

# PERANCANGAN SISTEM ROBOT CERDAS BERBASIS LOGIKA FUZZY

ASEP NAJMURROKHMAN

Makalah ini memaparkan tentang klasifikasi robot dan beberapa prototipe yang pernah dirancang oleh penulis. Robot-robot tersebut meliputi manipulator, *mobile robot*, dan robot heksapoda. Sementara itu, seiring dengan kemajuan dalam bidang kendali cerdas (*intelligent control*), dibahas pula skema pengendalian gerak robot secara cerdas berbasis logika fuzzy. Penggunaan logika *fuzzy* dalam implementasi pengendalian gerak robot dipicu oleh kompleksitas yang ada dalam sistem robot, sehingga implementasi pengendali linier seperti PID tidak akan dapat menangani dinamika robot tersebut, di lain pihak, realisasi dengan pengendali non linier akan sangat rumit atau paling tidak memberi beban komputasi pada pengendalinya. Sebagai studi kasus, diuraikan perancangan dan simulasi sistem fuzzy dalam *mobile robot*. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa pendekatan logika fuzzy dalam implementasi *mobile robot* dapat mengakomodasi sisi kecerdasan dalam pengambilan keputusan gerak dari *mobile robot* tersebut berdasarkan basis aturan yang diberikan padanya.

Kata kunci : logika fuzzy, manipulator, *mobile robot*, telerobotik.

## 1. PENDAHULUAN

Dalam dua dekade terakhir, bidang robotika telah menarik perhatian para peneliti maupun praktisi industri. Penggunaan robot menjadi bagian tak terpisahkan dari proses otomatisasi di industri. Sementara itu, para peneliti menggunakan robot sebagai *benchmark* untuk menguji algoritma pengendalian yang lebih canggih. Robotika dapat didefinisikan sebagai bidang ilmu yang mempelajari suatu mesin atau sistem yang dapat menggantikan manusia dalam melaksanakan tugas-tugasnya, baik berupa aktivitas fisik seperti mengangkat barang, memindahkan material, dan sebagainya ataupun pembuatan keputusan terhadap suatu problem optimasi [1]. Istilah robot sendiri diperkenalkan oleh Isaac Asimov, seorang penulis fiksi ilmiah Rusia, sekitar tahun 1940-an untuk memberi label kepada mesin atau sistem yang memiliki tiga karakteristik, yaitu tidak boleh melukai manusia, menaati perintah manusia sepanjang tidak akan melukai atau mencelakakan, dan menjaga eksistensinya tanpa menimbulkan kerugian kepada lingkungannya.

Tiga karakteristik tersebut akhirnya menjadi spesifikasi dalam perancangan produk industri yang dirancang oleh *engineer* ataupun teknisi spesialis. Berdasarkan interpretasi ilmiah terhadap skenario fiksi ilmiah tersebut, robot dapat dipandang sebagai mesin yang mampu memodifikasi lingkungan tempat mesin tersebut beroperasi. Hal tersebut dihasilkan melalui aksi pergerakan yang dikondisikan oleh beberapa aturan dari perilakunya serta melalui data yang dipersepsi oleh robot tentang status dan lingkungannya. Selanjutnya, fiksi ilmiah mempengaruhi orang-orang yang membayangkan robot sebagai humanoid yang mampu berbicara, berjalan, melihat, dan mendengar dengan wujud seperti yang terlihat dalam film *Star Wars*, *Robocop*, dan lain-lain.

Sementara itu, sudah menjadi watak manusia untuk membuat sistem yang memudahkan dirinya dalam melakukan kegiatan. Dengan pemberian algoritma yang lebih kompleks dan maju, manusia menyertakan sisi kecerdasan ke dalam sistem yang dibuat. Perubahan cara pengaturan dari manual ke otomatis merupakan salahsatu bentuk aplikasi sistem cerdas yang paling primitif. Sistem cerdas secara sederhana diartikan sebagai sistem yang mampu mengadopsi cara-cara manusia dalam pengambilan keputusan untuk mencapai tujuan. Karakteristik utama

---

*Asep Najmurrokhman merupakan salah satu staf pengajar di jurusan Teknik Elektro UNJANI dan anggota dari Control Systems Research Group.*

sistem cerdas adalah pemrosesan informasi secara paralel dan kemampuan belajar serta *associative memory*. Ada beberapa strategi untuk mewujudkan sistem cerdas, misalnya sistem pakar (*expert system*), kendali fuzzy (*fuzzy control*), jaringan syaraf tiruan (*artificial neural networks*), algoritma genetik (*genetic algorithm*), kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), dan lain-lain. Dalam makalah ini akan digunakan pendekatan logika fuzzy dalam mengimplementasikan sistem cerdas.

Menurut literatur, sistem fuzzy (artinya sistem cerdas berbasis logika fuzzy) sudah diterapkan dalam berbagai bidang mulai dari pengendalian, pemrosesan sinyal, komunikasi, pembuatan IC, dan sistem pakar dalam bisnis, kedokteran, dan psikologi. Sistem Fuzzy dapat dipakai sebagai pengendali *open-loop* ataupun *closed-loop*. Apabila digunakan sebagai pengendali *open-loop*, sistem fuzzy biasanya membuat beberapa parameter pengendalian dan kemudian sistem beroperasi sesuai dengan parameter tersebut. Banyak aplikasi dalam elektronika konsumen berada dalam kategori ini. Jika digunakan sebagai pengendali *closed-loop*, sistem fuzzy mengukur output proses dan kemudian menghasilkan aksi pengendalian pada proses secara kontinyu. Beberapa aplikasi tersebut diantaranya mesin cuci fuzzy produk Matsushita Electric Industrial Company di Jepang sekitar tahun 1990, *digital image stabilizer* produk Matsushita untuk menstabilkan gambar apabila tangan bergerak saat memotret menggunakan kamera perekam (camcorder atau kamera digital), transmisi otomatis fuzzy yang menghemat bahan bakar 12 - 17 % pada mobil Nissan, sistem omnibus fuzzy yang mengatur transmisi otomatis mobil, suspensi, traksi, *four-wheel steering*, *four-wheel drive*, dan pengkondisi udara (AC = air conditioner) produk Mitsubishi di tahun 1992, dan lain-lain [2].

