

# 9

## ANALISIS RANGKAIAN BERURUT

Seperti telah disebutkan dalam bab sebelumnya, selain oleh sinyal-sinyal masukan, keluaran rangkaian berurut (sequential) pada suatu saat juga ditentukan oleh keadaan keluarannya pada saat sebelumnya. Kalau tabel kebenaran rangkaian kombinasi terdiri atas kombinasi masukan dan keluaran saja, maka tabel kebenaran rangkaian berurut tersusun atas masukan, keadaan-sekarang, dan keadaan-berikutnya. Karena tabel kebenaran rangkaian berurut lebih bertitik berat pada keadaan maka tabel kebenaran itu disebut Tabel Keadaan (State Table). Dalam pembahasan keadaan rangkaian berurut harus dibedakan antara keadaan rangkaian secara keseluruhan dan keadaan elemen-elemen pengingat dalam rangkaian itu. Keadaan masing-masing elemen pengingat dalam rangkaian berurut adalah keluaran elemen bersangkutan dan disebut "*keadaan internal*" sedangkan *keadaan rangkaian* secara keseluruhan merupakan gabungan dari pada keadaan semua elemen pengingatnya (keadaan internal). Keluaran rangkaian berurut pada umumnya merupakan kombinasi dari pada keadaan internal yang diperoleh melalui rangkaian kombinasi.

Dipandang dari pengaruh masukan luar terhadap keluarannya, rangkaian berurut dibedakan atas 2 macam, yaitu:

- rangkaian (mesin) *Mealy* dan
- rangkaian (mesin) *Moore*.

Dalam rangkaian *Moore* keluaran hanya tergantung atas keadaan internal, tanpa dipengaruhi secara langsung oleh masukan luar. Dalam hal ini, masukan luar hanya mempengaruhi keluaran melalui perubahan keadaan internal, tanpa hubungan yang eksplisit. Dalam rangkaian *Mealy*, keluaran merupakan kombinasi dari keadaan internal dan masukan luar secara eksplisit, artinya keluaran merupakan fungsi dari masukan luar secara eksplisit.

Kedua macam rangkaian ini membutuhkan analisis yang sedikit berbeda. Analisis rangkaian berurut merupakan analisis perubahan keadaan dan keluaran rangkaian terhadap semua perubahan masukan. Analisis ini dapat dilakukan melalui penjejukan perubahan sinyal keadaan dan keluaran dalam diagram waktu dan dapat pula melalui penjejukan perubahan keadaan dan keluaran dalam tabel keadaan (state table, transition table) atau diagram keadaan (state graph). Analisis dengan diagram waktu hanyalah sesuai untuk rangkaian kecil-kecil saja sedangkan untuk rangkaian yang besar lebih mudah bila menggunakan tabel

keadaan atau diagram keadaan. Metoda diagram waktu dapat dilakukan seperti penjejakan sinyal flip-flop dalam Bab 6, dan tidak akan dibicarakan lebih lanjut. Dalam bab ini akan dibahas hal-hal yang berhubungan dengan metoda analisis menggunakan tabel dan diagram keadaan.

### 9.1 Persamaan masukan flip-flop

Pada umumnya, flip-flop dalam rangkaian berurut dihubungkan satu sama lain melalui gerbang-gerbang yang membentuk rangkaian kombinasi. Begitu juga masukan dari luar dan keluaran dari rangkaian berurut dihubungkan melalui rangkaian kombinasi. Bagian rangkaian kombinasi yang menghubungkan keluaran rangkaian berurut dengan rangkaian luar disebut bagian keluaran rangkaian berurut. Bagian rangkaian dari mana setiap flip-flop memperoleh masukannya disebut sebagai rangkaian masukan flip-flop yang bersangkutan. Persamaan Boole yang menggambarkan bagian rangkaian ini disebut persamaan masukan flip-flop yang bersangkutan. Untuk setiap flip-flop JK dan RS ada dua persamaan masukan, persamaan untuk J dan K, dan persamaan R dan S, sedangkan untuk setiap flip-flop T dan D hanya ada satu persamaan masukan, yaitu persamaan T dan D.

