/s^2
17	\dot{w}	Percepatan sudut <i>mobile robot</i>	rad/s^2
18	\dot{q}	Kecepatan	m/s
19	\ddot{q}	Percepatan	m/s^2
20	$\dot{\theta}$	Kecepatan sudut <i>mobile robot</i>	rad/s
21	τ	Torsi aktuator	N.m
22	P_{mot}	Daya motor	W
23	P_{bat}	Daya batere	Wh

24	U_b	Tegangan batere	V
25	I_b	Arus batere	A
26	t_{ch}	Waktu pengisian batere	jam
27	t_{op}	Waktu pengoperasian batere	jam
28	V_r	Kecepatan rata-rata tanpa beban	m/det

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Rumput adalah tumbuh-tumbuhan yang menutup tanah sekaligus berguna untuk melindungi tanah dari ancaman kerusakan akibat erosi serta untuk memperbaiki sifat kimia dan sifat fisik tanah. Pertumbuhan tanaman rumput sangat cepat dibandingkan dengan tanaman hias penutup tanah lainnya. Untuk menjaga keindahan taman, halaman maupun lapangan bola kaki dan lain-lain maka rumput harus dipotong secara teratur dengan ketinggian tertentu, sehingga nampak rapih dan asri. Namun kenyataan yang terjadi selama ini proses pemotongan rumput dilaksanakan secara manual atau dengan mesin pemotong rumput gendong dan dorong yang menggunakan tenaga manusia untuk menjalankannya dan tentu pula menyita waktu.

Selain itu kebutuhan energi dunia terus meningkat seiring dengan tingkat kemajuan peradaban manusia. Pemanfaatan sumber energi konvensional seperti batubara, bahan bakar minyak, gas alam dan lain-lain di satu sisi memiliki biaya operasional murah, namun di sisi lainnya menghadapi kendala yang semakin besar. Kendala tersebut adalah sumbernya yang semakin berkurang dan yang lebih penting lagi munculnya persoalan polusi lingkungan hidup yang membahayakan bagi kehidupan manusia.

Pemanasan global adalah meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi akibat peningkatan jumlah emisi gas rumah kaca di atmosfer. Pemanasan global akan diikuti dengan perubahan iklim, seperti meningkatnya curah hujan di beberapa belahan dunia sehingga menimbulkan banjir dan erosi. Sedangkan di belahan bumi lain akan mengalami musim kering yang berkepanjangan disebabkan oleh kenaikan suhu. Pemanasan global terjadi ketika ada konsentrasi gas-gas tertentu yang dikenal dengan gas rumah kaca, yg terus bertambah di udara, hal tersebut disebabkan oleh tindakan manusia, kegiatan industri, khususnya CO₂ dan chlorofluorocarbon. (Dr.G.Robert, <http://vegclimatealliance.org/livestock-and-climate-change-qa>)

Oleh karena itu pengembangan sumber tenaga alternatif yang terbarukan dan bebas polusi menjadi kebutuhan mendesak bagi seluruh umat manusia. Salah satu sumber-sumber tenaga terbarukan tersebut adalah tenaga surya. Indonesia terletak di sepanjang garis katulistiwa, yaitu pada 6° lintang utara - 11° lintang selatandan 95° bujur timur - 141° tujur timur, dan dengan memperhatikan peredaran matahari dalam setahun berada pada daerah 23,5° lintang utara dan 23,5° lintang selatan maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10 sampai 12 jam sehari, sehingga sumber-sumber energi terbarukan tersebut di atas sangat melimpah. Oleh karena itu semestinya pengembangan dan pemanfaatannya harus dilakukan baik dalam bentuk riset di laboratorium maupun terapannya berupa teknologi tepat guna yang langsung dapat

dimanfaatkan oleh masyarakat. Menurut pengukuran dari pusat Meteorologi dan Geofisika diperkirakan besar radiasi yang jatuh pada permukaan bumi Indonesia (khususnya Indonesia Bagian Timur) rata-rata kurang lebih sebesar 5,1 kWh/m². (<http://www.esdm.go.id/berita/323-energi-baru-dan-terbarukan/2846-energi-surya-dan-pengembangannya-di-indonesia.html>)

Namun demikian dalam bidang terapan pemanfaatan energi tersebut belum dilakukan secara optimal baik untuk keperluan industri, rumah tangga maupun perkantoran. Hal ini sangat mungkin mengingat prospek yang sangat besar bagi pengembangan pemanfaatan teknologi sel surya di seluruh dunia apalagi di Indonesia. Oleh karena itu diharapkan mampu menggugah kesadaran kita semua bahwa Indonesia mempunyai sumber energi terbarukan yang melimpah sehingga kegiatan riset energi terbarukan mendapatkan perhatian besar oleh para penentu kebijakan baik di perguruan tinggi maupun di lembaga-lembaga riset lainnya.

Ariswan, *Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia* (Online), diakses 24 Oktober 2012.

Dari uraian di atas penulis mengangkat judul **“Rancang Bangun Mesin Pemotong Rumput Tenaga Surya Untuk Navigasi”**

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang dan membuat mesin pemotong rumput dengan menggunakan tenaga surya?
2. Bagaimana membuat formulasi kinematika dan dinamika?

