

LAPORAN TUGAS BESAR 1

“Implementasi Minimax Algorithm dan Local Search pada Permainan Dots and Boxes”

Laporan Ini Dibuat Untuk Memenuhi Tugas Perkuliahan
Mata Kuliah Inteligensi Buatan (IF3170)



Disusun Oleh:

13521065	Mutawally Nawwar
13521109	Rizky Abdillah Rasyid
13521131	Jeremy Dharmawan Raharjo
13521146	Muhammad Zaki Amanullah

SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
2023

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	2
DASAR TEORI	3
A. Objective Function	3
B. Minimax dan Alpha-Beta Pruning Algorithm	4
C. Local Search Algorithm (Random Restart Hill Climbing Algorithm)	5
D. Genetic Algorithm	6
HASIL PERTANDINGAN	6
A. Bot vs Manusia	6
1. Minimax bot	6
2. Local search bot	6
B. Bot vs Bot	7
1. Minimax vs local search	7
2. Minimax vs genetic	7
3. Local search vs genetic	8
SARAN	8
PEMBAGIAN TUGAS	9

DASAR TEORI

A. Objective Function

Pada algoritma minimax alpha beta pruning, objective function yang digunakan adalah jumlah simbol “O” dikurangi jumlah simbol “X”. Hal ini berdasarkan bahwa kemenangan permainan berdasarkan dari paling banyak simbol dari salah satu pemain. Di sini simbol “O” akan digunakan oleh bot, maka jumlah simbol “O” dikurang jumlah simbol “X” menjadi fungsi objektif. Fungsi ini akan digunakan untuk memaksimalkan bot dan player pada algoritma minimax. Pada saat maximizing, fungsi ini akan memaksimalkan skor untuk bot. Sedangkan ketika minimizing, fungsi ini akan digunakan untuk memaksimalkan skor player. *Objective function* dapat dioptimasi kembali dengan menambah kemungkinan kotak bernilai “X” yang dapat diubah dan mengurangnya dengan berapa banyak kotak yang dapat diubah pemain “X” dalam satu *move*.

$$f(n) = (score(O) - score(X))$$

$Score(O)$ dan $Score(X)$ merupakan skor dari masing-masing pemain saat ini. $eat(game, O, i, j)$ adalah fungsi untuk menentukan berapa banyak sel “X” yang akan diubah menjadi “O” apabila kita menempatkan simbol “O” pada koordinat $\{i, j\}$. Fungsi $maxeat$ akan mengembalikan berapa banyak kotak “O” yang mungkin diubah oleh “X”. Dapat dilihat bahwa kita memprioritaskan untuk tidak memberikan kesempatan ke “X” untuk mengubah banyak kotak milik bot kita.

Objective function yang digunakan pada algoritma *Local Search* adalah skor akhir permainan karena algoritma local search merupakan algoritma yang *path irrelevant* yaitu algoritma yang hanya mempertimbangkan hasil akhir saja tanpa mempertimbangkan path yang dipilih untuk mendapatkan hasil.

B. Minimax dan Alpha-Beta Pruning Algorithm

Permainan ini dilakukan pada papan berukuran 8x8 dengan simbol “X” dan “O”. Kondisi papan akan disebut sebagai state. Pada awalnya, state hanya terdiri dari 4 simbol “X” di bagian kiri bawah dan 4 simbol “O” pada bagian kanan atas. Para pemain hanya bisa memilih

kotak kosong. Ketika dipilih, kotak kosong akan berubah menjadi simbol pemain itu dan mengubah simbol milik lawan yang ada di sampingnya menjadi simbolnya.

Algoritma minimax akan bekerja ketika player memilih salah satu kotak. Pada mulanya, algoritma ini akan mengiterasi seluruh sel pada papan permainan sebagai sebuah langkah yang mungkin dipilih. Pada setiap kemungkinan langkah, akan dipilih di-generate lagi pilihan kotak yang masih kosong sampai batas kedalaman yang ditentukan dengan mempertimbangkan kondisi permainan ketika simbol “O” diletakkan pada suatu kotak.

Pada kedalaman 0 dan genap akan memaksimalkan skor untuk bot, sedangkan pada kedalaman ganjil akan memaksimalkan skor untuk player. Fungsi minimax() akan dipanggil secara rekursif dengan mengurangi kedalaman pada setiap pemanggilan untuk mengetahui kedalaman serta mengganti kondisi permainan (papan, skor bot, dan skor lawan). Basis dari fungsi minimax() adalah sebuah fungsi objektif yang akan menghitung skor bot dikurangi skor lawan pada daun dari pohon.

