PENERAPAN PERMAINAN TIC TAC TOE PADA ROBOT LEGO MINDSTORMS NXT 2.0

David

Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Pontianak
Jln. Merdeka No. 372 Pontianak, Kalimantan Barat

David_Liauw@yahoo.com

Abstrak

Salah satu robot yang terkenal saat ini adalah LEGO NXT dengan platform Mindstorms NXT. Robot yang dirancang menggunakan LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 dapat memainkan permainan Tic Tac Toe. Robot ini akan melawan pemain dalam permainan tic tac toe menggunakan Metode Mindstorms. Robot ini akan mendeteksi warna bola yang dimainkan. Robot akan membedakan warna dalam dua bagian, yaitu bola lawan dan bola robot. NXT Brick akan mengolah data permainan dalam melawan pemain. Pengolahan permainan pada NXT Brick dilakukan dengan menggunakan algoritma Minimax. Minimax merupakan salah satu contoh dari Kecerdasan Buatan, minimax adalah suatu algoritma yang menggunakan teknik pencarian Depth-First Search dengan kedalaman terbatas. Adapun media yang cocok untuk penerapan algoritma minimax adalah permainan Tic Tac Toe, beberapa alasan mengapa Tic Tac Toe sangat mudah digunakan sebagai media penerapan kecerdasan buatan antara lain Tic Tac Toe sangat mudah menentukan ukuran kesuksesan atau kegagalan, sangat mungkin untuk dibandingkan dengan kamampuan manusia, *mudah dimainkan.*

Kata Kunci : *robot, lego mindstorms, nxt, permainan tic tac toe.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi robotika saat ini menyebabkan kebutuhan akan teknologi yang menjangkau sisi hiburan menjadi semakin meningkat. Sekarang ini, ilmu pengetahuan dan teknologi robotika dapat dipadukan untuk perkembangan sebuah teknologi khususnya di bidang pendidikan. Teknologi robotika juga mampu memadukan kemampuan mekanika dan kemampuan programming. Oleh karena itu, manusia memerlukan suatu teknologi robotika yang dapat memecahkan berbagai masalah dalam sebuah permainan.

Salah satu kelebihannya adalah dengan tidak harus mencari lawan main dalam sebuah permainan, karena mode bermain robot dirancang untuk dapat berlaku seperti pemain manusia atau sering kali dikenal dengan AI (kecerdasan buatan). Untuk membuat pemain merasakan pemain robot yang berlaku seperti manusia, di perlukan suatu algoritma yang dapat membuat AI ini mampu mengambil keputusan yang terbaik agar dapat mengalahkan pemain atau setidaknya menghalangi pemain untuk menang.

Salah satu struktur data yang paling utama dalam pembuatan permainan adalah algoritma minimax pohon. *The Minimax Game Tree* digunakan untuk memainkan permainan yang terlibat dalam dua pemain sehingga permainan di jalankan secara bergantian. Strategi algoritma minimax adalah komputer berasumsi bahwa kedua pemain akan main sejauh kemampuan mereka. Komputer akan diprogram untuk mencari gerakan yang terbaik yang mengakibatkan nilai titik yang paling tinggi. Adapun kelebihan algoritma ini adalah mampu memberikan pendekatan solusi-solusi yang diharapkan dapat menjadi solusi yang baik dari permasalahan. Algoritma minimax sangat baik digunakan untuk permainan yang menggunakan dua pemain yang dapat memainkan permainan secara bergantian.

Melihat hal tersebut, penulis mencoba untuk menerapkan permainan *Tic Tac Toe* pada robot Lego Mindstorms NXT 2.0, yang dapat memperkenalkan algoritma minimax yang dipakai untuk permainan *Tic Tac Toe*. Sehingga pembaca dapat mengetahui lebih lanjut tentang peranan algoritma ini pada permainan *Tic Tac Toe*, kelemahan dan kelebihannya. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk memperkenalkan algoritma yang dipakai untuk permainan *Tic Tac Toe*. Pada penelitian ini dikenalkan cara kerja algoritma The Minimax Game tree kepada para pembaca dan menghasilkan robot yang dapat melakukan permainan *Tic Tac Toe* dengan konsep pemain melawan robot.