## 2. KLASIFIKASI ROBOT

Russel and Norvig [3] membagi tipe robot ke dalam tiga kategori, yaitu manipulator, *mobile robot*, dan *humanoid robot*. Sebuah manipulator, disebut juga lengan robot, adalah struktur mekanik berupa sambungan antar sendi (*joint*) yang memungkinkan *end effectornya* berada di setiap posisi dalam bidang kerjanya. Dewasa ini, manipulator digunakan secara luas di industri manufaktur. Sementara itu, *mobile robot* adalah robot yang mampu menjangkau lingkungan

sekitarnya karena dilengkapi dengan roda, kaki, atau mekanisme yang serupa dengan kaki, sedangkan *humanoid robot* adalah *mobile robot* yang dilengkapi dengan manipulator dan seringkali dibuat mirip makhluk hidup, seperti manusia, anjing, atau serangga [4]. Robot ASIMO dikembangkan untuk menduplikasi manusia dan mampu melakukan tugas-tugas manusia. Robot AIBO adalah robot mirip anjing, sedangkan robot heksapoda (robot berkaki enam) dibuat untuk meniru serangga dan arthropoda dalam bentuk dan fungsinya. Robot heksapoda ini dalam perkembangan ilmu dan teknologi robotika sebenarnya merupakan awal penelitian untuk menciptakan robot berkaki [5].

Ada sejumlah sistem yang memanfaatkan konsep tertentu dalam teknologi robot, sehingga seringkali agak keliru apabila disebut sebagai robot [6], yaitu *exoskeletons* dan *telecheric*. *Exoskeletons* adalah perangkat mekanis yang dibuat melingkupi anggota tubuh manusia atau kerangka tubuh manusia. Karena sistemnya tidak dapat bergerak secara bebas, maka *exoskeletons* tidak dapat diklasifikasikan sebagai robot. Sementara itu, *telecheric* atau teleoperator adalah peralatan yang memungkinkan sebuah manipulasi atau pemindahan material dan/atau perkakas terjadi dari jarak tertentu seorang operator. Meskipun mekanisme *telecheric* menggunakan aktuator, yang biasanya dikendalikan secara lingkaran tertutup (*closed loop*), sistem tersebut bukanlah robot karena memerlukan intervensi manusia untuk mendapatkan keputusan yang sesuai tentang kecepatan dan posisi. Salah satu aplikasi teleoperator atau *telecheric* yang pernah digunakan saat Perang Dunia II dimanfaatkan untuk menangani bahan radioaktif pada jarak yang aman. Dewasa ini, konsep *telecheric* diarahkan menuju telerobotik. Sistem telerobotik adalah sistem robotik yang dapat dikendalikan dari jarak jauh tanpa menghilangkan kemampuan mandiri [5]. Sistem tersebut diterapkan misalnya dalam teleoperasi berupa operasi (*surgery*) bagian tubuh manusia yang dilakukan dengan robot tetapi dengan panduan atau kendali dari dokter ahli bedahnya. Aplikasi lainnya berupa robot pencari bom yang dikendalikan dari jarak jauh untuk mengurangi tingkat bahaya yang terjadi akibat ledakan bom.

### 2.1 Manipulator

Sebuah model manipulator satu sendi diperlihatkan pada Gambar 1. Hubungan besaran dan parameter robotnya dinyatakan oleh persamaan berikut

$$M\ddot{q} = \tau - F_D\dot{q} - mgl \cos q \quad (1)$$

dengan  $q$  menyatakan sudut sendi,  $F_D$  adalah koefisien gesekan atau redaman mekanis, dan  $\tau$  menandai torsi yang dihasilkan oleh aktuator. Dalam bentuk lain,

$$\tau = M\ddot{q} + F_D\dot{q} + mgl \cos q \quad (2)$$

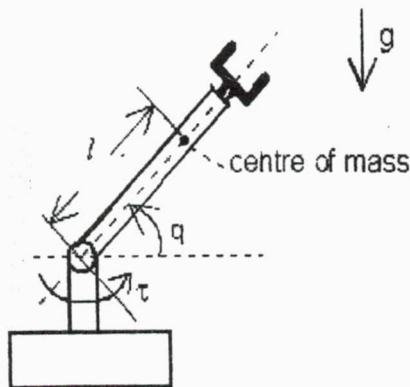
sedangkan persamaan geraknya dinyatakan oleh persamaan berikut

$$\ddot{q} = M^{-1}(\tau - F_D\dot{q} - mgl \cos q) \quad (3)$$

Terlihat bahwa untuk manipulator sederhana tersebut, dinamikanya berbentuk non linier yang ditandai dengan suku trigonometris. Untuk manipulator dengan sendi lebih dari satu, dinamikanya dinyatakan oleh bentuk berikut

$$\tau = M(q)\ddot{q} + b(q, \dot{q}) \quad (4)$$

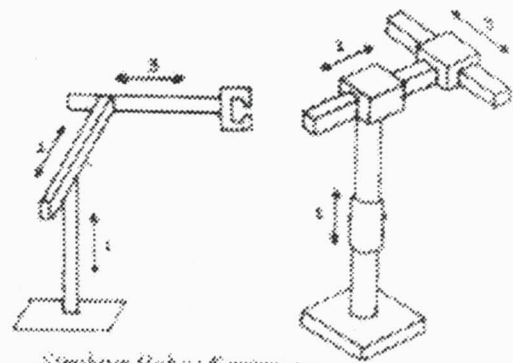
dengan  $M(q)$  menandai inersia total robot yang bergantung kepada sudut sendi  $q$ .



