

Penerapan Algoritma Minimax Terhadap Permainan Tic-Tac-Toe Dengan Menggunakan Artificial Intelligence

Arvin Christopher¹, Daniel², Ellen Pratama³, Lukman Hakim⁴

^{1,2,3,4}Universitas Bunda Mulia; Jl. Lodan Raya No.12, RT.9/RW.2, Ancol, Kec. Pademangan, Kota Jkt Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 14430.

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Informatika Universitas Bunda Mulia, FTD UBM, Jakarta

e-mail: ¹ arvin.christopher27@gmail.com ² daniel.detached@gmail.com

³ ellen.pratama.ep@gmail.com ⁴ lhakim2710@gmail.com

Abstrak

Kecerdasan buatan merupakan suatu sistem yang dibuat dengan menggunakan algoritma tertentu, sehingga sistem tersebut seolah-olah dapat bekerja seperti manusia. Algoritma Minimax adalah sebuah algoritma yang digunakan untuk menentukan pilihan agar dapat memperkecil kemungkinan kehilangan nilai maksimal, yang akan meminimalkan kemungkinan kekalahan dan memaksimalkan kemungkinan kemenangan. Adapun game sederhana yang digunakan untuk menerapkan algoritma Minimax yaitu Tic-Tac-Toe. Game Tic-Tac-Toe ini menerapkan kecerdasan buatan dengan menggunakan algoritma Minimax, dimana komputer dapat menentukan langkah terbaik yang harus diambil. Game Tic-Tac-Toe ini dibuat dengan berbasis website dan papan permainan Tic-Tac-Toe sebesar 3 x 3, permainan akan berakhir jika pemain satu (manusia) kalah dan pemain dua (komputer) menang atau permainan seri.

Kata kunci— Algoritma minimax, Tic-Tac-Toe, Kecerdasan buatan, Halaman web, Permainan

Abstract

Artificial intelligence is a system created using certain algorithms, so it can act as if it were human. A minimax algorithm is an algorithm that is used to determine options to reduce potential for maximum value loss, which minimizes the possibility of defeat and maximize the possibility of victory. As for the simple game that a minimax algorithm is tic-tac-toe. This tic-tac-toe game uses artificial intelligence using a minimax algorithm where the computer can determine the best course of action to take. Game of tic-tac-toe with web-based boards and tic-tac-toe for 3 x 3, the game ends if one player loses and two players win or draw.

Keywords— Minimax algorithm, Tic-Tac-Toe, Artificial intelligence, Website, Game

1. PENDAHULUAN

Game memiliki banyak jenis ada yang memerlukan alat ada yang tidak memerlukan alat, mulai dari yang sederhana sampai juga kompleks. Menurut Pratama, game pada dasarnya bersifat hiburan karena jika pengguna memainkan game maka akan terasa senang [1]. Ini berarti game juga dapat menghilangkan rasa jenuh seseorang dikarenakan sifat game sendiri yaitu sebagai hiburan. Dari sekian banyak game, game sederhana merupakan game yang paling cocok untuk menghilangkan kejenuhan karena tidak terlalu memerlukan kerja keras otak sehingga tidak membuat kita semakin jenuh. Game sederhana ini tidak memerlukan banyak alat dan persiapan yang cukup rumit, bahkan game sederhana bisa dimainkan dimana saja.

Salah satu dari sekian banyak game sederhana adalah game Tic Tac Toe. Hal ini diperkuat oleh pendapat Papatungan, yaitu permainan Tic-Tac-Toe sangatlah sederhana; diilhami oleh permainan anak-anak [2]. Alat untuk memainkan game ini mudah untuk ditemukan hanya sebuah kertas dan pulpen kemudian dimainkan dengan jumlah pemain 2 orang. Karena jumlah pemain game tic tac toe adalah dua orang dan diperlukan kertas dan pulpen yang tidak selalu dibawa maka fleksibilitas game ini menjadi berkurang. Di karenakan game ini tidak bisa menghibur jika kita sedang sendirian dan rasa jenuh menyerang oleh karena itu, pemanfaatan teknologi dibutuhkan dalam masalah ini.

Di Indonesia, perkembangan teknologi menggunakan *Artificial Intelligence* semakin pesat. *Artificial Intelligence* pada saat ini sudah mulai dikembangkan baik oleh programmer maupun

ilmuwan serta peneliti di bidang lain seperti di bidang medis. Sesuai nama nya Artificial Intelligence yang arti nya adalah kecerdasan buatan merupakan kecerdasan yang dibuat oleh manusia dan di modelkan kedalam mesin atau komputer. Hal ini di dukung oleh pendapat Nasri yang mengatakan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) merupakan salah satu bagian dari ilmu komputer yang mempelajari bagaimana membuat mesin (komputer) dapat melakukan pekerjaan seperti dan sebaik yang dilakukan oleh manusia bahkan bisa lebih baik daripada yang dilakukan manusia [3].