3. Bagaimana melakukan simulasi terhadap mesin pemotong rumput tenaga surya?

C. Tujuan Penelitian

1. Merancang dan membuat mesin pemotong rumput dengan menggunakan tenaga surya. untuk navigasi
2. Membuat formulasi kinematika dan dinamika untuk mengetahui pergerakan Mesin Pemotong Rumput Tenaga Surya Untuk Navigasi.
3. Melakukan simulasi

D. Batasan Masalah

Mengingat bahwa mobile robot mempunyai cakupan yang luas maka penulis memberi batasan sebagai berikut :

1. Bahan konstruksi yang digunakan adalah bahan dasar yang umum dipakai seperti plat besi, besi siku dan sel surya sebagai catu daya.
2. Analisis Kinematika dan Dinamika
3. Simulasi mesin pemotong rumput tenaga surya

E. Manfaat Penulisan

1. Bagi Penulis : mampu mendesain dan mensimulasi mesin pemotong rumput tenaga surya untuk navigasi
2. Bagi akademisi :memberikan masukan, tambahan pengetahuan, untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut dibidang robotika. Khususnya mesin pemotong rumput

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Pengertian Robot

Robot berasal dari kata *robot* yang dalam bahasa Ceko berarti budak, pekerja atau kuli. Pertama kali kata *robot* diperkenalkan oleh Karel Capek dalam sebuah pentas sandiwara pada tahun 1920 yang berjudul *Rossum's Universal Robot (RUR)*. Meskipun begitu, awal kemunculan robot sebetulnya dari bangsa Yunani kuno yang membuat patung yang dapat dipindah-pindahkan. Pada zaman Nabi Muhammad SAW, telah dibuat mesin perang dengan menggunakan roda dan dapat melontarkan bom. Bahkan Al-Jajari (1136-1206), seorang ilmuwan Islam pada dinasti Artuqid, dianggap sebagai tokoh yang pertama kali menciptakan robot humanoid yang berfungsi sebagai musisi. [4]

Pada tahun 1987 penelitian dan pengembangan pertama membuahkan sebuah produk robotik ketika Argonne National Laboratories di Oak Ridge, Amerika, memperkenalkan sebuah mekanisme robotik yang dinamai *master-slave manipulator*. Robot ini digunakan untuk menangani material radioaktif. Kemudian produk robot komersial pertama diperkenalkan oleh Unimation Incorporated, Amerika, pada tahun 1950. Hingga belasan tahun kemudian langkah komersial ini telah diikuti oleh perusahaan-perusahaan di belahan dunia lain. Namun demikian penelitian intensif dibidang

teknologi robotik dan niatan menjadikan robotik sebagai sebuah disiplin ilmu belum terpikirkan.

Setelah dunia mulai menapak ke jaman industri pada pertengahan 1960-an, kebutuhan akan otomasi makin besar. Pada saat itu robotik diterima sebagai disiplin ilmu baru yang mendampingi ilmu-ilmu dasar dan teknik yang telah mapan sebelumnya. Negara-negara yang telah mapan kala itu seperti Amerika, Inggris, Jerman dan Prancis mulai bermunculan grup-grup riset yang menjadikan robotik sebagai temannya. Tidak lama kemudian di Asia, yang dimotori oleh pemikir-pemikir Jepang yang baru pulang menimba ilmu di Amerika, bermunculan pula kelompok-kelompok peneliti dalam bidang robotik. Bahkan di kemudian hari tercatat bangsa Jepang-lah yang paling produktif dalam mengembangkan teknologi robot, kalau tidak dapat dikatakan sebagai yang termaju dalam bidang ini. Hal ini tak lain karena Jepang juga gigih dalam melakukan penelitian teknologi infrastruktur seperti komponen dan piranti mikro (microdevices) yang akhirnya bidang ini terbukti sebagai inti dari pengembangan robot modern.

Pada awalnya aplikasi robot hampir tak dapat dipisahkan dengan industri sehingga muncul istilah industrial robot dan robot manipulator. Definisi yang populer ketika itu, robot industri adalah suatu robot tangan (robot arm) yang diciptakan untuk berbagai keperluan dalam meningkatkan produksi, membentuk lengan-lengan kaku yang terhubung secara seri dan memiliki sendi yang dapat bergerak berputar (rotasi) atau memanjang/memendek (translasi atau prismatic). Satu sisi lengan yang

disebut sebagai pangkal ditanam pada bidang atau meja yang statis (tidak bergerak), sedangkan sisi yang lain yang disebut sebagai ujung (end of effector) dapat dimuati dengan tool tertentu sesuai dengan tugas robot. Dalam dunia mekanikal, manipulator memiliki dua bagian yaitu tangan atau lengan (arm) dan pergelangan (wrist). Pada pergelangan ini dapat diinstal berbagai tool. Penggunaan manipulator diminati dalam industri sehingga banyak perusahaan besar di dunia menjadikan robot industri sebagai unggulan. Bahkan beberapa perusahaan di Jepang masih menjadikan manipulator sebagai produk utamanya seperti Franc Inc. yang memiliki pabrik utamanya di lereng gunung Fuji.