2. Tinjauan Pustaka

Menurut Irwanto (2012, 4), pada jurnal berjudul Implementasi Robot NXT Lego Pada Permainan *Tic Tac Toe*. LEGO Mindstorm NXT adalah robot yang sangat mengasikan untuk bermain secara kreatif, karena disusun dari komponen-komponen yang bisa dilepas pasang. Kita dapat membangun berbagai konstruksi robot, kemudian memrogrammnya untuk berbagai tugas. Lego Mindstorm NXT menawarkan lebih dari sekedar mainan. Lego Mindstorm NXT ini memungkinkan pembangunan robot dengan menggunakan beberapa motor dan juga sensor. Sebuah contoh sederhana yang dapat disimulasikan pada robot adalah permainan *Tic Tac Toe*. Robot *Tic Tac Toe* dirancang sebagai aplikasi dengan Brick sebagai otak utama yang di dalamnya terdapat program dan motor sebagai aktuator yang mampu menggerakkan robot agar pemain maupun robot sendiri dapat mengisi bola pada setiap sel yang ada di dalam papan permainan *Tic Tac Toe*. Algoritma yang digunakan berfungsi agar robot dapat memutuskan geraknya secara maksimal. Algoritma ini diperlukan agar robot bisa menghambat gerak pemain agar pemain tidak bisa memenangkan permainan, hal ini bisa diketahui apabila setelah dicek ternyata skor untuk pemain adalah dua. Selain itu, Algoritma yang digunakan mampu melihat apakah dalam permaian ini pemain keluar sebagai pemenang atau robot yang keluar sebagai pemenang.

Menurut Gapur (2007, 3), pada jurnal berjudul Aplikasi struktur data The Minimax Game Tree pada permainan catur. Alasan struktur data ini dinamakan The Minimax Game Tree adalah karena algoritma sederhana yang ada dibelakang struktur ini. Misalnya kita memberi suatu tanda pada pada permainan *Tic Tac Toe*. Jadi, salah satu peneliti pertama algoritma ini menamainya The Minimax Game Tree. Oleh karena itu, secara keseluruhan struktur datanya dinamakan The Minimax Game Tree. The Minimax Game Tree tidak hanya digunakan pada permainan *Tic Tac Toe*. Struktur data ini juga digunakan pada permainan catur. Karena pada permainan catur dibutuhkan algoritma yang bisa menentukan jalan yang terbaik saat itu. Pada permainan yang lebih rumit, kita tidak pernah bisa melihat secara keseluruhan isi dari situasi permainan yang telah diimplementasikan sebagai pohon bercabang. Maka, komputer hanya memperhatikan semua simpul yang telah ada dan mencari simpul yang baik, dalam hal ini simpul yang mempunyai langkah terbaik untuk mencapai tujuan permainan. Kemudian komputer mencoba untuk membuang atau memangkas simpul yang tidak mengarah ke solusi pada saat itu. Strategi di belakang Minimax algoritma adalah komputer berasumsi bahwa kedua pemain akan main sejauh kemampuan mereka. Adapun kelebihan algoritma ini adalah mampu memberikan pendekatan solusi-solusi yang nantinya diharakan dapat menjadi solusi yang diharapkan sebagai solusi yang baik dari permasalahan. Kekurangan algoritma ini kita tidak dapat menentukan secara pasti apakah permainan akan dimenangkan oleh pemain satu atau pemain yang kedua. Karena dengan aplikasi algoritma ini hanya menaksir nilai terbaik dari setiap simpul yang ada pada saat itu. Sedangkan simpul tersebut dapat berubah status dengan gerakan anak catur.

Menurut Vitra (2006, 3), pada jurnal berjudul Konsep permainan *Tic Tac Toe* menggunakan Lagoritma Genetika. Permainan *Tic Tac Toe* sangatlah sederhana; diilhami oleh permainan anak-anak. Dimainkan pada papan berukuran 3 x 3. Pada awal permainan, papan dikosongkan. Kedua pemain, X dan O, akan menempatkan biji-bijinya keatas papan, sekali pasang satu biji. Pemain yang mampu menempatkan tiga bijinya dalam satu garis (vertikal, horizontal, diagonal) itulah yang menang. Algoritma yang di gunakan adalah Algoritma Genetika. Algoritma genetika mempunyai ciri yaitu mampu membangun beberapa strategi pada berbagai situasi ,dan melalui aturan 'kemampuan bertahan hidup', beberapa strategi yang tidak baik dapat dieliminasi sehingga hanya strategi baik yang dipakai. Algoritma genetika sangat tepat digunakan untuk penyelesaian masalah optimasi yang kompleks dan sukar diselesaikan dengan menggunakan metode yang konvensional. Sebagaimana halnya proses evolusi di alam, suatu algoritma genetika yang sederhana umumnya terdiri dari tiga operator yaitu: operator reproduksi, operator crossover (persilangan) dan operator mutasi. Pada penelitian ini dihasilkan kesimpulan sebagai berikut : a.) Dengan algoritma genetika terkait dengan pembelajaran mesin, diharapkan dapat dihasilkan sebuah strategi yang optimal untuk menjalani sebuah permainan sederhana

b.) Pemilihan operator-operator genetika yang kompleks, diharapkan mampu menghasilkan strategi yang lebih baik.

