

PENGGUNAAN OPERASI ALJABAR BOOLEAN DALAM DESAIN KONTROL GERBANG LINTAS KERETA API

Didi Suhaedi

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Bandung
Jalan Tamansari 1 Bandung, 40116, Indonesia

e-mail: dsuhaedi@hotmail.com

Abstrak. Transportasi mencakup bidang yang luas. Hampir seluruh kehidupan manusia tidak terlepas dari keperluannya akan transportasi. Transportasi tumbuh dan berkembang sejalan dengan majunya tingkat budaya dan kehidupan manusia. Kehidupan masyarakat yang maju ditandai oleh tingkat mobilitasnya yang tinggi. Manusia tidak lagi bepergian hanya untuk bekerja, akan tetapi juga dia mengadakan perjalanan untuk rekreasi atau untuk suatu keperluan masalah keluarga. Berdasarkan sifat jasa, operasi dan biaya, alat transportasi dibedakan dalam lima kelompok, yaitu : transportasi kereta api, transportasi motor dan jalan raya, transportasi laut, transportasi udara dan transportasi pipa. Peningkatan mobilitas masyarakat memerlukan adanya sarana transportasi yang aman, nyaman, dan memadai. Satu diantaranya adalah dengan tersedianya lintasan/jalan yang memadai. Namun pada transportasi di darat, terkadang dijumpai terdapat lintasan rel kereta api yang dibangun bersilangan dengan jalan raya atau jalan pejalan kaki. Guna menciptakan situasi yang aman di area tersebut maka harus dibangun suatu gerbang lintas kereta api, sebagai suatu alat untuk memberikan kesempatan kereta melaju lebih dahulu, dan untuk sementara waktu arus kendaraan di jalan raya dihentikan. Hal ini tentu saja bertujuan untuk menghindari terjadinya kecelakaan, akibat tabrakan antara kendaraan di jalan raya atau pejalan kaki dengan kereta api. Nah, pada makalah ini akan dicoba dibahas penggunaan operasi aljabar boolean dalam desain kontrol gerbang lintas kereta api.

Kata kunci : transportasi kereta api, gerbang lintas kereta api, operasi aljabar boolean

1. Pendahuluan

Manusia sudah lama mengenal transportasi. Kemajuan transportasi berkaitan erat dengan perkembangan kebudayaan manusia. Keinginan manusia untuk bepergian ke daerah yang lebih jauh guna mencari bahan pangan yang lebih baik telah mendorong terciptanya berbagai alat yang telah dipakai untuk tujuan tersebut. Pada abad ke 5 dan ke 6 SM telah digunakan perahu yang diduga sebagai penemuan alat angkutan yang pertama.

Roda yang kemudian diciptakan merupakan suatu penemuan penting yang mendorong pertumbuhan transportasi di daratan. Beberapa lintasan alam sudah dilalui yang berfungsi sebagai jalanan. Pada masa Kerajaan Romawi jaringan jalan dibangun bukan saja di Italia, tetapi juga diberbagai daerah di Eropa, Asia Kecil, dan negeri-negeri di Afrika Utara. Kereta perang para panglima Romawi dilengkapi dengan sistem komudi yang baik. Alat kemudi ini memberi sumbangan yang besar bagi pembuatan kendaraan yang lebih sempurna di kemudian hari.

Pelayaran yang ramai antara daerah-daerah di Asia Timur dan Mediterania sudah terjadi pada abad ke 2 SM. Kapal-kapal bangsa Babilonia, Tunisia, Mesir, Yunani dan Cina berlayar menghubungkan daerah-daerah tersebut. Kapal-kapal itu dibangun dengan bahan-bahan yang tahan ombak. Teknik pembuatan kapal kemudian dikembangkan oleh bangsa Romawi. Armada pelayarannya mengangkut barang-barang dagangan secara teratur di Lembah Sungai Nil ke pelabuhan kota Roma.

