

**DESAIN AKTUATOR PURWARUPA ROBOT BERBASIS MOBIL UNTUK
IMPLEMENTASI SOLUSI APLIKASI PERENCANAAN LINTASAN
MENGUNAKAN INFORMASI PETA**

Fatahah Dwi Ridhani¹ dan Mitra Djamal²
¹Telp. 085320556856 ridhani@ub.ac.id
Pendidikan Vokasi Universitas Brawijaya
Jl. Veteran no 12 Malang 65145 Indonesia
²mitra@fi.itb.ac.id

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia

Diterima: 30 Oktober 2013

Layak Terbit: 24 Januari 2014

Abstract: Design of Purwarupa Actuator on Car-Based Mobile Robot for the Implementation of Application Solution of Path Planning by Using Map Information. Path planning and controlling system for car-based mobile robot was applied on a car-based mobile robot with 1/18 scale. This system controlled the car-based mobile robot to reach the target position. The path planning used static Reed-Shepp curvature. The car-based mobile robot was built by modifying R/C model car in order to be controlled by PC (Personal Computer). The additional parts were sensor system to measure the steering angle and the one to measure the steering of traction motor. This robot has been also added with simple control system so the data interchange between mobile robot and computer could be minimized. Lastly, the unit was calibrated to determine characteristics of the car-based mobile robot.

Keywords: nonholonomic constraint, miniature car-based mobile robot, path planning

Abstrak: Desain Aktuator Purwarupa Robot Berbasis Mobil untuk Implementasi Solusi Aplikasi Perencanaan Lintasan menggunakan Informasi Peta. Aplikasi sistem perencanaan lintasan dan pengendali untuk robot mobil diterapkan pada sebuah robot mobil berskala 1/18. Sistem ini mengendalikan kendaraan robot mobil agar mencapai tujuan yang telah diberikan. Perencanaan lintasan robot mobil menggunakan lintasan *Reed-Shepp* minimum yang statis. Robot mobil ini dibangun dengan memodifikasi model mobil R/C agar dapat dikendalikan oleh PC (*Personal Computer*). Bagian tambahannya adalah sistem sensor untuk mengukur putaran sudut kemudi dan sensor untuk mengukur putaran motor listrik. Pada robot mobil telah ditambahkan sistem kontrol sederhana lokal sehingga lalu lintas data antara robot mobil dan PC diharapkan sekecil mungkin. Kalibrasi dilakukan untuk menentukan karakteristik dari robot mobil yang telah dibangun.

Kata Kunci: batasan nonholonomik, miniatur robot mobil, perencanaan lintasan

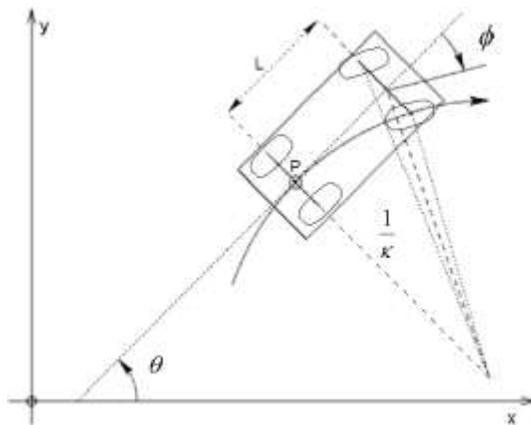
Kendaraan dengan konfigurasi paling umum saat ini adalah bentuk mobil. Pengembangan otomatisasi kendaraan bentuk ini membuka banyak peluang untuk membantu kehidupan manusia secara umum. Bentuk miniatur mobil sangat berguna dalam proses pengembangan sebelum diterapkan pada sistem yang sebenarnya secara aman dan dapat diandalkan.