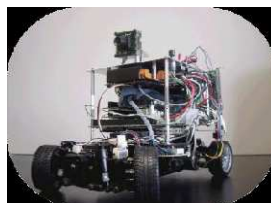
Dewasa ini mungkin definisi robot industri itu sudah tidak sesuai lagi karena teknologi robot sudah dipakai meluas sejak tahun 1980-an. Seiring itu pula kemudian muncul istilah robot humanoid (konstruksi mirip manusia), animaloid (mirip binatang) dan sebagainya. Bahkan kini dalam industri spesifik seperti industri perfilman, industri angkasa luar dan industri pertahanan atau mesin perang, robot arm atau manipulator bisa jadi hanya menjadi bagian saja dari sistem robot secara keseluruhan.[5]

Mobil robot adalah konstruksi robot yang ciri khasnya mempunyai aktuator berupa roda untuk menggerakkan keseluruhan badan robot sehingga dapat melakukan perpindahan posisi dari satu titik ke titik lain. Pada robot sains digunakan untuk menunjukkan geometris dan aplikasi robot yaitu poros gerakan dan derajat kebebasan. Pergerakan ini mempunyai garis sumbu atau titik yang tidak berubah disebut poros.

Jadi poros gerakan merupakan titik atau pusat terjadinya gerakan. Derajat kebebasan adalah jumlah arah bebas dari suatu robot (end effector) yang menentukan arah dari pergerakan. Parameter-parameter yang bertindak sebagai variabel masukan dari robot mobil adalah koordinat posisi (x,y) yaitu titik pusat robot dan sudut arah ϕ yang berada pada sumbu x dan poros robot. Sebagai variabel keluarannya adalah sinyal sudut pengarah $\phi\theta$ yang berada antara poros roda dengan arah roda.[6]

1.Mobile Robot

Mobile robot adalah type robot yang paling populer dalam dunia penelitian robot. Sebutan ini biasa digunakan sebagai kata kunci utama untuk mencari rujukan atau referensi yang berkaitan dengan robotik di internet. Publikasi dengan judul yang berkaitan mobile robot sering menjadi daya tarik, tidak hanya bagi kalangan peneliti, tapi juga bagi kalangan awam. Dari segi manfaat, penelitian tentang berbagai tipe mobile robot diharapkan dapat membantu dalam melakukan otomasi dalam transportasi, platform bergerak untuk robot industry, eksplorasi tanpa awak dan masih banyak lagi [5]



Gambar .1. Robot Mobile

Sumber : www.meriwardana.com/.../robot-robot-pintar-dan-tercanggih-di.html

2. Non Mobile Robot

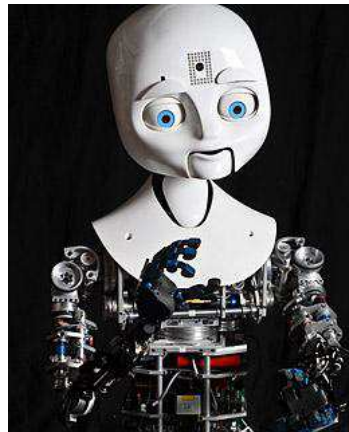
Non mobile robot merupakan robot yang hanya berdiri pada satu titik atau tempat secara terus menerus dalam menjalankan fungsinya. Robot jenis ini biasa disebut robot manipulator atau *arm robot* atau robot industri. Karena penerapannya, robot ini lebih berperan seperti layaknya tangan manusia. Salah satu contoh robot industri yang terdapat pada pabrik-pabrik perakitan mobil yang biasanya berperan sebagai penyambung (las) pada bagian-bagian kendaraan.

Sistem mekanik dari robot ini terdiri dari dua susunan rangka (link) dan engsel (joint) yang mampu menghasilkan gerakan terkontrol. Terdapat dua tipe dasar yang digunakan dalam industri yaitu :

- a. Revolute Joint (R) perputaran pada sumbu tertentu
- b. Prismatic joint (P) pergeseran sepanjang sumbu tertentu

Pada akhirnya kombinasi antara mobil robot dengan non mobile robot dapat menghasilkan kelompok kombinasi konvensional (mobile dengan non mobile) serta kelompok nonkonvensional. Untuk kelompok pertama diberi nama konvensional karena nama yang digunakan dalam konteks penelitian adalah nama-nama yang dianggap umum, seperti mobile manipulator, robot pemanjat (climbing robot), dan walking robot. Sedangkan kelompok nonkonvensional dapat berupa robot humanoid, animaloid, extra-ordinary, atau segala bentuk inovasi penyerupaan yang bisa dilakukan. Kelompok ini banyak dimanfaatkan sebagai ikon keunggulan dalam penelitian robotik seperti robot Advanced Step in

Inovative Mobility (ASIMO) buatan Jepang. Sementara robot bawah air dan robot terbang lebih banyak dikembangkan sebagai peralatan untuk membantu penelitian yang berkaitan dan untuk pertahanan atau mesin perang [7]



Gambar 2. Robot Humanoid

Sumber : elib.unikom.ac.id/download.php

B. Sistem Kendali Robot

Masalah pengendalian berkaitan erat dengan strategi yang memungkinkan sebuah mikrokontroler mengarahkan gerakan-gerakan dari sebuah robot melalui sensor dan menyampaikan respon robot tersebut ke mikrokontroler. Sistem kendali mempunyai tiga unsur yaitu input, proses dan output.



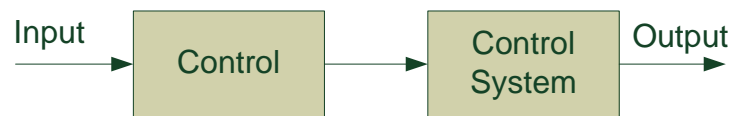
Gambar.3. Sistem kendali

Input pada umumnya berupa sinyal dan transduser yaitu alat yang dapat merubah besaran fisik menjadi besaran listrik, misalnya tombol tekan, saklar batas, thermostat dan lain-lain. Transduser memberikan besaran yang dapat diukur, kemudian besaran ini dapat diproses oleh bagian proses, dapat berupa rangkaian kendali yang menggunakan peralatan yang dirangkai secara listrik atau berupa suatu sistem kendali yang dapat diprogramkan misalnya sistem mikroprosesor, mikrokontrol atau PLC.