$M$ : inersia due to joint  
 $m$ : mass

Gambar 1. Model manipulator satu sendi

Pemodelan manipulator serta prototipe pengendaliannya dilaporkan dalam makalah [7]. Sementara itu berdasarkan struktur sumbu koordinatnya, manipulator dibagi menjadi lima kelas, yaitu kartesian, silindris, artikulasi, *spheris*, dan SCARA (*Selective Compliance Articulated / Assembly Robot Arm*) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Struktur Robot Kartesius



Struktur Robot Silindris

Struktur Robot Artikulasi



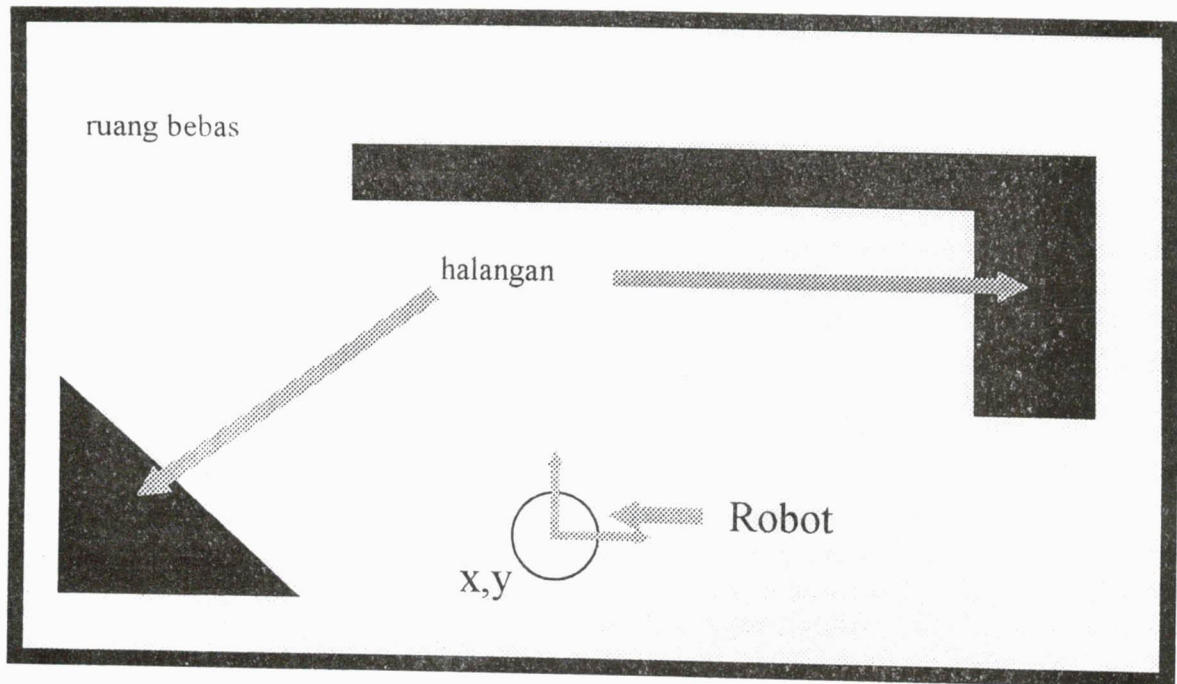
Struktur Robot Spharis

Struktur Robot SCARA

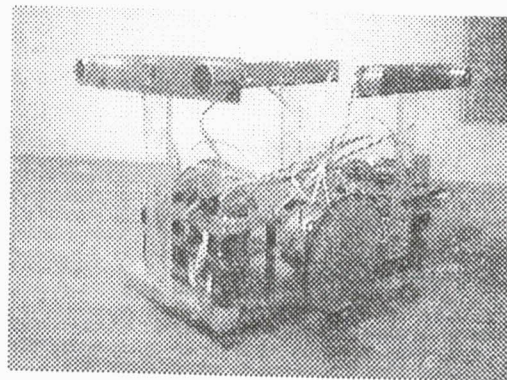
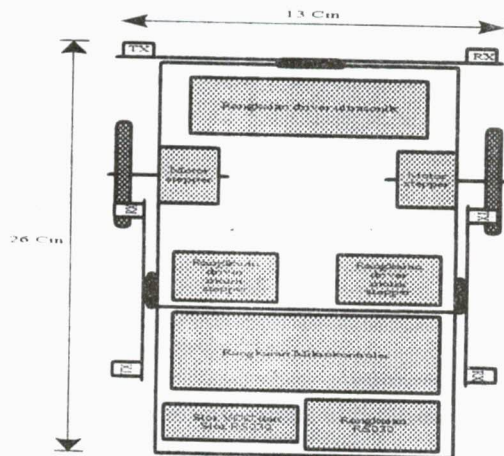
Gambar 2. Tipe manipulator [6]

## 2.2 Mobile Robot

Sebuah mobile robot bergerak melintasi dan mengatasi lingkungan sekitarnya dengan mekanisme gerak menggunakan roda atau kaki. Pengendalian dalam *mobile robot* dilakukan supaya robot mampu mengatasi halangan di depannya dengan tindakan berbelok ke arah yang memungkinkan serta bergerak maju. Lingkungan yang harus bisa diatasi oleh *mobile robot* diperlihatkan pada Gambar 3. Kondisi lingkungan yang dinamis serta mekanisme gerak yang disusun oleh komponen non linier (seperti roda gigi dan gesekan antar mekanis) menyebabkan model matematika dari *mobile robot* dan pengendaliannya sulit diturunkan. Prototipe *mobile robot* yang pernah dibuat oleh penulis diperlihatkan pada Gambar 4 dan dilaporkan dalam makalah [8].



