

# Desain Sistem Navigasi Robot Berkaki Enam pada Model Lahan Tanaman Padi

Khairul Anam  
Teknik Elektro  
Universitas Jember  
kh.anam.sk@gmail.com

Endra Pitowarno  
PENS-ITS Surabaya  
epit@eepis-its.edu

Ubaidillah Sabino  
Teknik Mesin UNS  
ubaud.ubaidillah@gmail.com

## Abstract

*This article presents a robot design used in agriculture field for controlling rat pest in paddy fields. The robot is hexapod type with single actuator in every leg. It has two kind of controller, low-level controller and high level controller. The low-level controller guarantees the leg rotation in 360 degrees. The high-level controller is behavior-based controller with a coordinator. The performance of each behavior was tested as well as the overall system. This research yielded a robot that could operate in grassy and muddy environment and it could move with speed 3.9 cm/s.*

*Keywords: hexapod robot, paddy field model, behavior-based*

## Abstrak

*Artikel ini memaparkan desain prototip robot yang digunakan dalam bidang pertanian sebagai alternatif penanganan hama tanaman padi. Desain robot yang digunakan adalah model hexapod dengan mekanisme satu aktuator untuk setiap kakinya. Sistem kontrol yang digunakan terdiri dari pengendali level atas dan level bawah. Pengendali level bawah bertugas menjamin perputaran setiap kakinya adalah 360 derajat. Pengendali level atas berupa sistem kontrol behavior-based yang terdiri dari beberapa behavior dan satu koordinator. Pengujian dilakukan pada setiap behavior dan perpaduan sistem secara keseluruhan pada model lingkungan sawah. Penelitian ini menghasilkan robot yang dapat bekerja pada kondisi lingkungan yang berumput dan lembek serta dapat bermanuver dengan kecepatan rata-rata 3,76 cm/detik.*

*Kata kunci: Robot kaki enam, model sawah, behavior-based*

## 1. Pendahuluan

Tikus sawah merupakan hama utama penyebab kerusakan terbesar tanaman padi, terutama di dataran rendah berpola tanam intensif. Tikus sawah juga mampu menimbulkan kerusakan pada sayuran, buah-buahan, dan tanaman perkebunan. Tikus sawah merusak semua stadia tumbuh padi, sejak pesemai hingga panen (prapanen), bahkan dalam gudang penyimpanan (pascapanen). Kerusakan tanaman padi yang parah terjadi apabila tikus menyerang stadia generatif padi (padi bunting hingga panen), karena tanaman sudah tidak mampu membentuk anakan baru. Ciri khas petak terserang tikus sawah adalah kerusakan tanaman dimulai dari tengah petak, kemudian meluas ke arah pinggir, sehingga pada keadaan serangan berat hanya menyisakan 1-2 baris padi di pinggir petakan lahan. Pada setiap tahunnya, kerusakan akibat serangan tikus sawah selalu menempati urutan pertama dibanding hama padi yang lain. Pada tahun 2000-2005, luas serangan mencapai 100.969,7 ha per tahun dengan intensitas kerusakan 18,03% [1].

Untuk mengatasi kerugian petani akibat hama tikus telah dicetuskan konsep Pengendalian Hama Tikus Terpadu (PHTT) dalam International Conference on Ecologically-Based Rodent Management di Beijing China (1998) dan Canberra Australia (2002).

Penanganan hama tikus sawah dapat dilakukan sejak dini dan berkelanjutan dengan memanfaatkan kombinasi teknologi pengendalian yang sesuai dan tepat waktu [1]. Ragam teknologi pengendalian hama tikus terpadu yang direkomendasikan oleh balai besar penelitian tanaman padi adalah metode sanitasi lingkungan, metode kultur teknik seperti pengaturan pola tanam, metode fisik mekanis seperti penggunaan jerat/perangkap dengan teknologi Trap Barrier System (TBS) dan Linier Trap Barrier System (LTBS), metode biologi seperti konservasi predator dan metode kimiawi seperti fumigasi/pengemposan [1].