Pemrosesan informasi (sinyal input) menghasilkan sinyal output yang selanjutnya digunakan untuk mengaktifkan aktuator (peralatan output) yang dapat berupa motor listrik, kontaktor, katup solenoid, lampu dan sebagainya. Dengan peralatan output, besaran listrik diubah menjadi besaran fisik. Sistem kendali dibedakan menjadi dua yaitu sistem kendali loop terbuka (*open loop control*) dan loop tertutup (*close loop control*).

1. Kendali Loop Terbuka (*open loop control*)

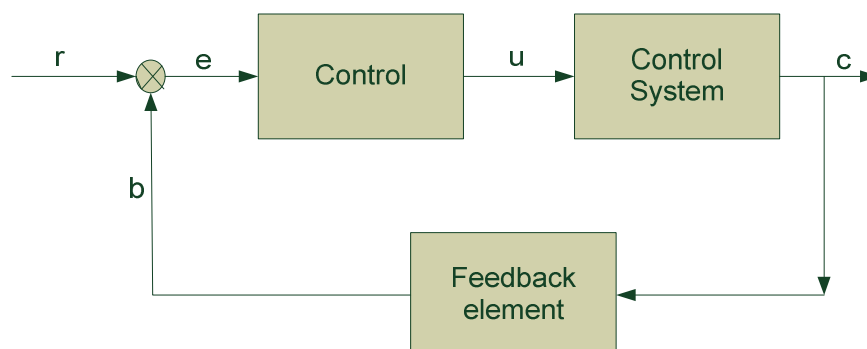
Suatu sistem yang keluarannya tidak mempunyai pengaruh terhadap aksi kontrol. Dengan kata lain, sistem kontrol loop terbuka merupakan sistem kontrol dimana keluaran tidak memberikan efek terhadap besaran masukan, sehingga variabel yang dikontrol tidak dapat dibandingkan terhadap harga yang diinginkan. Gambar prinsip kendali loop terbuka diperlihatkan pada gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Diagram blok open loop control

2. Kendali loop tertutup (*close loop control*)

Kendali loop tertutup merupakan kebalikan dari prinsip kendali loop terbuka. Pengertiannya adalah suatu prinsip kendali dimana loop tersebut memiliki lintasan yang tertutup untuk proses aliran informasi dari output ke input dan kembali lagi ke input karena adanya *feedback control*. Selanjutnya diperlihatkan blok diagram close loop tertutup.



Gambar 5. Diagram blok close loop control

Huruf r merupakan masukan yang menentukan suatu nilai yang diharapkan bagi sistem yang dikendalikan tersebut. Sedangkan lingkaran tanda silang menandakan suatu titik penjumlahan antara r dan b (umpan balik dari keluaran). Keluaran dari penjumlahan adalah sinyal kesalahan e adalah nilai yang diperoleh dari selisih r dan b . Dengan kata lain sinyal

kesalahan **e** adalah perbedaan antara apa yang diinginkan dengan apa yang dihasilkan.[7]

C. Tenaga Surya

Energi surya atau matahari telah dimanfaatkan di banyak belahan dunia dan jika dieksploitasi dengan tepat, energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia saat ini dalam waktu yang lebih lama. Matahari dapat digunakan secara langsung untuk memproduksi listrik atau untuk memanaskan bahkan untuk mendinginkan. Potensi masa depan energi surya hanya dibatasi oleh keinginan kita untuk menangkap kesempatan. Ada banyak cara untuk memanfaatkan energi dari matahari. Tumbuhan mengubah sinar matahari menjadi energi kimia dengan menggunakan fotosintesis. Kita memanfaatkan energi ini dengan memakai dan membakar kayu. Bagaimanapun, istilah “tenaga surya” mempunyai arti mengubah sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik untuk kegunaan kita. Ada dua tipe dasar tenaga matahari adalah “*sinar matahari*” dan “*photovoltaic*” (photo-cahaya, voltaic=tegangan). Photovoltaic tenaga matahari melibatkan pembangkit listrik dari cahaya. Rahasia dari proses ini adalah penggunaan bahan semi konduktor yang dapat disesuaikan untuk melepas elektron, partikel bermuatan negatif yang membentuk dasar listrik.

1. Fotovoltaik

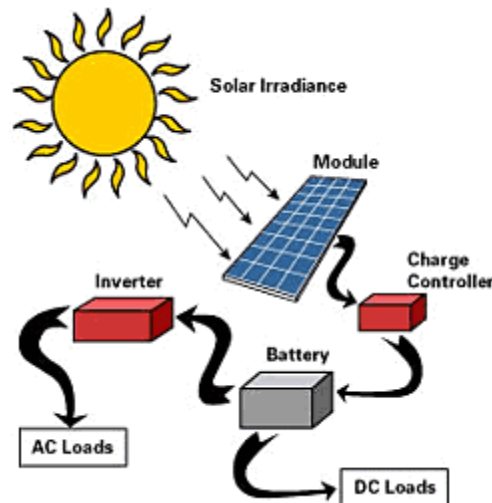
Teknologi fotovoltaik (PV) merupakan suatu teknologi konversi yang mengubah cahaya (foto) menjadi listrik (volt) secara langsung (*direct conversion*). Peristiwa ini dikenal sebagai efek fotolistrik (*photovoltaic affect*). Didalam proses konversi cahaya-listrik tidak ada bagian yang bergerak, sehingga produk teknologi fotovoltaik memiliki umur teknis yang panjang lebih dari 25 tahun.

