

Aplikasi Simulator Mesin Turing Pita Tunggal

Nuludin Saepudin / NIM 23515063
Program Magister Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
23515063@std.stei.itb.ac.id

Abstract—Mesin Turing adalah model komputasi teoritis yang dikemukakan oleh Alan Turing, secara ensensial, mesin Turing adalah sebuah finite automaton yang memiliki sebuah tape dengan panjang tak terhingga yang dapat membaca dan menulis data, Mesin Turing mempunyai perilaku atau aturan-aturan cara berjalannya sebuah mesin ini. Penggambaran cara bekerja Mesin Turing dapat dibuat sebuah aplikasi simulator.

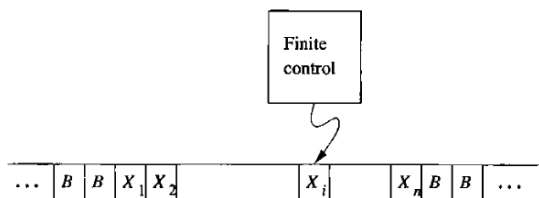
Index Terms—mesin, Turing, aplikasi simulasi, komputasi.

I. MESIN TURING

Mesin Turing adalah model komputasi teoritis yang dikemukakan oleh Alan Turing, secara ensensial, mesin Turing adalah sebuah finite automaton yang memiliki sebuah pita dengan panjang tak terhingga yang dapat membaca dan menulis data. Mesin Turing menggunakan notasi seperti instantaneous descriptions (ID) pada *Push Down Automata* (PDA) untuk menyatakan konfigurasi dari komputasinya. Stack pada PDA memiliki keterbatasan akses. Elemen yang dapat diakses hanya elemen yang ada pada top stack. Pada Mesin Turing, memori akan berupa suatu pita yang pada dasarnya merupakan sebuah array dari sel-sel penyimpanan.

A. Notasi Pada Mesin Turing

Visualisasi dari sebuah mesin Turing pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1: Visualisasi Mesin Turing^[1]

Mesin terdiri dari finite control yang dapat berada dalam sebuah himpunan berhingga *state*. Terdapat sebuah pita yang dibagi ke dalam kotak-kotak atau sel-sel. Setiap sel dapat menampung sebuah dari sejumlah

berhingga dari simbol. Pada awalnya, input yang merupakan *string* dari simbol dengan panjang berhingga dipilih dari input alphabet, ditempatkan pada pita. Sel-sel pita yang lain, perluasan secara infinite ke kiri dan kanan. Pada awalnya menampung simbol khusus yang dinamakan *blank*. *Blank* bukan sebuah input simbol dan mungkin terdapat simbol pita yang lain disamping input simbol dan *blank*. Terdapat sebuah pita head yang selalu ditempatkan pada satu dari sel-sel pita. Mesin Turing dikatakan membaca sel tersebut. Pada awalnya head berada pada sel paling kiri yang menampung input. Sebuah pergerakan mesin Turing adalah fungsi state dari *finite control* dan pita simbol yang dibaca.

Operasi-operasi mesin Turing dalam satu pergerakan:

- o Merubah *state*. *Next state* dapat sama dengan *current state*
 - o Menulis sebuah simbol pada pita dalam sel yang dibaca. Simbol pada pita ini mengganti simbol apapun yang ada dalam sel tersebut. Secara opsional, simbol yang dituliskan dapat sama dengan simbol yang sekarang ada dalam pita.
 - o Memindahkan head ke kiri dan kanan
- Notasi formal pada mesin Turing sama dengan finite automata atau PDA. Terdiri dari 7 tuple

$$M = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, B, F)$$

Komponen-komponennya adalah:

- Q: Himpunan berhingga dari *state* dari finite control.
- Σ : Himpunan berhingga dari simbol-simbol input.
- Γ : Himpunan dari simbol pada pita. Σ merupakan subset dari Γ .
- δ : Fungsi transisi. Argumen $\delta(q, X)$ adalah sebuah state q dan sebuah simbol pada pita X . Nilai dari $\delta(q, X)$, jika nilai tersebut didefinisikan, adalah triple (p, Y, D) , dimana:
 - o p adalah *next state* dalam Q
 - o Y adalah simbol, dalam Γ , ditulis dalam sel yang sedang dibaca, menggantikan simbol apapun yang ada dalam sel tersebut.
 - o D adalah arah, berupa L atau R, berturut-turut menyatakan kiri atau kanan, dan menyatakan arah dimana head bergerak.
- q_0 : *start state*, sebuah anggota dari Q , dimana pada saat awal finite control ditemukan.