Persamaan masukan dapat segera diperoleh dari diagram rangkaian yang akan dianalisis. Sebagai contoh, perhatikanlah rangkaian berurut yang ditunjukkan pada Gambar 9.1(a). Rangkaian ini dapat diubah penggambarannya menjadi seperti pada Gambar 9.1(b) untuk memudahkan penjejakan sinyalnya. Perhatikan bahwa terminal penabuh pada gambar tersebut diberi lingkaran kecil untuk menunjukkan bahwa penabuhan terjadi oleh pulsa negatif, yaitu pada saat terjadinya perubahan penabuh dari aras tegangan positif ke nol (perubahan dari logika 1 ke 0). Ini berarti bahwa keadaan masing-masing flip-flop hanya berubah pada saat perubahan negatif pulsa penabuh.

Untuk flip-flop RS yang ditunjukkan pada Gambar 9.1 di atas, persamaan masukan dan keluarannya dapat diperoleh sebagai berikut:

Flip-flop A:

$$S_A = \bar{B} x$$

$$R_A = B \bar{x}$$

Flip-flop B:

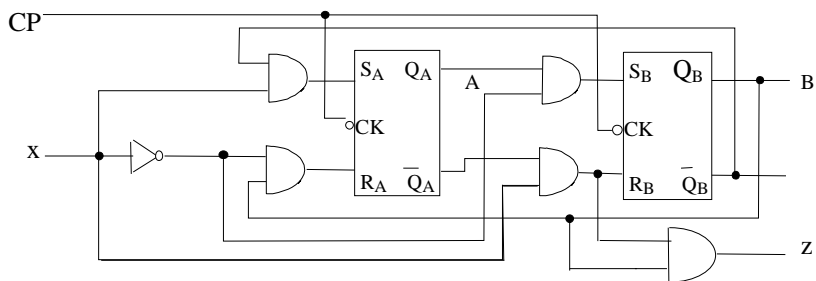
$$S_B = A \bar{x}$$

$$R_B = \bar{A} x$$

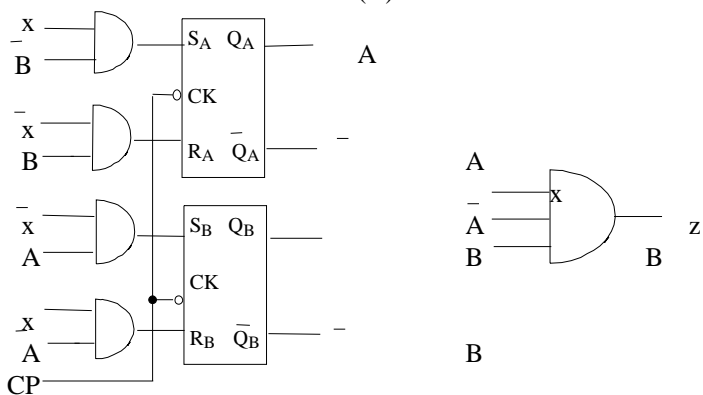
Keluaran:

$$z = \bar{A} B x$$

Dapat dilihat dari persamaan keluaran di atas bahwa rangkaian ini adalah rangkaian Mealy. Dengan diperolehnya persamaan masukan semua flip-flopnya, maka perilaku (behaviour) rangkaian, yaitu perubahan keadaan dan keluarannya untuk setiap masukan, sudah dapat dianalisis.



(a)



(b)

Gambar 9.1. Rangkaian berurut contoh

**9.2 Persamaan Keadaan**

Kalau persamaan karakteristik suatu flip-flop menerangkan *keadaan-berikut* sebagai fungsi dari pada *keadaan-sekarang* dan masukan flip-flop bersangkutan, maka persamaan keadaan flip-flop dalam rangkaian menerangkan *keadaan-berikut* dari suatu flip-flop sebagai fungsi *keadaan-sekarang* dan masukan luar rangkaian.