Revolusi industri yang terjadi pada abad 19, telah membuka jalan bagi dimulainya mekanisasi alat transportasi. Kendaraan bermotor telah menggantikan kereta kuda. Kapal uap dan kapal motor mengambil alih peranan kapal layar. Kereta api beroperasi sebagai salah satu jenis angkutan yang baru.

Angkutan kereta api adalah jenis angkutan yang bergerak di atas rel. Kereta api yang diciptakan pada masa revolusi industri, merupakan alat angkutan berkapasitas daya angkut dengan jumlah yang besar dan dipergunakan untuk menenpuh perjalanan jarak jauh. Dalam memberikan pelayanannya kereta api dapat terdiri dari ratusan gerbong atau kereta penumpang yang ditarik oleh beberapa lokomotif yang bisa mengangkut ribuan ton barang atau ratusan penumpang.

Tingkat mobilisasi manusia semakin lama semakin meningkat. Seiring peningkatan mobilisasi tersebut, tentu saja diperlukan sarana transportasi yang aman, nyaman, dan memadai. Namun terkadang terdapat lintasan rel kereta api yang dibangun bersilangan dengan jalan raya atau jalan pejalan kaki. Guna menciptakan situasi yang aman di area tersebut maka harus dibangun suatu gerbang lintas kereta api, sebagai suatu alat untuk memberikan kesempatan lebih dahulu kereta api melaju, dan untuk sementara waktu arus kendaraan di jalan raya dihentikan. Hal ini tentu saja bertujuan untuk menghindari terjadinya kecelakaan, akibat tabrakan antara kendaraan di jalan raya atau pejalan kaki dengan kereta api.

2. Transportasi Kereta Api

Sifat jasa, operasi dan biaya membedakan alat transportasi dalam lima kelompok, sebagai berikut : transportasi kereta api (*railroad/railway*), transportasi motor dan jalan raya, transportasi laut, transportasi udara dan transportasi pipa (*pipeline*).

Dalam masa revolusi industri terjadi peningkatan volume transportasi yang memerlukan jenis alat transportasi yang mampu melayani pengangkutan barang dengan jumlah besar, yang dilakukan oleh alat pengangkut barang yang bergerak di atas rel yang terbuat dari kayu. Jenis transportasi inilah sebagai awal dari pengembangan transportasi kereta api. Penemuan mesin uap menjadi pendorong bagi pembuatan lokomotif. Steverson dikenal sebagai penemu lokomotif uap dan pendiri usaha kereta api yang pertama.

Dengan kemajuan teknologi, kemampuan lokomotif terus meningkat. Lokomotif diesel dan lokomotif listrik dioperasikan menggantikan lokomotif uap. Disamping lokomotif, juga terus disempurnakan teknologi pembangunan jembatan kereta api, terowongan, sinyal, stasion dan gerbong barang serta kereta penumpang. Kereta api mampu memberikan pelayanan angkutan yang besar yang diperlukan masyarakat untuk melayani daerah yang luas. Transportasi untuk jarak jauh dan jumlah muatan yang besar merupakan ciri dari pelayanan kereta api.

Salah satu peralatan basis angkutan kereta api yang utama adalah jaringan jalan kereta api yang terdiri antara lain dari rel. Struktur dan mutu bahan rel itu harus sesuai dengan berat dan cepat kereta api yang melintas di atasnya. Semula lokomotif adalah bagian terberat dari rangkaian kereta api yang beroperasi. Tetapi dengan perkembangan teknologi, kereta penumpang dan gerbong barang seringkali sudah merupakan bagian yang terberat yang harus diperhatikan pada pembangunan jalan kereta api yang baru dan dalam perawatan jalan kereta api yang sudah ada.

Karena watak perjalanannya dan teknologinya, maka untuk transportasi kereta api harus tersedia jalan khusus berupa rel. Rel ini dibangun khusus dan hanya dipergunakan oleh kereta api. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa rel adalah jalan *bebas* hambatan. Bahkan pada sejumlah tempat perpotongan dengan jalan raya, jalan kereta api diistimewakan, jalan raya ditutup dan kereta api memperoleh prioritas lewat lebih dahulu.

