

# Penerapan Pohon dalam Pembuatan FA Untuk Permainan Tic-Tac-Toe

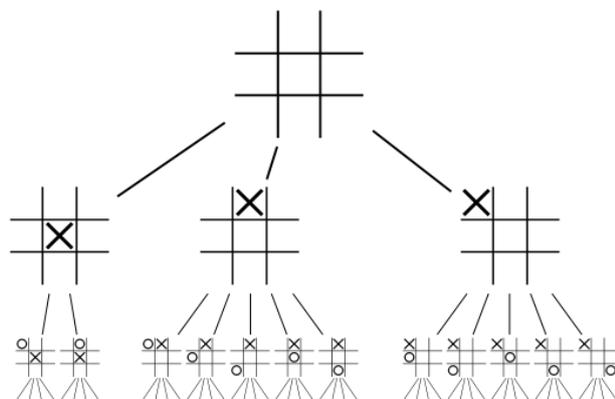
Muhammad Ridwan / 13513008  
Program Studi Teknik Informatika  
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika  
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia  
riduan81@yahoo.com

**Abstrak**—Finite Automata (FA) adalah sebuah mesin abstrak yang memiliki fungsi untuk mencapai suatu state tertentu melalui fungsi transisi tertentu. Salah satu penerapan FA adalah dalam menentukan langkah komputer untuk membuat *game Tic-Tac-Toe*. Untuk menentukan FA beserta *state-state* yg dimilikinya, kita dapat menggunakan pohon keputusan yang merupakan salah satu materi kuliah Matematika Diskrit. Makalah ini akan membahas penggunaan pohon keputusan tersebut untuk menentukan FA sebagai langkah komputer dalam menanggapi langkah *player*.

**Kata Kunci**—Pohon, Keputusan, Finite Automata, Tic-Tac-Toe.

## I. PENDAHULUAN

Di dalam game klasik seperti catur, Tic-Tac-Toe, hearts, mahjong, dll. tentunya akan ada respon cepat dari komputer sebagai lawan main berdasarkan langkah *player*. Agar hal tersebut dapat dilakukan, programmer yang membuat *game* tersebut haruslah memahami betul konsep dasar permainan dan mengerti langkah maksimal dalam permainan tersebut. Berdasarkan pengetahuan tersebut, *programmer* akan menyiapkan langkah-langkah yang akan dieksekusi komputer dalam menanggapi langkah *player*. Hal ini seperti memberikan keputusan-keputusan *programmer* sebagai pemain handal kepada komputer.



**Gambar 1.** Pohon langkah komputer berdasarkan langkah *player*

(Sumber: <http://en.wikipedia.org/wiki/Tic-tac-toe>)

diakses pada 10 Desember 2014 pukul 17:40 WIB)

## II. TIC-TAC-TOE DAN FINITE AUTOMATA

### A. Tic-Tac-Toe

Tic-Tac-Toe atau yang lebih dikenal dengan nama catur jawa di Indonesia adalah sebuah permainan klasik yang berasal dari kekaisaran Romawi sekitar abad pertama sebelum masehi. Masyarakat setempat menyebutnya Terni Lapipi. Namun ada informasi lain, menurut Claudia Zaslavsky dalam buku *Tic Tac Toe: And Other Three-In-A Row Games from Ancient Egypt to the Modern Computer*, Tic-Tac-Toe berasal dari Mesir kuno. Permainan ini menggunakan suatu tabel 3x3 yang akan diisi oleh dua orang pemain dengan bidak berbentuk "O" dan "X". Setiap pemain hanya boleh menggunakan satu jenis bidak dan mengisi secara bergantian. Apabila ada pemain yang dapat memenuhi satu baris dengan bidaknya, maka dialah pemenangnya.