Artificial Intelligence mempunyai banyak kemampuan, salah satu nya adalah kemampuan analisis, mengolah big data, merespon dengan cepat, melakukan pencarian solusi, dll. hal ini dikarenakan Artificial Intelligence mempunyai teknologi algoritma canggih yang dapat diterapkan ketika membuat pemrograman dengan konsep Artificial Intelligence

Di bidang permainan digital (Game). *Artificial Intelligence* mulai diimplementasikan hampir disegala permainan baik permainan komputer, konsol, maupun *smartphone*. Dan diterapkan pada permainan yang sederhana maupun kompleks.

Algoritma pemograman yang digunakan dalam membuat suatu game terdiri dari berbagai jenis, salah satunya yaitu algoritma pencarian solusi seperti : *Hill Climbing*, *Breadth-First Search*, *Depth-First Search*, *A**, *Alpha-Beta Pruning*, *Minimax*, dan lain-lain. Ada juga contoh permainan yang menerapkan *Artificial Intelligence* didalamnya seperti Catur, Go, Tic-Tac-Toe, Checkers, Domino, Poker, dan lain-lain.

Berdasarkan permasalahan diatas, kelompok kami akan membuat sebuah game Tic-Tac-Toe berbasis website dimana kita sebagai Player akan bersaing dengan Computer yang disini berupa *Artificial Intelligence*. Pergerakan dari *Artificial Intelligence* tersebut diterapkan dengan menggunakan metode *gameplaying* dan algoritma *Minimax*. Dalam pembuatan game Tic-Tac-Toe ini kita menggunakan IDE Macromedia Dreamweaver 8.0 dengan pembuatan script algoritma *Minimax* menggunakan bahasa pemograman Javascript.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence)

Artificial Intelligence adalah salah satu ilmu yang mempelajari bagaimana cara membuat suatu mesin atau computer bekerja layaknya seperti manusia. Menurut Dahlia, kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) merupakan salah satu bagian dari ilmu komputer yang mempelajari bagaimana membuat mesin (komputer) dapat melakukan pekerjaan seperti dan sebaik yang dilakukan oleh manusia bahkan bisa lebih baik dari pada yang dilakukan manusia [3]. Karena itulah *artificial Intelligence* dapat membuat mesin atau komputer dapat membantu pekerjaan sehari-hari manusia dan mempunyai peran penting pada perkembangan teknologi pada masa ini.

Penerapan penggunaan *artificial intelligence* sudah terjadi di dalam segala bidang, mulai dari industri, pendidikan, kesehatan dan juga game. Salah satu penerapan *artificial intelligence* pada game adalah karakter yang dapat menemani kita bermain. Menurut Diah, AI digunakan dalam permainan untuk menghasilkan perilaku cerdas, terutama dalam karakter non-pemain (NPC), sering meniru kecerdasan seperti manusia [4]. Hal ini membuat pemain dapat bermain permainan yang dilakukan dua orang atau lebih tanpa memerlukan manusia lain untuk ikut bermain.

Artificial Intelligence dijalankan dengan menggunakan algoritma dan metode tertentu. Banyak sekali metode kecerdasan buatan dari yang simpel seperti *Fuzzy logic*, Sistem Pakar (*Expert Systems*), neural network hingga berhubungan dengan statistic seperti pendekatan *Bayesian*, *Computer Vision*, *Robot Vision* dan *Deep Learning* [5]. Terdapat juga salah satu algoritma yang merupakan algoritma yang bekerja dengan *artificial intelligence* yaitu *minimax*, dengan berbagai algoritma dan metode yang ada pengimplementasian *artificial intelligence* ini menjadi semakin banyak disegala macam bidang serta membuat kemudahan dalam pengimplementasiannya.

2.2. Algoritma Minimax

Algoritma *Minimax* adalah algoritma yang diterapkan dalam permainan yang membutuhkan 2 pemain. Digunakannya algoritma *Minimax* guna untuk menentukan pilihan sehingga kemungkinan kehilangan nilai maksimal menjadi kecil. Hal ini berarti permainan-permainan seperti tic-tac-toe, othello, checkers dan permainan yang menggunakan strategi atau logika lainnya dapat dijelaskan sebagai suatu rangkaian aturan atau premis [6].

Pengecekan pada algoritma *Minimax* akan dilakukan berdasarkan pada rule yang ada sehingga didapatkannya seluruh kemungkinan yang dapat terjadi sampai akhir permainan dilakukan. Setelah

pengecekan tersebut selesai, kemudian akan muncul hasil pohon permainan yang berisi semua kemungkinan dari permainan tersebut. Pada permainan tic-tac-toe, permainan ini mempunyai lebih sedikit rule atau aturan dan knowledge base yang cenderung lebih sedikit bila dibandingkan dengan permainan catur yang memiliki rule dan knowledge base yang lebih banyak [6].