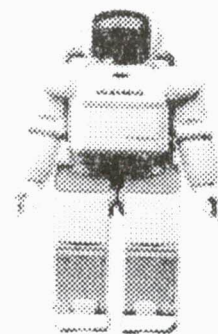
Gambar 3. Lingkungan *mobile robot*



Gambar 4. Prototipe *mobile robot*

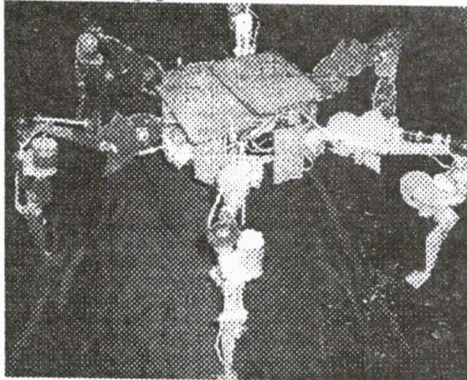
### 2.3 Robot Humanoid

Tipe robot ini mengadopsi bentuk dan kemampuan yang dimiliki oleh manusia atau binatang, misalnya robot-robot yang ada dalam film Star Wars. Dewasa ini, perusahaan HONDA membuat robot ASIMO yang dikembangkan terus sehingga memiliki kemampuan menjawab salam, bergerak naik turun tangga, menentukan jenis minuman yang harus diambil berdasarkan permintaan pemilik, bermain musik, dan lain-lain [5]. Bentuk ASIMO diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. ASIMO

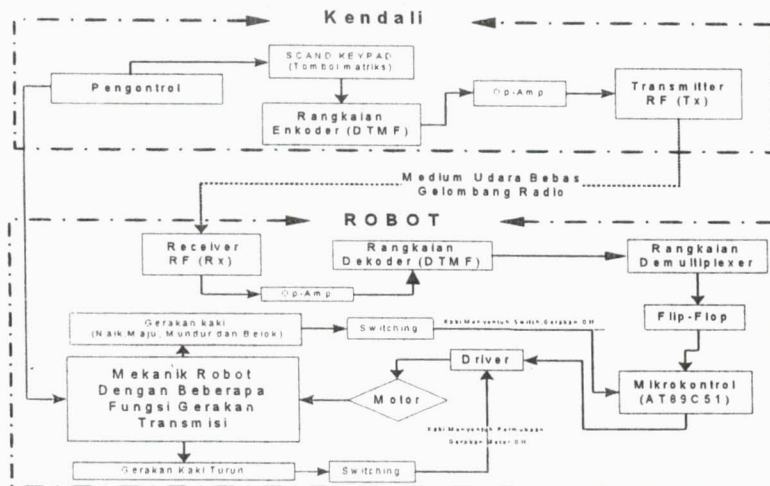
Selain itu, beberapa laboratorium riset di Jepang mengembangkan robot berbentuk serangga (misalnya laba-laba) atau reptil (misalnya bentuk ular). Prototipe robot serangga berkaki enam (heksapoda) yang pernah dibuat diperlihatkan pada Gambar 6 [9].



Gambar 6. Prototipe Robot Heksapoda

## 2.4 Telerobotik

Telerobotik didefinisikan sebagai proses pengendalian gerak robot dari jarak jauh. Sistem tersebut berguna dalam implementasi robot untuk membantu manusia mendeteksi bahan radio aktif, daerah berbahaya yang mengandung bom, atau robot yang bisa bermain bola (*robosoccer*) [10]. Prototipe robot heksapoda di atas juga telah diimplementasikan dengan konsep telerobotik, yaitu dengan memanfaatkan *joystick* (*keypad*) untuk menggerakkan robot ke depan, mundur, dan naik turun tangga. Persoalan kritis dalam perancangan ini adalah koordinasi gerak 6 kaki robot. Diagram blok konsep telerobotik yang telah dibuat diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram blok Telerobotik

## 3. LOGIKA FUZZY

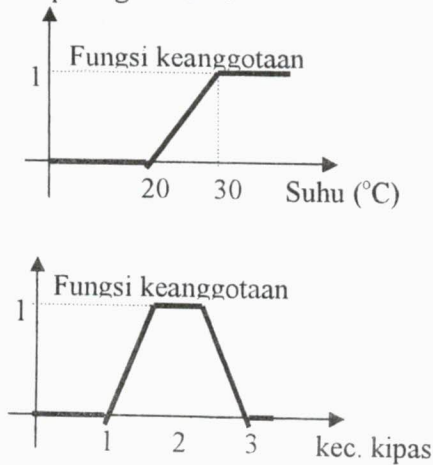
Telah dilaporkan oleh banyak peneliti, sistem berbasis aturan fuzzy adalah *tools* yang cukup penting dalam pemodelan sistem-sistem yang kompleks [2, 4, 8, 11]. Karena sistem berbasis aturan fuzzy mengandalkan pada basis pengetahuan, sistem tersebut cocok untuk memecahkan problem dalam sistem yang kompleks yang umumnya non linier, berubah waktu, dan stokastik. Basis pengetahuan tersebut dihasilkan dari pengalaman perancang atau operator, kepakaran peneliti, atau sekumpulan data referensi yang telah dioptimalisasi dengan metode optimasi modern, seperti yang digunakan dalam algoritma jaringan syaraf (*neural network*) atau algoritma genetic. Konsep tersebut telah berhasil diterapkan dalam hampir seluruh bidang

aplikasi pengendalian (*control*). Sejak diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh tahun 1965, teori fuzzy dan aplikasinya saat ini sudah berkembang sedemikian mapan yang dibuktikan dengan implementasi berbasis logika fuzzy dalam bidang kendali proses di industri, peralatan elektronika rumah tangga, elektronika medika, dan lain-lain [2].