Teknologi pembangkitan sinyal ultrasonik untuk mengusir tikus telah banyak beredar di toko-toko elektronik di Indonesia dan bahkan dipromosikan secara online di internet. Akan tetapi teknologi ini hingga kini tidak menjadi bagian dari pengendalian hama tikus terpadu. Berdasarkan penelitian Askham (Askham, 1992), penggunaan sinyal ultrasonik untuk mengusir tikus tidak efektif karena sinyal ultrasonik akan memantul jika mengenai obyek sehingga tikus yang berada di balik sebuah obyek tidak akan terpengaruh. Alasan yang lain adalah keterbatasan jangkauan dari sinyal ultrasonik sehingga tikus yang ada diluar jangkauannya tidak akan terpengaruh. Oleh karena itulah diperlukan sinyal pembangkit ultrasonik yang dapat menjangkau semua bagian dari area kerja tikus.

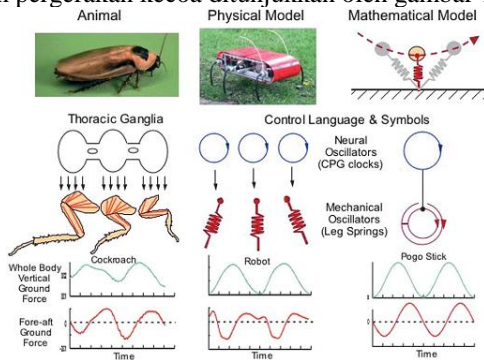
Kondisi ini memunculkan ide untuk mendesain sebuah robot yang bekerja pada lingkungan sawah dan dapat memeratakan sinyal ultrasonik sehingga mampu menghambat aktifitas tikus.

Lingkungan lahan sawah yang tidak beraturan, kondisi tanah yang berubah mulai berair sampai yang kering, posisi tanaman padi yang rapat dan struktur lahan yang membentuk petak-petak menjadikan desain robot ini cukup rumit. Agar penelitian ini dapat dilaksanakan dalam waktu dua tahun maka penelitian difokuskan pada model lahan padi. Tujuan tahun pertama adalah melakukan desain robot secara mekanik dan elektronik sehingga dihasilkan prototip robot yang dapat bekerja pada lingkungan model sawah. Struktur robot menggunakan struktur robot berkaki enam dengan skema single actuated actuator dengan teknik pengendalian robot yang tidak berbasis model yaitu *behavior-based robotic* [2,3,4].

## 2. Dasar Teori

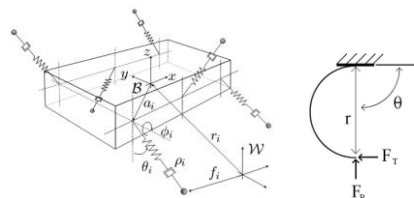
### 2.1 Single Actuated Hexapod Robot

Single actuated hexapod Robot (SAHR) adalah jenis robot berkaki enam yang diinspirasi oleh pergerakan system biologis kecoa. Pemodelan matematik dari sistem pergerakan kecoa ditunjukkan oleh gambar 1[5].

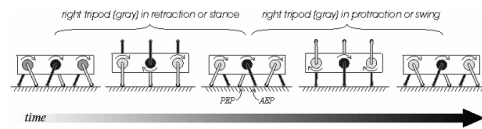


Gambar 1. SAHR teinspirasi oleh pergerakan biologis kecoa[5]

Dari hasil pemodelan matematik system biologis, Saranli dkk[2] mendesain struktur mekanik bodi robot dan struktur kainya yang disebut dengan compliant leg(kaki yang lentur) sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 2. Adapun system pergerakannya secara sederhana ditunjukkan oleh gambar 3.