Persamaan keadaan ini dapat diturunkan dari persamaan karakteristik masing-masing flip-flop (lihat Tabel 6.1 di akhir bab 6). Untuk rangkaian yang menggunakan flip-flop RS seperti pada Gambar 9.1, digunakan persamaan

karakteristik:

$$Q^+ = S + \bar{R} Q$$

sehingga untuk persamaan masukan yang telah dirumuskan di depan dapat diperoleh persamaan keadaan masing-masing flip-flop sebagai berikut:

**Flip-flop A:**

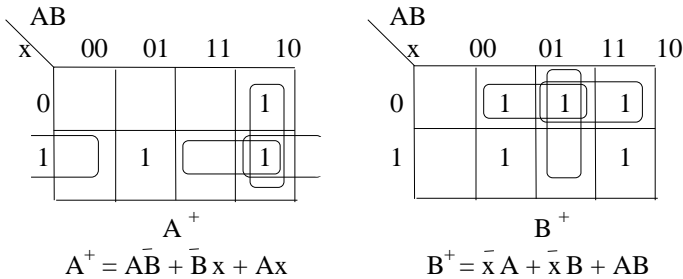
$$\begin{aligned} A^+ &= \bar{B}x + \overline{B\bar{x}} A = \bar{B}x + \bar{A}\bar{B} + \bar{A}x \\ &= (A + \bar{B})x + \bar{A}\bar{B} \end{aligned}$$

**Flip-flop B:**

$$\begin{aligned} B^+ &= A\bar{x} + \overline{\bar{A}x} B = A\bar{x} + AB + B\bar{x} \\ &= (A + B)\bar{x} + AB \end{aligned}$$

Dalam beberapa kasus, persamaan keadaan ini masih dapat disederhanakan. Untuk persamaan keadaan di atas, misalnya, dapat dipetakan dalam peta Karnaugh seperti pada Gambar 9.2.

Dengan menggunakan persamaan keadaan ini dapat ditentukan keadaan-berikut masing-masing flip-flop dalam rangkaian untuk setiap masukan luar.



Gambar 9.2. Peta Karnaugh untuk persamaan keadaan flip-flop Gambar 9.1

### 9.3 Tabel Keadaan

Tabel keadaan menggambarkan keadaan-berikut dan keluaran rangkaian itu untuk setiap kombinasi keadaan-sekarang dan masukan luar. Jadi, tabel keadaan itu terdiri atas tiga bagian: kolom keadaan-sekarang, kolom keadaan-berikut (next state), dan kolom keluaran. Keadaan-sekarang dimaksudkan sebagai gabungan keadaan semua flip-flop dalam rangkaian itu sebelum adanya penabuhan oleh sinyal/pulsa penabuh (clock pulse) dan keadaan-berikut dimaksudkan sebagai keadaan setelah adanya penabuhan. Gabungan keadaan di

sini dimaksudkan hanya sebagai pernyataan secara bersama.

Keluaran yang dicantumkan pada tabel keadaan untuk mesin Mealy adalah keluaran setelah penabuhan sedangkan dalam mesin Moore, keluaran itu adalah keluaran untuk keadaan-sekarang (sebelum penabuhan). Bila keluaran rangkaian diambil secara langsung dari keluaran flip-flop, kolom keluaran dapat dihilangkan dari tabel keadaan.

Bila rangkaian berurut itu mempunyai keadaan awal tertentu, maka tabel keadaannya dimulai dengan keadaan awal itu. Bila rangkaian berurut itu mempunyai lebih dari satu keadaan awal yang mungkin, maka tabel keadaan dapat dimulai dengan memilih salah satu keadaan awal tersebut. Tetapi bila rangkaian berurut itu sama sekali tidak mempunyai keadaan awal tertentu, maka tabel keadaan dapat dimulai dengan sembarang keadaan awal.

Tabel Keadaan suatu rangkaian berurut dapat dibuat dengan menentukan keadaan-berikut dan keluaran untuk setiap kombinasi keadaan-sekarang dengan masukan, berdasarkan persamaan keadaan dan persamaan keluaran.