Pada tahun 1884, mulai marak permainan anak-anak menggunakan batu tulis dimana mereka menutup mata sambil mencoretkan batu dengan dua simbol "X" dan "O" membentuk satu barisan namun disertai suara tic dan tac dari anak-anak. Pada tahun 1952, Tic-Tac-Toe mulai dikenal karena untuk pertama kalinya permainan ini masuk ke dunia video game OXO (or Noughts and Crosses) untuk komputer EDSAC. Pemain bisa memainkan Tic-Tac-Toe dengan melawan komputer bahkan dapat *multiplaying* melawan manusia. Pada tahun 1975, Tic-Tac-Toe juga digunakan oleh siswa MIT untuk menunjukkan kekuatan komputasi dari elemen Tinkertoy yang saat ini dipamerkan di Museum of Science, Boston.

### B. Finite Automata

*Finite automata* adalah mesin abstrak berupa sistem model matematika dengan masukan dan keluaran diskrit yang dapat mengenali bahasa paling sederhana (bahasa reguler) dan dapat diimplementasikan secara nyata. Sistem yang sedang dieksekusi dapat berada di salah satu konfigurasi internal berhingga yang disebut state. Beberapa contoh sistem dengan state berhingga antara lain pada mesin minuman otomatis atau *vending machine*, pengatur lampu lalu lintas dan *lexical analyser*.

Suatu *finite automata* terdiri dari beberapa bagian yaitu:

1. Sekumpulan state.
2. Simbol-simbol masukan yang diizinkan.
3. Fungsi transisi atau aturan-aturan untuk berpindah dari state yang satu ke state yang lain, tergantung dari simbolnya.
4. State awal.
5. State akhir.

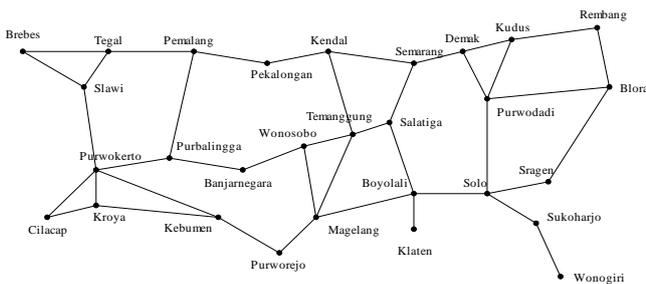
Finite automata merupakan kumpulan dari lima elemen atau dalam bahasa matematis dapat disebut sebagai 5-tuple. Definisi formal dari finite automata dikatakan bahwa finite automata merupakan list dari 5 komponen : kumpulan state, input , aturan perpindahan, state awal, dan state akhir.

Fungsi transisi biasanya dinotasikan dengan  $\delta$ . Jika finite automata memiliki sebuah panah dari suatu state  $x$  ke suatu state  $y$ , dan memiliki label dengan simbol input  $a$ , ini berarti bahwa, jika automata berada pada state  $x$  ketika automata tersebut membaca  $a$ , maka automata tersebut dapat berpindah ke state  $y$  dapat diindikasikan hal yang sama dengan fungsi transisi dengan mengatakan bahwa  $\delta(x, a) = y$ .

### III. LANDASAN TEORI

#### A. Graf

Graf merupakan representasi objek-objek diskrit yang disebut simpul dan hubungan antar dua objek tersebut yang disebut sisi. Graf didefinisikan sebagai pasangan himpunan  $(V,E)$  dimana  $V$  adalah himpunan tidak kosong dari simpul-simpul yang ada di dalam graf dan  $E$  adalah himpunan dari sisi di dalam. Aplikasi dari Graf dalam kehidupan sehari-hari sangat banyak, salah satunya dapat digunakan untuk merepresentasikan berbagai permasalahan yang ada. Contoh aplikasi dari graf adalah peta. Setiap area/tempat yang direpresentasikan dengan logo/symbol adalah simpul sedangkan jalan2 yang menghubungkannya adalah sisi.



