

# Rancang Bangun Mobile Robot untuk Formasi *Follow The Leader* dengan Metode *Dead Reckoning Based Trajectory Following*

Endah S. Ningrum, Rum Susetyo, Ali Husein Alasiry

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya - ITS

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111

Telp. 031-5947280, Fax 031-5946114

## ABSTRAK

Robot pengikut adalah sejenis *mobile robot* yang memiliki posisi tertentu terhadap formasi dari dua atau lebih *mobile robot*. Posisi robot pengikut ini biasanya berada di belakang dari robot pemimpin. Pergerakan dari robot pengikut ini harus sama dengan jalur atau *path* yang telah dilalui oleh robot pemimpin tadi. Dalam pergerakan kedua robot ini harus saling berkoordinasi dalam bergerak, disini komunikasi diperlukan. Selain komunikasi antara kontrol yang dari PC juga komunikasi diperlukan antar robot. Kedua jenis komunikasi ini dilakukan menggunakan *wireless* agar tidak mengganggu pergerakan kedua robot. Komunikasi antara PC dengan robot pemimpin berfungsi untuk membentuk jalur atau *path* yang akan dilalui oleh robot pemimpin, sedangkan jalur yang akan dilalui oleh robot pengikut berasal dari data jalur atau *path* yang telah dilalui robot pemimpin yang dikirim kepadanya. Data yang dikirim berasal dari sensor kompas elektronik, yang memberikan informasi berupa sudut atau posisi hadap robot pemimpin. Pergerakan robot pemimpin berasal dari perbandingan kontrol jalur atau *path* yang dikirimkan PC lewat *wireless* dengan sudut yang dibentuk oleh kompas elektronik di robot. Perbandingan sudut ini akan mengatur putaran motor servo untuk roda kiri dan motor servo roda kanan. Kecepatan robot pemimpin diperlukan sebagai perbandingan antara *real path* dengan *path* bentukan dari PC sehingga kecepatan ini akan dikirim balik ke PC atau *feedback* yang nantinya akan digunakan sebagai prediksi error yang ditimbulkan. Kontroller dari robot pengikut ini berupa AVR ATMEGA 8535. Sedangkan kontroller untuk robot pemimpin berupa AVR ATMEGA 16.

*Kata kunci* : robot pengikut, kompas elektronik, posisi, mikrokontroller, komunikasi nirkabel

## LATAR BELAKANG

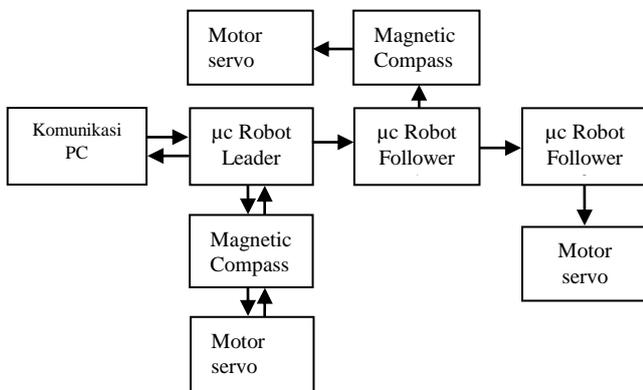
Konsep *Cooperative Multi Mobile Robot* ada beberapa macam, sebagian diantaranya adalah jenis *Swarm Robot*, *Follow The Leader Robot*, dan *Strategic Robot*. Menurut James McLurkin, *follower robot* merupakan bagian dari *swarm robot* yang memiliki komunikasi dengan *leader robot* dan mampu mengetahui posisi induknya sebagai referensi