Teknologi fotovoltaik dikenal sebagai teknologi bersih sehingga penerapannya akan mendukung program pembangunan yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Beberapa keuntungan dari pemanfaatan teknologi fotovoltaik, antara lain:

1. Biaya operasional dan perawatan yang rendah (tidak diperlukan pembelian bahan bakar dan keausan dalam proses konversi)
2. Tidak menimbulkan polusi udara karena tidak ada proses pembakaran sehingga mengurangi pelepasan gas rumah kaca (*greenhouse gas*)
3. Tidak menimbulkan kebisingan karena tidak ada bagian yang bergerak

Modul fotovoltaik yang pertama dibangun oleh Bell Laboratories pada tahun 1954. Modul ini dibuat sebagai baterai matahari dan sebagian besar hanya karena rasa ingin tahu karena terlalu mahal untuk penggunaan secara luas. Tahun 1960-an, industri luar angkasa mulai serius dalam penggunaan teknologi ini untuk memberikan listrik pada pesawat ruang angkasa. Melalui program luar angkasa, teknologi fotovoltaik semakin maju, keandalannya menjadi mapan, dan biaya mulai menurun. Selama

krisis energi di tahun 1970-an, teknologi fotovoltaik mendapat pengakuan sebagai sumber daya untuk aplikasi non-luar angkasa.



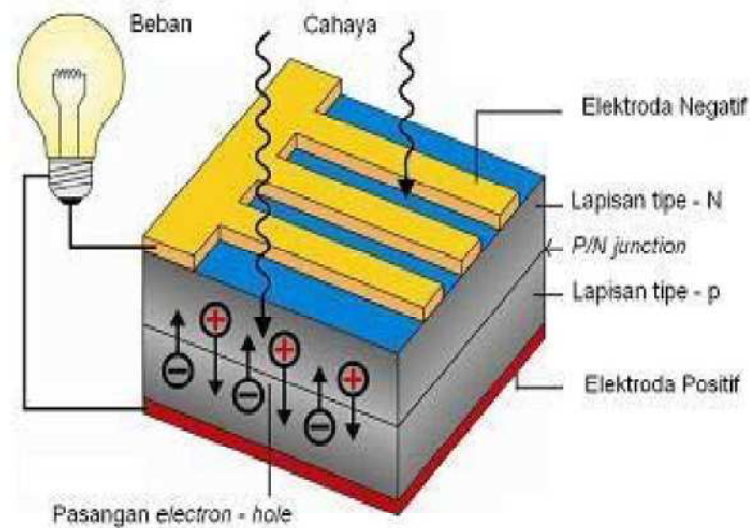
Gambar 6. Skema pengoperasian dasar sel fotovoltaik

Sumber : <http://tenagasuryaku.com/2011/12/03/solar-sell/>

2. Sel Fotovoltaik

Efek fotolistrik ini terjadi pada suatu sel yang terbuat dari bahan semikonduktor. Karena sifatnya, sel ini kemudian disebut sebagai sel fotovoltaik (*photovoltaic cell*) atau sering juga disebut sebagai sel surya (*solar cell*). Sel fotovoltaik merupakan komponen terkecil didalam *Sistem Energi Surya Fotovoltaik* (SESF).

Teknologi sel fotovoltaik yang tersedia dewasa ini masih didominasi oleh jenis sel dengan teknologi kristal, baik mono-kristal maupun poli-kristal, khususnya dari bahan dasar silikon. Sinar matahari yang menimpa permukaan sel diubah secara langsung menjadi listrik sebagai akibat terjadinya pergerakan pasangan *electron-hole*, sebagaimana digambarkan pada skema gambar 7



.Gambar 7. Elektron hole

Skema di atas menggambarkan pengoperasian dasar sel fotovoltaik juga disebut sel surya. Sel surya terbuat dari jenis yang sama dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang digunakan dalam industry mikroelektronika. Untuk sel surya, wafer semikonduktor tipis diperlakukan secara khusus untuk membentuk medan listrik, di satu sisi positif dan negatif di sisi lain. Ketika energi cahaya matahari mengenai sel elektron terlepas dari atom yang ada dalam material semikonduktor. Jika konduktor listrik yang melekat pada sisi positif dan negatif, membentuk sebuah rangkaian listrik, elektron dapat ditangkap dalam bentuk arus listrik. Listrik ini kemudian dapat digunakan untuk menyalakan sebuah beban, seperti lampu atau alat lain.

struktur pendukung atau frame yang disebut modul fotovoltaik. Modul ini dirancang untuk pasokan listrik pada tegangan tertentu, misalnya sistem yang sudah umum, yaitu, 12 volt.[9]

Pada gambar 8 ditampilkan penggunaan fotovoltaik pada robot



Gambar 8. Motor tenaga surya

Sumber : <http://4bp.blongspot.com>

D. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah mikroprosesor yang dikhususkan untuk instrumentasi dan kendali. Contoh aplikasi pada kendali motor, berperan seperti PLC (*Programmable Logic Controller*), pengaturan pengapian dan injeksi bahan bakar pada kendaraan bermotor atau alat mengukur suatu besaran, seperti suhu, tekanan, kelembaban dan lain-lain.