**Gambar 2. Contoh aplikasi graf**  
(Sumber: Rinaldi Munir/IF2120 Matematika Diskrit)

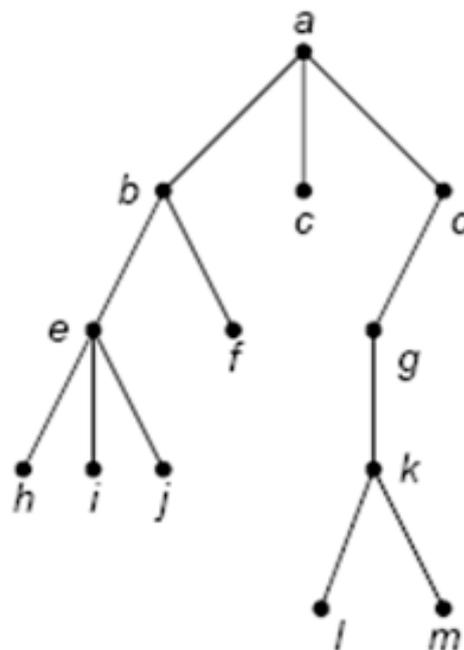
Graf dapat dibagi menjadi dua yaitu graf sederhana dan graf tak sederhana. Graf sederhana adalah graf yang tidak memiliki sisi ganda dan/atau gelang pada simpulnya. Graf memiliki sisi ganda apabila ada lebih dari satu sisi yang menghubungkan dua simpul. Graf memiliki gelang apabila terdapat sisi yang kedua ujungnya terhubung pada simpul yang sama. Sehingga graf tak sederhana adalah graf yang memiliki sisi ganda dan/atau gelang.

Graf juga dapat dibagi menjadi graf berarah dan graf tak berarah. Graf berarah adalah graf yang sisinya memiliki arah. Simpul hanya terhubung satu arah berdasarkan arah sisi. Pada graf berarah sisi biasa disebut juga busur. Graf tak berarah adalah graf yang sisinya tidak memiliki arah sehingga kedua simpul sudah pasti terhubung.

#### B. Pohon

Pohon adalah graf sederhana tak berarah yang tidak memiliki sirkuit. Graf dikatakan mengandung sirkuit apabila terdapat lintasan yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama. Pohon memiliki komponen-komponen sebagai berikut.

1. Anak dan orangtua. Orangtua memiliki sisi dengan anak dengan tingkatan yang lebih tinggi dibanding anak.
2. Lintasan, jalur yang menghubungkan suatu simpul dengan simpul yang lain. Namun lintasan tidak dapat melalui saudara.
3. Saudara, merupakan simpul yang memiliki orangtua yang sama.
4. Upapohon/pohon bagian.
5. Daun, simpul yang tidak memiliki anak.
6. Simpul dalam, simpul yang memiliki anak.
7. Aras atau tingkat, tingkatan simpul pada pohon.
8. Ketinggian atau kedalaman, aras maksimum pada pohon.

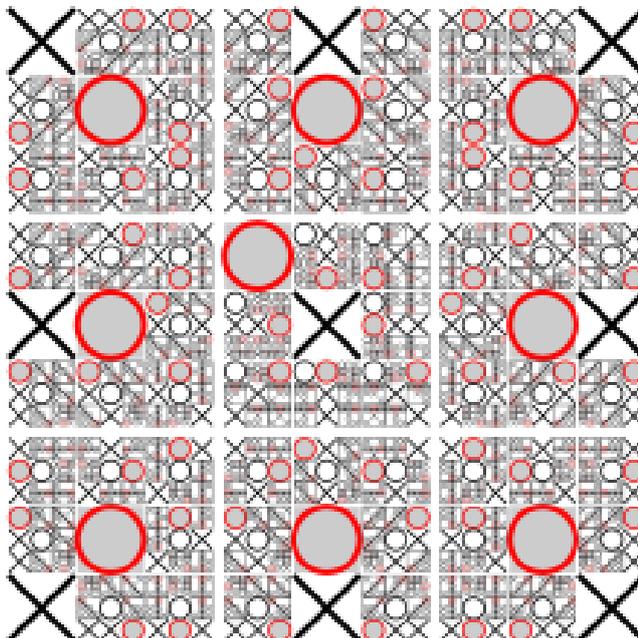


**Gambar 3. Contoh pohon**  
(Sumber: [http://welyam1231018.blogspot.com/2013/03/tree\\_12.htm](http://welyam1231018.blogspot.com/2013/03/tree_12.htm) I diakses pada 10 Desember 2014 pukul 18:45 WIB)