Sistem Fuzzy adalah sistem berbasis pengetahuan atau sistem berbasis aturan. Jantung sistem fuzzy adalah basis pengetahuan yang terdiri atas aturan JIKA-MAKA fuzzy. Aturan JIKA-MAKA fuzzy adalah sebuah pernyataan JIKA-MAKA dalam bentuk kalimat yang dikarakterisasi oleh fungsi keanggotaan. Sebagai contoh, kalimat berikut adalah aturan JIKA-MAKA fuzzy :

**JIKA** suhu udara dalam ruangan tinggi, **MAKA** putar kipas dengan cepat<sup>(5)</sup>

dengan kata “tinggi” dan “cepat” dicirikan oleh fungsi keanggotaan (*membership function*) seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Fungsi keanggotaan “tinggi” dan “cepat”

Sebagai contoh, misalkan ingin dirancang sebuah pengendali untuk mengatur kecepatan mobil secara otomatis. Secara konseptual, ada dua pendekatan untuk merancang pengendali seperti itu, yaitu melalui teori konvensional semisal pengendali PID atau melalui emulasi supir manusia dengan cara mengubah aturan-aturan yang digunakan oleh supir ke dalam pengendali otomatis. Seorang supir dalam kondisi normal

kira-kira akan memiliki tiga tipe aturan dalam mengendarai mobilnya, yaitu :

JIKA kecepatan rendah, MAKA pedal gas diinjak kuat

JIKA kecepatan sedang, MAKA pedal gas diinjak normal<sup>(6)</sup>

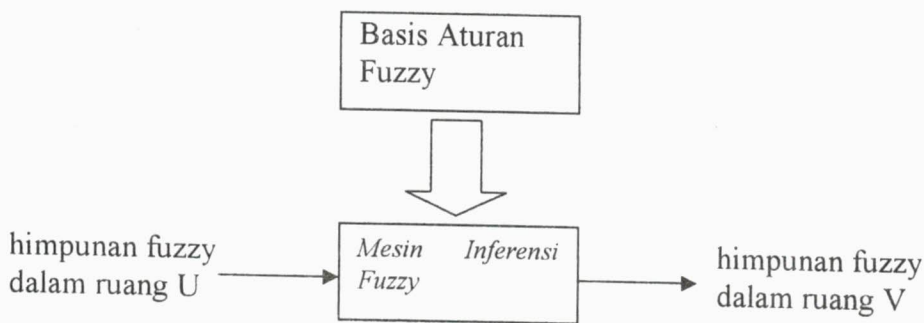
JIKA kecepatan tinggi, MAKA pedal gas diinjak sedikit

dengan “rendah”, “sedang”, “tinggi”, “kuat”, “normal”, dan “sedikit” dicirikan oleh fungsi keanggotaan seperti gambar di atas. Tentu saja dalam kenyataannya mungkin diperlukan lebih banyak lagi aturan. Sebuah sistem fuzzy dirancang berdasarkan aturan-aturan tersebut. Karena sistem fuzzy digunakan sebagai pengendali, maka pengendalinya disebut pengendali fuzzy (*fuzzy controller*).

Titik awal membangun sistem fuzzy adalah mendapatkan koleksi aturan JIKA-MAKA fuzzy dari kepakaran manusia atau berdasarkan *domain knowledge*. Langkah berikutnya adalah menggabungkan aturan tersebut menjadi sistem tunggal. Ada tiga tipe sistem fuzzy yang biasa digunakan dalam literatur, yaitu :

- sistem fuzzy murni
- sistem fuzzy Takagi-Sugeno-Kang (TSK)
- sistem fuzzy dengan pemfuzzifikasi (*fuzzifier*) dan pendefuzzifikasi (*defuzzifier*)

Konfigurasi dasar sistem fuzzy murni diperlihatkan dalam gambar 9.



Gambar 9. Sistem Fuzzy Murni

Basis aturan fuzzy menyatakan koleksi aturan JIKA-MAKA fuzzy. Mesin inferensi fuzzy menggabungkan aturan-aturan JIKA-MAKA fuzzy ke dalam sebuah pemetaan dari himpunan fuzzy dalam ruang input U ke himpunan fuzzy dalam ruang output V berdasarkan prinsip logika

fuzzy. Masalah utama dalam sistem fuzzy murni adalah bahwa input dan outputnya berbentuk himpunan fuzzy (yaitu dalam bentuk kata-kata dalam bahasa alami), padahal dalam sistem keteknikan input dan outputnya berupa variabel bernilai nyata (real). Untuk memecahkan masalah

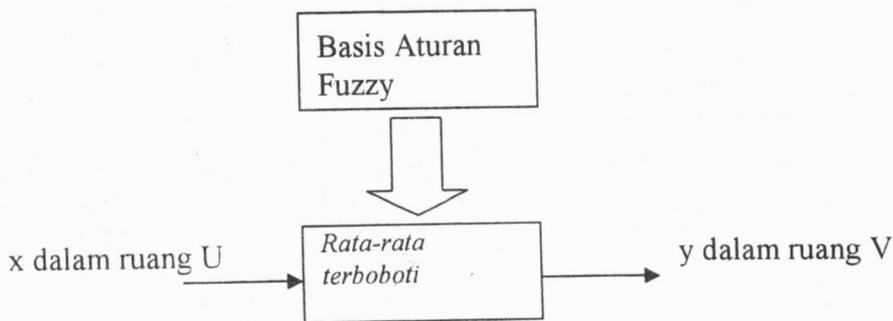
ini, Takagi, Sugeno, dan Kang (tahun 1988) mengusulkan sistem fuzzy lain yang input dan outputnya berupa variabel real.