Mikrokontroler merupakan suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. Cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data. Mikrokontroler juga merupakan

computer dalam chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektrik yang menekankan efisien dan efektif biaya. Secara harafiah bias disebut “pengendali kecil” dimana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC, TTL dan CMOS dapat direduksi/ diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan mikrokontroler. Dengan penggunaan mikrokontroler ini maka :

1. Sistem elektronika menjadi lebih ringkas
2. Rancang bangun sistem elektronika akan lebih cepat karena sebagian besar dari sistem adalah perangkat lunak yang mudah dimodifikasi
3. Pencarian gangguan lebih mudah ditelusuri karena sistemnya yang kompak.

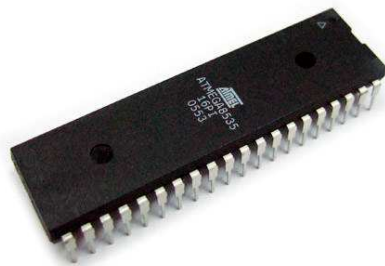
Mikrokontroler juga merupakan suatu chip yang dibuat dengan ciri-ciri kekhasannya adalah :

1. Memiliki memori internal relative sedikit
2. Memiliki unit I/O langsung
3. Pemroses bit selain byte
4. Memiliki perintah/program yang langsung berhubungan dengan I/O
5. Program relatif sederhana
6. Beberapa varian memiliki memori yang tidak hilang bila catu padam didalamnya untuk menyimpan program

Sedangkan dalam aplikasi, sistem mikrokontroler memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Memiliki program khusus yang disimpan dalam memori untuk aplikasi tertentu, tidak seperti PC yang multifungsi karena mudahnya memasukan program. Program mikrokontroler relatif lebih kecil dari pada program-program pada PC.
2. Konsumsi daya kecil
3. Rangkaian sederhana dan kompak
4. Murah karena komponen sedikit
5. Unit I/O yang sederhana
6. Lebih tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem misalnya temperature, tekanan, kelembaban dan sebagainya.[8]

Berikut ditampilkan salah satu jenis mikrokontroler ATmega 8535



Gambar 9. Mikrokontroler ATmega 8535

D. Motor DC

Motor DC adalah motor yang menggunakan aliran arus searah dalam

operasinya. Motor jenis ini banyak digunakan pada aplikasi yang *mobile*. Salahsatu contoh penggunaan motor DC adalah pada mobile robot. Pergerakan darimotor DC terjadi karena adanya kumparan yang bersifat magnetik ketika diberitegangan, dan karena dipengaruhi oleh medan magnetik aktif yang mengelilingikumparan tersebut maka kumparan yang tadinya bersifat magnetik akanmelakukan gerakan memutar. Gerakan inilah yang membuat motor tersebutberputar.

Pada umumnya motor DC yang telah ada adalah motor yang memiliki 2 atau lebih bidang magnet permanen sebagai stator dan gulungan pada kutubelektroda yang terdapat di sikat permanen yang bermagnet yang disebut dynamo sebagai rotor.Keuntungan menggunakan motor DC yaitu dapat berputar searah denganjarum jam dan berlawanan dengan jarum jam, arah pergerakan motor DC dapatdirubah dengan membalikkan kutub pada catu daya yang diberikan pada motorDC. Misalnya hubungan baterai dengan motor tersebut, maka motor akanberputar searah jarum jam, sedangkan pada saat kutub dari baterai di balik, makamotor akan berputar berlawanan dengan arah jarum jam

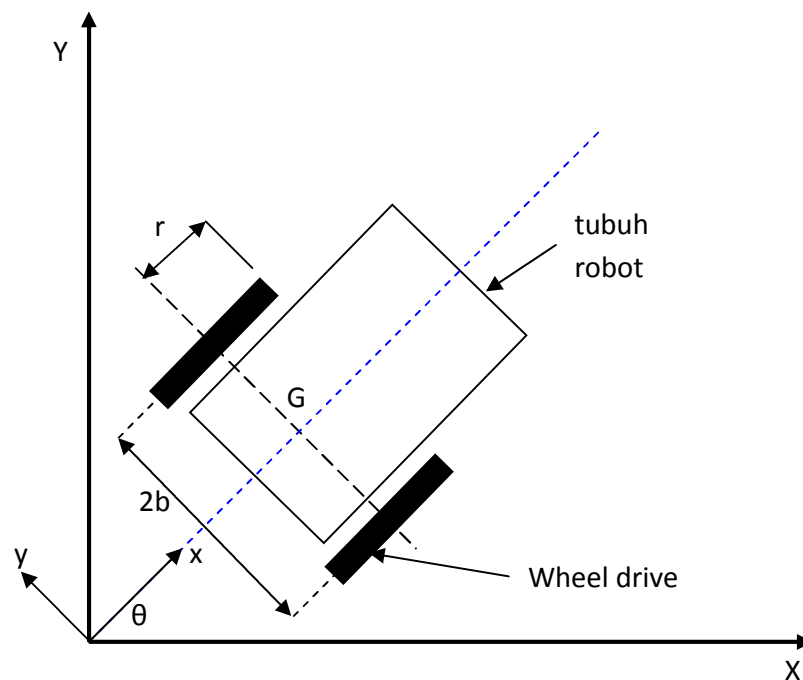


Gambar 10. Motor DC.