#### IV. APLIKASI POHON KEPUTUSAN

Dalam pembuatan DFA kita pertama menggunakan pohon keputusan sebagai dasar dari DFA tersebut. Pada makalah ini penulis hanya akan membuat DFA untuk permainan dimana player jalan terlebih dahulu dan direpson oleh komputer dengan langkah optimal. Sehingga status awal FA adalah tabel kosong. Penulis akan merepresentasikan tabel Tic-Tac-Toe dengan huruf a, b, c, d, e, f, g, h, dan i yang merepresentasikan posisi bidak. Bidak komputer adalah X dan bidak player adalah O.

a	b	c
d	e	f
g	h	i



**Gambar 4. Langkah Optimal Komputer**  
(Sumber: <http://en.wikipedia.org/wiki/Tic-tac-toe> diakses pada 10 Desember 2014 pukul 19:20 WIB)

Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat bahwa terdapat 9 kemungkinan langkah pertama player. Namun, terdapat beberapa langkah yang memiliki pola yang sama apabila menggunakan proses pemutaran. Sehingga akar pohon DFA adalah kosong (direpresentasikan dengan P).

Kemudian P memiliki 3 anak yaitu (a, b, dan e). a untuk merepresentasikan ujung (a, c, g, dan i). b untuk merepresentasikan pinggir (b, d, f, dan h). e untuk merepresentasikan tengah. Berikut contoh penggambaran pohon pada aras 0.

P -a-- e  
 -b-- e  
 --c-- e  
 --d-- e  
 --e--a  
 --f--e  
 --g--e  
 --h--e  
 --i--e

Lalu pohon diteruskan sesuai dengan gambar 4. Selanjutnya kita dapat menentukan status pada setiap daun apakah status tersebut status akhir atau bukan. Berikut hasil DFA dari pohon keputusan yang penulis buat.

Sta te	Player First									Out put	Sta tus
	Input Symbols										
	a	b	c	d	e	f	g	h	i		
-> q0	q1	q4	-	-	q8	-	-	-	-	-	-
q1	-	q2	q8	q1	-	q2	q2	q3	q3	e	-
q2	-	-	-	q7	-	q7	q3	q7	q7	c	-
q3	-	-	-	-	-	q4	-	q6	q6	d	-
q4	-	-	-	-	-	-	-	-	q5	h	-
*q5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	f	c
*q7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	g	c
q8	-	-	-	q1	-	q1	q1	q9	q1	b	-
q9	-	-	-	-	-	q1	q1	-	q1	d	-
q10	-	-	-	-	-	-	q1	-	-	i	-
*q11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	f	c
*q13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	h	c
q14	-	q1	q1	-	-	q1	-	q1	q1	g	-
q15	-	-	-	-	-	q1	-	q1	q1	b	-
q16	-	-	-	-	-	-	-	-	q1	f	-
*q17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	h	c
*q19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c	c
q20	-	q2	q2	q2	-	-	q2	-	q2	h	-
q21	-	-	-	q2	-	-	q2	-	q2	c	-
q22	-	-	-	-	-	-	-	-	q2	d	-

