

**PERBANDINGAN MONTE CARLO TREE SEARCH DAN
ALPHA-BETA PRUNING PADA PERMAINAN GOMOKU**

Skripsi



oleh

LEONARDUS WINDIONO

22094673

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA FAKULTAS TEKNOLOGI
INFORMASI
UNIVERSITAS KRISTEN DUTA WACANA
2013

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

PERBANDINGAN MONTE CARLO TREE SEARCH DAN ALPHA BETA PRUNING PADA PERMAINAN GOMOKU

yang saya kerjakan untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Komputer pada pendidikan Sarjana Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknologi Informasi Universitas Kristen Duta Wacana, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi keserjanaan di lingkungan Universitas Kristen Duta Wacana maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Jika dikemudian hari didapati bahwa hasil skripsi ini adalah hasil plagiasi atau tiruan dari skripsi lain, saya bersedia dikenai sanksi yakni pencabutan gelar keserjanaan saya.

Yogyakarta, 15 Mei 2013



LEONARDUS
WINDIONO
22094673

HALAMAN PENGESAHAN

**PERBANDINGAN MONTE CARLO TREE SEARCH DAN
ALPHA BETA PRUNING PADA PERMAINAN GOMOKU**

Oleh: LEONARDUS WINDIONO / 22094673

Dipertahankan di depan Dewan Penguji Skripsi
Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Kristen Duta Wacana - Yogyakarta
Dan dinyatakan diterima untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

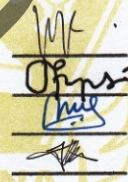
Sarjana Komputer
pada tanggal ...

Yogyakarta, 24 Mei 2013

Mengesahkan,

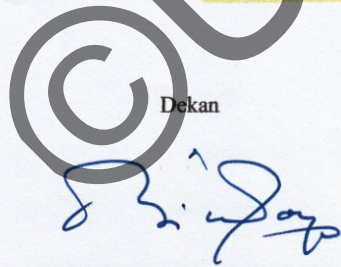
Dewan Penguji :

1. Rosa Delima, S.Kom., M.Kom.
2. Joko Purwadi, M. Kom
3. Nugroho Agus Haryono, M.Si
4. Erick Purwanto, S.Kom, M.Com.

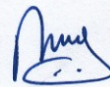


Dekan

Ketua Program Studi



(Drs. Wimmie Handiwidjojo, MIT.)



(Nugroho Agus Haryono, M.Si)

ABSTRAK

PERBANDINGAN MONTE CARLO TREE SEARCH DAN ALPHA-BETA PRUNING PADA PERMAINAN GOMOKU

Permainan tidak hanya dimainkan oleh manusia saja, namun komputer pun dapat memainkannya. Salah satu permainan yang dapat dimainkan oleh komputer adalah gomoku. Sebagian besar agen dari permainan gomoku menggunakan algoritma *Alpha Beta Pruning*, yang sudah cukup populer dijadikan sebagai algoritma permainan papan. Akan tetapi seiring berjalannya waktu muncul algoritma-algoritma baru untuk agen permainan papan, salah satunya adalah *Monte Carlo Tree Search*, yang dapat mengambil keputusan dengan domain pengetahuan yang terbatas.

Penelitian ini akan membandingkan dua buah algoritma yaitu Alpha Beta Pruning dan Monte Carlo Tree Search yang akan diimplementasikan di dalam permainan gomoku. Kedua algoritma itu akan dipertandingkan untuk mengetahui algoritma mana yang lebih tepat menentukan keputusan yang ditandai dengan presentase kemenangan. Selain itu waktu dan jumlah node yang dikunjungi akan dihitung untuk mengetahui keefektifan masing-masing algoritma.

Penelitian menunjukkan bahwa algoritma Alpha Beta Pruning masih lebih unggul dari pada algoritma Monte Carlo Tree Search pada permainan gomoku berdasar waktu dan presentase kemenangan.