Untuk pruning sendiri, alpha pertama diinisialisasi dengan $-\infty$ dan beta dengan ∞ . Ketika proses *maximizing*, alpha dari state ini akan dibandingkan dengan beta dari *parent* statenya. Ketika, proses *minimizing*, beta dari state ini akan dibandingkan dengan alpha dari *parent* statenya. Ketika alpha sudah lebih dari sama dengan beta, maka tidak perlu dihasilkan state anak lagi (pruning).

Algoritma *Minimax Alpha-Beta Pruning* layak digunakan pada permainan Adjacency Strategy Game hanya jika ronde permainan berada dalam kisaran 4–5 dan diterapkan suatu *heuristic*. Heuristik yang diterapkan adalah kotak yang dibangkitkan hanyalah kotak yang memiliki peluang untuk menghasilkan perubahan skor (bersebelahan dengan kotak bernilai “X”).

C. Local Search Algorithm (Hill Climbing Algorithm)

Algoritma yang diimplementasikan merupakan algoritma *steepest-ascent hill climbing* dimana dilakukan sebuah heuristik yang digunakan dalam pencarian masalah. Heuristik yang digunakan pada kasus ini adalah berapa jumlah kotak lawan yang berubah dengan meletakkan “X” atau “O” pada sebuah sel. Hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan solusi

terdekat dengan meningkatkan nilai fungsi tujuan dengan berfokus pada pencarian satu langkah ke depan yang memberikan solusi terbaik. Karena algoritma hill climbing yang digunakan hanya memeriksa satu langkah ke depan, langkah yang diambil merupakan *local optima*.

D. Genetic Algorithm

Proses pencarian menggunakan algoritma genetika dapat melakukan inisiasi awal terhadap kromosom/gen yang dapat dinyatakan urutan *game state* (langkah pengisian kotak kosong, dapat dinyatakan sebagai string) yang dimulai dari cabang teratas hingga cabang terbawah. Untuk mekanisme mutasi dan *crossover*, perlu diperhatikan bahwa apabila terjadi perubahan kromosom, harus dipastikan bahwa tidak boleh memilih kotak kosong yang sama sebanyak lebih dari satu kali (misal string (karakter dipisahkan dengan "-") "1-2-3-4-1" yang terbentuk karena *crossover* harus dilakukan evaluasi pada karakter ke-5 pada string, "1", sehingga dapat dilakukan mutasi secara acak namun dengan batasan bahwa untuk karakter "1", "2", "3", dan "4" tidak boleh menjadi bagian dari karakter ke-5 pada string). Adapun berikut merupakan langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam menerapkan algoritma genetika pada permainan Adjacency Strategy Game:

1. Definisikan batas waktu dan jumlah generasi maksimal pada iterasi algoritma genetika
2. Definisikan batas dalam pohon pencarian minimax D yang akan dibuat
3. Definisikan penerapan fungsi objektif pada simpul daun pohon minimax yang akan dibuat (dengan menghitung selisih antara poin bot dan pemain)
4. Definisikan mekanisme *crossover* dan laju mutasi
5. Lakukan pembangkitan kromosom secara acak (kromosom sesuai deskripsi di atas) sebanyak N buah sebagai ukuran populasi.
6. Lakukan *crossover* dan mutasi pada populasi tersebut untuk menghasilkan keturunan.
7. Hitung fungsi objektif pada tiap kromosom di populasi awal dan keturunannya.
8. Satukan populasi dan keturunannya untuk membentuk pohon minimax, lakukan algoritma minimax untuk menghitung langkah optimal yang dapat diambil bot
9. Lakukan evaluasi nilai *fitness* dari populasi dan keturunannya. Nilai *fitness* dapat dihitung dengan seberapa jauh suatu kromosom dapat mempropagasikan nilai fungsi objektif pada simpul daunnya menuju simpul akar (dapat dihitung dengan formula $D = K + 1$,

dengan K merupakan nilai kedalaman terakhir dimana nilai kromosom tersebut dapat dipropagasikan ke arah atas pohon pencarian. Misal suatu kromosom dapat mencapai simpul akar, berarti nilai $K = 0$)