- B: simbol blank. Simbol ini ada dalam Γ tapi tidak dalam Σ , yaitu B bukan sebuah simbol input.
- F: Himpunan dari final state, subset dari Q.

B. Diagram Transisi untuk Mesin Turing

Diagram transisi terdiri dari sebuah himpunan dari node-node yang menyatakan *state-state* dari Mesin Turing. sebuah arc dari *state* q ke *state* p diberi label oleh satu atau lebih item dengan bentuk X/Y D, dimana X dan Y adalah simbol pada pita, dan D adalah arah, kiri (L) atau kanan (R). Bahwa bila $\delta(q, X) = (p, Y, D)$ diperoleh label X/Y D pada arc dari q ke p. Dalam diagram arah D dinyatakan dengan tanda \leftarrow untuk “left” dan \rightarrow untuk “right”. *Start state* ditandai dengan kata “start” dan sebuah panah yang masuk ke dalam state tersebut. *Final state* ditandai dengan putaran ganda.

Contoh:

ada bahasa L dengan string bit ‘0’ dan ‘1’ yang sama banyaknya, contoh string di dalam L misalnya “01”, “10”, “011001”, “100110”, dst. Bahasa tersebut dapat dikenali oleh mesin turing, proses yang dilakukan akan dijelaskan pada bagian berikut^[2].

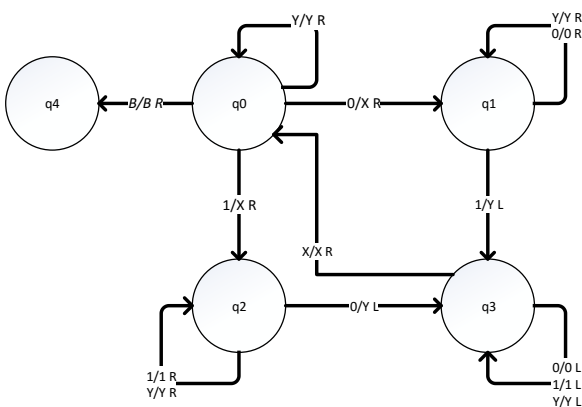
$M = (\{q_0, q_1, \dots, q_4\}, \{0, 1, B\}, \{0, 1, X, Y, B\}, \delta, q_0, B, q_4)$

Aturan fungsi transisi δ tertera pada tabel 1 dibawah ini

Q	0	1	X	Y	B
q0	(q1, X, R)	(q2, X, R)	-	(q0, Y, R)	(q4, B, R)
q1	(q1, 0, R)	(q3, Y, L)	-	(q1, Y, R)	-
q2	(q3, Y, L)	(q2, 1, R)	-	(q2, Y, R)	-
q3	(q3, 0, L)	(q3, 1, L)	(q0, X, R)	(q3, Y, L)	-
q4	-	-	-	-	-

Tabel 1: fungsi transisi

Dari fungsi transisi diatas dapat digambarkan diagram transisi dari mesin turing M:



Gambar 2: Diagram Transisi dari Mesin Turing M

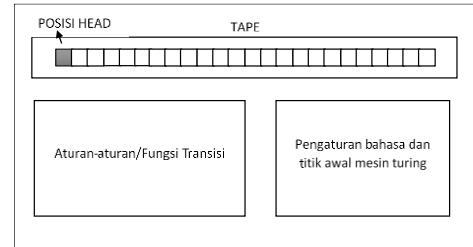
II. RANCANGAN APLIKASI SIMULATOR

Simulasi adalah suatu proses peniruan dari sesuatu yang nyata beserta keadaan sekelilingnya (*state of affairs*). Aksi melakukan simulasi ini secara umum menggambarkan sifat-sifat karakteristik kunci dari

kelakuan sistem fisik atau sistem yang abstrak tertentu

Simulasi dari sebuah mesin turing atau disebut simulator mesin turing adalah proses peniruan cara kerja dan fungsi yang ada pada mesin turing seperti komponen pita, posisi head, fungsi transisi, setingan input dan *state* awal fungsi transisi.