Kata Kunci : *Alpha-Beta Pruning*, *Monte Carlo Tree Search*, UCT (*Upper bound Confidence for Tree*), Gomoku.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
KATA PENGANTAR	v
INTISARI.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Metodologi Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Landasan Teori.....	6
2.2.1 Gomoku.....	6
2.2.2 Game Tree.....	8
2.2.3 Algoritma Alpha-Beta Pruning	8
2.2.4 Monte Carlo Method	10
2.2.5 Monte Carlo Tree Search	11

BAB 3 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM.....	14
3.1. Pemilihan Bahasa Pemrograman.....	14
3.2. Perancangan Program	14
3.2.1 Algoritma Alpha-Beta Pruning untuk permainan Gomoku	16
3.2.2 Algoritma Monte-Carlo Tree Search untuk permainan Gomoku	18
3.3. Perancangan Antarmuka	20
3.3.1 Form Utama	20
3.3.2 Form Permainan Baru	21
3.3.3 Form Hasil Simulasi.....	22
BAB 4 IMPLEMENTASI DAN ANALISIS SISTEM.....	23
4.1. Implementasi Sistem	23
4.1.1 Implementasi Rancangan Tampilan.....	23
4.1.2 Implementasi Algoritma.....	26
4.2. Analisis Sistem.....	32
4.2.1 Analisis Program.....	32
4.3. Analisa Hasil	35
4.3.1 Waktu Komputasi.....	35
4.3.2 Pengaruh Jumlah Simulasi pada agen Monte Carlo.....	36
4.3.3 Evaluasi Sistem	39
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1. Kesimpulan	40
5.2. Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2. 1</i> Tingkat kegagalan dalam P-game tree.....	6
<i>Gambar 2. 2</i> Gomoku	7
<i>Gambar 2. 3</i> <i>Game Tree</i> pada Tic-tac-toe	8
<i>Gambar 2. 4</i> Alpha-Beta Pruning	9
<i>Gambar 2. 5</i> Outline dari Monte Carlo Tree Search.....	11
<i>Gambar 2. 6</i> Proses Monte Carlo UCT (Upperbound Confidence for Tree)..	13
<i>Gambar 3. 1</i> Flowchart sistem.....	15
<i>Gambar 3. 2</i> Flowchart alpha beta pruning	17
<i>Gambar 3. 3</i> Flowchart monte-carlo UCT.....	19
<i>Gambar 3. 4</i> Form Utama.....	20
<i>Gambar 3. 5</i> Form New Simulation.....	22
<i>Gambar 3. 6</i> Form hasil pertandingan	22
<i>Gambar 4. 1</i> <i>Form Utama</i> dengan ukuran papan 19x19	24
<i>Gambar 4. 2</i> Form Utama saat simulasi permainan sedang berlangsung.....	24
<i>Gambar 4. 3</i> Form Utama saat permainan selesai	25
<i>Gambar 4. 4</i> <i>Form New Game</i>	25
<i>Gambar 4. 5</i> <i>Form Result</i>	26
<i>Gambar 4. 6</i> Hasil pertandingan (ukuran:9x9, pemain pertama: AB).....	32
<i>Gambar 4. 7</i> Hasil pertandingan (ukuran:9x9, pemain pertama: MC)	33
<i>Gambar 4. 8</i> Hasil pertandingan (ukuran:15x15, pemain pertama: AB).....	33
<i>Gambar 4. 9</i> Hasil pertandingan (ukuran:15x15, pemain pertama: MC)	34
<i>Gambar 4. 10</i> Hasil pertandingan (ukuran:19x19, pemain pertama: AB).....	34
<i>Gambar 4. 11</i> Hasil pertandingan (ukuran:19x19, pemain pertama: MC)	35
<i>Gambar 4. 12</i> Permainan pada papan 9x9 dan 15x15	37
<i>Gambar 4. 13</i> Permainan pada papan 15x15	38
<i>Gambar 4. 14</i> Permainan pada papan 19x19	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil pertandingan alpha beta melawan monte-carlo	5
Tabel 4. 1 Hasil Keseluruhan Pertandingan.....	35

©UKDW

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Artificial Intelligence(AI) telah banyak digunakan dalam permainan komputer yang sekarang ini. Pada umumnya aplikasi permainan direpresentasikan dalam bentuk *tree*, khususnya pada permainan papan. *Tree* merepresentasikan kemungkinan langkah yang dapat dipilih dalam suatu permainan. Semakin banyak faktor percabangan maka semakin lebar pohon yang akan terbentuk.