3. Metodologi Penelitian

Bentuk Penelitian yang digunakan adalah studi literatur dan metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental yaitu melakukan perancangan pada perangkat keras robot NXT dan pengevaluasian rancangan untuk dapat menerapkan permainan Tic Tac Toe pada robot Lego Mindstroms NXT 2.0.

Ketika membuat robot NXT, penggunaan sebuah metode kerja wajib dilakukan, sehingga dalam pengerjaan proyek lebih terarah dan tepat sasaran. Sebuah metode akan memandu setiap pekerjaan pembuatan robot, mulai dari ide hingga dokumentasi. Sebuah metode akan memandu hingga ke tahap akhir pembuatan robot.

Metode Mindstorms, yang merupakan strategi sederhana yang digunakan untuk menciptakan tidak hanya robot NXT tetapi juga robot Mindstorms pada umumnya. Setelah memahami cara menggunakan metode ini untuk mengembangkan robot NXT sendiri, dapat secara efektif menerapkan prinsip-prinsip konstruksi dan pemrograman.

Perancangan desain perangkat keras robot menggunakan program Lego Digital Designer (LDD). Perancangan perangkat lunak yaitu (software) dimana bertujuan untuk menjalankan robot yang telah dirakit agar berfungsi optimal sesuai dengan tujuan dari perakitan robot Tic Tac Toe agar dapat menerapkan permainan Tic Tac Toe pada robot. Perancangan perangkat lunak robot menggunakan program yaitu Lego Mindstorms NXT-G 2.0.

4. Hasil Penelitian

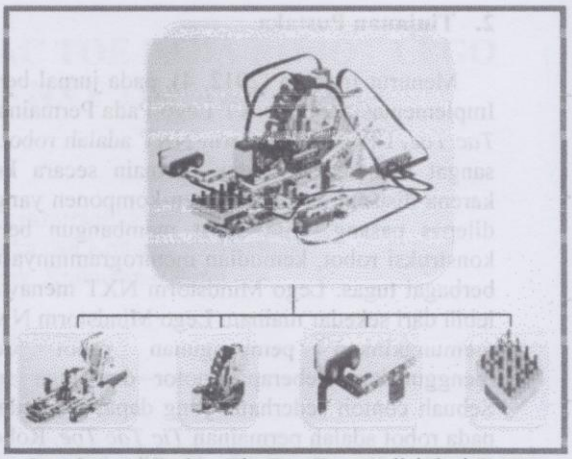
4.1 Mendapatkan Ide untuk Robot

Dasar untuk memulai proyek NXT adalah fokus pada ide. Inti dari robot adalah fungsinya dalam melakukan tugas. Karena itu, ide itu harus mencakup pada fungsi atau tujuan dari sebuah robot. Sebuah cara yang baik untuk mengumpulkan ide-ide adalah dengan mengamati contoh-contoh proyek yang terdapat di situs Mindstorms, berbagai kreasi NXT yang dibuat oleh penggemar LEGO lainnya.

4.2 Membangun Robot

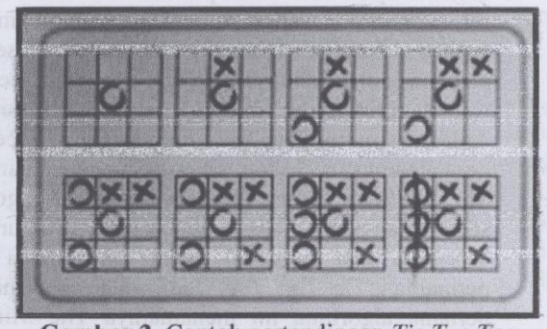
Setelah mendapatkan ide untuk robot, langkah berikutnya adalah membangun robot. Membangun robot sendiri sebagian besar merupakan proses *trial and error* di mana bereksperimen dengan bagian-bagian robot yang berbeda dan teknik membangunan hingga mencapai hasil yang diinginkan. Pengujian terhadap bagian yang sudah dibangun sangat dibutuhkan untuk memastikan bahwa bagian tersebut berfungsi dengan baik. Selama langkah ini berjalan terkadang ide awal dapat berubah, bahkan perubahan yang terkadang signifikan.