Pembuatan aplikasi simulator mempunyai tiga garis besar tape yang berisikan sel-sel pita dan head, fungsi transisi dan pengaturan mesin seperti pada gambar 3.



Gambar 3: Rancangan Simulator

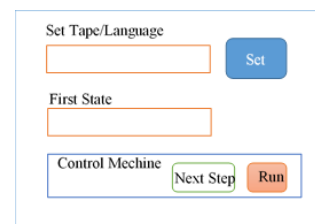
Rancangan aplikasi simulator mempunyai komponen-komponen yang dibutuhkan untuk mensimulasikan sebuah mesin turing, yaitu sebagai berikut:

1. Tape adalah pita yang berisikan sel-sel suatu simbol.
2. Posisi Head adalah posisi sel pita yang ditunjuk oleh head.
3. Rules adalah fungsi transisi dari mesin turing yang terdiri atas *state* atau status perilaku yang akan dibuat seperti proses *read*, *write*, *direction* dan *new state*.

State	Read	Write	Direction	New State
(q0..qx)	Simbol	Simbol	(R, L)	(q0...qx)
....

Tabel 2: fungsi transisi pada simulator

4. Pengaturan adalah setingan yang terdapat pada mesin turing seperti inputan simbol, *state* awal dan *run control*.



Gambar 4: Pengaturan Mesin Turing

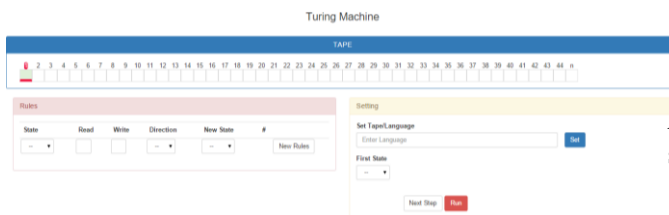
Cara kerja dari simulator ini cukup mudah dimulai *state* pertama yang telah ditentukan pada pengaturan mesin kemudian membaca setiap rules/fungsi transisi yang telah dibuat lalu melakukan sebuah aksi dari rules tersebut seperti menggerakkan posisi head ke kiri atau ke kanan, menulis dan membaca pita sampai pada state akhir atau mesin turing berhenti sebagai contoh mengisikan fungsi transisi sebagai berikut State = q0, Read = 0, Write = X, Direction = R, New State = q1

maka fungsi transisi state q_0 bila membaca "0" pada pita yang sedang ditunjuk oleh head maka sel pita tersebut akan diisikan oleh X, lalu bergerak posisi head ke arah kanan (*right*) setelah itu pindah ke *rules state* q_1 .

III. Implementasi dan testing simulator

Pembuatan aplikasi simulator ini menggunakan tag html sebagai standar web sedangkan untuk mempercantik halaman menggunakan css bootstrap. Dalam melakukan transisi dan proses simulasi mesin turing menggunakan sebuah bahasa javascript.

Interface simulator sesuai dengan rancangan aplikasi pada poin sebelumnya yang mempunyai komponen tape, rules dan setting ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5: Interface Simulator

Untuk menguji aplikasi simulator bisa mensimulasikan sebuah mesin turing maka dibutuhkan sebuah perilaku mesin turing misalnya ada bahasa L dengan string bit '0' dan '1' yang sama banyaknya, contoh string di dalam L misalnya "01", "10", "011001", "100110", dst. Bahasa tersebut dapat dikenali oleh mesin turing.

Cara kerja mesin turing untuk mengenali bahasa L dinyatakan dengan algoritma berikut.

1. Jika simbol paling kiri adalah '0' maka ke langkah 2 dan bila '1' maka ke langkah 8.
2. Ganti simbol '0' paling kiri dengan simbol 'X'.
3. Gerakkan head ke kanan hingga dijumpai simbol '1'.
4. Ganti simbol '1' paling kiri dengan simbol 'Y'.
5. Gerakkan head ke kiri hingga dijumpai simbol 'X'.
6. Geser head ke kanan (akan diperoleh '0' paling kiri).
7. Kembali ke langkah 2.
8. Ganti simbol '1' paling kiri dengan simbol 'X'.
9. Gerakkan head ke kanan hingga dijumpai simbol '0'.
10. Ganti simbol '0' paling kiri dengan simbol 'Y'.
11. Geser head ke kanan (akan diperoleh '1' paling kiri).
12. Kembali ke langkah 8.