pergerakannya[3]. Dalam penelitian ini, sebagai *leader robot* yang digunakan adalah *non-autonomus mobile robot* yang gerakannya masih di kontrol oleh manusia (user) melalui PC, sedangkan robot yang digunakan sebagai *follower* pertama adalah robot *autonomus* yang mampu mengikuti *trajektory* atau lintasan dari robot pemimpin, sehingga dapat bergerak mengikuti robot pemimpin. Sedangkan robot yang menjadi *follower* kedua adalah robot *autonomus* yang mampu mencari jarak terdekat menuju robot *follower* pertama yang dianggap sebagai robot pemimpin bagi robot tersebut. Sistem sensor yang digunakan pada robot pemimpin dan *follower* pertama adalah *magnetic compass* untuk mengetahui arah robot terhadap kutub magnet bumi sebagai sistem *local positioning*. Sedangkan robot *follower* kedua menggunakan sensor inframerah untuk mencari jarak terdekat dengan robot *follower* pertama yang dianggap sebagai *leader*. Sesuai dengan nama konsepnya yaitu "Follow The Leader" masing-masing robot *follower* harus bisa mengikuti robot di depannya yang dianggap sebagai *leader* maka masing-masing robot harus bisa mengetahui posisi relatif dirinya menggunakan metode *local positioning*[1]. Terdapat berbagai macam metode *local positioning* seperti menggunakan kamera, menggunakan jarak atau *proximity* terhadap titik acuan yang dapat dikerjakan dengan sensor ultrasonik atau sejenisnya. Pada penelitian ini kami memilih metode jarak dan sudut (*dead reckoning*), berupa perbandingan antara data sudut awal kompas robot pemimpin dan sudut yang akan dituju oleh robot pemimpin [2], melalui penentuan posisi awal dan rute yang harus ditempuh oleh masing-masing robot. Prinsip dari metode ini adalah posisi robot ditentukan berdasarkan jarak robot terhadap robot lain yang berada disekitarnya. Misalnya pada penelitian kami ini yang terdiri dari tiga robot yaitu robot *leader* yang harus berada di depan robot *follower1* dan robot *follower2* yang harus berada dibelakang robot *follower1*

## METODOLOGI

Target dari penelitian ini yaitu pergerakan ketiga *mobile robot* dalam membentuk formasi dan jalur yang telah ditentukan oleh PC. Dimana PC menentukan jalur terlebih dahulu, lalu robot pemimpin (robot *leader*) mengikuti jalur yang telah dibentuk PC tadi. Setelah itu robot pemimpin mengirimkan

data posisinya ke robot kedua (robot *follower 1*), kemudian robot ketiga (robot *follower 2*) mengikuti robot *follower 1* berdasar intensitas nyala infrared. Blok diagram sistem keseluruhan secara jelas dapat dilihat pada gambar 1:

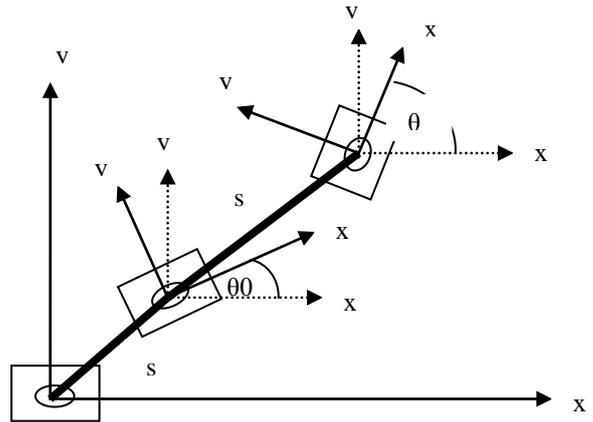


**Gambar 1.** Blok Diagram sistem keseluruhan

Komunikasi antara mikrokontroler robot *leader* dan robot *follower 1* yang berupa data sudut dilakukan secara *wireless*. Komunikasi ini menggunakan *transceiver* Xbee-pro, menggunakan set protokol untuk perbandingan apakah data yang dikirim dan data yang diterima sama atau tidak. Pengiriman data dari PC sebenarnya menggunakan prinsip robot pemimpin sebagai *hop* komunikasi data dengan robot *follower 1* dengan meng-aktifkan *interrupt receiver* USART pada *setting codevision* AVR. Maka jika ada *interrupt* penerimaan yang sesuai dengan protokol yang di-set maka mikrokontroler akan men-set compass dan menggerakkan motor servo sesuai perbandingan antara sudut yang dikirim robot pemimpin dengan sudut yang sesungguhnya yang berada di *body* robot *follower 1*.