Untuk rangkaian Gambar 9.1, keadaan-berikut ditentukan dengan menggunakan persamaan keadaan yang telah dirumuskan sebelumnya, yaitu:

$$A^+ = (A + \bar{B})x + A\bar{B}$$

$$B^+ = (A + B)\bar{x} + AB$$

dan keluaran ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$z = \bar{A}Bx$$

Karena dalam rangkaian ini ada 2 flip-flop, maka ada 4 kemungkinan keadaan sekarang dan karena ada hanya 1 masukan maka ada 2 kemungkinan keadaan-masukan sehingga untuk setiap keadaan-sekarang ada 2 kemungkinan keadaan-berikut dan 2 kemungkinan keadaan keluaran.

Perhatikan dari rumus di atas bahwa untuk  $x = 0$ ,  $A^+ = \bar{A}B$ ,  $B^+ = (A+B) + AB = A+B$  dan untuk  $x = 1$ ,  $A^+ = \bar{A}B + AB = A+B$ ,  $B^+ = AB$ . Juga perhatikan bahwa keluaran  $y = ABx$  akan berkeadaan 1 hanya bila  $AB = 01$  dan  $x = 1$ . Kenyataan-kenyataan ini sangat membantu dalam penyusunan tabel keadaan rangkaian.

Kita andaikan bahwa keadaan awal adalah  $AB = 00$ , yaitu  $A = 0$  dan  $B = 0$ . Bila pada keadaan ini diberikan masukan  $x = 0$ , maka dari persamaan keadaan di atas diperoleh keadaan-berikut  $A^+B^+ = 00$ , tidak ada perubahan keadaan. Tetapi bila  $x = 1$ , maka penabuh berikutnya akan membuat rangkaian berkeadaan  $A^+B^+ = 10$ . Keluaran untuk keadaan awal ini,  $z = 0$  baik untuk  $x = 0$  maupun untuk  $x = 1$ .

Bila pada keadaan  $AB = 01$  diberikan masukan  $x = 0$ , keadaan-berikut akan

menjadi  $A^+B^+ = 01$ , dan bila  $x= 1$ , maka keadaan-berikut adalah  $A^+B^+ = 00$  dengan keluaran  $z=1$ . Dengan cara yang sama, keadaan-berikut dan keluaran untuk dua keadaan-sekarang yang lain dapat ditentukan. Ini ditunjukkan dalam tabel keadaan Gambar 9.3. Dari tabel keadaan ini sebenarnya sudah dapat diketahui dengan jelas perilaku rangkaian.

Keadaan Sekarang AB	Keadaan-berikut $A^+B^+$		Keluaran z	
	x = 0	x = 1	x=0	x=1
00	00	10	0	0
01	01	00	0	1
10	11	10	0	0
11	01	11	0	0

Gambar 9.3. Tabel Keadaan rangkaian berurut Gambar 9.1

#### 9.4 Diagram Keadaan

Diagram keadaan (state diagram, state graph) merupakan penampilan tabel keadaan dalam bentuk diagram yang menunjukkan arah dan urutan perubahan keadaan untuk setiap harga masukan. Setiap keadaan digambarkan sebagai satu lingkaran yang melingkari keadaan-sekarang yang ditunjukkan dengan angka biner atau nama yang diberikan bagi keadaan tersebut. Perubahan dari satu keadaan ke keadaan-berikutnya ditunjukkan dengan garis panah yang sekaligus menerangkan urutan perubahan keadaan akibat masukan yang ditunjukkan pada garis panah tersebut.

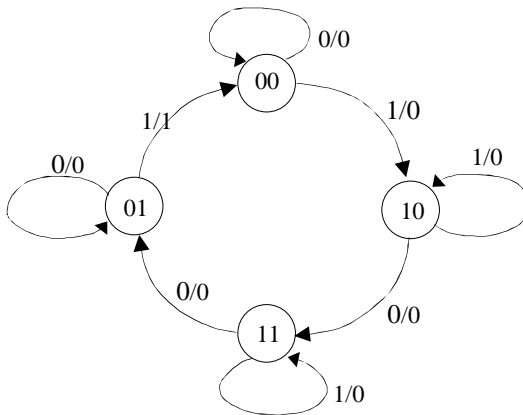
Untuk rangkaian atau mesin Moore, setiap keadaan-sekarang di dalam lingkaran disertai harga (keadaan) keluaran untuk keadaan bersangkutan.