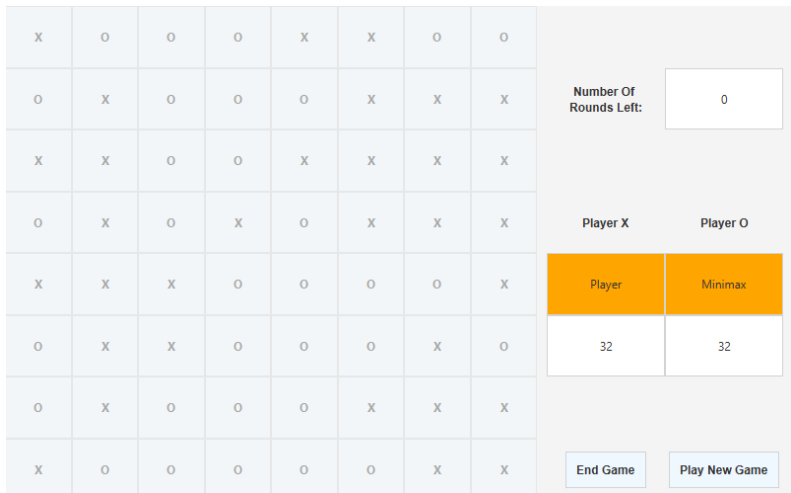
10. Lakukan seleksi tiap kromosom dimulai dari nilai *fitness* tertinggi untuk kembali membentuk N buah sebagai populasi.
11. Lakukan kembali langkah 6 hingga mencapai kondisi terminasi

HASIL PERTANDINGAN

A. Bot vs Manusia

1. Minimax bot

a. Percobaan 1

Screenshot	Pemenang
	Tie

b. Percobaan 2

Screenshot	Pemenang
------------	----------

O	X	O	X	X	X	O	O	<div>Number Of Rounds Left: 0</div> <div>Player XPlayer O</div> <div><div>PlayerMinimax (Winner!)</div><div>2226</div><div>End GamePlay New Game</div></div>
X	O	X	X	O	O	X	O	
O	X	X	O	X	O	X	O	
X	X	O	X	O	X	O	X	
X	O	O			X	X	O	
O	O	O						
O	X	O						
X	O	O	O					

Minimax (Bot)

c. Percobaan 3

Screenshot								Pemenang																																																																		
<table><tr><td>X</td><td>O</td><td>O</td><td>X</td><td>O</td><td>X</td><td>O</td><td>O</td></tr><tr><td>O</td><td>X</td><td>X</td><td>O</td><td>O</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td></tr><tr><td>O</td><td></td><td>O</td><td>O</td><td>X</td><td>O</td><td>X</td><td>X</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>X</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>X</td><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>O</td><td>X</td><td>O</td><td>X</td><td>O</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>X</td><td>O</td><td>X</td><td>O</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								X	O	O	X	O	X	O	O	O	X	X	O	O	X	X	X	O		O	O	X	O	X	X											X	X					X	O	O	O	O				O	X	O	X	O				X	O	X	O	X				<div>Number Of Rounds Left: 0</div> <div>Player XPlayer O</div> <div>PlayerMinimax (Winner!)</div> <div>1921</div> <div>End GamePlay New Game</div>		Minimax (Bot)
X	O	O	X	O	X	O	O																																																																			
O	X	X	O	O	X	X	X																																																																			
O		O	O	X	O	X	X																																																																			
		X	X																																																																							
X	O	O	O	O																																																																						
O	X	O	X	O																																																																						
X	O	X	O	X																																																																						

d. Percobaan 4

Screenshot								Pemenang	

<div><div><div></div><div></div><div></div><div>X</div><div>O</div><div>X</div><div>X</div><div>O</div></div><div><div></div><div></div><div></div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div></div><div><div></div><div></div><div></div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div></div><div><div>O</div><div>X</div><div>X</div><div></div><div></div><div></div><div>O</div><div>O</div></div><div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>X</div><div>X</div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div>								<div>Number Of Rounds Left:<div>0</div></div> <div>Player X<div>Player O</div></div> <div><div>Player</div><div>Minimax (Winner!)</div></div> <div><div>14</div><div>18</div></div> <div><div>End Game</div><div>Play New Game</div></div>		Minimax (Bot)
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---------------

e. Percobaan 5

Screenshot	Pemenang
<div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div>O</div><div>O</div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div>O</div><div>O</div><div>O</div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div>O</div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div>O</div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>O</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>X</div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>X</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div></div><div></div><div></div></div></div></div> <div><div><div>Number Of Rounds Left:</div><div>0</div></div><div><div>Player X</div><div>Player O</div></div><div><div>Player</div><div>Minimax (Winner!)</div></div><div><div>8</div><div>16</div></div><div><div>End Game</div><div>Play New Game</div></div></div>	Minimax (Bot)