Dalam membangun robot terdiri dari *sub-assemblies* yang dengan mudah dihubungkan dan dilepaskan kembali. Sistem modul sangat memudahkan dalam memodifikasi bagian-bagian dari robot tanpa harus membongkar robot secara keseluruhan, hanya cukup bagian atau modul yang bersangkutan saja yang di bongkar. Membuat robot dalam beberapa modul sangat efektif. Seperti contoh pada **Gambar 1** Robot Tic Tac Toe, robot terdiri dari empat *sub-assemblies*, jika digabungkan akan terbentuk sebuah robot yang utuh.



Gambar 1 Robot Tic Tac Toe terdiri dari empat *sub-assemblies*

Permainan Tic Tac Toe ini juga dikenal sebagai noughts dan persilangan. Kedua pemain, O dan X, alternatif menarik pemain mereka pada grid 3-by-3. Itu pemain yang menempatkan tiga pemain dalam, horizontal vertikal, atau baris diagonal memenangkan permainan. **Gambar 2** menunjukkan contoh di mana pemain O dimulai dan memenangkan permainan.

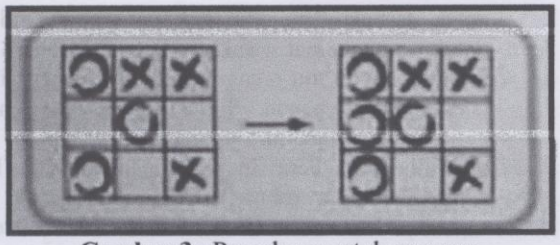


Gambar 2. Contoh pertandingan *Tic Tac Toe*

Setelah bermain Tic Tac Toe beberapa kali, pemain akan segera mengetahui bahwa ketika pemain dan lawan mainnya bermain dengan strategi yang optimal, maka pertandingan akan berakhir imbang.

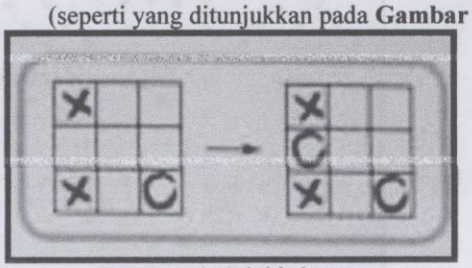
Berikut ini adalah aturan untuk menang (atau setidaknya untuk berakhir imbang). Ini adalah aturan yang sama dalam Robot Tic Tac Toe untuk membuatnya menjadi pemain sempurna. Aturan ini berasumsi bahwa manusia adalah pemain O. Setiap kali giliran pemain, Pemain harus memilih salah satu langkah berikut, tergantung pada keadaan permainan. Aturan yang tercantum dalam urutan penurunan prioritas.

1. Jika pemain memiliki dua pemain berturut-turut, menempatkan pemain ketiga dalam ruang kosong untuk mendapatkan tiga berturut-turut dan memenangkan permainan (seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**).



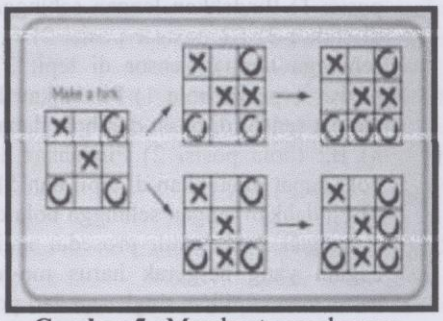
Gambar 3 : Percobaan untuk menang.

2. Blokir lawan jika lawan pemain memiliki dua X pemain berturut-turut, Pemain menempatkan pemain untuk memblokir dia (seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**).



Gambar 4 : Blokir lawan.

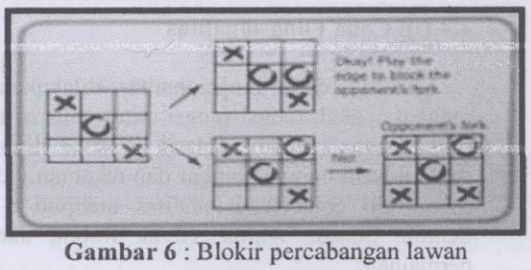
3. Membuat kesempatan untuk menang dalam dua cara dengan membuat percabangan (seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5**).
4.