2									3		
*q23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	g	c
*q25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	b	c
q26	-	q31	q31	-	-	q27	-	q31	q31	d	-
q27	-	-	q30	-	-	-	-	q28	q30	b	-
q28	-	-	q29	-	-	-	-	-	-	i	-
*q29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	h	c
*q31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	f	c
q32	-	q37	q37	q33	-	-	q37	-	q37	f	-
q33	-	q36	q34	-	-	-	-	-	q336	g	-
q34	-	-	-	-	-	-	-	-	q35	b	-
*q35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c	c
*q37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d	c
*q38	-	q39	q43	q43	-	q43	q43	-	-	h	-
*q39	-	-	-	q42	-	q42	q40	-	-	c	-
q40	-	-	-	-	-	q41	-	-	-	d	-
*q41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	g	c
*q43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	b	c
q44	q45	-	q51	q57	-	q63	q69	q75	q80	e	-
q45	-	-	-	q50	-	q50	q46	q50	q50	c	-
q46	-	-	-	-	-	q47	-	q49	q49	d	-
*q47	-	-	-	-	-	-	-	-	q48	h	d
*q48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c
*q49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	f	c
q50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	g	-
q51	-	-	-	q56	-	q56	q56	q56	q52	a	-
q52	-	-	-	q53	-	-	q55	q55	-	f	-
*q53	-	-	-	-	-	-	q54	-	-	h	d
*q54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c
*q55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d	c
q56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	i	-

q57	-	-	q62	-	-	q62	q62	q62	q58	a	-
q58	-	-	-	-	-	q61	q59	q61	-	c	-
*q59	-	-	-	-	-	q60	-	-	-	h	d
*q60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c
*q61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	g	c
q62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	i	-
q63	q68	-	-	q68	-	-	q64	q68	q68	c	-
q64	-	-	-	q67	-	-	-	q67	q65	a	-
*q65	-	-	-	q66	-	-	-	-	-	h	d
*q66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c
*q67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	i	c
q68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	g	-
q69	q74	-	q74	-	-	q70	-	q74	q74	d	-
q70	q71	-	q73	-	-	-	-	q73	-	i	-
*q71	-	-	-	-	-	-	-	q72	-	c	d
*q72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c
*q73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	a	c
q74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	f	-
q75	q79	-	q79	-	-	q76	q79	-	-	d	-
q76	q77	-	q78	-	-	-	-	-	q77	g	-
*q77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c	c
*q78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	a	c
*q79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	f	c
q80	q85	-	q85	q81	-	-	q85	q85	-	f	-
q81	q84	-	q82	-	-	-	-	q84	-	g	-
q82	-	-	-	-	-	-	-	q83	-	a	-
*q83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c	c
*q85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d	c
q86	-	q87	q113	q122	-	q148	q154	q163	q169	a	-
q87	-	-	q88	q91	-	q98	q102	-	q109	h	-
q88	-	-	-	q99	-	q99	-	-	q88	g	-

8				0		0			9		
*q89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d	c
*q90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	i	c
q91	-	-	q92	-	-	-	q94	-	q96	f	-
q92	-	-	-	-	-	-	-	-	q93	g	-
*q93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
q94	-	-	-	-	-	-	-	-	q95	c	-
*q95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
q96	-	-	-	-	-	-	q97	-	-	c	-
*q97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
q98	-	-	q101	-	-	-	q99	-	q101	d	-
q99	-	-	-	-	-	-	-	-	q100	c	-
*q100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q101	-	-	-	-	-	-	-	-	-	g	c
q102	-	-	-	q103	-	q105	-	-	q107	c	-
q103	-	-	-	-	-	-	-	-	q104	f	-
*q104	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
q105	-	-	-	-	-	-	-	-	q106	d	-
*q106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
q107	-	-	-	q108	-	-	-	-	-	f	-
*q108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
q109	-	-	q112	-	-	q112	q110	-	-	d	-
q110	-	-	-	-	-	q111	-	-	-	c	-
*q111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q112	-	-	-	-	-	-	-	-	-	g	c
q113	-	q121	-	q114	-	q121	q121	q121	q121	g	-
q114	-	q115	-	-	-	-	q117	q119	q119	f	-
q115	-	-	-	-	-	-	-	q116	q116	h	-
*q116	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
q117	-	-	-	-	-	-	-	q118	q118	b	-
*q118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d