Lintasan mobil robot berbentuk mobil memiliki keterbatasan dari sisi manuver yang lebih menitikberatkan pada keamanan dan kenyamanan bagi penggunanya. Robot *mobile* cenderung memiliki kebebasan dalam bentuk lintasan yang dapat dilaluinya, sedangkan robot berbasis mobil yang bertujuan sebagai alat transportasi utama bagi manusia harus memperhitungkan kebutuhan fisis manusia itu sendiri (Kelly, 1996). Terdapat manuver-manuver robot berbasis mobil yang harus dipenuhi untuk mencapai tujuannya. Ada dua dimensi pengendalian robot berbasis mobil, yaitu sudut kemudi dan arah pergerakan maju atau mundur dari badan mobil. Sementara variabel arah pergerakan maju atau mundur dari kendaraan berbasis mobil tidak menyebabkan kesulitan yang berarti dalam aspek perencanaan lintasannya, variabel sudut kemudi menghasilkan banyak sekali kemungkinan lintasan yang dapat dipakai dalam perencanaan. Apabila diperbolehkan untuk merubah variabel ini secara dinamis maka perencanaan lintasan akan semakin bertambah rumit dan kontrol dari kendaraan berbasis mobil akan semakin ketat. Banyak penelitian telah mencoba memberikan penyelesaian dari masalah ini dengan menggunakan berbagai metode yang berbeda.

Sistem perencanaan lintasan adalah suatu sistem yang menghasilkan solusi lintasan untuk unit robot bergerak dari konfigurasi awal menuju konfigurasi akhir di dalam konfigurasi ruang dengan pembatasan konfigurasi fisis unit robot bergerak. Solusi lintasan juga dipengaruhi oleh syarat batas awal yang ditentukan oleh pengguna sistem. Syarat ini dipakai dalam menentukan strategi untuk mendapatkan solusi lintasan yang diinginkan oleh pengguna.

Keadaan-keadaan yang memungkinkan dan keadaan-keadaan yang tidak memungkinkan dinyatakan dalam konfigurasi ruang. Pernyataan *graph* menyatakan hubungan antar keadaan. Konfigurasi ruang menggambarkan kemungkinan keadaan ruang yang dapat ditempati oleh unit robot bergerak. Keadaan atau *node* dan hubungan antara keadaan atau koneksi atau *edge* menghasilkan pernyataan *graph*. *Node-node* yang disusun secara beraturan dengan jumlah koneksi yang seragam atau *graph* khusus yang dibangun dari pola koneksi dasar yang berulang disebut dengan *grid*. *Graph* terarah yang terkoneksi tanpa adanya siklus disebut dengan *tree* atau hirarki. *Graph* yang merepresentasikan *grid* bukanlah termasuk ke dalam *tree*.

Besaran posisi, orientasi dalam ruang, aspek dinamis, aspek kinematis dan batasan nonholonomik unit robot bergerak dinyatakan sebagai konfigurasi fisis robot bergerak. Ciri khas utama dari robot bergerak yang memerlukan metoda khusus dalam proses perencanaan lintasan adalah batasan nonholonomik (Moret, 2003).



Gambar 1. Konfigurasi Ruang Kartesian Robot Berbasis Mobil

Ketidakmampuan unit robot untuk merubah orientasi robot tanpa melakukan gerakan maju atau mundur adalah batasan nonholonomiknya. Konsekuensinya adalah fungsi keadaan mobil tidak dapat diintegrasikan langsung untuk mendapatkan keadaan posisi dari mobil dalam ruang kartesian. Gambar 1 adalah model kendaraan berbasis mobil dalam ruang kartesian dengan penjelasan sebagai berikut: x dan y menyatakan posisi P pada sumbu koordinat yang orthogonal dari ruang, P adalah titik tengah pada sumbu roda belakang unit robot mobil, θ adalah orientasi kendaraan yang merupakan simpangan arah normal P terhadap sumbu $x+$, ϕ menyatakan orientasi kemudi dari kendaraan yang merupakan simpangan kemudi terhadap arah depan kendaraan, κ adalah fungsi perubahan dari kemudi. L adalah jarak antara sumbu depan dan roda belakang. Konfigurasi robot mobil dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\kappa} \\ \dot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \cos \theta \\ v \sin \theta \\ v\kappa \\ \sigma \\ a \end{bmatrix}$$

$$\sigma = \frac{\tan \phi(t)}{L}$$

Konfigurasi tersebut dinyatakan dengan κ yaitu kecepatan perubahan dari sudut kemudi, σ percepatan perubahan dari sudut kemudi ϕ , v adalah kecepatan arah normal P atau sumbu roda belakang, a adalah perubahan kecepatan arah normal P dan t adalah variabel waktu (Bellaïche *et al.*, 1997)

Penyusunan lintasan robot berbasis mobil dilakukan dengan menggabungkan dua metode sederhana, yaitu perencanaan lintasan secara holonomik, dilanjutkan dengan perencanaan secara nonholonomik di atas lintasan hasil perencanaan holonomik. Perencanaan lintasan holonomik dilakukan dengan aplikasi metode pseudo aliran gelombang dan aplikasi lintasan *Reed-Shepp* untuk keperluan perencanaan lintasan nonholonomik.