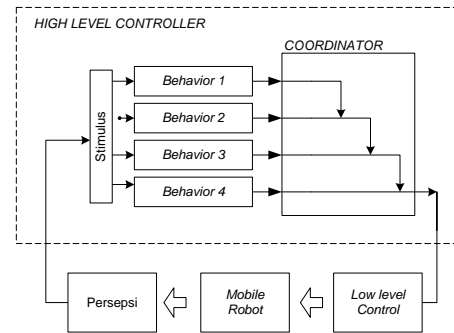
Gambar 2. Struktur bodi(kiri) dan kaki (kanan) dari SAHR[2,6]



Gambar 3. Sistem pergerakan

### 2.2 Behavior-based control

Dalam sistem kendali behavior-based, sistem kendali robot diuraikan menjadi beberapa modul yang melaksanakan suatu tugas tertentu (behavior). Blok diagramnya ditunjukkan oleh gambar 1.



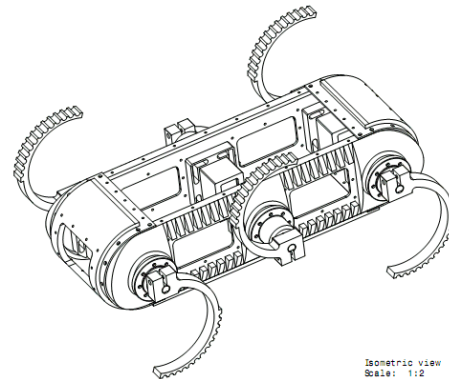
Gambar 4. Skema Kendali Behavior -based[4,8]

Berdasarkan informasi sensor, setiap behavior memberikan tanggapan langsung untuk mengendalikan robot sesuai dengan tujuan tertentu seperti menghindari halangan atau mengikuti dinding. Behavior dengan tujuan yang berbeda dapat menyebabkan konflik yang tidak terselesaikan. Karena itu, diperlukan mekanisme koordinasi yang efektif dari behavior- behavior yang ada sehingga membentuk suatu behavior yang rasional dan logis [8].

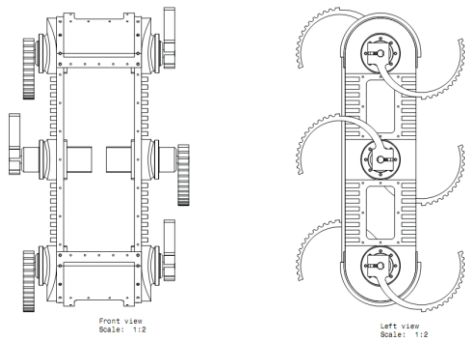
## 3. Metode

### 3.1 Desain Mekanik Robot

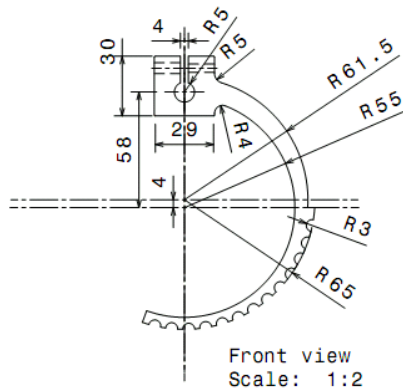
Desain mekanik robot mengacu pada desain model *single actuated hexapod* robot [5,6,7]. Robot menggunakan enam kaki seperti ditunjukkan oleh Gambar 1 dan 2. Sebagaimana pada [5], desain robot dengan *single actuated* ini dapat bekerja pada segala medan. Ukuran keseluruhan robot adalah 18 x 35 cm<sup>2</sup>.



Gambar 5. Desain Mekanik Robot



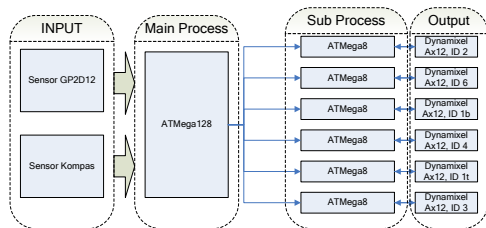
Gambar 6. Desain Robot Tampak Atas dan Samping



Gambar 7. Desain Kaki Robot

Penggerak Robot adalah kaki yang berjumlah enam buah. Setiap kaki hanya ada satu penggerak atau 1 *degree of freedom* (DOF) dengan bentuk seperti huruf c. Bentuk kaki yang demikian akan memberikan *pasive walking* bagi robot [7].