### PRINSIP KERJA

Secara garis besar, sistem *follow the leader* ini bekerja dimulai dari pengiriman data yang dilakukan oleh mikrokontroler. Data tersebut ditransmisikan melalui modul Xbee Pro, dimana pada satu perangkat Xbee-pro terdapat pin Tx-Rx yang digunakan untuk pengiriman dan penerimaan data. Modul Xbee-pro menggunakan *minimum system* yaitu port yang diekspansikan hanya  $D_{out}$ ,  $D_{in}$ , Gnd dan  $V_{CC}$ . Sebelum dilakukan komunikasi antar modul wireless, perlu dilakukan pen-*setting*-an dalam mode AT Command yang dikoneksikan dengan PC menggunakan komunikasi serial. Metode robot *follower1* dalam mengikuti robot pemimpin disebut dengan *dead reckoning*. Metode ini digunakan untuk “menduga” posisi atau keberadaan dari Robot *Leader*. Dalam “menduga” posisi ini diperlukan sensor kompas elektronik dan wireless transceiver pada masing – masing robot. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3 tentang penerapan sederhana dari *dead reckoning*.

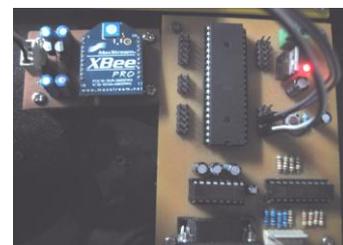


**Gambar 3.** Penerapan metode *dead reckoning* dalam kasus *follow the leader*

Untuk menerapkan metode *dead reckoning* diperlukan bantuan sensor kompas elektronik dan wireless transceiver agar pemberitahuan sudut dapat dikirimkan oleh robot leader ke robot follower.

### Modul Wireless Xbee Pro

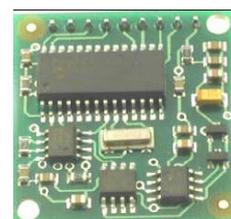
*Radio frequency transceiver* yang digunakan adalah Xbee-PROEM ZigBee/IEEE 802.15.4 2.4GHz. *Radio frequency transceiver* ini merupakan sebuah modul yang terdiri dari RF receiver dan RF transmitter dengan system interface serial UART *asynchronous*. Bentuk fisik dari modul RF Xbee-PRO dapat dilihat pada gambar 4.



**Gambar 4.** Rangkaian Xbee – pro dengan mikrokontroler

### Modul Kompas Elektronik CMPS 03

Kompas elektronik yang digunakan adalah modul *cmps03* produksi Devantech. Kompas elektronik digunakan untuk mengetahui arah hadap robot ketika bergerak gambar 5 merupakan gambar hardware kompas elektronik.



**Gambar 5.** Modul kompas CMPS03[6]

**Protokol Komunikasi**

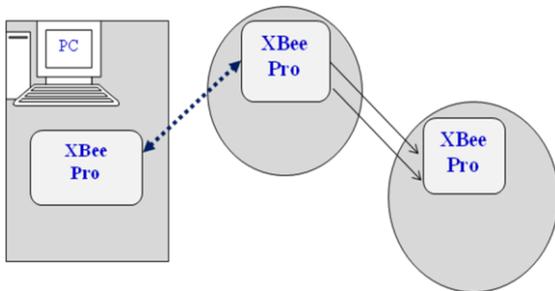
Pada proses pengiriman data dari mikrokontroler yang terdiri dari data kompas yang dikirim secara paket dengan pengaturan *protocol*, agar tidak data yang dikirim sampai dan sesuai dengan lokasi atau robot yang dituju. Protokol pengiriman sebanyak 7 bit terdiri dari



**Gambar 6.** Protokol pengiriman data

**Cara Kerja Sistem**

Sistem ini bekerja ketika robot leader menerima *interrupt* serial dari PC lalu robot *leader* mengirimkan data sudut posisi awalnya ke robot *follower1* dengan *delay* beberapa detik. Robot *leader* mengirimkan data posisinya ketika dia sudah menemukan sudut yang sesuai yang dikirimkan dari PC tadi. Gambar 7 menjelaskan sekilas bagaimana sistem *follow the leader* ini bekerja.