Metode pseudo aliran gelombang diaplikasikan dalam suatu *grid* persegi untuk menghindari adanya rintangan. Pembentukan *tree* dilakukan dengan menyusun *node* mulai dari konfigurasi akhir, yang kemudian menyebar dengan pola seperti suatu aliran gelombang. Konfigurasi akhir dianggap sebagai pembangkit awal gelombang yang menyebar ke *node-node* tetangganya. Sesuai dengan sifat gelombang, *node-node* anak ini kemudian dianggap sebagai sumber gelombang baru yang menyebar lagi ke *node-node* tetangga berikutnya. *Node* yang terdekat dengan sumber gelombang dianggap sebagai anak gelombang yang terkuat, mengalahkan sumber-sumber gelombang lainnya. Efek interpolasi, penjumlahan, interferensi dan pantulan tidak dipakai dalam perhitungan. Rintangan bertindak sebagai *node* yang tidak terpengaruh

sama sekali oleh pembangkitan gelombang ini. Oleh karena itu dinamakan sebagai pseudo gelombang (Ridhani, 2007).

Metode pseudo gelombang ini berhasil menghindari permasalahan minimum lokal yang biasanya muncul apabila menggunakan metode potensial (Lagoudakis, 1998). Perhitungan harga *node* metode pseudo aliran gelombang adalah sebagai berikut: fungsi nilai oleh target pada *node*-i adalah $\phi_g(q_i) = \min(k_g \text{ dist}(q_i, q_0))$ dengan q_i adalah *node* ke-i, q_0 adalah *node* target, k_g adalah konstanta pengali untuk q_0 . $\text{dist}(q_i, q_j)$ adalah fungsi jarak euclid *node* q_i dan q_j . Fungsi $\min()$ menyatakan bahwa hanya harga minimum yang ditetapkan pada *node* apabila pada *node* tujuan telah memiliki nilai.

Kelebihan dari metode pseudo aliran gelombang ini adalah pasti akan dihasilkan suatu hirarki. Artinya setiap konfigurasi awal hanya memiliki satu saja *graph*. Kendalanya ialah apabila lintasan ini gagal dilalui dengan perencanaan nonholonomik, maka sulit untuk menyusun lintasan alternatif lain. Hal ini umumnya bisa diatasi dengan membesarkan batasan konfigurasi ruang sehingga robot berbasis mobil dapat bergerak dengan leluasa.

Graph hasil pencarian dengan metode pseudo aliran gelombang ini kemudian dihubungkan dengan menggunakan salah satu dari set lintasan *Reed-Shepp*. Lintasan dasar untuk robot berbasis mobil disusun dari dua gerakan dasar yaitu maju-mundur dan kemudi kanan-lurus-kiri. Gerakan maju-mundur dihasilkan dengan memberikan kecepatan pada roda penggerak. Kendaraan akan bergerak sepanjang sumbu longitudinalnya atau berotasi dengan pusat rotasi ditentukan oleh sudut kemudi.

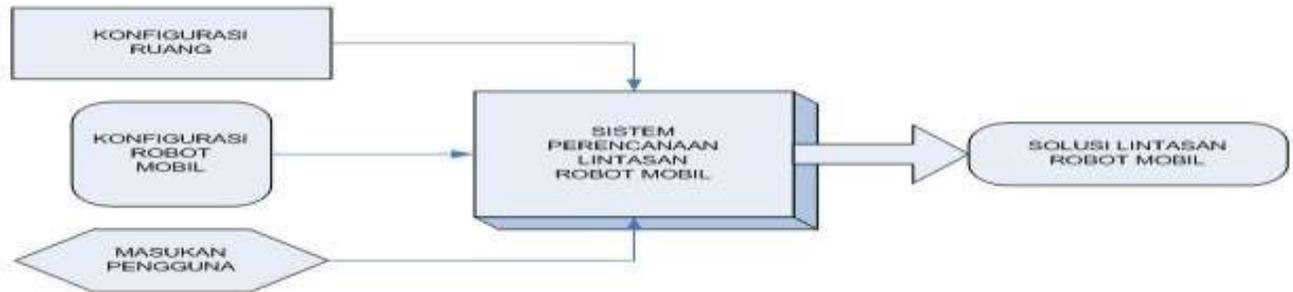
Perubahan sudut kemudi tidak menyebabkan perubahan pada posisi tetapi hanya merubah keadaan dari robot berbasis mobil.