Sumber : <http://electronics.howstuffworks.com/motor2.htm>

E. Persamaan dasar Mobile Robot

Mobile robot di sini adalah mobile robot bergerak dua roda kiri-kanan seperti ditunjukkan pada gambar 11 berikut ini : [6]



Gambar 11. Mobile Robot pada koordinat X-Y

Keterangan:

θ = sudut arah hadap *mobile robot*

$2b$ = jarak antara roda

r = jari-jari roda penggerak

(x,y) = koordinat acuan di tubuh robot terhadap sumbu XY

Gerakan *mobile robot* diasumsikan bergerak dalam kawasan sumbu XY saja, tanpa memperhatikan medan yang tidak rata seperti jalan yang naik turun, yang dapat menjadi unsur sumbu Z.

Persamaan umum *mobile robot* sistem *nonholonomic* menurut aturan Euler-Lagrange adalah : [10]

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = B(q)\tau + J^T(q)\lambda \dots\dots\dots(1)$$

dimana : q adalah sistem koordinat umum robot

$M(q)$ adalah matriks simetris $n \times n$

$C(q, \dot{q})$ adalah matriks yang terkait dengan efek coriolis dan

sentrifugal

$G(q)$ adalah vektor gaya gravitasi

$B(q)$ adalah $n \times r$ dimensi matriks pemetaan ruang aktuator

terhadap koordinat ruang keseluruhan

τ adalah r-dimensi vektor dari gaya/torsi aktuator

λ adalah faktor pengali dari Lagrange

dengan vektor posisi, kecepatan dan percepatan *mobile robot* didefinisikan sebagai berikut:

$$q = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} ; \dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \text{ dan } \ddot{q} = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

menurut Hukum Newton II, hubungan massa, percepatan dan gaya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F = m \cdot a \dots\dots\dots(3)$$

dimana: F = gaya (N)

m = massa (kg)

a = percepatan (m/s²)

sedangkan keseimbangan rotasi dari Hukum Newton II, dapat dituliskan:

$$\tau = I \cdot \alpha \dots\dots\dots(4)$$

dimana: τ = torsi mobile robot (N.m)

I = Inersia mobile robot (kg.m²)

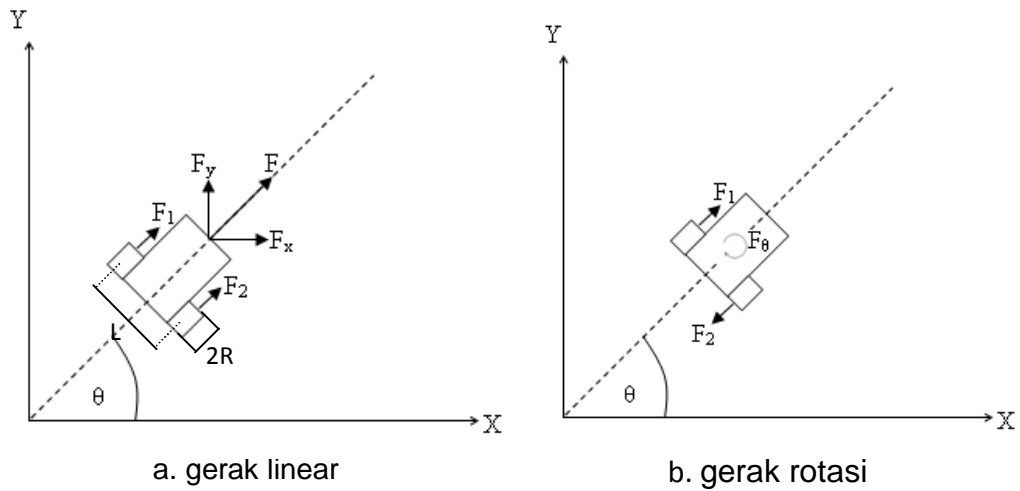
α = percepatan sudut (rad/s²)

dari persamaan (2) dan (3) dapat dituliskan:

$$\begin{aligned} F_{(x)} &= m \cdot a_x \\ F_{(y)} &= m \cdot a_y \\ \tau_{(\theta)} &= I \cdot \ddot{\theta} \end{aligned} \dots\dots\dots(5)$$

maka dapat dituliskan matriks dari $M(q)\ddot{q}$ yaitu:

$$M(q)\ddot{q} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(6)$$



Gambar 12. Gaya yang terjadi pada mobile robot

dari gambar 12..a. dapat diperoleh:

$$\begin{aligned} F &= F_1 + F_2 \\ F_x &= F \cdot \cos \theta \end{aligned} \dots\dots\dots(7)$$

$$F_y = F \cdot \sin \theta$$

dimana:

$$F_1 = \frac{\tau_1}{R} \text{ dan } F_2 = \frac{\tau_2}{R} \dots\dots\dots(8)$$

dengan memperhatikan persamaan (7) dan (8) dapat diperoleh:

$$\begin{aligned} F_x &= (F_1 + F_2)\cos\theta \\ &= \left(\frac{\tau_1}{R} + \frac{\tau_2}{R}\right)\cos\theta \dots\dots\dots(9) \\ &= \frac{(\tau_1 + \tau_2)\cos\theta}{R} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_y &= (F_1 + F_2)\sin\theta \\ &= \left(\frac{\tau_1}{R} + \frac{\tau_2}{R}\right)\sin\theta \dots\dots\dots(10) \\ &= \frac{(\tau_1 + \tau_2)\sin\theta}{R} \end{aligned}$$

sedangkan $F_{(\theta)}$ dapat diperoleh dengan memperhatikan gambar 9.b. yaitu:

$$F_{(\theta)} = F_1 - F_2 \dots\dots\dots(11)$$

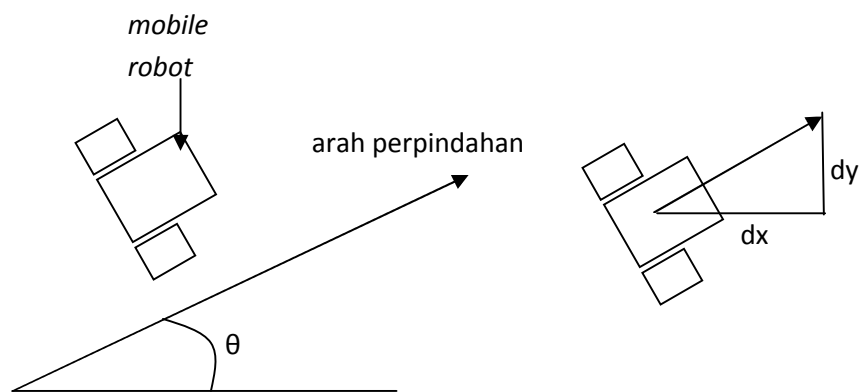
dimana: $F_1 = \frac{\tau_1}{R}$ dan $F_2 = \frac{\tau_2}{R}$ (12)

sehingga $F_{(\theta)}$

$$\begin{aligned} F_{(\theta)} &= \frac{\tau_1}{R} - \frac{\tau_2}{R} \dots\dots\dots(13) \\ &= (\tau_1 - \tau_2) \cdot \frac{1}{R} \end{aligned}$$

jika persamaan (9), (10) dan (13) ditransformasikan ke dalam bentuk matriks maka didapat:

$$B(q)\tau = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \theta \\ \sin \theta & \sin \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(14)$$



Gambar 13. Perpindahan mobile robot

dari gambar (13) dapat diperoleh persamaan nonholonomic sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= \tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \\ \frac{dy}{dx} &= \frac{\dot{y}}{\dot{x}} \\ \frac{\dot{y}}{\dot{x}} &= \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \end{aligned}$$

maka, $\dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta = 0 \dots\dots\dots(15)$

jika persamaan (15) ditransformasikan ke dalam bentuk matriks akan didapatkan

$$\begin{bmatrix} \sin \theta & -\cos \theta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = 0 \dots\dots\dots(16)$$

dan karakteristik *nonholonomic constraint* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$J(q)\dot{q} = 0 \dots\dots\dots(17)$$

$$\text{dimana } J^T(q) = \begin{bmatrix} \sin \theta \\ -\cos \theta \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(18)$$

dan faktor pengali dari Lagrange merupakan selisih dari energi kinetik dan energi potensial yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\lambda = E_k - E_p \dots\dots\dots(19)$$

dimana: $E_k = E_{k_{\text{translasi}}} + E_{k_{\text{rotasi}}}$

$$= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I \cdot \dot{\theta}^2$$

$$= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \cdot \dot{\theta}^2$$

$$= \frac{1}{2}m(v^2 + (r\dot{\theta})^2)$$

$$E_p = mgh \dots\dots\dots(20)$$

karena tidak ada pergerakan terhadap sumbu Z, maka $h = 0$. Jadi energi potensial (E_p) pada *mobile robot* sama dengan nol. Sehingga:

$$\lambda = \frac{1}{2}m(v^2 + (r\dot{\theta})^2) \dots \dots \dots (21)$$

berdasarkan persamaan (15) dengan menggunakan $G(q)$ dan $C(q, \dot{q})$

sama dengan nol, maka diperoleh:

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \theta \\ \sin \theta & \sin \theta \\ L & -L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin \theta \\ -\cos \theta \\ 0 \end{bmatrix} \lambda \dots \dots \dots (22)$$

dimana:

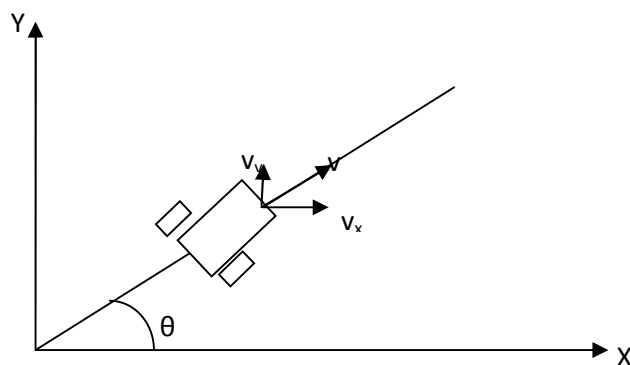
τ_1 dan τ_2 : torsi motor kiri dan kanan,

m : massa robot

I : inersia robot

R : jari-jari roda

L : jarak antara dua roda



Gambar 14. Kecepatan Mobile Robot

dari gambar di atas dapat diperoleh persamaan kecepatan yaitu:

$$v_x = v \cos \theta \text{ dan } v_y = v \sin \theta \dots \dots \dots (23)$$

dimana $\dot{x} = v_x$ dan $\dot{y} = v_y$, dan untuk percepatan sudut *mobile robot*

$$\dot{\theta} = w,$$

$$\dot{x} = v \cos \theta$$

$$\text{maka: } \dot{y} = v \sin \theta \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$\dot{\theta} = w$$

jika persamaan (24) kita transformasikan ke dalam bentuk matriks diperoleh:

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(25)$$