Gambar 5 : Membuat percabangan.

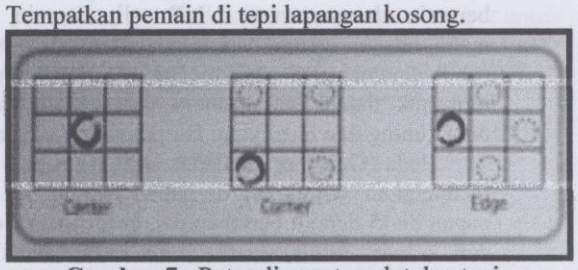
5. Blokir percabangan lawan jika ada konfigurasi di mana lawan dapat membuat percabangan.

Pemain dapat mencoba untuk menempatkan dua pemain pada baris untuk memaksa lawan untuk memblokirnya(seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6**).



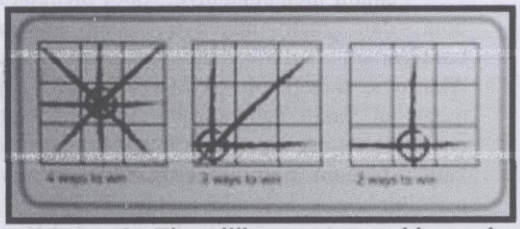
Gambar 6 : Blokir percabangan lawan

Ketika tidak ada situasi di atas berlaku, di sini adalah permainan dasar bermain (seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 7**) : 1) Tempatkan pemain pemain di lapangan di tengah papan; 2) Jika lawan pemain menempatkan pemain di sudut, menpemaini berlawanan sudut diagonal yang sama; 3) Tempatkan pemain di sudut kosong; dan 4) Tempatkan pemain di tepi lapangan kosong.



Gambar 7 : Putar di pusat, sudut dan tepi

Ketika bermain melawan Tickler TTT, manusia adalah pemain O, dan pemain membuat langkah pertama, robot adalah pemain X. Meskipun mungkin tampak seperti pemain dapat memilih di antara sembilan mungkin tempat di papan pada awal permainan, rotasi dan simetri menyebabkan hanya tiga kemungkinan : pusat, sudut, atau tepi. Bahkan, ketika papan kosong, setiap sudut atau tepi memiliki kepentingan strategis yang sama. Sebagai ditunjukkan pada **Gambar 8**, menempatkan pemain pertama pemain di tengah persegi menawarkan empat konfigurasi menang mungkin; lebih daripada pilihan lainnya. Menempatkan pemain pertama pemain di sudut menawarkan tiga konfigurasi menang potensial, dan menempatkan pemain pertama pemain di tepi menawarkan hanya dua kemungkinan menang konfigurasi.



Gambar 8 : Tiga pilihan yang mungkin untuk bergerak pada awal permainan

Jika pemain menempatkan pemain pertama pemain di sudut, robot (Pemutar X) akan menempatkan pemain di pusat sudut. Jika pemain menempatkan pemain pertama pemain di pusat, robot akan menempatkannya menpemaini di lapangan sudut. Namun, jika Pemain membuka dengan tepi, robot merespon dengan menpemaini sudut pusat (Meskipun menpemaini sudut yang berdekatan atau keunggulan yang berlawanan juga akan menjadi langkah yang baik). Setelah bergerak pembukaan, robot mengikuti daftar prioritas sebelumnya untuk memaksa hasil imbang, atau menang jika pemain membuat kesalahan.

Robot Tickler TTT berbeda karena sangat kompak. Menggunakan satu motor untuk memutar

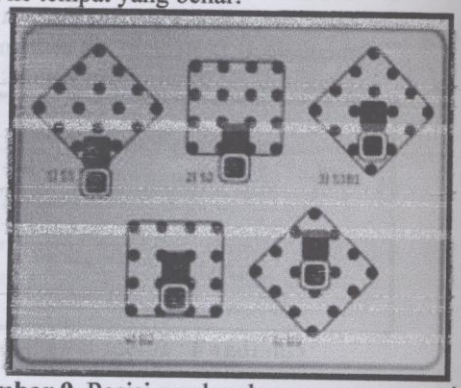
papan, lain untuk memindahkan lengan linear di papan, dan sepertiga untuk menjatuhkan bola di papan. Robot berputar papan memiliki sembilan ruang di mana Pemain dan robot dapat menempatkan bola warna yang berbeda. Ketika bermain dengan versi NXT asli, Pemain dapat menggunakan gelap dan terang, dengan versi 2.0 NXT, pemain dapat menggunakan komponen termasuk dalam set. Pemain harus menggunakan bola kuning dan biru (yang tampak gelap ke sensor).