Apabila gerakan dasar di atas dianalogikan sebagai operator, maka komutasi dari arah kemudi dan gerakan lurus akan menghasilkan operator rotasi yang akan merotasikan mobil dengan pusat rotasi pada titik pertemuan antara sumbu roda kemudi dan sumbu roda penggerak. Dapat dikatakan bahwa arah kemudi merupakan operator orde kedua yang tidak menghasilkan translasi secara langsung. Sehingga dapat disimpulkan bahwa lintasan dasar dari robot mobil memiliki lintasan dasar sebagai berikut : lurus maju, kanan maju, kiri maju, lurus mundur, kanan mundur, dan kiri mundur. Selanjutnya lintasan lurus dinyatakan dengan S dan lintasan melingkar dinyatakan dengan C . (Reeds dan Shepp, 1990).

Reed-Shepp mengusulkan suatu skema lintasan yang dapat digunakan untuk sistem nonholonomik berdasarkan pada enam lintasan dasar di atas. Lintasan ini merupakan turunan dari pola CCSCC dengan jumlah maksimum 2 *cusp* atau perubahan arah gerak longitudinal robot berbasis mobil. Dari pembuktian matematis oleh *Reed-Shepp*, didapatkan kemungkinan lintasan terpendek dari robot berbasis mobil adalah $C|C|C$, $CC|C$, $C|CC$, $C-C+|C+C-$, $C-|C+C-|C+$, $C|C_{\pi/2}SC$, $CSC_{\pi/2}|C$, $C|C_{\pi/2}SC_{\pi/2}|C$, CSC .

Lintasan di atas diterjemahkan sebagai C adalah segmen lintasan melingkar dengan sudut $0 \leq a < 2\pi$, S adalah segmen lintasan lurus, $C- / C+$ adalah segmen lintasan melingkar dengan arah putaran yang saling berkebalikan, $C_{\pi/2}$ adalah segmen lintasan melingkar dengan sudut $\pi/2$ dan $|$ menandakan perubahan arah gerak

longitudinal dari robot berbasis mobil atau *cusp* (Reeds, 1990).



Gambar 2. Skema Utama Sistem Perencanaan Lintasan

Salah satu lintasan *Reed-Shepp* ini kemudian yang digunakan untuk menggantikan koneksi antar node yang tidak dimungkinkan diikuti oleh robot berbasis mobil. Tentu saja dalam pemilihan lintasan, disertakan juga pendeteksi tabrakan guna memilih lintasan yang memang memungkinkan untuk dipakai di dalam konfigurasi ruangan.

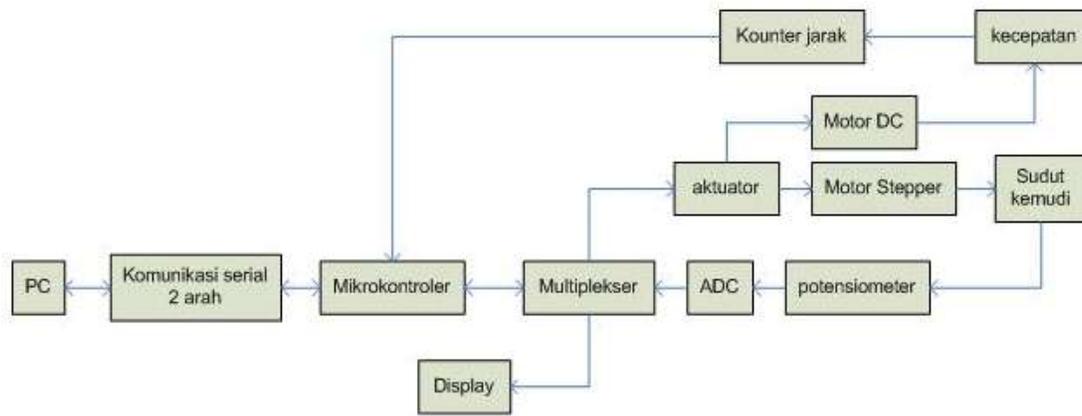
Skema utama sistem perencanaan lintasan diperlihatkan pada Gambar 2. Konfigurasi ruang, konfigurasi robot berbasis mobil dan tambahan masukan pengguna akan diolah oleh sistem perencanaan lintasan robot berbasis mobil untuk menghasilkan solusi lintasan. Solusi lintasan robot berbasis mobil ini berupa suatu daftar gerakan yang akan diikuti oleh robot berbasis mobil. Selanjutnya adalah implementasi pada robot berbasis mobil yang dibangun dari model mobil berukuran 1/18 yang memiliki konfigurasi mendekati mobil berukuran penuh.