Dari semua rule yang ada, komputer dapat menghasilkan solusi-solusi yang tepat sehingga dapat digunakan untuk memenangkan permainan. Rule atau aturan yang sedikit tentunya akan membuat komputer mampu mengkomputasi setiap kombinasi langkah dari setiap posisi dan kondisi. Tetapi, hal ini dapat dihindari dengan cara membatasi sejauh mana hasil analisa langkah-langkah yang dihasilkan oleh komputer. Jika demikian, maka kita akan menambahkan kedalaman pohon permainan tersebut pada setiap langkah komputer agar kedalaman pohon permainan pada state tersebut sama seperti state sebelumnya. Algoritma *Minimax* akan membuat lawan mendapatkan keuntungan minimum dengan mencari langkah secara rekursif [6].

Seluruh strategi lawan akan dihitung oleh komputer dengan algoritma yang sama dan seterusnya. Ini menandakan bahwa, pada langkah pertama komputer akan menganalisa pohon permainan secara keseluruhan. Setiap langkahnya, komputer akan memilih langkah dengan keuntungan maksimum, dan membuat lawan memilih langkah dengan keuntungan minimum. Dalam pemilihan keputusan tersebut, dibutuhkan suatu nilai yang dapat merepresentasikan apakah langkah yang dipilih akan memperoleh keuntungan atau kerugian [6].

Oleh karena itu, digunakanlah sebuah fungsi heuristik untuk mengevaluasi nilai sebagai nilai yang dapat merepresentasikan hasil permainan jika langkah tersebut dipilih. Pada umumnya, permainan tic-tac-toe ini direpresentasikan dengan nilai 1, 0, -1 yang menandakan menang, seri, atau kalah [6].

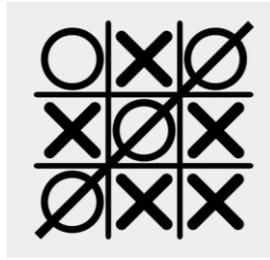
Komputer akan dapat menentukan simpul mana yang akan dipilih dari pohon permainan dengan melihat nilai-nilai heuristik tersebut. Simpul yang akan dipilih oleh komputer adalah simpul yang akan membawa permainan tersebut untuk dapat dimenangkan oleh computer [6].

2.3. Tic-Tac-Toe

Tic Tac Toe adalah permainan yang hanya dimainkan dengan kertas dan pensil atau alat tulis lainnya atau dengan kata lain masuk kategori genre *paper and pencil game*. Nama lain dari permainan ini adalah *Nought & Cross*. Permainan ini juga bisa disebut dengan X dan O, dikarenakan permainan ini hanya menggunakan symbol X/O. Seperti permainan papan yang lainnya, Tic Tac Toe pun memiliki beberapa aturan dalam cara bermainnya. Peraturan itu adalah sebagai berikut:

- a) Permainan hanya melibatkan 2 orang pemain..
- b) Permainan diawali dengan papan yang kosong.
- c) Pemain secara bergantian menempatkan symbol X/O yang sudah ditentukan ke dalam kotak yang berukuran 3x3.
- d) Pemain pertama mendapatkan symbol X, dan pemain kedua mendapatkan simbol Y.
- e) Dengan permisalan simbol X mendapat giliran pertama, pemain dengan simbol X mempunyai satu lebih banyak atau sama dengan jumlah dari simbol huruf O.
- f) Permainan dikatakan berakhir ketika salah satu pemain berhasil menempatkan simbolnya tepat satu garis, baik garis secara horisontal, vertikal, dan diagonal atau saat kotak pada papan telah diisi penuh oleh symbol.
- g) Bila permainan telah berakhir, kedua pemain tidak ada yang bergerak lagi [7].

Dengan peraturan diatas, muncul tiga kemungkinan hasil akhir dari permainan ini. Pemain yang pertama menempatkan symbol secara 1 garis, baik itu horizontal, bertikal, dan diagonal dianggap memenangkan permainan. Namun, pemain yang tidak dapat menempatkan symbol secara 1 garis, akan dianggap kalah. Jika kedua pemain tidak bisa menempatkan symbol mereka secara 1 garis, maka permainan dianggap seri [7].



Gambar 1 Papan Tic-Tac-Toe

3. METODE PENELITIAN

3.1. Analisis Penggunaan Algoritma Minimax

Algoritma *Minimax* digunakan untuk menentukan pilihan agar dapat memperkecil kemungkinan kehilangan nilai maksimal, yang akan meminimalkan kemungkinan kekalahan dan memaksimalkan kemungkinan kemenangan [13]. Algoritma ini kita gunakan dalam salah satu contoh *zero-sum game* yaitu Tic-Tac-Toe. Algoritma *Minimax* akan melakukan perhitungan terhadap seluruh kemungkinan yang ada, dan akan mencari langkah terbaik dari semua kemungkinan tersebut.