q119	-	-	-	-	-	-	-	-	q120	-	b	-	
*q120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d	
*q121	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d	c	
q122	-	q126	q137	-	-	-	-	q123	q133	q144	f	-	
q123	-	q125	-	-	-	-	-	-	q125	q124	c	-	
*q124	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	b	c	
*q125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	i	c
q126	-	-	q129	-	-	-	-	q127	-	q131	h	-	
q127	-	-	-	-	-	-	-	-	-	q128	c	-	
*q128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d	
q129	-	-	-	-	-	-	-	-	-	q130	g	-	
*q130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d	
q131	-	-	q132	-	-	-	-	-	-	-	g	-	
*q132	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d	
q133	-	-	q134	-	-	-	-	q136	-	q136	b	-	
q134	-	-	-	-	-	-	-	-	-	q135	g	-	
*q135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d	
*q136	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c	c
q137	-	q138	-	-	-	-	-	-	q140	q142	g	-	
q138	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	h	-	
*q139	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d	
q140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	b	-
*q141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
q142	-	q143	-	-	-	-	-	-	-	-	h	-	
*q143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
q144	-	-	#	-	-	-	-	q147	q145	-	b	-	
q145	-	-	-	-	-	-	-	-	q146	-	g	-	
*q146	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c	c

7											
q1 48	-	q1 53	q1 53	-	-	-	q1 49	q1 53	q1 53	d	-
q1 49	-	q1 50	-	-	-	-	-	q1 52	q1 52	c	-
q1 50	-	-	-	-	-	-	-	-	q1 51	h	-
*q 15 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q 15 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	b	c
*q 15 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	g	c
q1 54	-	q1 55	-	q1 62	-	q1 62	-	q1 62	q1 62	c	-
q1 55	-	-	-	q1 56	-	q1 58	-	-	q1 60	h	-
q1 56	-	-	-	-	-	-	-	-	q1 57	f	-
*q 15 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
q1 58	-	-	-	-	-	-	-	-	q1 59	d	-
*q 15 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
q1 60	-	-	-	-	-	q1 61	-	-	-	d	-
*q 16 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q 16 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	b	c
q1 63	-	-	q1 64	q1 68	-	q1 68	q1 68	-	q1 68	b	-
q1 64	-	-	-	q1 65	-	q1 67	-	-	q1 67	g	-
q1 65	-	-	-	-	-	-	-	-	q1 66	f	-
*q 16 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q 16 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d	c
*q 16 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c	c
q1 69	-	q1 70	-	q1 76	-	q1 76	q1 76	q1 76	-	c	-
q1 70	-	-	-	q1 71	-	q1 73	q1 73	-	-	h	-
q1 71	-	-	-	-	-	-	q1 72	-	-	f	-
*q 17 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
q1 73	-	-	-	-	-	q1 75	q1 74	-	-	d	-
*q 17 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d
*q 17 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	d

*q 17 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	b	c
---------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

FA di atas telah digunakan untuk game Tic-Tac-Toe dalam memenuhi tugas besar mata kuliah IF2220 Teori Bahasa Formal dan Otomata.

## V. SIMPULAN

Pohon keputusan memiliki banyak kegunaan dalam menentukan keputusan. Dalam penerapan, pohon keputusan dapat digunakan untuk menentukan langkah optimal komputer, tidak hanya Tic-Tac-Toe, tetapi juga bisa untuk permainan klasik lainnya yang memiliki alur dua arah seperti catur, hearts, dll.

## REFERENSI

- Munir, Rinaldi. "Diktat Kuliah IF2120 Matematika Diskrit". Program Studi Teknik Informatika, 2006, Bandung, Indonesia  
<http://www.globalkomputer.com/Bahasan/Teori-Bahasa-dan-Otomata/Topik/Finite-Automata.html> diakses pada tanggal 10 Desember 2014  
<http://kotaksederhana.blogspot.com/2013/10/sejarah-permainan-tic-tac-toe.html> diakses pada tanggal 10 Desember 2014  
<http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2013-2014/Makalah2013/MakalahIF2120-2013-022.pdf> diakses pada tanggal 10 Desember 2014

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 10 Desember 2014



Muhammad Ridwan  
13513008