METODE

Penelitian dilakukan dengan cara merancang sistem aktuator robot dari miniatur mobil. Berlandaskan cara untuk menyusun lintasan robot berbasis mobil secara statis dan penerapannya pada miniatur mobil, kemudian dari sistem tersebut akan dipaparkan media robot yang dipergunakan untuk menguji coba solusi dari sistem penyusunan lintasan tersebut dari sisi perangkat keras dan perangkat lunak, khususnya pada aktuator variabel bergerak kendaraan berbasis mobil dan rancang bangun sensor-aktuatornya.

Perancangan Sistem Akuator pada Robot Berbasis Mobil

Robot berbasis mobil yang akan dipakai sebagai sarana implementasi harus dirancang agar dapat dikendalikan oleh sistem perencanaan lintasan dengan baik. Robot berbasis mobil terdiri dari aktuator dan sensor yang memenuhi kebutuhan tersebut. Kecepatan proses aksi pada robot mobil jauh lebih lambat daripada kecepatan proses komputasi penyusunan lintasan. Karakteristik ini penting untuk diperhatikan dalam membangun sistem yang sinergis.



Gambar 3. Skema Perangkat Keras Sistem Pengendali Robot Mobil

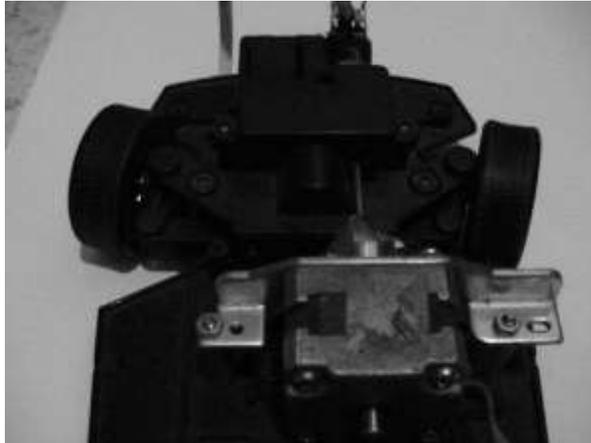
(Ridhani, 2007)

Perangkat keras sistem pengendali robot mobil terdiri dari subsistem komunikasi, komputasi lokal, pengendali lokal, sensor dan aktuator. Susunan perangkat keras sistem robot berbasis mobil ditunjukkan di Gambar 3.. Komunikasi serial antara robot berbasis mobil dengan PC diimplementasikan dengan menggunakan IC MAX232CPE. Mikrokontroler yang digunakan adalah AT90S2313 dari keluarga mikrokontroler AVR buatan ATMEL. Sinyal analog yang merupakan fungsi dari sudut kemudi diterjemahkan oleh ADC0804 kemudian ditampilkan oleh serangkaian LED. Aktuator dikendalikan oleh L293D untuk motor DC dan ULN2003AN untuk motor *stepper*. Terakhir, kounter jarak diperoleh dengan menggunakan optokopel GP1A52HR yang membaca piringan enkoder yang ditempel pada motor DC. Daftar komponen yang digunakan dirinci pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen Perangkat Keras Robot Berbasis Mobil

No	Komponen	Fungsi
1	AT90S2313	Mikrokontroler utama
2	ADC0804	Pembaca sensor analog
3	MAX232CPE	Komunikasi serial antara PC dan
4	74573	<i>Latch</i> data digital
5	74245	Pengendali arah data digital
6	L293D	Pengendali motor DC dengan H-
7	ULN2003AN	Pengendali arus pena motor <i>stepper</i>
8	4051	Multiplekser sensor analog
9	GP1A52HR	Pembaca cacahan enkoder digital