Algoritma *Minimax* dapat digambarkan sebagai suatu pohon kemungkinan, dimana *Artificial Intelligence* ini akan mensimulasikan permainan dibelakang layar dan menghitung semua strategi lawan secara terus-menerus. Pada langkah pertama komputer akan menganalisis seluruh pohon kemungkinan tersebut, dan komputer akan berusaha untuk menghasilkan nilai maksimal (*Maximum*) dan selanjutnya *Artificial Intelligence* berikut ini akan menyamar menjadi sang lawan dan mencari nilai terendah (*Minimum*) dan dilakukan terus menerus sampai ditemukan terminal *node* lalu dikembalikannya nilai heuristik. Pada permainan Tic-Tac-Toe ini skor akan dibagi menjadi 3 yaitu +1 untuk komputer, 0 untuk seri dan -1 untuk lawan.

3.2. Analisis Komponen Permainan

Komponen dalam permainan Tic-Tac-Toe adalah sebagai berikut:

a. Pemain

Permainan Tic-Tac-Toe ini dimainkan oleh dua orang pemain, dimana pemain pertama yaitu manusia dan pemain kedua berupa *Artificial Intelligence*.

b. Papan

Papan yang digunakan dalam permainan Tic-Tac-Toe ini berupa papan 3 x 3 dengan jumlah sebanyak 9 kotak.

c. Simbol

Simbol yang digunakan dalam permainan Tic-Tac-Toe ini yaitu tanda **X** untuk pemain pertama yaitu manusia, dan tanda **O** untuk pemain kedua berupa *Artificial Intelligence*.

3.3. Rancangan Permainan

a) Posisi Awal Permainan

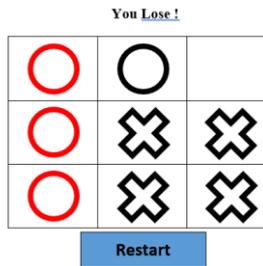
Permainan Tic-Tac-Toe dimulai dengan pemain pertama (manusia) dapat memilih untuk jalan terlebih dahulu yaitu dengan meletakkan tanda X pada papan, atau membiarkan *Artificial Intelligence* untuk jalan terlebih dahulu dan meletakkan tanda O pada papan dengan menekan tombol **Start AI** dibawah papan permainan.



Gambar 2 Posisi awal permainan

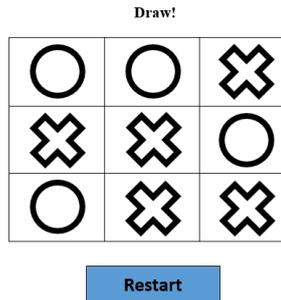
b) Posisi Akhir Permainan

Permainan Tic-Tac-Toe berakhir ketika kita sebagai pemain pertama (manusia) kalah atau seri dan komputer (*Artificial Intelligence*) menang atau seri. Berikut rancangan tampilan ketika pemain satu (manusia) kalah dan *Artificial Intelligence* menang :



Gambar 3 Posisi akhir permainan dengan kondisi pemain satu kalah

Berikut rancangan tampilan ketika terjadi seri (*Draw*) antara pemain satu (manusia) dan pemain dua (*Artificial Intelligence*) :