**Gambar 7.** Cara kerja sistem

Sistem pada gambar 7 menggambarkan bahwa kedua robot saling bergantung pada usernya jika robot leader usernya adalah PC sedangkan robot *follower1* usernya adalah robot leader

**HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA**

**Pengujian Kompas Elektronik**

Data yang dihasilkan dari kompas yaitu 0-255, seperti tampak pada Tabel 1 berikut, data ini diambil di lokasi *indoor robotic vehicle laboratory D3* dan tabel 2 data diambil di lokasi *outdoor robotic vehicle laboratory D3*.

**Tabel 1.** Data Posisi Kompas (indoor)

Data Kompas sebelum kalibrasi (deg)	Data Kompas sesudah kalibrasi (deg)	Posisi	Error (%)
254	0	Utara	0,39
60	63	Timur	1,17
120	127	selatan	2,74
184	191	Barat	2,74

**Tabel 2.** Data Posisi Kompas (outdoor)

Data Kompas sebelum kalibrasi (deg)	Data Kompas sesudah kalibrasi (deg)	Posisi	Error (%)
246	0	utara	3,92
54	63	timur	3,52
112	127	selatan	5,88
181	191	barat	

Resolusi dari modul kompas ini adalah  $360/255 = 1,4^{\circ}$ . Jadi pergeseran 1 bit sama dengan  $1,4^{\circ}$ . Nilai data 0-255 dikonversikan kedalam posisi karena ada 4 posisi sudut yang diharapkan jadi yang diambil hanya 4 posisi dan data yang dihasilkan cukup linier. Karena kompas terpengaruh terhadap medan magnet maka dalam pemasangan kompas harus dijauhkan dari benda yang mengandung medan magnet seperti motor besi ataupun teralis. Lapangan lomba selalu menghadap utara sehingga perlu dikalibrasi terlebih dahulu. Peletakan kompas terletak pada pusat dari badan robot agar sudut yang dihasilkan selalu sesuai secara perhitungan.

**Pengujian Ketiga Protokol Komunikasi**

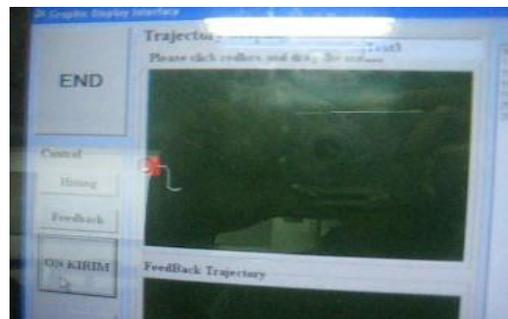
**Tabel 3.** Pengujian protokol komunikasi

Protokol kirim	Protokol terima	Error (%)
% 12000!	% 12000!	0 %
% 12064!	% 12064!	0 %
% 12128!	% 12128!	0 %
% 12191!	% 12191!	0 %

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa data sepenuhnya dapat diterima dengan baik oleh robot *follower1*. Data diatas diambil berdasarkan jarak PC dengan robot sekitar 6 meter dan jarak antar robot sendiri sekitar 30 cm.

**Pengujian Sistem Via Visual Basic**

Pengujian sistem ini dilakukan dengan cara menggambarkan jalur yang akan dilalui oleh robot *leader* pada komputer, setelah itu dihitung sudut dan dikirimkan sudut tadi ke robot *leader* seperti yang ditunjukkan gambar 8.



**Gambar 8.** Trajectory pada Visual Basic

Gambar diatas dibentuk dari koordinat dan sudut. Penunjukan koordinat dan sudut terdapat pada tabel 4.

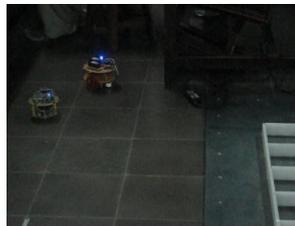
**Tabel 4.** Pengujian Menggunakan VB dengan skala 2 : 1 Jalur yang dibentuk di VB

Absis (pixel)	Ordinat (pixel)	Sudut
110	833	000
196	833	280
216	758	280
228	678	280
245	603	000
328	603	

Sedangkan untuk gambar posisi kedua robot dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 untuk posisi awal dan posisi 1.