Aturan dalam TSK mengikuti aturan dalam format berikut :

JIKA suhu ( $x$ ) dalam ruangan tinggi  
MAKA kecepatan putar kipas  $y = cx$  <sup>(10)</sup>

dengan "tinggi" bermakna sama dengan sebelumnya dan  $c$  adalah konstanta. Dengan

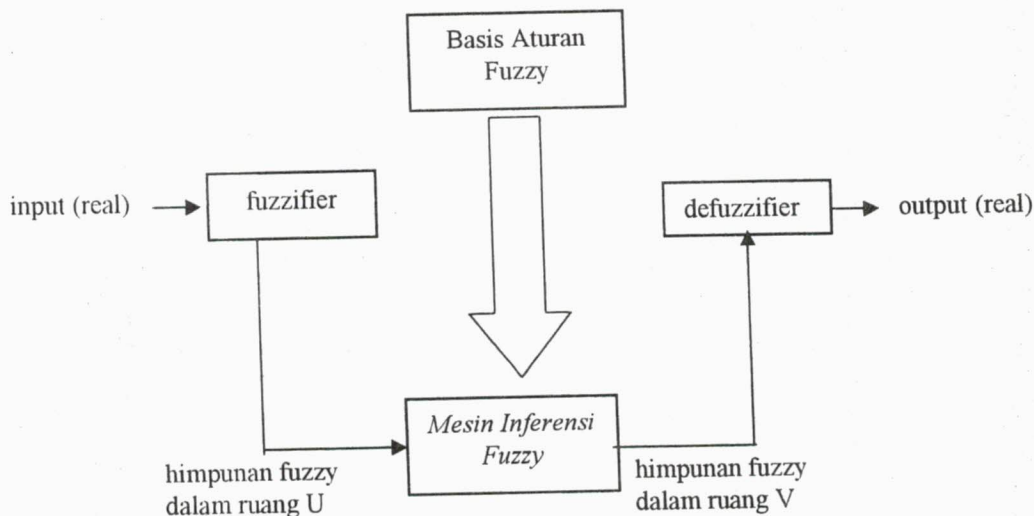
membandingkan aturan (1) dan (3), tampak bahwa bagian MAKA dari aturan berubah dari deskripsi dengan menggunakan kata-kata dalam bahasa alami menjadi sebuah formula matematis sederhana. Hal ini mempermudah dalam menggabungkan aturan. Sebenarnya, sistem fuzzy TSK berupa rata-rata terboboti (*weighted average*) dari nilai pada bagian MAKA aturan fuzzynya. Konfigurasi dasar TSK diperlihatkan dalam gambar 11.



Gambar 11. Sistem Fuzzy TSK

Masalah utama dalam sistem fuzzy TSK adalah bagian MAKA-nya berupa formula matematis sehingga tidak menyediakan kerangka alami untuk menyatakan pengetahuan manusia, serta tidak begitu bebas menerapkan prinsip yang berbeda-beda dalam logika fuzzy sehingga keunggulan sistem fuzzy tidak dinyatakan dengan baik dalam kerangka ini. Untuk memecahkan masalah ini, diperkenalkan tipe ketiga sistem fuzzy yang mengandung pemfuzzifikasi dan pendefuzzifikasi.

Untuk memanfaatkan sistem fuzzy murni dalam keteknikan, metode sederhananya adalah dengan menambahkan pemfuzzifikasi yang akan mentransformasikan variabel bernilai real ke dalam himpunan fuzzy terhadap input serta menambahkan pendefuzzifikasi yang mentransformasikan himpunan fuzzy kedalam variabel bernilai real terhadap output. Hasilnya adalah sistem fuzzy dengan pemfuzzifikasi dan pendefuzzifikasi seperti gambar 12



Gambar 12. Sistem Fuzzy dengan Fuzzifier dan Defuzzifier

Sistem fuzzy ini mengatasi kelemahan sistem fuzzy murni dan sistem fuzzy TSK. Dalam prakteknya, setiap disebut sistem fuzzy biasanya merujuk ke tipe terakhir.

#### 4. PERANCANGAN SISTEM FUZZY DALAM ROBOT

Sesuai dengan uraian sebelumnya, implementasi sistem fuzzy bergantung kepada klasifikasi robot yang digunakan. Secara umum, langkah-langkah implementasinya adalah sebagai berikut :

a) Mendefinisikan variabel input dan output  
 Pendefinisian variabel input dan output untuk pengendali fuzzy dilakukan untuk memudahkan analisis pengendaliannya. Misalnya untuk manipulator, variabel inputnya bisa berupa posisi benda yang harus dipindahkan atau yang harus dituju, sedangkan outputnya bisa berupa kecepatan gerak dari lengan robot. Pada mobile robot, variabel input berupa jarak halangan dengan robot yang informasinya didapat dari sensor, sedangkan outputnya bisa berupa aksi motor dan kecepatan gerak robot.

b) Menentukan pernyataan linguistik (*linguistic term*)

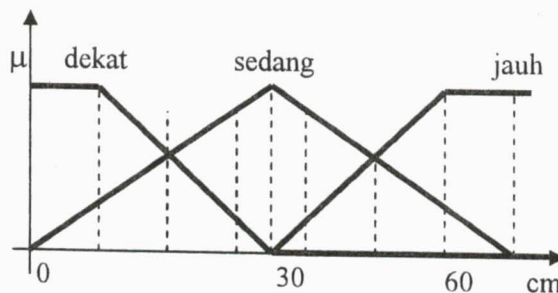
Pernyataan linguistik (*linguistic term*) merupakan variabel yang digunakan untuk menyatakan daerah-daerah himpunan pada fungsi keanggotaan himpunan fuzzy. Sebagai contoh, ungkapan linguistik untuk posisi benda adalah sangat dekat, dekat, sedang, jauh, dan sangat jauh. Sementara itu, pernyataan linguistik untuk kecepatan misalnya lambat, medium, cepat, dan sangat cepat. Jumlah pernyataan linguistik yang dibuat bergantung kepada perancang dan tingkat kompleksitas sistem yang ada.