2. Local search bot

a. Percobaan 1

Screenshot	Pemenang
------------	----------

<div><div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>X</div><div>O</div></div><div><div>X</div><div>X</div><div>O</div><div>X</div><div>X</div><div>O</div><div>X</div><div>X</div></div><div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div></div><div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>O</div><div>X</div></div><div><div>O</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div></div><div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>X</div></div><div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div></div><div><div>X</div><div>O</div><div>X</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div></div></div> <div><div>Number Of Rounds Left:</div><div>0</div></div> <div><div>Player X</div><div>Player O</div></div> <div><div>Player (Winner!)</div><div>Local search</div></div> <div><div>35</div><div>29</div></div> <div><div>End Game</div><div>Play New Game</div></div>								Player	
---	--	--	--	--	--	--	--	--------	--

b. Percobaan 2

Screenshot								Pemenang	
<div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div></div><div><div></div><div></div><div></div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>X</div></div><div><div></div><div></div><div></div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>O</div><div>X</div></div><div><div></div><div></div><div></div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div></div><div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div> <div><div>Number Of Rounds Left:</div><div>0</div></div> <div><div>Player X</div><div>Player O</div></div> <div><div>Player</div><div>Local search (Winner!)</div></div> <div><div>13</div><div>19</div></div> <div><div>End Game</div><div>Play New Game</div></div>								Local search (Bot)	

c. Percobaan 3

Screenshot								Pemenang	

	<div> <div>Number Of Rounds Left:</div> <div>0</div> </div> <div> <div>Player X</div> <div>Player O</div> </div> <div> <div>Player</div> <div>Local search</div> </div> <div> <div>12</div> <div>12</div> </div> <div> <div>End Game</div> <div>Play New Game</div> </div>	Tie
--	--	-----

B. Bot vs Bot

1. Minimax vs local search

a. Percobaan 1

Screenshot	Pemenang
	Minimax

b. Percobaan 2

Screenshot	Pemenang
------------	----------

<div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> </div>								<div> <div> <div>Number Of Rounds Left:</div> <div>0</div> </div> <div> <div>Player X</div> <div>Player O</div> </div> <div> <div>Local search</div> <div>Minimax</div> </div> <div> <div>16</div> <div>16</div> </div> <div> <div>End Game</div> <div>Play New Game</div> </div> </div>		Tie
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----

c. Percobaan 3

Screenshot	Pemenang
<div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> <div> <div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div> </div> </div>	<div> <div> <div>Number Of Rounds Left:</div> <div>0</div> </div> <div> <div>Player X</div> <div>Player O</div> </div> <div> <div>Local search</div> <div>Minimax (Winner!)</div> </div> <div> <div>11</div> <div>13</div> </div> <div> <div>End Game</div> <div>Play New Game</div> </div> </div>

2. Minimax vs genetic

a. Percobaan 1

Screenshot	Pemenang
------------	----------

X	X	O	O	O	O	X	O	<div>Number Of Rounds Left: 0</div> <div>Player XPlayer O</div> <div><div>Minimax</div><div>Genetic (Winner!)</div></div> <div><div>19</div><div>44</div></div> <div><div>End Game</div><div>Play New Game</div></div>
	O	X	X	X	X	O	O	
X	X	X	X	X	O	X	O	
X	O	O	O	O	O	O	X	
O	O	O	O	O	O	X	O	
X	O	O	O	O	O	O	O	
O	O	O	O	O	O	O	O	
X	O	X	O	O	O	O	O	

Genetic

b. Percobaan 2

Screenshot	Pemenang																																																																
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td>X</td><td>O</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td>O</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td>X</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td>O</td><td>O</td><td>O</td></tr><tr><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td>O</td></tr><tr><td>X</td><td>O</td><td>X</td><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td>O</td></tr></table> <div><div>Number Of Rounds Left: 0</div><div><div>Player X</div><div>Player O</div></div><div><div>Minimax (Winner!)</div><div>Genetic</div></div><div><div>16</div><div>15</div></div><div><div>End Game</div><div>Play New Game</div></div></div>						X	X	O							X	O							X	X													X	X	X	X					X	O	O	O	X	X	X	X	O	O	O	O	X	O	X	O	O	O	O	O	Minimax
					X	X	O																																																										
						X	O																																																										
						X	X																																																										
				X	X	X	X																																																										
				X	O	O	O																																																										
X	X	X	X	O	O	O	O																																																										
X	O	X	O	O	O	O	O																																																										

c. Percobaan 3

Screenshot								Pemenang	
------------	--	--	--	--	--	--	--	----------	--

<div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div>X</div><div>X</div><div>O</div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div>X</div><div>O</div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div>X</div><div>X</div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div></div><div><div>X</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div></div></div></div></div> <div><div>Number Of Rounds Left:</div><div>0</div></div> <div><div>Player X</div><div>Player O</div></div> <div><div>Minimax (Winner!)</div><div>Genetic</div></div> <div><div>15</div><div>8</div></div> <div><div>End Game</div><div>Play New Game</div></div>	Minimax
--	---------