### 3.2 Desain Elektronik Robot



Gambar 8. Sistem Elektronik untuk Navigasi

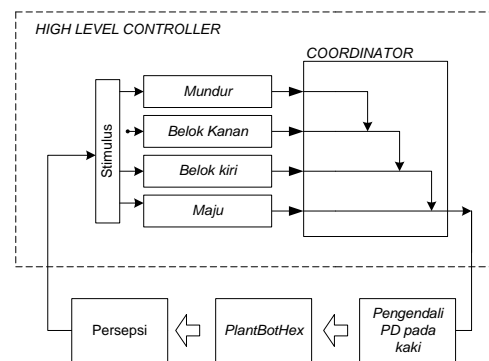
Aktuator yang digunakan pada *Robot* adalah motor servo dari dynamixel AX-12 yang dibuat bekerja secara kontinu. Pada desain model *single acutated hexapod* robot [7], digunakan jenis motor DC 20 W planetary gearhead sehingga dihasilkan reduksi 33:1. Namun karena mahalnya biaya yang dibutuhkan maka dipakalah alternatif penggunaan servo continuous dengan pertimbangan robot tidak dituntut untuk berjalan cepat. Sebagai pusat kontrolnya, digunakan microcontroller ATMEGA128. Robot ini juga dilengkapi dengan 8 buah sensor infrared range finder dan sensor kompas untuk keperluan navigasinya. Setiap motor dikendalikan secara terpisah menggunakan ATmega8.

### 3.3 Desain Sistem Kontrol Robot

Sistem kontrol pada Robot terdiri dari dua bagian yaitu pengendali level rendah (*low-level controller*) dan pengendali level atas (*high level controller*).

Pengendali level rendah bertugas untuk mengendalikan tiap penggerak robot sehingga bergerak sesuai dengan target posisi yang diberikan. Pada Robot, tiap penggerak dikendalikan menggunakan pengendali PD. Tujuan dari pengendali PD adalah mengendalikan putaran motor sehingga berputar sesuai dengan putaran yang diinginkan yaitu satu rotasi penuh.

Pengendali level atas bertugas mengendalikan pergerakan robot. Output dari pengendali level atas diumpangkan ke pengendali level rendah. Pengendali level atas yang dipaparkan pada artikel ini terdiri dari empat *behavior* yaitu bergerak maju, mundur, belok kiri dan belok kanan.



Gambar 5. Sistem Kontrol pada Robot

Pada *behavior* bergerak maju, tiga kaki robot berputar penuh berlawanan arah jarum jam sedangkan tiga lain tetap berada di tanah. Kedua kelompok kaki-kaki ini bergantian berputar. Kelompok kaki pertama disebut kelompok kaki kiri terdiri dari dua kaki kiri depan dan belakang dan satu kaki kanan tengah. Kelompok kedua disebut kelompok kaki kanan terdiri dari kaki kanan depan dan belakang dan satu kaki kiri tengah. Perpindahan gerakan dari kelompok kaki kiri ke kelompok kaki kanan atau sebaliknya mempengaruhi kecepatan pergerakan robot. Namun ada batasan yang harus diperhatikan dikarenakan motor servo kontinu bergerak lambat sehingga jika perpindahannya terlalu cepat maka tubuh robot akan membentur tanah. Pada *behavior* bergerak mundur, putaran tiap kaki dibalik. Dengan mekanisme yang sama dengan *behavior* bergerak maju, maka robot akan bergerak mundur.