Perangkat lunak sistem pengendali robot mobil terdiri dari perangkat protokol komunikasi, perangkat pengendali aktuator, perangkat pengolah informasi sensor dan perangkat pendukung pengendalian lainnya. Protokol komunikasi dibutuhkan untuk memastikan bahwa instruksi yang dikirim oleh PC sinkron dengan keadaan dari robot mobil. Perangkat pengendali aktuator bertugas untuk memastikan agar aktuator berfungsi sesuai dengan instruksi dari sistem perencanaan lintasan. Perangkat pendukung lainnya adalah semua bagian yang dapat mendukung berjalannya sistem dengan baik seperti penyimpanan variabel-variabel yang digunakan, pengendali penggunaan sumber daya listrik dan lain-lain.



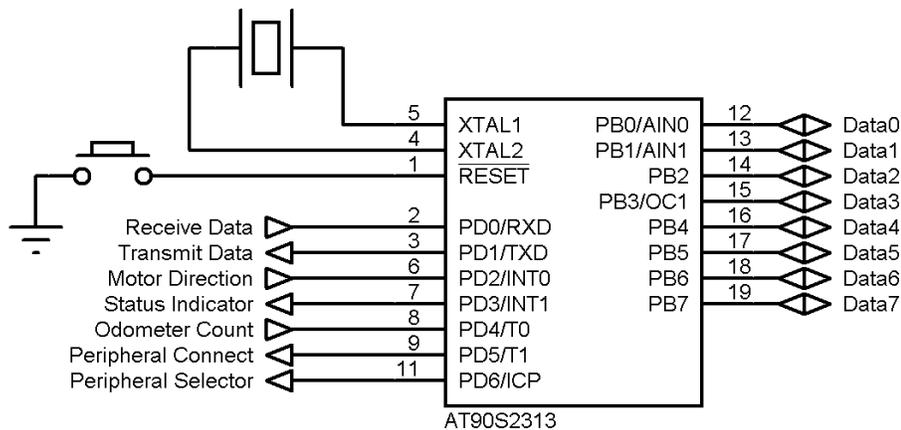
Gambar 4. Konstruksi Sistem Kemudi Unit Robot Berbasis Mobil

Pusat dari unit robot berbasis mobil terletak pada desain aktuatornya dan pusat pengendalinya. Konstruksi sistem kemudi dapat dilihat pada Gambar 4. Roda depan yang bertindak sebagai kemudi dihubungkan membentuk suatu sistem kemudi *ackerman*, yang terhubung dengan sistem roda gigi. Roda gigi ini berfungsi sebagai pereduksi sudut masukan kemudi yang diaktuator dengan menggunakan motor *stepper*. Pengendalian motor *stepper* dibantu dengan sebuah potensiometer membentuk sebuah kendali lingkaran tertutup. Pada awal aktivasi unit robot berbasis mobil, kemudi diaktuator pada titik-titik ekstremnya untuk mengetahui kemampuan maksimal sudut defleksi kemudi. Hasil kemampuan sudut maksimal ini disampaikan kepada pengguna untuk keperluan pengaturan konfigurasi maksimal dari kemampuan pengaturan sudut kemudi.



Gambar 5. Konstruksi Aktuator-Sensor Pada Roda Belakang Unit Robot Berbasis Mobil

Pada bagian penggerak roda belakang, digunakan motor DC linier yang dibantu pengaturannya dengan menggunakan enkoder digital berbasis inframerah pada bagian poros dari motor DC. Konstruksi aktuator gerak sumbu roda belakang dapat dilihat pada Gambar 5. Dipasangkan 2 enkoder digital untuk menghitung jumlah putaran motor DC juga sekaligus dapat mengetahui arah putaran dari motor DC. Karena putaran motor DC direduksi sangat banyak, akurasi data putaran masih dalam batas toleransi.



Gambar 6. Skema Pusat Pengendali Unit Robot Berbasis Mobil

Pusat pengendalinya yaitu mikrokontroler AVR disusun sedemikian rupa mengikuti skema pada Gambar 6 yang mencakup kemampuan untuk menerima data dari luar pada kaki 2 dan 3, detektor arah motor DC pada kaki 6, pendeteksi jarak putaran motor DC pada kaki 8, pemilihan dan pengubangan dengan sub unit sistem oleh kaki 9 dan 11, terakhir adalah keluaran dan masukan data pada kaki 12 sampai 19. Keluaran aktuator ke motor *stepper*, masukan data sudut kemudi dari ADC dan tampilan LED pada papan unit kontrol robot berbasis mobil menggunakan *bus* data yang sama sehingga perlu dipilih menggunakan bantuan latch dan multiplekser.