3. Local search vs genetic

a. Percobaan 1

Screenshot	Pemenang
<div><div><div><div><div>O</div><div>X</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div></div><div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div></div><div><div>X</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>X</div></div><div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>X</div></div><div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>X</div></div><div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>O</div></div><div><div>X</div><div>O</div><div>O</div><div>X</div><div>X</div><div>X</div><div>O</div><div>X</div></div><div><div>X</div><div>O</div><div>X</div><div>X</div><div></div><div>X</div><div>X</div><div>O</div></div></div></div></div> <div><div>Number Of Rounds Left:</div><div>0</div></div> <div><div>Player X</div><div>Player O</div></div> <div><div>Local search</div><div>Genetic (Winner!)</div></div> <div><div>29</div><div>34</div></div> <div><div>End Game</div><div>Play New Game</div></div>	Genetic

b. Percobaan 2

Screenshot	Pemenang
------------	----------

O	X	X	O	O	O	X	O
X	O	O	O	X	X	X	X
X	X	O	X	X	X	X	X
X	X	X					
X	X						
X	X						

Number Of Rounds Left:

0

Player X

Player O

Local search (Winner!)

Genetic

22

9

End Game

Play New Game

Local search

c. Percobaan 3

Screenshot								Pemenang																																																																	
<table><tr><td></td><td>X</td><td>X</td><td>O</td><td>O</td><td>O</td><td>X</td><td>O</td></tr><tr><td></td><td></td><td>X</td><td>O</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td></tr><tr><td></td><td></td><td>O</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>X</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>X</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									X	X	O	O	O	X	O			X	O	X	X	X	X			O	X	X	X	X	X																									X	X							X	X							Local search	
	X	X	O	O	O	X	O																																																																		
		X	O	X	X	X	X																																																																		
		O	X	X	X	X	X																																																																		
X	X																																																																								
X	X																																																																								
<div>Number Of Rounds Left:</div> <div>0</div>																																																																									
<div>Player X</div> <div>Local search (Winner!)</div>								<div>Player O</div> <div>Genetic</div>																																																																	
<div>17</div>								<div>6</div>																																																																	
<div>End Game</div>								<div>Play New Game</div>																																																																	

SARAN

Berdasarkan pengembangan yang telah dilakukan pada bot kami, kami memiliki sejumlah saran untuk pengembangan lebih lanjut. Pertama, kami merasa perlu untuk melakukan riset yang lebih mendalam dalam rangka mencari objective function yang lebih optimal. Selanjutnya, pada Bot Minimax, kami ingin mengoptimalkan urutan pembangkitan state selanjutnya. Kami juga berupaya untuk mempercepat komputasi pada setiap pemanggilan fungsi minimax, sehingga dapat meningkatkan kedalaman yang dapat diperiksa oleh Bot Minimax.

Selain itu, kami sedang menjelajahi modifikasi lebih lanjut untuk algoritma pencarian lokal pada Bot Local Search. Kami menyadari bahwa kedalaman dan waktu komputasi memiliki dampak signifikan pada kemampuan Bot Minimax. Oleh karena itu, kami berupaya menjadikannya optimal tanpa memerlukan kedalaman terlalu dalam, agar semua pilihan cabang dapat dievaluasi dengan baik.

Terakhir, dalam upaya mengoptimalkan algoritma Minimax, kami juga mencari cara untuk melakukan transformasi tanpa perlu melakukan salinan state, sehingga proses transformasi dapat menjadi lebih efisien, dan jika diperlukan, melakukan undo ketika melakukan backtrack.

PEMBAGIAN TUGAS

No.	Tugas	NIM
1	Frontend (Mekanisme bot vs bot)	13521065
2	Frontend (Mekanisme bot vs bot)	13521109
3	Genetic Algorithm, Struct GA	13521131
4	Minmax, Local search, BotMinimax	13521146