Mekanisme *behavior* belok memiliki perbedaan dengan *behavior* maju dan mundur. Namun tetap menggunakan konsep kelompok kaki kiri dan kanan. Hanya memiliki perbedaan arah gerakan pada kaki bagian tengah jika dibandingkan dengan dua kaki lainnya. Dengan asumsi robot menghadap ke kanan, maka untuk *behavior* belok kiri, kelompok kaki kiri berputar searah jarum jam kecuali kaki kanan tengah berlawanan arah jarum jam sedangkan kelompok kaki kanan bergerak berlawanan arah jarum jam kecuali kaki kiri tengah yang searah jarum jam. Untuk *behavior* belok kanan, kelompok kaki kiri berputar berlawanan arah jarum jam kecuali kaki

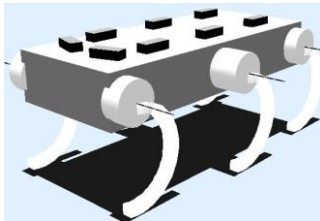
kanan tengah yang searah jarum jam dengan asumsi robot menghadap ke kanan.

Pengendali level atas masih dapat dikembangkan lagi untuk pergerakan robot mandiri dengan *behavior-behavior* yang lebih kompleks. Fungsi koordinator pada gambar 5 adalah sebagai pengatur behavior mana yang semestinya memberikan outputnya pada pengendali level rendah. Koordinator ini dibangun dari keadaan sensor atau dapat dioperasikan secara manual.

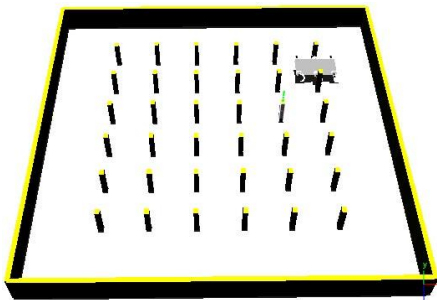
### 3.4 Pengujian

#### 3.4.1 Simulasi

Pengujian sistem kontrol robot *Robot* dilakukan secara simulasi menggunakan software webot 6.1.3 dengan bentuk robot seperti ditunjukkan oleh gambar 10. Lapangan yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan oleh gambar 11.



Gambar 10. Model Robot untuk Simulasi



Gambar 11. Model Lapangan Sawah

#### 3.4.2 Lapangan

Pengujian robot untuk lingkungan sebenarnya dilakukan pada daerah dengan tingkat kesulitan yang berbeda dengan mengasumsikan kondisi sawah yang berbeda. Pengujian dilakukan pada daerah berumput, berbatu, dan sedikit berair.

## 4. Hasil dan Pembahasan

Struktur robot telah berhasil dibuat dan hasilnya ditunjukkan oleh gambar 12 dan 13.



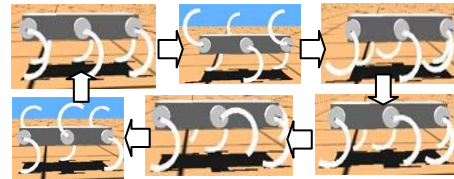
Gambar 12. Bentuk Fisik Robot



Gambar 13. Robot Beserta Rangkaian Elektroniknya

### 4.1 Pengujian Simulasi

#### 4.1.1 Uji Simulasi Gerak Maju

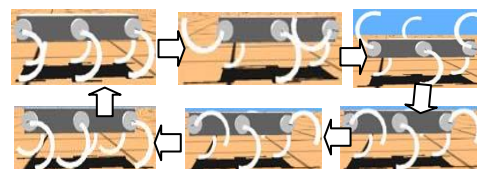


Gambar 14. Uji gerak Maju

Gerak maju diawali dengan kelompok kaki kiri yang berputar 360 derajat ke depan. Setelah kelompok kaki kiri mendekati tanah maka kelompok kaki kanan segera berputar 360 derajat ke depan. Demikian seterusnya sehingga diperoleh pergerakan maju.