Untuk rangkaian atau mesin Mealy, keadaan keluaran tidak menyertai keadaan-sekarang dalam lingkaran keadaan tetapi keadaan keluaran ditunjukkan bersama masukan yang menyebabkan keluaran itu pada garis panah perubahan keadaan. Sebagaimana telah disebutkan di depan, rangkaian Gambar 9.1 merupakan mesin Mealy dan tabel keadaannya yang ditunjukkan pada Gambar 9.3 dapat digambarkan sebagai diagram keadaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.4. Perhatikan bahwa setiap garis panah diiringi dua biner yang dipisahkan oleh garis miring. Biner yang di kiri garis miring menunjukkan harga masukan yang menyebabkan perubahan keadaan sedangkan yang di kanan garis

miring menunjukkan harga keluaran untuk keadaan-sekarang dan masukan yang bersangkutan.

Perhatikan bahwa urutan perubahan keadaan rangkaian dapat ditelusuri dari diagram keadaan lebih mudah dibandingkan dengan menggunakan tabel keadaan yang mengurutkannya berdasar nomor urutan keadaan.

Bila keluaran dibuat tidak tergantung masukan secara langsung, yaitu dengan menghilangkan masukan  $x$  pada gerbang keluaran pada Gambar 9.1, maka keluaran hanya fungsi daripada  $A$  dan  $B$ , yaitu:  $z = A B$ , dan  $z = 1$  hanya dalam



Gambar 9.4. Diagram Keadaan mesin Mealy.

keadaan  $AB = 01$ . Dalam hal ini, kita akan memperoleh mesin Moore. Tabel keadaan akan sama dengan tabel keadaan mesin Mealy sebelumnya dengan perubahan pada kolom keluaran, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.5(a). Diagram keadaan mesin Moore ini ditunjukkan pada Gambar 9.5(b).

Perhatikan bahwa pada mesin Moore, keadaan-sekarang dalam lingkaran (yang di nyatakan dengan kode-kode biner di atas garis) disertai oleh keluaran untuk keadaan bersangkutan (di bawah garis datar) dan garis panah perubahan keadaan hanya disertai keadaan masukan, tanpa keluaran. Dalam diagram keadaan, baik mesin Moore maupun mesin Mealy, harga keadaan-sekarang dalam lingkaran sering dinyatakan hanya dengan nama yang dipilih, misalnya  $S_1, S_2, \dots$  dan seterusnya.

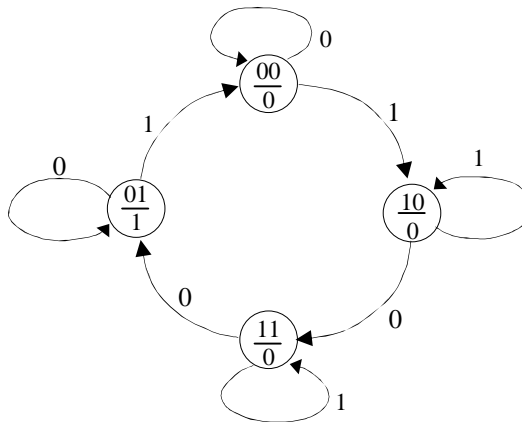
Dengan selesainya tabel keadaan dan/atau diagram keadaan, maka penjejukan perubahan keadaan rangkaian berurut sudah mudah dilakukan.