Ada beberapa aturan dari langkah-langkah diatas

1. Untuk simbol paling kiri adalah '0' sebelum langkah algoritma dilakukan
 - a. Jika pada saat bergerak ke kanan untuk mencari '1', mesin turing M menjumpai simbol B, maka berarti banyaknya '0' lebih dari banyaknya '1'.

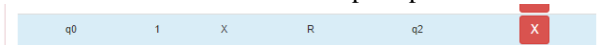
- Kesimpulannya, string masukkan tidak dikenali.
- b. Jika pada saat bergerak ke kiri M tidak menjumpai lagi '0', maka M memeriksa apakah masih ada '1', bila habis maka string diterima (dikenali)
 2. Untuk simbol paling kiri adalah '1' sebelum langkah algoritma dilakukan
 - a. Jika pada saat bergerak ke kanan untuk mencari '0', mesin turing M menjumpai simbol B, maka berarti banyaknya '1' lebih dari banyaknya '0'. Kesimpulannya, string masukkan tidak dikenali.
 - b. Jika pada saat bergerak ke kiri M tidak menjumpai lagi '1', maka M memeriksa apakah masih ada '0', bila habis maka string diterima (dikenali)
 - c. Jika sebuah string diterima (dikenali), maka mesin turing M berhenti. Untuk string yang tidak dikenali (ditolak) ada kemungkinan M tidak berhenti (looping)

Dari cara kerja mesin turing untuk mengenali bahasa L maka fungsi transisi yang dimasukkan kedalam aplikasi simulator yaitu sebagai berikut

State	Read	Write	Direction	New State
q_0	0	X	R	q_1
q_0	1	X	R	q_2
q_0	Y	Y	R	q_0
q_0	blank	blank	R	q_4
q_1	0	0	R	q_1
q_1	1	Y	L	q_3
q_1	Y	Y	R	q_1
q_2	0	Y	L	q_3
q_2	1	1	R	q_2
q_2	Y	Y	R	q_2
q_3	0	0	L	q_3
q_3	1	1	L	q_3
q_3	Y	Y	L	q_3
q_3	X	X	R	q_0

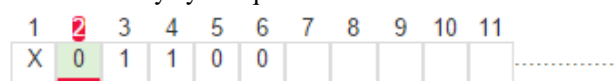
Tabel 3: fungsi transisi bahasa L

Pengaturan mesin pada aplikasi simulator diset state awal pada q_0 dan q_4 sebagai state akhir (*final state*) selanjutnya untuk menguji mesin turing pada simulator ini dengan memberikan inputan string "101100" maka saat aplikasi simulator dijalankan pada fungsi transisi state awal akan berwarna biru seperti pada Gambar 6.



Gambar 6: Fungsi transisi state awal bahasa L

State awal (q_0 , 1, X, R, q_2) membaca string "1" pada sel pita pertama maka proses yang dilakukan adalah menggantikan sting "1" menjadi "x", posisi head pada pita akan bergerak ke arah kanan dan melanjutkan ke state berikutnya yaitu q_2 .



Gambar 7: Hasil Langkah Pertama

Langkah berikutnya ditunjukkan sebagai berikut:

Langkah kedua (q2, 0, Y, L, q3)

0	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	1	1	0	0					

Langkah ketiga (q3, X, X, R, q0)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	1	1	0	0					

Langkah ke empat (q0, Y, Y, R, q0)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	1	1	0	0					

Langkah kelima (q0, 1, X, R, q2)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	1	0	0					

Langkah keenam (q2, 1, 1, R, q2)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	1	0	0					

Langkah ketujuh (q2, 0, Y, L, q3)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	1	Y	0					

Langkah kedelapan (q3, 1, 1, L, q3)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	1	Y	0					

Langkah kesembilan (q3, X, X, R, q0)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	1	Y	0					

Langkah kesepuluh (q0, 1, X, R, q2)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	X	Y	0					

Langkah kesebelas (q2, Y, Y, R, q2)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	X	Y	0					

Langkah keduabelas (q2, 0, Y, L, q3)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	X	Y	Y					

Langkah ketigabelas (q3, Y, Y, L, q3)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	X	Y	Y					