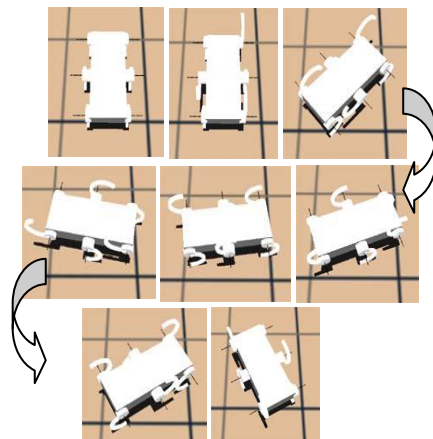
#### 4.1.2 Uji Gerak Mundur

Gerak mundur kebalikan dari gerak maju. Pada gerak mundur, kelompok kaki kiri bergerak berputar ke belakang 360 derajat. Kelompok kaki kanan akan melakukan hal serupa beberapa saat sebelum kelompok kaki kiri menyentuh tanah. Dengan demikian akan diperoleh pergerakan mundur robot.



Gambar 15. Uji gerak Mundur

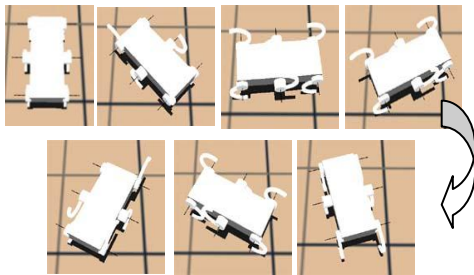
#### 4.1.3 Uji Belok



Gambar 16. Uji belok kanan

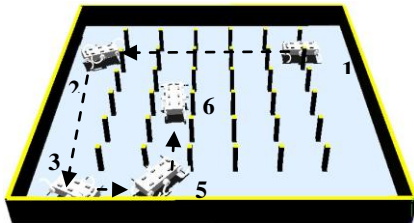
Pada uji belok, pergerakan kaki di tiap kelompok kaki berbeda dengan yang lainnya untuk kaki bagian tengah. Untuk belok ke kanan, kelompok kaki kiri bergerak berputar ke depan kecuali kaki tengah bagian kanan yang bergerak berputar ke belakang. Sesaat sebelum kelompok kaki kiri menyentuh tanah, kelompok kaki kanan berputar ke belakang kecuali kaki kiri tengah. Gambar 16 menunjukkan behavior belok kanan dari robot.

Untuk uji belok kiri, perilaku pergerakan kaki sebagaimana belok kanan hanya saja kelompok kaki kiri bergerak berputar ke belakang dan kelompok kaki kanan bergerak berputar maju sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 17.



Gambar 17. Uji belok kiri

#### 4.1.4 Uji Sistem Keseluruhan

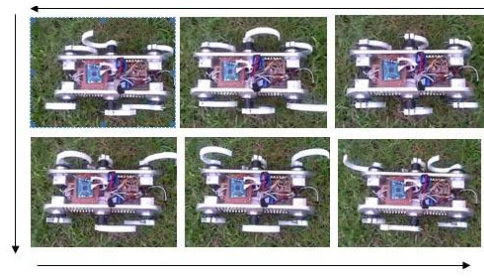


Gambar 18. Pengujian Sistem secara keseluruhan

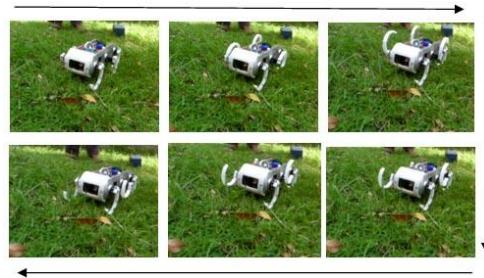
Dengan menggabungkan setiap behavior dalam konsep *behavior-based control*, maka robot diuji pada lingkungan yang dimodelkan meniru bentuk sawah. Hasil pengujian ditunjukkan oleh gambar 18. Robot melangkah dari posisi 1 kemudian menuju posisi 2. Karena ada tembok di depannya, robot bergerak ke kiri. Pada posisi 3 robot berberlok ke kiri lagi karena ada dinding pada depan dan kirinya. Pada posisi 5, robot diintervensi secara manual sehingga berbelok dan menuju posisi 6.