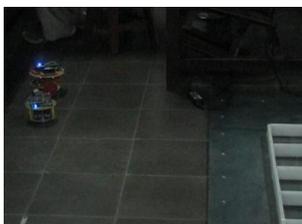


**Gambar 9.** Posisi 1

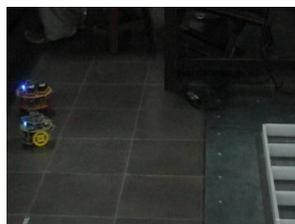


**Gambar 10.** Posisi 2

Dan untuk kelanjutan dari posisi 1 dan 2 yaitu posisi 3 dan 4 dapat dilihat pada gambar 11 dan gambar 12.

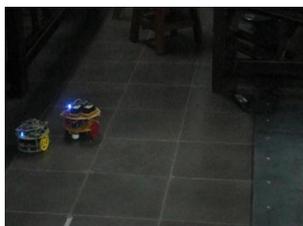


**Gambar 11.** Posisi 3



**Gambar 12.** Posisi 4

Sedangkan untuk posisi yang terakhir ditunjukkan pada gambar 13



**Gambar 13.** Posisi 5

Untuk hasil absis dan ordinat dari pengujian dapat dilihat pada tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Menggunakan VB dengan skala 2 : 1 Untuk feedback robot *follower1*

Absis (pixel)	Ordinat (pixel)	Sudut
35	820	020
120	850	000
200	850	280
214	780	280
234	700	280
249	615	000
309	615	

Pada hasil uji metode diatas terjadi dua parameter error yaitu error trajectory yang dibentuk oleh robot leader dan error trajectory yang dibentuk oleh robot *follower1* terhadap robot leader. Error trajectory ini dihitung menggunakan perhitungan metode *dead reckoning* sehingga nantinya diperoleh nilai error x dan nilai error y. Perhitungan nilai error adalah sebagai berikut :

$$x_1 = x_0 + s \cos \theta_0$$

$$y_1 = y_0 + s \sin \theta_0$$

Koordinat dari hasil perhitungan lalu dikurangkan dengan koordinat yang telah dilalui oleh robot *follower1* tadi hasilnya berupa error x dan error y. Dari perhitungan di atas didapatkan error terbesar yaitu sebesar 12 pixel maka dalam jalur nyata penyimpangan ini sebesar 6 cm. Faktor pengaruh error ini berupa lantai tempat pengujian yang tidak rata dan permukaan roda yang licin sehingga dapat menimbulkan slip. Pada pengujian sistem keseluruhan yaitu semua robot *follower* digabung menjadi satu, sudut kirim untuk robot leader terhadap robot *follower1* dapat terlihat seperti tabel 4.18.

**Tabel 4.18** Pengujian sistem keseluruhan

Data kirim dari robot leader	Data Terima	Error (%)
191	193	0,78
194	194	0
194	193	0,39
250	254	1,56

Dari semua pengujian yang dilakukan kebanyakan yang menyebabkan error pada sistem yaitu penyimpangan sudut yang dibentuk kompas terhadap robot. Ini terbukti ketika pengujian kompas pertama ketika kalibrasi, ketika berbeda ruangan dan kondisi pembacaan sudut kompas pun beda. Error kompas ini berlanjut ketika pengujian ketika *follower1*

sedang mengikuti robot *leader*. *Error* yang ditimbulkan pun cukup berpengaruh dalam pergerakan mengikuti sang robot.

Sedangkan *error* lain yang juga berpengaruh yaitu *error* yang ditimbulkan karena kurang sempurnanya desain mekanik seperti jarak titik tengah bodi robot ke roda. Faktor lain yang berpengaruh yaitu permukaan lantai yang licin dan tidak rata yang menyebabkan pergerakan dari *follow the leader* kurang sempurna.