3. Aljabar Boolean dan Gerbang Logika

Aljabar Boolean dapat didefinisikan secara abstrak dalam beberapa cara, dan berikut adalah salah satu definisinya.

Definisi 1.

Aljabar Boolean adalah sistem aljabar yang berisi himpunan B dengan operasi $+$ dan \cdot yang didefinisikan pada himpunan, sehingga $\forall a, b, c \in B$ memenuhi aksioma-aksioma berikut :

1. Bersifat tertutup terhadap operasi $+$ dan \cdot .

$$A_1 : a + b \in B$$

$$M_1 : a \cdot b \in B$$

2. Bersifat assosiatif terhadap operasi $+$ dan \cdot .

$$A_2 : a + (b + c) = (a + b) + c$$

$$M_2 : a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$$

3. Memiliki unsur identitas terhadap operasi $+$ dan \cdot .

$$A_3 : \forall a \in B \exists 0 \in B \ni a + 0 = 0 + a = a$$

$$M_3 : \forall a \in B \exists 1 \in B \ni a \cdot 1 = 1 \cdot a = a$$

4. Bersifat komutatif terhadap operasi $+$ dan \cdot .

$$A_4 : a + b = b + a$$

$$M_4 : a \cdot b = b \cdot a$$

5. Operasi $+$ distributif terhadap operasi \cdot .

$$D_1 : a \cdot (b + c) = (a \cdot b) + (a \cdot c)$$

$$D_2 : (a + b) \cdot c = (a \cdot c) + (b \cdot c)$$

6. Operasi \cdot distributif terhadap operasi $+$.

$$D_3 : a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$$

$$D_4 : (a \cdot b) + c = (a + c) \cdot (b + c)$$

7. Setiap elemen a memiliki komplemen \bar{a}

$$C_1 : \forall a \in B \exists \bar{a} \in B \ni a + \bar{a} = 1 \text{ dan } a \cdot \bar{a} = 0$$

Salah satu bagian yang penting dalam aljabar boolean adalah prinsip dualitas. Dual dari suatu pernyataan dalam aljabar boolean adalah suatu pernyataan yang diperoleh dengan menukar tanda “+” dengan “ \cdot ”, elemen 1 dengan 0 dan sebaliknya. Berikut adalah beberapa teorema yang terkait dengan prinsip dualitas.

Teorema 1

Misalkan B adalah aljabar boolean, maka berlaku $\forall a \in B$ maka $a+a = a$ dan $a \cdot a = a$.

Teorema 2

Misalkan B adalah aljabar boolean, maka berlaku $\forall a \in B$ maka $a+1 = 1$ dan $a \cdot 0 = 0$.

Teorema 3

Misalkan B adalah aljabar boolean, maka berlaku $\forall a \in B$ maka $a + a \cdot b = a$ dan $a \cdot (a + b) = a$.

Teorema 4

Misalkan B adalah aljabar boolean, maka berlaku $\forall a \in B$ maka hanya ada satu dan hanya satu elemen \bar{a} yang memenuhi $a + \bar{a} = 1$ dan $a \cdot \bar{a} = 0$.

Teorema 5

Misalkan B adalah aljabar boolean, maka berlaku $\forall a, b \in B$ maka berlaku $\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$ dan $\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$

Aljabar boolean mempunyai aplikasi yang luas dalam bidang keteknikan, satu diantaranya adalah dalam sirkuit elektronik. Sirkuit menerima masukan dan keluaran berupa pulsa-pulsa listrik yang dapat dipandang sebagai 0 dan 1. Aljabar boolean digunakan untuk memodelkan sirkuit elektronik. Elemen dasar dari sirkuit adalah gerbang (*gate*). Sirkuit elektronik dimodelkan dengan sejumlah gerbang logika (*logic gate*). Setiap gerbang mengimplementasikan sebuah operasi boolean. Ada tiga macam gerbang dasar yaitu : *NOT*, *AND*, dan *OR*. Sirkuit yang dibentuk oleh kombinasi beberapa gerbang logika disebut sirkuit logika. Berikut adalah penjelasan untuk ketiga gerbang tersebut.