#### 4.2 Pengujian di Lapangan Berumput

Dimulai dari 3 kaki yang terdiri dari dua kaki kiri dan satu kaki kanan. Kemudian setelah tiga kaki tersebut mencapai tanah, 3 kaki yang lain, dua kaki kiri dan 1 kaki kanan tengah mengayuhkan langkahnya. Demikian seterusnya pergerakan 3 kaki 3 kaki bergantian. Contoh pergerakan yang lain ditunjukkan oleh gambar 19 dan 20.



Gambar 19. Pengujian Pergerakan Maju Robot



Gambar 20. Pergerakan robot dari sisi pandang yang lain

#### 4.3 Pengujian pada Lahan Berbatu

Pengujian robot pada lahan berbatu pada gambar 21 dimaksudkan untuk menguji fleksibilitas gerak robot terhadap kondisi lahan sawah yang terkadang kering dan terdapat gundukan menyerupai batu yang berasal dari pengerasan tanah atau lumpur. Pengujian dilakukan pada lahan dengan kontur tanah yang padat dan berbatu dengan tinggi batu berkisar antara 50 mm sampai dengan 300 mm.



Gambar 21. Robot melintasi lahan yang berbatu

Pada pengujian ini, robot menempuh jarak sekitar 3,2 meter dengan waktu selama 82 detik. Landasan yang keras membuat pergerakan robot memiliki gaya dorong yang cukup besar sehingga mempercepat pergerakan robot. Beban robot yang cukup berat menjadi keuntungan dikarenakan robot tidak mudah tergelincir ketika pada salah satu kaki atau salah satu kelompok kaki terkena batu kecil.

#### 4.4 Pengujian pada Lahan Tanah Basah

Pengujian robot pada lahan basah dilakukan pada tanah yang memiliki kontur yang tidak terlalu keras tetapi juga tidak berair. Pengujian ini dilakukan pada tanah yang gembur menyerupai tanah kondisi sawah untuk mengetahui seberapa cepat robot bergerak pada jenis landasan ini. Pergerakan robot ditunjukkan oleh gambar 22.



**Gambar 22. Robot melintasi lahan yang berair**

Dari pengujian ini didapatkan waktu tempuh robot untuk berjalan sejauh 3,2 meter adalah selama 77 detik, hampir sama dengan waktu tempuh robot ketika berjalan pada landasan yang keras dan berbatu. Kesulitan pada lahan ini adalah gaya dorong robot berkurang akibat tanah yang jadi pijakan tidak mampu menahan gesekan dari kaki-kaki robot.

Dari ketiga macam pengujian diatas maka dapat dilihat pada table dibawah ini mengenai perbedaan waktu tempuh robot yang berjalan pada medan yang berbeda sebagaimana ditunjukkan oleh tabel 1.

**Tabel 1. Waktu Tempuh Robot**

No	Medan pengujian	Jarak (m)	Waktu Tempuh (s)
1	Berumput	3,2	96
2	Berbatu	3,2	82
3	Tanah basah	3,2	77
	Rata-rata		85

Kecepatan rata-rata pergerakan robot dihitung berdasarkan tabel 1. Berdasarkan tabel 1, kecepatan rata-rata robot adalah 3,76 cm/s.

#### 4.5 Pengujian Perilaku Belok Kanan

Perilaku belok kanan akan bekerja ketika robot mendeteksi adanya halangan pada bagian kiri dan halangan didepan robot. Pada perilaku ini, sensor inframerah yang diletakkan pada sisi kiri robot mendeteksi adanya benda pada jarak 8-10 cm sedangkan sensor inframerah pada bagian kanan robot tidak mendeteksi adanya halangan. Hasil Pengujian ditunjukkan oleh gambar 23.