Proses pengendalian unit robot mobil dibuat sesederhana mungkin, sehingga memudahkan pemrograman pada mikrokontroler yang digunakan pada unit robot mobil. Sedikit mungkin fungsi-fungsi kontrol yang ditanamkan pada unit robot berbasis mobil, kecuali yang terkait dengan pengendalian lingkaran tertutup aktuator kemudi dan aktuator motor DC. Aktuasi motor DC dapat dipesan untuk menggunakan fungsi PWM (*Pulse Width Modulation*) supaya diperoleh tingkat akurasi pengendalian

yang lebih baik. Sisanya, seluruh kemampuan dari mikrokontroler dapat diakses dengan fleksibel melalui perintah-perintah penghubung yang telah diprogram sebelumnya oleh penyusun. Tabel 2 adalah daftar perintah yang digunakan dalam pengendalian antara PC dan unit robot berbasis mobil. Hal ini disengaja untuk mempermudah pengembangan aplikasi dimasa yang akan datang. Karena pada saat pengembangan, perangkat untuk memrogram mikrokontroler terbatas dan lebih mudah untuk merubah program di PC. Semua fungsi dibuat dengan bahasa mesin untuk mempercepat proses dan meminimalkan terjadinya *overhead* pada program di dalam mikrokontroler. Sistem pun dirancang agar dapat menentukan diagnosa internal tanpa menggunakan alat bantu diluar dari sistem itu sendiri melalui tampilan LED, kemampuan untuk mengakses memori RAM dan EEPROM dari unit mikrokontroler.

Tabel 2. Daftar Perintah Antara PC dan Unit Robot Berbasis Mobil

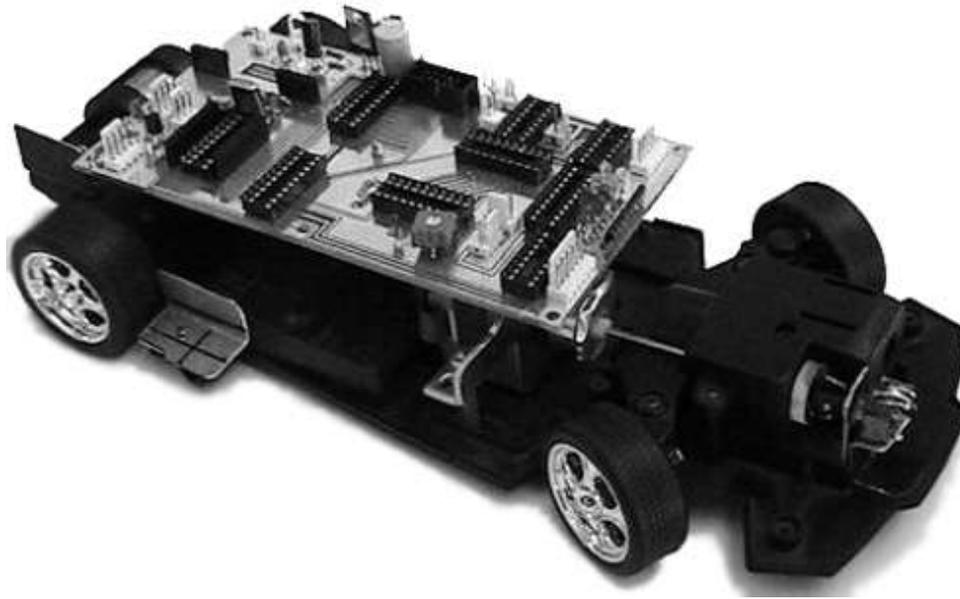
No	Rutin (Sub Rutin)	Heksa Desimal
1	Luruskan Kemudi	1h
a	<i>Set Clock PWM</i>	0xh
2	Gerakan Maju	2h
a	Besaran Perpindahan	xxh
3	Gerakan Mundur	3h
a	Besaran Perpindahan	xxh
4	Belok Kanan	4h
a	Besaran Putaran Kemudi	xxh
5	Belok Kiri	5h
a	Besaran Putaran Kemudi	xxh
6	Set High Byte	6h
a	Besaran <i>High Byte</i>	xxh
7	Baca Ruang Data	7h
a	Alamat Ruang Data	xxh
8	Tulis Ruang Data	8h
a	Alamat Ruang Data	xxh
b	Data yang Ditulis	yyh
9	Baca EEPROM	9h
a	Alamat Ruang Data	xxh
10	Tulis EEPROM	Ah
a	Alamat Ruang Data	xxh
b	Data yang Ditulis	yyh
11	Baca ADC	Bh
a	Pilihan Sensor	xxh
12	Sleep	Ch
13	Rekalibrasi	Dh
14	Reset	Eh
15	Set Duty Cycle PWM	Fh
a	Besaran <i>Duty Cycle</i>	xxh