c) Menentukan fungsi keanggotaan (*membership function*)

Sama halnya dengan pernyataan linguistik, fungsi keanggotaan untuk masing-masing variabel fuzzy bersifat subjektif dan bergantung kepada pengalaman dan tingkat kepakaran perancang. Gambar 13 memperlihatkan contoh penentuan fungsi himpunan keanggotaan variabel posisi

mobile robot ke penghalang. Pernyataan linguistik untuk jarak mobile robot ke penghalang dinyatakan oleh ungkapan dekat, sedang, dan jauh. Justifikasi bentuk fungsi keanggotaan untuk pernyataan linguistik tersebut kira-kira dinyatakan sebagai berikut :

- dekat : jarak mobile robot ke penghalang kurang dari 30 cm
- sedang : jarak mobile robot ke penghalang sekitar 30 cm
- jauh : jarak mobile robot ke penghalang lebih dari 30 cm



Gambar 13. Fungsi keanggotaan jarak

d) Menentukan Aturan Fuzzy (*Fuzzy Rules*)

Bagian ini merupakan inti dari sistem fuzzy, yaitu berupa sekumpulan aturan pengambilan keputusan dalam pengendali fuzzy-nya. Sebagai contoh, aturan fuzzy untuk merealisasikan pengendalian gerak *mobile robot* adalah sebagai berikut :

- JIKA input dekat, MAKA output lambat
- JIKA input sedang, MAKA output agak cepat
- JIKA input jauh, MAKA output sangat cepat

#### 5. REALISASI DAN SIMULASI PENGENDALI LOGIKA FUZZY DALAM MOBILE ROBOT.

Sebagai studi kasus, makalah ini menguraikan tentang perancangan sistem robot cerdas berbasis logika fuzzy pada *mobile robot* seperti pada gambar 4. Pada mobile robot tersebut variabel input untuk pengendalinya berupa data jarak antara robot dengan penghalang (*obstacle*) yang diukur melalui sensor ultrasonik. Pernyataan linguistik untuk variabel input ini adalah dekat (untuk jarak kurang dari 30 cm),

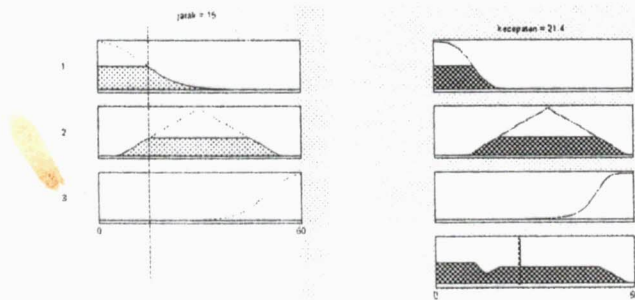


sedang (untuk jarak sekitar 30 cm), dan jauh (untuk jarak lebih dari 30 cm). Fungsi keanggotaan masing-masing variabel input tersebut digambarkan seperti pada gambar 13. Sementara itu, variabel output sistemnya berupa kecepatan gerak dari robot dengan pernyataan linguistik lambat, agak cepat, dan sangat cepat yang direalisasikan dengan mengatur putaran motor listrik yang dipakai untuk menggerakkan roda dari *mobile robot* tersebut. Misalnya fungsi keanggotaan untuk pernyataan linguistik lambat adalah kecepatan gerak mobile robot di antara 5 – 15 cm/s, agak cepat sekitar 30 cm/s, dan sangat cepat untuk gerak mobile robot di atas 45 cm/s. Basis aturan fuzzynya diberikan oleh kumpulan pernyataan JIKA MAKA berikut

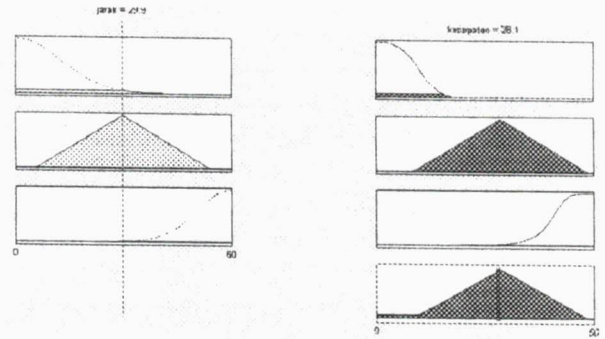
- JIKA jarak ke penghalang dekat, MAKA kecepatan gerak robot lambat
- JIKA jarak ke penghalang sedang, MAKA kecepatan gerak robot agak cepat
- JIKA jarak ke penghalang jauh, MAKA kecepatan gerak robot sangat cepat

Model sistem fuzzy yang dibangun dengan aturan seperti itu dikenal sebagai sistem fuzzy tipe Mamdani [2].

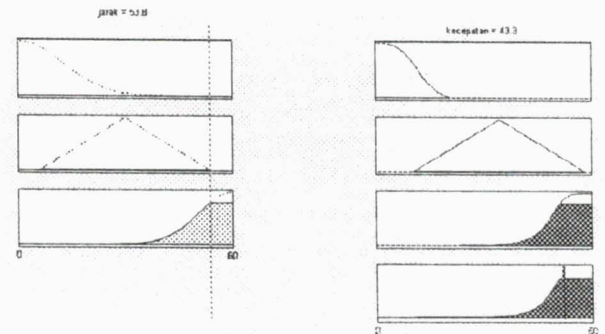
Dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB dapat disimulasikan beberapa kondisi kecepatan gerak mobile robot bergantung jaraknya ke penghalang seperti diperlihatkan pada Gambar 14, 15, dan 16.