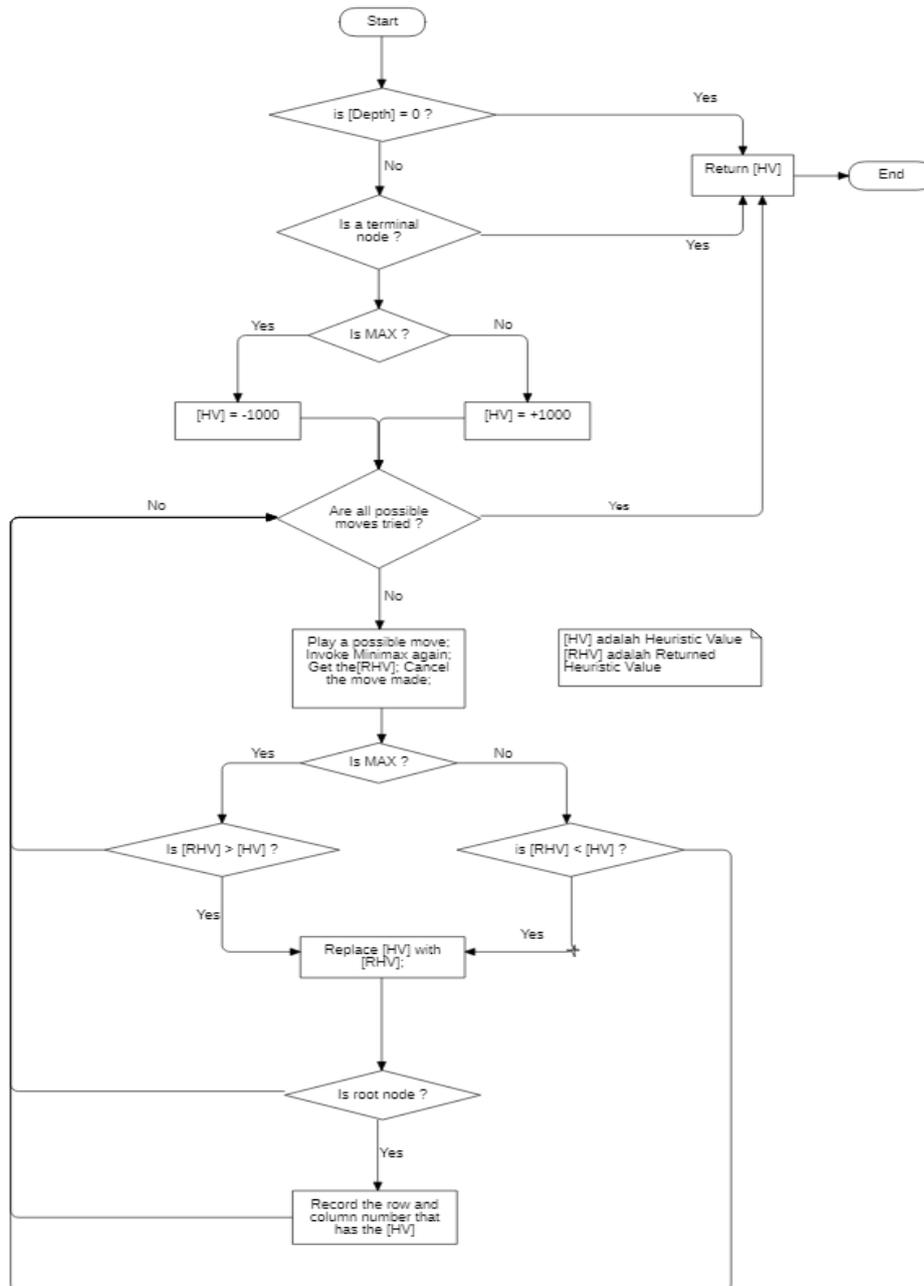
Gambar 4 Posisi akhir permainan dengan kondisi seri

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan analisis penerapan algoritma *minimax* dan analisis perancangan permainan maka pada bab ini dilakukan pembahasan serta implementasi pada pembuatan game tic tac toe guna mendapatkan hasil dari penerapan algoritma ini. Langkah pertama pengimplementasi untuk membuat program permainan Tic-Tac-Toe ini membuat alur proses – proses penerapan algoritma *minimax* pada permainan ini yang di gambarkan melalui flowchart pada gambar 5 :