Pada **Gambar 9** dapat dilihat, robot dapat menjangkau semua sel di papan dengan memutar papan di 45 derajat bertahap dan geser lengan dalam dan keluar. LEGO warna atau sensor cahaya di ujung robot lengan harus mendeteksi di mana pemain menempatkan bola pemain. Robot tetes bola pada kotak melalui parasut dengan mendorong keluar dengan mekanisme didorong oleh vertikal motor.

Untuk bermain melawan robot, tekan tombol orange pada NXT. Robot harus reset posisi papan, lengan, dan bola ejeksi mekanisme. Ini akan menanyakan apakah pemain ingin mengkalibrasi sensor dengan ruang berdasarkan cahaya sekitar pemain?. Pilih Ya pertama kali pemain menggunakan robot dan kemudian lagi setiap kali kondisi cahaya berubah. Disarankan kalibrasi sensor cahaya sering, idealnya setiap kali pemain menghidupkan NXT Brick. Lanjutkan kalibrasi dengan mengikuti instruksi pada layar, yang akan memberitahu pemain untuk menempatkan bola gelap (biru atau kuning di sudut dan tekan tombol oranye NXT itu.

Pemain melakukannya, robot mengukur warna bola dan menyimpannya dalam sebuah file konfigurasi. Terus ikuti petunjuk pada layar. Akhirnya, menghapus semua bola dari papan dan membuat yakin bahwa robot memiliki setidaknya empat bola tersebut. Tekan tombol oranye NXT lagi ketika pemain siap untuk bermain. pemain dapat memilih untuk bermain melawan pemain pemula, yang normal, atau ahli lawannya. Mengalahkan pemain pemula ini cukup mudah, karena memainkan secara acak. pemain dapat mengalahkan lawan dengan menggunakan normal strategi yang ada, namun terserah pada pemain untuk menemukan caranya. Tidak ada cara untuk mengalahkan lawan ahli, tetapi jika pemain bermain dengan baik, pemain dapat menahan pergerakan lawan..

Pemain memilih tingkat keterampilan robot, robot menunggu pemain untuk melakukan langkah pertama. Secara otomatis mendeteksi pemain bergerak dengan memeriksa kehadiran tangan pemain dengan sensor ultrasonik, jadi pastikan bahwa ketika pemain menempatkan bola di papan robot dapat melihat tangan pemain. (Pemain akan tahu bahwa ia telah melihat tangan pemain karena NXT akan berbunyi.) Setiap kali Robot Tic Tac Toe mengambil giliran robot memindai papan untuk kotak terbuka, melompat kotak sudah diduduki untuk menghemat waktu. Setelah robot telah dipindai papan, itu menghitung langkah terbaik dan tetes bola ke papan. Siklus ini berulang hingga pertandingan berakhir, di mana titik pemain dapat memilih untuk bermain permainan lain atau hanya akhir. Kalibrasi robot ketika robot gagal untuk menempatkan sensor dengan benar bola di tempat yang salah, pemain harus mengkalibrasi lengan robot hanya jika sering gagal untuk menjatuhkan bola ke tempat yang benar.



Gambar 9. Posisi gerakan lengan papan permainan Tic Tac Toe

Posisi lengan adalah sebagai berikut: 1) S1 (sensor posisi 1) Pindahkan lengan sehingga tempat sensor di sudut; 2) S2 (sensor posisi 2) Pindahkan lengan sehingga tempat sensor di tepi; 3) S3B1 (sensor posisi 3, posisi bola 1) Pindahkan lengan sehingga tempat sensor di pusat dan bola dapat jatuh di sudut; 4) B2 (bola posisi 2) Pindahkan lengan sehingga bola dapat dijatuhkan di tepi; dan 5) B3 (ball posisi 3) Pindahkan lengan sehingga bola dapat dijatuhkan di tengah. Pada akhir prosedur kalibrasi, robot ini bagian yang bergerak harus me-reset, dan NXT harus menampilkan ringkasan dari posisi baru.