**Gambar 23 Robot berbelok kanan menghindari halangan**

#### 4.6 Pengujian Perilaku Belok Kiri

Perilaku belok kiri akan bekerja ketika robot mendeteksi adanya halangan pada bagian kanan dan adanya halangan didepan robot. Pada behavior ini sensor inframerah yang diletakkan pada sisi kanan robot mendeteksi adanya benda atau halangan pada jarak 8-10 cm sedangkan sensor bagian kiri robot tidak mendeteksi adanya halangan. Hasil pengujiannya ditunjukkan oleh gambar 24.



**Gambar 24. Robot Berbelok Kiri Menghindari halangan**

#### 4.7 Pengujian Perilaku Mundur

Perilaku mundur bekerja ketika ketiga sensor yang terpasang pada robot mendeteksi adanya halangan, untuk sensor bagian depan mendeteksi adanya halangan pada jarak 8-14 cm, sensor pada bagian kanan mendeteksi adanya halangan pada jarak 8-10 cm dan sensor bagian kiri mendeteksi adanya halangan pada jarak 8-10cm. behavior ini akan terus bekerja sampai sensor bagian kanan dan kiri tidak mendeteksi adanya halangan.

### 5. Kesimpulan

Artikel ini bertujuan untuk mendesain sebuah sistem robot untuk keperluan pertanian. Secara struktur robot telah selesai dikerjakan. Penerapan sistem kontrol robot pada robot sebenarnya diawali dengan uji sistem secara simulasi. Penerapan pada robot sebenarnya sudah dilakukan akan tetapi pengujian untuk pengusiran tikus belum dilakukan. Secara umum, desain sistem robot telah diselesaikan. Dari hasil pengujian, robot dapat berjalan pada lingkungan yang menyerupai lahan pertanian dengan kecepatan rata-rata 3,76 cm/s. Namun kecepatan yang dihasilkan sangat lambat jika dibandingkan dengan RHex yang mencapai 2 m/s. Hal ini dikarenakan penelitian ini menggunakan motor servo untuk mendapatkan torsi yang kuat namun lambat sedangkan motor dan gearbox dengan torsi yang kuat dan putaran cepat tidak terjangkau melalui pendanaan skema hibah pekerti. Akan tetapi dari sisi desain dan kinerja secara umum, robot ini memberikan harapan pengembangan aplikasi robot dalam bidang pertanian.

## 6. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Lembaga Penelitian UNEJ atas kepercayaannya sehingga penelitian yang didanai oleh DIPA Universitas Jember dalam skema Penelitian HIBAH PEKERTI tahun 2010 dengan SPK. 427/H25.3.1/PL.6/2010 dapat dilaksanakan.

## 7. Daftar Pustaka

- [1] Agus W.A, Sudarmaji, "Modul Pengendalian Hama Tikus Terpadu (PHTT)", Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2008
- [2] U Saranli, M Buehler, Daniel E K, "Rhex : Simple and Highly Mobile Hexapod Robot", The International Journal of Robotic Research, Vol 20, No. 7 July 2001, pp 616-631
- [3] Arkin, R. C. " Motor schema based navigation for a mobile robot: an approach to programming by behaviour". The International Journal of Robotics Research, Vol. 8, No. 4, hal. 92 – 112, 1989
- [4] Brooks, R., "A robust layered control system for a mobile robot," IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 2, No. 1, hal. 14–23, 1986
- [5] Koditschek, D. E., R. J. Full, et al. (2004). "Mechanical aspects of legged locomotion control." *Arthropod Structure & Development* 33(3): 251-272
- [6] Moore, E. Z. (2002). *Leg design and stair climbing control for the rhex robotic hexapod*, McGill University
- [7] M Buehler, Daniel E K, U Saranli, "Single Actuator per Leg Robotic Hexapod", US Patent 6.481.513 B2, Nov 19, 2002
- [8] Carreras, M. (2003). *A Proposal of a Behavior-based control architecture with reinforcement learning for an autonomous Underwater Robot*, Tesis PhD, Dept. of Electronic, Informatic & Automation, University of Girona, Girona