Dari apa yang telah diuraikan dalam bab ini, dapat dirangkum bahwa analisis rangkaian berurut dengan metoda tabel keadaan dilakukan sebagai berikut:

1. Dari diagram rangkaian yang dihadapi, rumuskan persamaan masukan masing-masing flip-flop dan persamaan keluaran rangkaian.
2. Dengan menggunakan persamaan karakteristik flip-flop yang digunakan dalam rangkaian, tentukan persamaan keadaan rangkaian.

Keadaan Sekarang AB	Keadaan-berikut $A^+B^+$		Keluaran z
	x = 0	x = 1	
00	00	10	0
01	01	00	1
10	11	10	0
11	01	11	0

(a)



(b)

Gambar 9.5. Diagram keadaan mesin Moore.



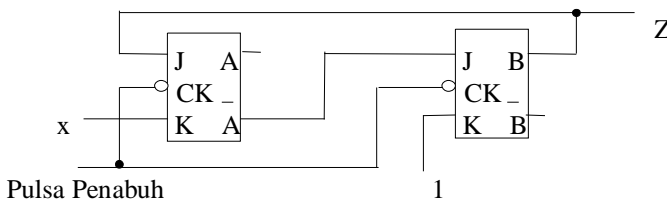
3. Dengan menggunakan persamaan keadaan yang telah diperoleh, tentukan keadaan-berikut masing-masing flip-flop untuk setiap kemungkinan keadaan masukan, dan susun tabel keadaan rangkaian yang juga mengandung keadaan keluaran untuk masukan yang bersangkutan.
4. Gambarkan diagram keadaan berdasarkan tabel keadaan.
5. Uji diagram dan tabel keadaan itu dengan mencoba sederetan masukan yang mungkin.

**9.5 Soal Latihan**

1. Gambarkanlah diagram waktu yang keadaan flip-flop A, B, dan keluaran Z pada mesin Mealy yang ditunjukkan oleh Gambar 9.4 di depan jika keadannya awal adalah  $AB = 00$  dan sinyal masukan x berubah menurut urutan:

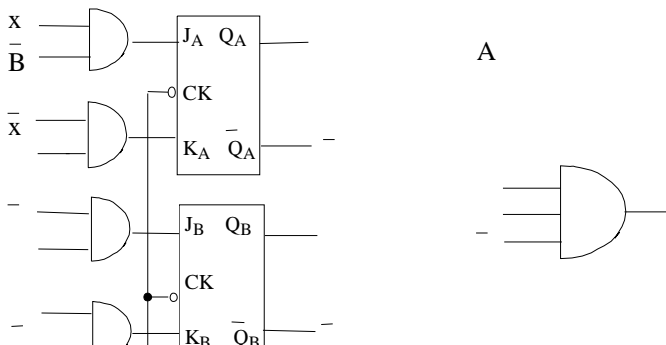
$x = 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0.$

2. Analisislah rangkaian berikut untuk mengetahui apa fungsi yang dilakukannya.



Gambar S9.1. Rangkaian Soal no. 2

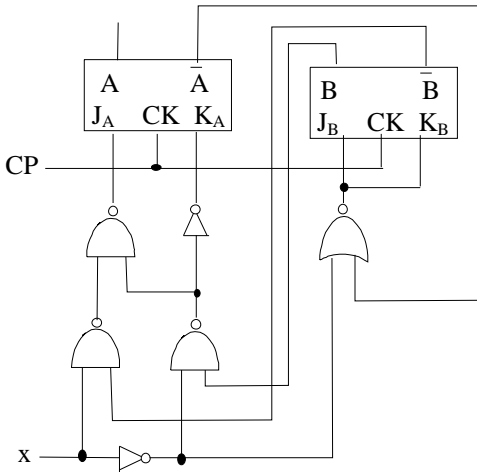
3. Tentukanlah persamaan keadaan-berikut dan persamaan keluaran rangkaian berikut ini, dan susun tabel keadaannya.



B		A	
x		x	
A		A	z
		B	B
x			
A	B		
CP			

Gambar S9.2. Rangkaian untuk soal no. 3.

4. Buatlah tabel keadaan dan diagram keadaan rangkaian berikut ini.



Gambar S9.3. Rangkaian Soal no. 4