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 7 adalah miniatur mobil yang telah dibuat sebelum ditutup dengan bodi sebagai pemanis. Unit robot berbasis mobil ini dapat mengikuti hasil solusi lintasan apabila sebelumnya dilakukan kalibrasi sistem untuk mendapatkan masukan harga konfigurasi robot berbasis mobilnya. Tabel 3 adalah ringkasan hasil kalibrasi yang diperoleh untuk unit yang dibangun. Dapat dilihat bahwa untuk aktuator motor DC memiliki resolusi yang sama yaitu dapat membedakan paling tidak pergeseran sepanjang 1 cm, dengan tingkat kesalahan 0,5 cm. Akan tetapi untuk aktuator kemudi, terdapat perbedaan, yang merupakan karakter produksi dari unit yang digunakan. Akan tetapi hal ini dapat diatasi dengan membatasi sudut kemudi pada batasan konfigurasi unit robot berbasis mobil dalam merencanakan lintasannya.

Tabel 3. Kalibrasi Unit Robot Berbasis Mobil

No	Jenis Aktuator	Hasil Kalibrasi
1	Motor DC maju	1 ± 0.5 cm
2	Motor DC mundur	1 ± 0.5 cm
3	Kemudi ekstrem kanan	$11^\circ \pm 0.5^\circ$
4	Kemudi ekstrem kiri	$8^\circ \pm 0.5^\circ$



Gambar 7. Unit Miniatur Berbasis Mobil

KESIMPULAN DAN SARAN

Robot berbasis mobil yang dibangun dari model mobil berskala 1/18 dapat digunakan sebagai unit awal untuk pengujian sistem pencarian solusi lintasan untuk robot berbasis mobil. Unit uji robot berbasis mobil ini cukup mudah untuk dibuat, memiliki antarmuka yang baik untuk segera mendeteksi kesalahan pada sistem tanpa harus mengakses alat ukur tersendiri dan dapat menggambarkan hasil perencanaan lintasan secara nyata. Tingkat aliran data antara PC dan unit robot berbasis mobil juga sedikit sehingga meminimalkan kesalahan eksekusi perintah dari PC kepada unit robot berbasis mobil. Akurasi dan presisi dari unit robot berbasis mobil ini dapat ditingkatkan dengan mengganti dengan sistem sensor dan aktuator yang lebih presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bellaïche, A., F. Jean dan J.-J. Risler. 1997. *Robot Motion Planning and Control: Geometry of NonHolonomic System*. Perancis: Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systemes Centre National de la Recherche Scientifique.
- Lagoudakis, M. J. 1998. *Mobile Robot Local Navigation with Polar Neural Network*. Tesis tidak diterbitkan. Louisiana: University of SouthWestern Louisiana.
- Kelly, A. 1996. *Introduction to Mobile Robots*. CMU Robotics Institute.
- Moret, E. N. 2003. *Dynamic Modeling and Control of a Car-like Robot*. Tesis tidak diterbitkan. Virginia: Virginia Polytechnic Institute.
- Reeds, J. A. dan L. A. Shepp. 1990. Optimal paths for a car that goes both forwards and backwards. *Pacific Journal of Mathematics*. Vol. 145 No.2: 367-393.
- Ridhani, Fatahah Dwi. 2007. *Desain Awal Prototip Robot Mobil Menggunakan Informasi Peta*. Tugas akhir tidak diterbitkan. Bandung: Institut Teknologi Bandung.