Permainan gomoku mempunyai ukuran standar papan 15x15. *Tree* yang dibuat untuk permainan ini memiliki jumlah noda cukup banyak. Untuk menghitung hanya lima langkah ke depan jumlah noda di dalam *tree* sudah mencapai 1.036.498.506.120 noda. Jika komputer melakukan semua perhitungan itu maka komputer akan menghabiskan banyak memori dan waktu. Oleh karena itu dibutuhkan suatu algoritma yang dapat mengambil keputusan yang baik tanpa harus menjelajahi semua noda di dalam pohon. Salah satu algoritma yang pencarian pohon keputusan adalah *Monte Carlo Tree Search*. Algoritma *Monte Carlo Tree Search* menyimulasikan langkah-langkah permainan dan tidak menjelajahi semua noda di dalam pohon, sehingga memori yang dipakai tidak sebanyak jika seluruh noda dijelajahi.

Menurut (Chaslot, Bakkes, Szita, & Spronck, 2008) pendekatan klasik tentang AI permainan memerlukan salah satu dari domain pengetahuan dengan kualitas yang tinggi atau penghasil perilaku AI yang efektif dalam waktu yang lama. Kedua karakteristik dapat menghambat tujuan dari membentuk AI permainan yang menantang. Dalam jurnal tersebut, mereka mencoba untuk membuktikan bahwa *Monte Carlo Tree Search* dapat diterapkan secara efektif ke dalam permainan papan klasik dengan domain pengetahuan yang terbatas. Sebelumnya, Monte Carlo telah sukses diterapkan di dalam permainan scrabble, poker dan go.

Penulis ingin menerapkan *Monte Carlo Tree Search* dinilai cocok untuk dijadikan sebuah AI di dalam permainan papan, yaitu gomoku, sebab kebanyakan AI dari permainan gomoku yang ada sekarang ini menggunakan algoritma *Alpha-Beta Pruning*. Penulis mencoba untuk membandingkan tingkat keefektifan agen yang menggunakan algoritma *Alpha-Beta Pruning* dengan agen yang menggunakan *Monte Carlo Tree Search*. Diharapkan melalui penelitian ini, dapat dibuktikan bahwa *Monte Carlo Tree Search* lebih baik dari *Alpha-Beta Pruning* dalam permainan gomoku.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada Sub Bab 1 maka akan dilakukan penerapan *Monte Carlo Tree Search* dan *Alpha-Beta Pruning* pada permainan gomoku, sistem yang akan dibangun akan memiliki perumusan masalah sebagai berikut:

- a. Apakah metode *Monte Carlo Tree Search* dapat digunakan untuk permainan gomoku?
- b. Manakah algoritma yang lebih efektif digunakan pada permainan gomoku, *Monte Carlo Tree Search* atau *Alpha-Beta Pruning* jika diukur dari presentase kemenangan, waktu, dan jumlah node?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, penulis memberikan batasan masalah untuk sistem yang akan dibuat:

- a. Varian *Monte Carlo Tree Search* yang digunakan UCT (Kocsis & Szepesvari, 2006)
- b. Sistem hanya mensimulasikan algoritma dengan *Monte Carlo Tree Search* dan *Alpha-Beta Pruning*
- c. Papan yang digunakan untuk simulasi ada 3 jenis ukuran yaitu 9x9 (ukuran papan go kecil), 15x15 (ukuran papan gomoku standar), dan 19x19 (ukuran go standar)
- d. Kedalaman agen *alpha beta* adalah 3 untuk semua papan
- e. Jumlah simulasi agen *monte carlo tree search* 10000 untuk semua papan

- f. Bentuk permainan hanya simulasi saja yaitu 2 player : *computer vs computer*
- g. Proses pencarian langkah dapat diperlihatkan hanya dalam bentuk teks mengingat jumlah noda yang banyak.

1.4. Tujuan

Skripsi ini bertujuan untuk menerapkan teknik *Monte Carlo Tree Search* dan *Alpha-Beta Pruning* dalam permainan gomoku, serta untuk mengetahui perbandingan kompleksitas *Monte Carlo Tree Search* dan *Alpha-Beta Pruning*.

1.5. Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Studi Pustaka

Studi Pustaka dilakukan dengan mempelajari teori-teori melalui buku, artikel, jurnal dan bahan lain yang berhubungan dengan permainan gomoku, *Alpha-Beta Pruning*, *Monte Carlo Tree Search* dan metode-metode pendukung lainnya yang dibutuhkan.

- b. Perancangan Sistem

Pada tahap ini sistem yang akan dirancang didasarkan pada permainan gomoku kemudian sistem dapat melakukan permainan gomoku dengan algoritma *Alpha-Beta Pruning* dan *Monte Carlo Tree Search*.

- c. Pembangunan Sistem

Tahap ini program akan dibuat disesuaikan dengan rancangan sistem.