4.3 Mendokumentasikan Robot

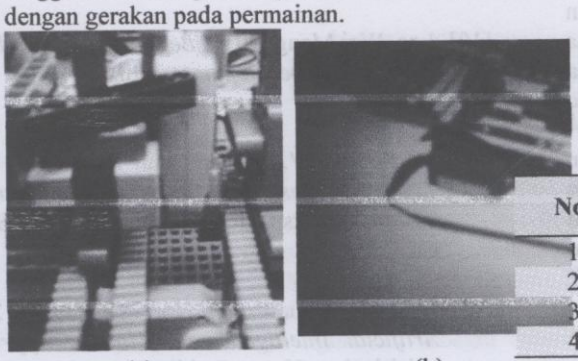
Langkah keempat dan terakhir adalah untuk mendokumentasikan robot yang telah selesai dirakit dan diprogram. Maksud dari dokumentasi adalah agar tahapan proses dari awal hingga akhir tercatat dan dapat digunakan kembali di waktu yang akan datang.

4.4 Uji Coba Fungsionalitas

Uji coba fungsionalitas dilakukan untuk melihat apakah fungsi-fungsi dasar aplikasi berjalan sebagaimana mestinya. Hasil uji coba ditunjukkan dengan hasil berupa gambar dan rekaman video dari robot. Uji coba fungsionalitas meliputi : Sensor Sentuh, Sensor Warna, Gerak Robot, dan Hasil permainan.

a. Sensor Sentuh

Sensor sentuh dan gerbang sortir merupakan satu kesatuan yang bertugas memutar papan permainan yang sudah dideteksi oleh sensor warna ke papan permainan. Pengujian fungsionalitas sensor sentuh dilakukan dalam kondisi tanpa bola dengan skenario pertama sensor sentuh ditekan hingga motor dapat berputar dan bekerja sesuai dengan gerakan pada permainan.



(a) (b)

Gambar 25 Tampak sensor sentuh pada robot *Tic Tac Toe*, (a) sensor sentuh ditekan, papan permainan akan berputar, (b) sensor sentuh tidak ditekan, papan permainan akan berhenti pada posisi awal

Pengujian skenario pertama seperti Gambar 25 (a) menghasilkan 1) Sensor warna aktif dan mulai mendeteksi warna objek; 2) Papan permainan berputar dengan gerakan dari motor A; dan 3) Program berhenti. Pengujian skenario kedua seperti Gambar 25 (b) menghasilkan 1) Papan permainan tidak berputar gerakan motor B keposisi awal; 2) Papan permainan pada posisi awal; dan 3) Program berhenti.

Dari kedua pengujian di atas dapat diambil kesimpulan bahwa sensor sentuh dan papan permainan bekerja dengan baik dan benar, sesuai dengan algoritma program yang dijalankan.

b. Sensor Warna

Sensor warna bertugas untuk mendeteksi warna bola yang masuk ke bawah sensor. Pengujian sensor warna dilakukan dengan memasukkan bola berwarna berjumlah 6 buah bola dengan 2 warna.

Tabel 1. Pengujian sensor warna terhadap warna bola

No.	Warna Bola	Sensor Warna
1	Kuning	Terdeteksi
2	Kuning	Terdeteksi
3	Kuning	Terdeteksi
4	Biru	Terdeteksi
5	Biru	Terdeteksi
6	Biru	Terdeteksi

Dari hasil pengujian berdasarkan data pada Tabel 4.6 dapat diambil kesimpulan bahwa sensor warna bekerja dengan baik dan benar sesuai dengan algoritma program yang dijalankan.

c. Gerak Robot

Robot bergerak sesuai dengan warna bola yang dideteksi oleh sensor warna. Gerak robot berfungsi untuk mengarahkan robot ke papan permainan *Tic Tac Toe*. Pengujian gerak robot untuk masing-masing warna bola dilakukan dari posisi berhenti untuk setiap tahap pengujian warna terhadap gerak robot.

Hasil pengujian secara visual menunjukkan aktivitas sebagai berikut :

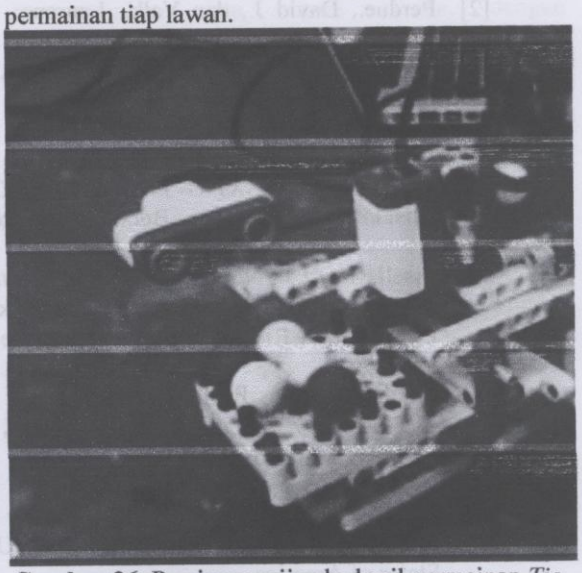
Tabel 2. Pengujian sensor Motor A terhadap papan permainan