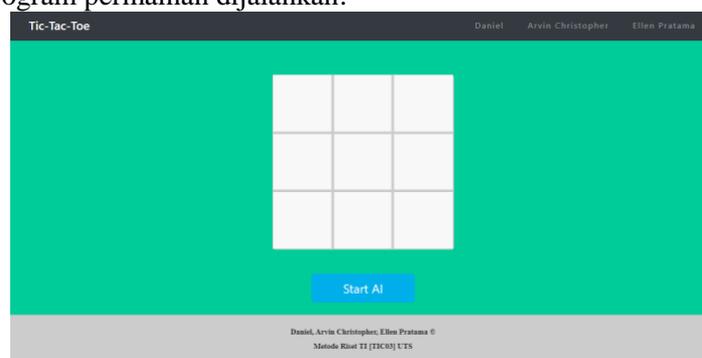
Pada flowchart ketika *minimax* dimulai atau permainan dimulai maka, pertama dilihat terlebih dahulu apakah *Depth* (kedalaman) sudah 0 atau belum, jika sudah 0 berarti sudah tidak ada *valid moves* atau langkah yang dapat dihitung selanjutnya, maka dikembalikanlah nilai heuristik tersebut dan *minimax* berakhir, tetapi jika *depth* tidak sama dengan 0, maka di cek terlebih dahulu apakah sudah berada di terminal *node* atau belum, dimana terminal *node* adalah *node* terakhir dari percabangan pohon permainan oleh *minimax*, jika sudah maka dikembalikan juga nilai heuristik dan *minimax* berakhir, tetapi jika belum maka di cek, apakah nilai MAX atau tidak, nilai MAX disini menandakan player sebagai COMP (komputer) yaitu AI dan jika tidak MAX atau disini yaitu MIN maka menandakan bahwa player yaitu sebagai HUMAN (manusia), dimana nilai heuristik di deklarasi menjadi *score* terburuk bagi player tersebut, dimana bagi player MAX (COMP) *score* terburuk adalah -1000, dan bagi player MIN (HUMAN) *score* terburuk adalah +1000, lalu di cek apakah semua *valid moves* dicoba, jika sudah maka akan mengembalikan nilai heuristik tersebut dan *minimax* berakhir, tetapi jika belum, maka akan dimainkan *valid moves* tersebut, lalu diambil nilai heuristik yang baru tersebut (RHV), kemudian di cek kembali apakah nilai MAX (COMP) atau tidak, dimana jika nilai MAX (COMP) maka akan dilihat apakah $RHV > HV$, jika iya maka nilai HV akan digantikan oleh nilai RHV, dan jika tidak (nilai MIN (HUMAN)) maka akan dilihat apakah $RHV < HV$, jika iya maka nilai HV akan digantikan oleh nilai RHV, dilakukan pergantian nilai tersebut karena, player MAX (COMP) ingin mendapatkan nilai *Maximum* (terbesar) maka jika nilai heuristik yang baru lebih besar dari pada nilai heuristik sebelumnya, maka nilai heuristik tersebut akan diganti nilainya menjadi nilai heuristik yang baru tersebut, begitu juga bag player MIN (HUMAN) yang ingin mendapatkan nilai *Minimum* (terkecil) maka jika nilai heuristik yang baru lebih kecil daripada nilai heuristik yang sebelumnya, akan digantikanlah nilai heuristik tersebut, dengan nilai heuristik yang baru. Lalu di *cancel* (dibatalkan) lah pergerakan tersebut, sehingga hanya seakan-akan dilakukan komputer dibelakang layar, dan dilihat jika sudah kembali ke *root node* maka akan diambil nilai heuristik yang

sudah diganti tersebut kembali ke (*decision*) apakah semua *valid moves* sudah dicoba, dan jika sudah maka nilai heuristik tersebut dikembalikan dan *minimax* berakhir.



Gambar 5 Flowchart algoritma *Minimax* dalam permainan Tic-Tac-Toe

Tampilan pertama program permainan dijalankan:



Gambar 6 Tampilan pertama program permainan dijalankan

Tampilan pertama terdapat *top navbar* diatas yang berisi nama, ketika diklik akan menampilkan foto orang dengan nama tersebut, dan terdapat *footer* pada bawah tampilan layar, yang menampilkan nama anggota pembuat serta mata kuliah tujuan program ini dibuat.

Memulai permainan:

Terdapat dua opsi yang bisa di pilih saat ingin memulai permainan, Opsi pertama, manusia (*Human*) yang memulai (Gambar 7) langkahnya sebagai berikut:

Jika memilih opsi pertama maka klik pada bagian kolom yang ingin ditandai, maka nanti kolom yang di klik akan bertanda X.



Gambar 7 Opsi pertama manusia (*Human*) yang memulai

Pada gambar 7 X sebagai manusia dan O sebagai AI (Komputer) ketika manusia memulai langkah maka AI akan langsung melacak atau mencari kedalaman yang telah ditentukan pada permainan kemudian menghitung seluruh kemungkinan yang ada dan memprediksi langkah yang tepat, kemudian permainan dilanjutkan dengan giliran X manusia.

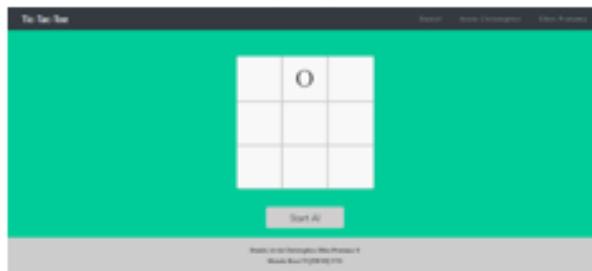


Gambar 6 Selanjutnya giliran manusia kembali (X)

Pada gambar 7 adalah giliran X sebagai manusia yang mengambil langkah, sama seperti awal permainan O sebagai AI (Komputer) ketika manusia memulai langkah maka AI akan langsung melacak atau mencari kedalaman yang telah ditentukan pada permainan kemudian menghitung seluruh kemungkinan yang ada dan memprediksi langkah yang tepat hal ini berlangsung sampai permainan selesai.