Gambar 14. Jarak dekat, gerak lambat



Gambar 15. Jarak sedang, gerak agak cepat



Gambar 16. Jarak jauh, gerak sangat cepat

Hasil simulasi tersebut memperlihatkan bahwa gerak mobile robot dapat dikatakan efektif dan efisien. Pada saat jaraknya ke penghalang sangat jauh, maka robot bergerak sangat cepat. Kecepatannya akan bergradasi menurun, seiring dengan jarak yang semakin dekat ke penghalang. Hal tersebut secara heuristik, sama dengan kondisi pada saat seseorang berkendara. Saat lalu lintas kosong atau di jalan tol, pengendara akan memacu kendaraannya. Ketika menemukan kendaraan lain di depannya, pengendara akan menurunkan kecepatannya supaya tidak menabrak kendaraan lainnya. Sementara itu, pada waktu macet atau dalam antrian, artinya jarak antar kendaraan sangat dekat, maka pengendara akan memperlambat kendaraannya.

## 5. PENUTUP

Telah diuraikan klasifikasi robot beserta problem yang muncul untuk setiap kelasnya. Setiap tipe robot memiliki kompleksitas masing-masing. Secara umum, dinamika gerakannya berbentuk non linier, sehingga pendekatan analitis untuk memecahkan problem dalam gerak robot cukup sulit. Untuk mengatasi hal tersebut, pendekatan sistem cerdas berbasis logika fuzzy memberikan solusi alternatif terhadap kerumitan

pemodelan dan pemecahan analitis terhadap problem yang dihadapi. Langkah-langkah untuk menerapkan sistem fuzzy pada robot juga telah diuraikan. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam kaitan implementasi tersebut adalah penentuan variabel input-output, variabel linguistik dan fungsi keanggotaannya, serta basis aturan fuzzy. Sebagai ilustrasi telah diperlihatkan bagaimana pengendali logika fuzzy yang diterapkan pada kasus mobile robot berhasil mengadopsi cara pengendara dalam berkendara.

Penelitian yang telah dan sedang dikembangkan adalah meningkatkan kualitas prototipe mobile robot yang ada sehingga memenuhi performansi yang diinginkan serta menguji algoritma fuzzy untuk kelas robot lainnya. Pengujian dengan berbagai tipe sistem fuzzy juga menjadi bagian penelitian lainnya. Integrasi dengan strategi sistem cerdas lainnya seperti jaringan syaraf tiruan merupakan penelitian menarik dalam rangka mewujudkan sistem neurofuzzy yang juga menjadi perhatian peneliti akhir-akhir ini<sup>[11]</sup>.

#### Referensi

- [1] **L. Sciavicco** and **B. Siciliano**. Model and Control of Robot Manipulator (2<sup>nd</sup> Ed.), Springer, London, 1996.
- [2] **Wang, Li-Xin**, A Course in Fuzzy Systems and Control. New Jersey : Prentice-Hall Int. Inc., 1997.
- [3] **S. Russell** and **P. Norvig**. Artificial Intelligence : A Modern Approach (2<sup>nd</sup> edition). New Jersey : Prentice-Hall Int. Inc., 2003.
- [4] **S. Rafiuddin**. Biomimetic Control Methods for Nonholonomics Mobile Robots, PhD Dissertation in Graduate School of Science and Engineering, Saga University, JAPAN, March 2005.
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/Telerobotics> diakses tgl 16 Mei 2006 pukul 10.00.
- [6] **R. D. Klafter, et. al.** Robotic Engineering : An Integrated Approach. New Jersey : Prentice Hall Int. 1989.
- [7] **Najmurrokhman, A.**, dkk. A Dynamic Model and Control of A Robot Arm. Proceedings of Conference on Design and Application Technology 30 August 2004, Hotel Novotel Surabaya, pp. 71 – 80.
- [8] **Najmurrokhman, A.** Implementasi Pengendali Logika Fuzzy pada Prototipe Mobile Robot. Prosiding Seminar Nasional "Intelligent Control for Manufacturing Systems" 23 Juli 2005, Kampus UII Jogjakarta, pp. 25 – 31.
- [9] **Najmurrokhman, A.**, dkk. Konsep dan Desain Telerobotik. Prosiding Seminar Nasional "Sain dan Teknologi dalam Penanganan Energi" 27 Mei 2006, Hotel Horison, Bandung.
- [10] **Sakti, I.**, dkk. Sistem Vision pada Robot Soccer. Prosiding Konferensi Nasional Mekatronika 27 – 28 Juli 2006, Kampus LIPI Bandung.
- [11] **B. Lazzerini, et. al.** A Neuro-Fuzzy Approach to Hybrid Intelligent Control. *preprint*. 2006.
- [12] **Shimizuhira, W., et. al.**, Behavior Control Method by Multi-Layered Fuzzy Rule for Autonomous Mobile Robot with Multiple Omnidirectional Vision System, Proc. of The Fourth International Symposium on Human and Artificial Intelligence Systems 2004, pp. 283 – 288, 2004.
- [13] **Ashokaraj, I., et. al.**, A Fuzzy Logic Approach in Feature Based Robot Navigation using Interval Analysis and UKF, 23<sup>rd</sup> International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIS) 2004, pp. 808 – 813, 2004.
- [14] **Aekaterinidis, et. al.**, An Interface System for Real Time Mobile Robot Environment Mapping using Sonar Sensors", *WSEAS Transaction on Systems* vol. 4 no. 2, pp. 927 – 933, Oct 2003.