- d. Implementasi dan Testing

Pengujian terhadap program dengan menjalankan sistem dengan mempertandingkan algoritma *Alpha-Beta Pruning* dan *Monte Carlo Tree Search* pada ukuran papan permainan yang berbeda.

- e. Analisis Hasil Percobaan dan Evaluasi

Pada tahap ini kesimpulan dapat ditarik setelah melakukan uji coba pada program.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi 5 bab, antara lain :

Bab 1 merupakan PENDAHULUAN yang berfungsi untuk memberikan gambaran umum penelitian. Pendahuluan ini meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 merupakan TINJAUAN PUSTAKA, yang berisi tentang tinjauan pustaka dan landasan teori. Tinjauan pustaka ini berisi tentang teori-teori yang berhubungan dengan permainan gomoku, algoritma *Alpha-Beta Pruning* dan algoritma *Monte Carlo Tree Search*.

Bab 3 merupakan ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM, bab ini berisi tentang teori-teori yang digunakan dan bagaimana cara menerjemahkannya ke dalam bentuk sistem. Membahas tentang perancangan permainan gomoku, desain antarmuka dari program, dan juga simulasi permainan dengan algoritma *Alpha-Beta Pruning* dan *Monte Carlo Tree Search*.

Bab 4 merupakan IMPLEMENTASI DAN ANALISIS SISTEM, yang membahas tentang penjelasan implementasi dan analisis dari program yang dibuat beserta *capture* tampilan sistem.

Bab 5 merupakan KESIMPULAN DAN SARAN dari penulis yang berisi jawaban dari pertanyaan rumusan masalah, dan saran untuk pengembangan program ini berikutnya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil implementasi dan analisis algoritma Alpha Beta Pruning dan Monte Carlo Tree Search dalam permainan gomoku, dapat diambil beberapa kesimpulan berikut:

- a. Algoritma Monte Carlo Tree Search dengan jumlah simulasi 10000 dapat digunakan dalam permainan gomoku dalam papan ukuran 9x9, namun kurang cocok untuk papan berukuran 15x15 dan 19x19, diperlukan lebih banyak simulasi untuk dapat menentukan langkah yang tepat, sehingga hasilnya acak.
- b. Algoritma Alpha Beta Pruning lebih efektif dari algoritma Monte Carlo Tree Search berdasar dari segi waktu dan persentase kemenangan.
- c. Berdasar jumlah noda yang dikunjungi algoritma Monte Carlo Tree Search lebih unggul, dengan jumlah yang dikunjungi noda lebih sedikit, algoritma Monte Carlo Tree Search dapat mengalahkan algoritma Alpha Beta Pruning yang mengunjungi noda lebih banyak.

5.2. Saran

Dari sistem yang dibuat penulis masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu penulis memberikan beberapa saran untuk mengembangkan sistem:

- a. Algoritma *Monte Carlo Tree Search* akan lebih baik lagi jika dibuat *transposition table* dan *learning set*, sehingga waktu pencarian keputusan lebih cepat.
- b. Pada algoritma *Alpha Beta Pruning* akan lebih baik lagi jika langkahnya diurutkan terlebih dahulu (*move ordering*).

DAFTAR PUSTAKA

Allis, V. L. (1994). *Searching for solutions in games and artificial intelligence*. Chicago.

Chaslot, G., Bakkes, S., Szita, I., & Spronck, P. (2008). Monte-carlo tree search: A new framework for game ai. *In Proceedings of the Fourth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference* , 216-217.

Chorus, P. (2009). *Implementing a Computer Player for Abalone using Alpha-Beta and Monte-Carlo Search*. Maastricht: Maastricht University.

Gelly, S., & Silver, D. (2008). Achieving master level play in 9 x 9 computer go. *Proceedings of AAAI* , 1537-1540.

Hammersley, J. M., Handscomb, D. C., & Weiss, G. (1965). Monte carlo methods. *Physics Today* , 18-55.

Knuth, D., & Moore, R. (1975). An Analysis of Alpha-Beta Pruning. *Artificial Intelligence* , 293-236.

Kocsis, L., & Szepesvari, C. (2006). Bandit based Monte-Carlo Planning. *Machine Learning: ECML 2006* , 282-293.

Millington, I., & Funge, J. (2009). *ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR GAMES Second Edition*. Burlington: Morgan Kaufmann.

Russell, S. J., & Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. New Jersey: Pearson Education, Inc.