Opsi kedua AI (komputer) yang memulai (Gambar 9) langkahnya sebagai berikut:

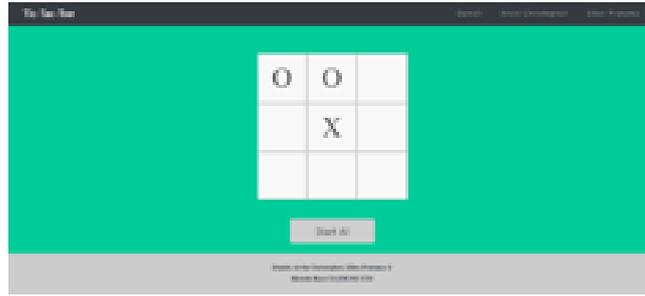
Jika memilih opsi kedua maka klik pada button bertuliskan "*Start AI*". AI (komputer) akan memilih langkah awal *random*, kemudian dilanjutkan dengan giliran manusia.



Gambar 7 Opsi kedua AI (Komputer) yang memulai

Pada gambar 9 permainan dimulai dengan O sebagai AI (Komputer) yang mengambil langkah *random* kemudian giliran X sebagai manusia yang mengambil langkah, tidak seperti langkah pertama AI (Komputer) tidak lagi mengambil langkah *random*. Pada gambar 10 setelah X sebagai manusia

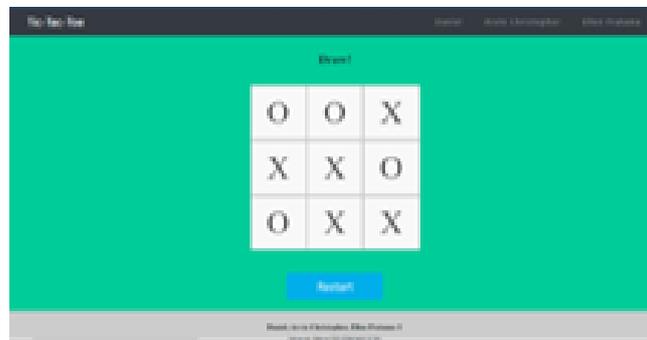
melakukan gilirannya maka O sebagai AI (Komputer) langsung menerapkan algoritma *minimax* untuk melacak atau mencari kedalaman yang telah ditentukan pada permainan kemudian menghitung seluruh kemungkinan yang ada dan memprediksi langkah yang tepat hal ini berlangsung sampai permainan selesai.



Gambar 8 Dilanjutkan giliran X manusia

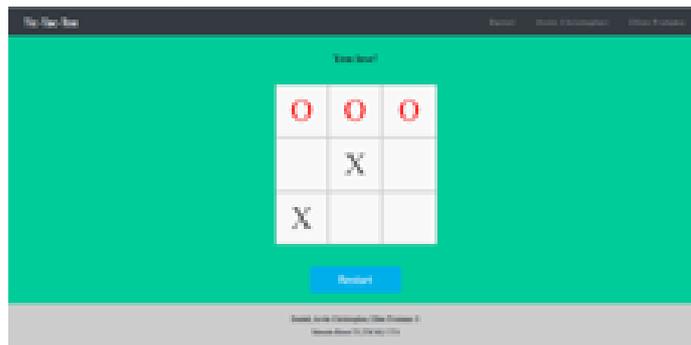
Tampilan ketika permainan selesai:
Terdapat dua kondisi jika permainan selesai:

- Permainan *Tic Tac Toe* berakhir dengan seri (*Draw*):
Artinya permainan yang dilakukan tidak ada yang menang maupun kalah



Gambar 9 Permainan berakhir dengan seri (*draw*)

Permainan *Tic Tac Toe* berakhir dengan X sebagai manusia kalah (*Lose*):



Gambar 10 Permainan berakhir dengan manusia (X) kalah (*lose*)

Pengujian permainan pada setiap opsi dilakukan sebanyak 5 kali maka didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 1 Hasil percobaan permainan dengan memilih opsi pertama (dimulai oleh user).

Percobaan	Pemain yang menang	Pemain yang kalah	Seri
Percobaan ke-1			Hasil seri
Percobaan ke-2	Pemain O sebagai AI	Pemain X sebagai manusia	
Percobaan ke-3	Pemain O sebagai AI	Pemain X sebagai manusia	
Percobaan ke-4	Pemain O sebagai AI	Pemain X sebagai manusia	
Percobaan ke-5			Hasil seri

Pada tabel 1 menunjukkan sebanyak 2 dari 5 kali percobaan hasilnya seri dan sisanya dimenangkan oleh pemain O sebagai AI yang telah diimplementasikan dengan algoritma *minimax*.

Tabel 2 Hasil percobaan permainan dengan memilih opsi kedua (dimulai oleh AI).