Langkah keempatbelas (q3, X, X, R, q0)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	X	Y	Y					

Langkah kelimabelas (q0, Y, Y, R, q0)

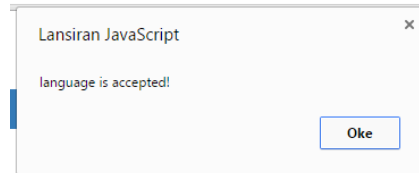
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	X	Y	Y					

Langkah keenambelas (q0, Y, Y, R, q0)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	X	Y	Y					

Langkah ketujuhbelas (q3, blank, blank, R, q4)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	Y	X	X	Y	Y					



Hasil simulasi dengan perilaku atau transisi pada tabel 3 maka bahasa L dengan inputan string "101100" dinyatakan diterima dan sesuai dengan perilaku string bit '0' dan '1' yang sama banyaknya.

Apabila inputan string nya diubah dengan string "0011110" maka pada pita seperti dibawah ini.

0	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	1	1	1	1	0					

Berikut ini hasil dari simulator yang dijalankan dengan fungsi transisi di tabel 3.

Langkah pertama (q0, 0, X, R, q1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	0	1	1	1	1	0					

Langkah kedua (q1, 0, 0, R, q1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	0	1	1	1	1	0					

Langkah ketiga (q1, 1, Y, L, q3)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	0	Y	1	1	1	0					

Langkah keempat (q3, 0, 0, L, q3)

0	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	0	Y	1	1	1	0					

Langkah kelima (q3, X, X, R, q0)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	0	Y	1	1	1	0					

Langkah keenam (q0, 0, X, R, q1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	1	1	1	0					

Langkah ketujuh (q1, Y, Y, R, q1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	1	1	1	0					

Langkah kedelapan (q1, 1, Y, L, q3)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	Y	1	1	0					

Langkah kesembilan (q_3, Y, Y, L, q_3)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	Y	1	1	0					

Langkah kesepuluh (q_3, X, X, R, q_0)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	Y	1	1	0					

Langkah kesebelas (q_0, Y, Y, R, q_0)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	Y	1	1	0					

Langkah kedua belas ($q_0, 1, X, R, q_2$)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	Y	1	1	0					

Langkah ketiga belas ($q_2, 1, 1, R, q_2$)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	Y	X	1	0					

Langkah keempat belas ($q_2, 0, Y, L, q_3$)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	Y	X	1	0					

Langkah kelima belas ($q_3, 1, 1, L, q_3$)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	Y	X	1	Y					

Langkah keenambelas (q_3, X, X, R, q_0)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	Y	X	1	Y					

Langkah ketujuh belas ($q_0, 1, X, R, q_2$)

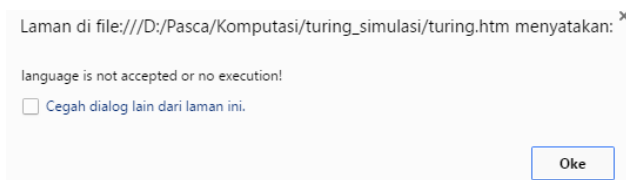
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	Y	X	1	Y					

Langkah kedelapan belas (q_2, Y, Y, R, q_2)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	Y	X	X	Y					

Langkah kesembilan belas loop

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	Y	Y	X	X	Y					



Dari notifikasi tersebut bahwa bahasa L dengan diberi inputan string "0011110" tidak diterima atau tidak dikenali.

IV KESIMPULAN

Berdasarkan pada perancangan dan hasil uji coba perilaku bahasa L dengan transisi yang telah ditetapkan dapat ditarik kesimpulan bahwa aplikasi simulator pada mesin turing berpita tunggal dapat digunakan dengan baik sesuai harapan mensimulasikan sifat dan perilaku dari sebuah mesin turing.

REFERENCES

- [1] Hopcroft John E, Motwani Rajeev, Ullman Jeffrey D, *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*, 2nd ed., Addison-wesley, 2001, pp. 317-325.
- [2] Munir Rinaldi, *Diktat Kuliah IF5110 – Mesin Turing (Bagian 1)*. Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Elektro dan Informatika, ITB, 2015.

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, 21 Desember 2015

X 

Nuludin Saepudin NIM 23515063