No.	Kecepatan Motor A	Kecepatan Proses	Ketepatan Posisi
1	10	20 detik	Tepat
2	20	25 detik	Tepat
3	30	30 detik	Tepat
4	40	35 detik	Tepat

Dari hasil pengamatan secara visual menunjukkan bahwa gerak robot berfungsi secara baik dan benar sesuai dengan algoritma program yang dijalankan.

d. Hasil Permainan

Hasil permainan adalah tujuan utama dari robot ini, dimana bola berwarna yang diletakan ke dalam papan permainan sesuai dengan bergantian antara kedua pemain hingga papan permainan terisi penuh dengan bola bewarna. Pengujian menggunakan 6 buah bola berwarna yang masing-masing warna pemain terdiri dari 3 buah bola. Susunan bola pada papan tergantung pada pola permainan tiap lawan.



Gambar 26 Persiapan uji coba hasil permainan *Tic Tac Toe*, 6 buah bola dengan dua buah warna yang tersusun acak

Dari hasil akhir, dapat diambil kesimpulan bahwa hasil permaianan *Tic Tac Toe* pada robot sesuai dengan yang diharapkan penulis. Masing-masing bola dengan warna berbeda dapat diletakan kedalam papan permainan dengan tepat.

5. Kesimpulan

Dari penjelasan dan uraian dari laporan Penerapan Robot Permainan Tic Tac Toe Pada Robot Lego Mindstroms NXT 2.0 dengan Algoritma Minimax dapat diambil kesimpulan yang mungkin dapat dijadikan acuan dalam perancangan robot.

1.) Robot ini dirancang sebagai prototype mesin permainan untuk memudahkan pengguna dalam melakukan kegiatan dalam game dan mengelompokkan berdasarkan kesamaan warna.

2.) Sistem kerja dari robot ini dapat diterapkan ke dalam mesin permainan yang sebenarnya, dimana akan memiliki kapasitas dan kecepatan gerak yang lebih cepat.

3.) Tingkat kecepatan dalam proses gerak dapat diatur dengan mengubah nilai kecepatan motor servo C (penggerak posisi atas).

Daftar Pustaka:

[1] Astolfo., Dave., dan Ferrari., Mario., dan Ferrari., Giulio., 2007, *Building Robots with LEGO Mindstorms NXT*, Elsevier, Inc., Burlington, Massachusetts.

[2] Perdue., David J., dan Valk., Laurens., 2011, *The Unofficial Lego(R) Mindstorms(R) NXT 2.0 Inventor's Guide*, No Starch Press, Inc., San Francisco, California.

[3] Kelly., James Floyd., 2010, *LEGO MINDSTORMS NXT-G Programming Guide*, edisi kedua, Apress, Inc., Berkeley, California.

[4] Russell, Stuart J., Norvig, Peter., 2003, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, edisi kedua, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

[5] Scholz., Matthias Paul., 2007, *Advanced NXT: The Da Vinci Inventions Book*, Apress, Inc., Berkeley, California.

[6] Bergren., Charles M., 2003, *Anatomy of a Robot*, McGraw-Hill Companies, Inc., United States of America.

[7] McComb., Gordon., 2011, *Robot Builder's Bonanza*, edisi keempat, McGraw-Hill Companies, Inc., United States of America.

[8] Luger, George F.,2009, *Artificial Intelligence Structure and Strategies for complex Problem Solving*, Boston : Pearson Education.

[9] Scholz., Matthias Paul., 2007, *Advanced NXT: The Da Vinci Inventions Book*, Apress, Inc., Berkeley, California.

[10] Lee, Wei Meng.,2011, *Beginning Android Application Development*, Indiana: Wiley Publising.

[11] M. Sonka., V. Hlavac., dan R. Boyle., 1999, *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*, Brooks/Cole Publishing, Pacific Grove, Ca.

[12] Russell, Stuart J., Norvig, Peter., 2003, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, edisi kedua, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

[13] Zaslavsky, Claudia.,2003, More *Math games and Activities from Around the World*, Chicago: Chicago Review Press.