## KESIMPULAN

Setelah melakukan perencanaan dan pembuatan sistem kemudian dilakukan pengujian, yaitu pengujian individu robot *follower1* dan pengujian keseluruhan serta analisa, maka dapat diambil beberapa kesimpulan tentang penelitian ini yaitu:

1. Penyimpangan sudut dari pembacaan kompas elektronik sering terjadi *error* diakibatkan peletakan posisi kompas pada robot *leader* dan pada robot *follower1* yang berbeda dan tidak tepat di titik pusat bodi robot sehingga terjadi penyimpangan terhadap sudut yang diharapkan selain itu kondisi ruangan sekitar juga berpengaruh, misalnya kondisi ruangan yang banyak mengandung medan magnet seperti besi, baja, seng dan kalibrasi yang kurang akurat karena tidak tepat menghadap arah mata angin. Karena penyimpangan yang besar terhadap sudut kompas ini maka pergerakan robot *follower1* tidak sesuai dengan pergerakan dari robot *leader*.
2. Prioritas dalam eksekusi *task* yang diberikan oleh robot *leader* dipengaruhi oleh *delay* pengiriman yang terlalu cepat juga dapat menyebabkan data satu yang belum diterima tertumpuk dengan data yang lain. Sehingga dapat menyebabkan robot *follower1* tertinggal dan tidak dapat mengikuti bagian belakang dari robot *leader*
3. Luas permukaan bidang tempat peletakan kompas dapat mempengaruhi kinematika dari robot, ini terbukti jika luas permukaan robot *leader* lebih kecil daripada robot *follower1*. Maka posisi *scanning* sudut robot *leader* makin cepat daripada robot *follower*.

## SARAN

Didalam pembuatan bagian dari Intelligent mobile robot menggunakan metode *dead reckoning* masih mengalami banyak kekurangan yang perlu diperbaiki untuk penyempurnaan. Ada beberapa bagian dari sistem yang perlu dilakukan penyempurnaan antara lain :

1. Faktor setting awal sudut kompas elektronik antara robot *leader* dengan robot *follower1*.
2. Permukaan roda harus kasar dan tidak licin.
3. Peletakan kompas yang harus di *center body* dari robot dan luas permukaan antara robot *leader* dengan robot *follower1* tempat peletakan kompas harus sama.

4. Delay pengiriman dan penerimaan yang dilakukan antara robot *leader*, PC dan robot *follower1* harus sesuai agar tidak terjadi *crash* data.
5. Desain mekanik yang sesuai perhitungan dan perencanaan agar dapat meminimalisasi *error* mekanik.
6. Setting awal kecepatan servo untuk roda kiri dan roda kanan dengan benar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Desai, P. J. Ostrowski, J dan Kumar, V. “**Controlling Formations Of Multiple Mobile Robots**”, In *Proceedings of the IEEE International Conference on robotics and automation, (Leuven, Belgium), pp. 2864-2869, May 1998.*
- [2] Pugh, J. and Martinoli, A. “**Small-Scale Robot Formation Movement Using a Simple On-Board Relative Positioning System**”, *International Symposium on Experimental Robotics 2006, Rio de Janeiro, Brazil, 2006.*
- [3] McLurkin, James. “**Stupid Robot Tricks: A Behavior-Based Distributed Algorithm Library for Programming Swarms of Robots**”. Massachusetts Institute of Technology. Master’s Thesis. May 2004,
- [4] Pitowarno, Endra. “**Robotika desain, kontrol, dan kecerdasan buatan**”. Yogyakarta : Andi Offset. 2006.
- [5] Alasiry, Husein, Ali “**Slide Materi kuliah robotika tentang driving and steering**” Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS, Surabaya, 2006.
- [6] Alasiry, Husein, Ali “**Slide Materi kuliah robotika tentang pencapaian target**” Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS, Surabaya, 2006.
- [7] Prasetyono, Eka “**Strategi Pengenalan Posisi Start Pada Robot Master Robot pemadam api KRCP**”, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS, Surabaya, 2008
- [8] Dewi, Karina, Dinda ” **Embedded Visual Servoing**” Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS, Surabaya, 2008
- [9] *ATMEL Instruction Set for AVR ATMEGA 16*, 2008, Website : <http://www.Atmel.com>.
- [10] *Xbee-pro wireless Instruction Set*. Website : <http://www.maxstream.com>. diakses pada 5 November 2007
- [11] Website : <http://www.ikalogic.com/wfr.php> diakses pada 31 Januari 2008.
- [12] *Dead Reckoning*, [http://en.wikipedia.org/wiki/dead\\_reckoning](http://en.wikipedia.org/wiki/dead_reckoning) diakses pada 20 juli 2008