Percobaan	Pemain yang menang	Pemain yang kalah	Seri
Percobaan ke-1	Pemain O sebagai AI	Pemain X sebagai manusia	
Percobaan ke-2			Hasil seri
Percobaan ke-3			Hasil seri
Percobaan ke-4	Pemain O sebagai AI	Pemain X sebagai manusia	
Percobaan ke-5			Hasil seri

Pada tabel 2 menunjukkan sebanyak 3 dari 5 kali percobaan hasilnya seri dan sisanya dimenangkan oleh pemain O sebagai AI yang telah diimplementasikan dengan algoritma *minimax*.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penerapan algoritma *Minimax* pada permainan Tic-Tac-Toe, maka dapat menyimpulkan bahwa :

- Penerapan algoritma *Minimax* sudah sesuai untuk digunakan dalam pengambilan keputusan oleh *Artificial Intelligence* dalam permainan Tic-Tac-Toe.
- Algoritma *Minimax* menggunakan konsep *Depth First Search* untuk mengevaluasi simpul (*node*) dalam pembentukan pohon kemungkinan.
- Artificial Intelligence* membuat pohon kemungkinan dari awal permainan sampai akhir permainan untuk menentukan langkah terbaik dalam permainan Tic-Tac-Toe tersebut.
- Dengan menerapkan algoritma *Minimax* terhadap *Artificial Intelligence* dalam permainan Tic-Tac-Toe, pemain pertama (manusia) tidak akan mendapatkan kemenangan ketika bermain melawan *Artificial Intelligence* tersebut dikarenakan *Artificial Intelligence* tersebut akan terus mencari langkah yang terbaik untuk menang.

Permainan Tic-Tac-Toe adalah sebuah permainan dimana yang pertama kali membentuk baris berisi 3 buah token atau simbol menjadi pemenang. Permainan ini dapat diintegrasikan ke dalam komputer menggunakan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dengan menerapkan algoritma *Minimax* untuk memperhitungkan setiap kemungkinan langkah yang dapat diambil. Penerapan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) ini terbukti membuat permainan Tic-Tac-Toe tersebut tidak dapat dimenangkan oleh manusia sama sekali. Kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang diterapkan ini mampu mengevaluasi semua kemungkinan dengan baik, sehingga langkah yang diambil merupakan langkah yang paling optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal ini. Dan penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Lukman Hakim, ST., M.Kom selaku dosen pengampu mata kuliah metode riset TI atas dukungan dan bimbingannya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga dan teman-teman terdekat yang sudah memberikan dukungan kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Pratama, "Game Adventure Misteri Kotak Pandora," *J. Telemat.*, vol. 7, no. 2, pp. 13–31, 2014.
- [2] I. V. Papatungan, "KONSEP PERMAINAN TIC-TAC-TOE MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA," *Semin. Nas. Apl. Teknol. Inf.*, vol. 0, no. 0, 2006, Accessed: Oct. 06, 2020. [Online]. Available: <https://journal.uii.ac.id/Snati/article/view/1603>.
- [3] Nasri, "Kecerdasan buatan (Artificial Intelligence)," *Artif. Intell.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–10, 2014.

- [4] I. Diah, “ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI),” no. 187038039, pp. 1–17, 2018.
- [5] W. Budiharto, “AI for Beginner,” *AI Begin.*, pp. 1–11, 2018.
- [6] M. Kurniawan, A. Pamungkas, and S. Hadi, “ALGORITMA MINIMAX SEBAGAI PENGAMBIL KEPUTUSAN DALAM GAME TIC-TAC-TOE,” *SEMNAS TEKNO MEDIA ONLINE*, vol. 4, no. 1, pp. 6–7, Feb. 2016, Accessed: Oct. 09, 2020. [Online]. Available: <https://ojs.amikom.ac.id/index.php/semnasteknomedia/article/view/1243>.
- [7] M. W. Giannetti, “Artificial intelligence - Artificial Intelligence Overview,” *Air Sp. Power J.*, pp. 92–95, 2018, [Online]. Available: https://www.intel.com/content/altera-www/global/en_us/index/solutions/technology/artificial-intelligence/overview.html.
- [8] H. Ospriyono, “Tutorial HTML (Hypertext Markup Language) Menggunakan Teks Editor Notepad / Notepad ++.”
- [9] N. Nusyirwan, “Modul praktikum aplikasi it 1,” *Modul Pembuatan Web Dengan Menggunakan HTML*, pp. 1–10, 2014.
- [10] D. A. Hadi, “Belajar HTML & CSS Dasar,” *Www.Malasngoding.Com*, p. 120, 2017.
- [11] T. Suryana, “Belajar Java Script,” pp. 1–23, 2011.
- [12] YQ, “Modul 5 -Javascript-,” pp. 1–12.
- [13] C. Waruwu and D. Purba, “Implementasi Algoritma *Minimax* Dalam Game Othello,” *J. Tek. Inform. Unika St. Thomas*, vol. 2, no. 1, pp. 58–68, 2017.