Gerbang NOT

Sebuah gerbang *NOT* adalah gerbang dengan satu sinyal input dan satu sinyal output, dan keadaan outputnya selalu merupakan kebalikan dari keadaan inputnya, sehingga outputnya sering dinamakan sebagai komplemen dari inputnya. Dalam aljabar boolean gerbang NOT dapat dinyatakan dalam persamaan boolean (yang variabelnya bernilai 0 atau 1) yaitu :

$$y = NOT\ a \quad \text{atau} \quad y = \bar{a}$$

Jika a bernilai 0 maka $y = NOT\ 0 = 1$ atau $y = \bar{a} = \bar{0} = 1$, dan jika a bernilai 1 maka $y = NOT\ 1 = 0$ atau $y = \bar{a} = \bar{1} = 0$. Berikut tabel kebenaran untuk gerbang *NOT* :

a	y
0	1
1	0

Gerbang AND

Gerbang *AND* mempunyai dua atau lebih input tetapi hanya satu output. Untuk mendapatkan output yang bernilai 1 maka semua inputnya harus bernilai 1, selainnya outputnya akan 0. Dalam aljabar boolean gerbang *AND* dapat dinyatakan dalam persamaan boolean sebagai berikut :

$$y = a \text{ AND } b \text{ atau } y = a \cdot b \text{ atau } y = a b$$

Berikut tabel kebenaran untuk gerbang *AND* :

Gerbang <i>AND</i> dua input		
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>y</i>
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Gerbang *OR*

Gerbang *OR* mempunyai dua atau lebih sinyal input tetapi hanya satu sinyal output, jika terdapat nilai input 1 maka output yang dihasilkan adalah 1. Dalam aljabar boolean gerbang *OR* dapat dinyatakan dalam persamaan boolean sebagai berikut :

$$y = a \text{ OR } b \text{ atau } y = a + b$$

Berikut tabel kebenaran untuk gerbang *OR* :

Gerbang <i>OR</i> dua input		
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>y</i>
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

4. Pembahasan

Sebagai ilustrasi pembahasan disain kontrol gerbang lintas kereta api, akan dimisalkan terdapat tiga buah input dan dua buah sensor yang berfungsi untuk membuka dan menutup gerbang, serta *timer* sebagai penunjuk waktu yang akan menunjukkan kondisi *on* pada saat gerbang *descending* untuk posisi gerbang tertutup, atau gerbang *ascending* untuk posisi gerbang terbuka.

Saat suatu kereta memasuki area gerbang, maka sensor U_1 mulai bekerja untuk menutup gerbang dan juga *timer* U_3 mulai bekerja hingga gerbang benar-benar dalam posisi tertutup. Gerbang tetap tertutup hingga kereta tersebut meninggalkan area gerbang dan pada saat yang bersesuaian sensor gerbang U_2 mulai bekerja untuk membuka gerbang dan *timer* mulai bekerja untuk proses membuka gerbang. Jika terdapat kereta lain yang memasuki area gerbang pada posisi gerbang sedang terbuka, maka dengan segera gerbang akan tertutup.

Fundamental sistem kerjanya ditunjukkan melalui gambar 1. Desain sistem tersebut terdiri atas empat *state* (keadaan), yaitu : S_1 (gerbang di atas), S_2 (gerbang di bawah), S_3 (gerbang menuju bawah), dan S_4 (gerbang menuju atas). Transisi antar *state-state* tersebut akan diatur

oleh sensor input U_1 , U_2 , dan U_3 . Sensor U_1 bernilai *true for close*, sensor U_2 bernilai *true for open*, dan sensor U_3 bernilai *true for timer on and false for timer of*.

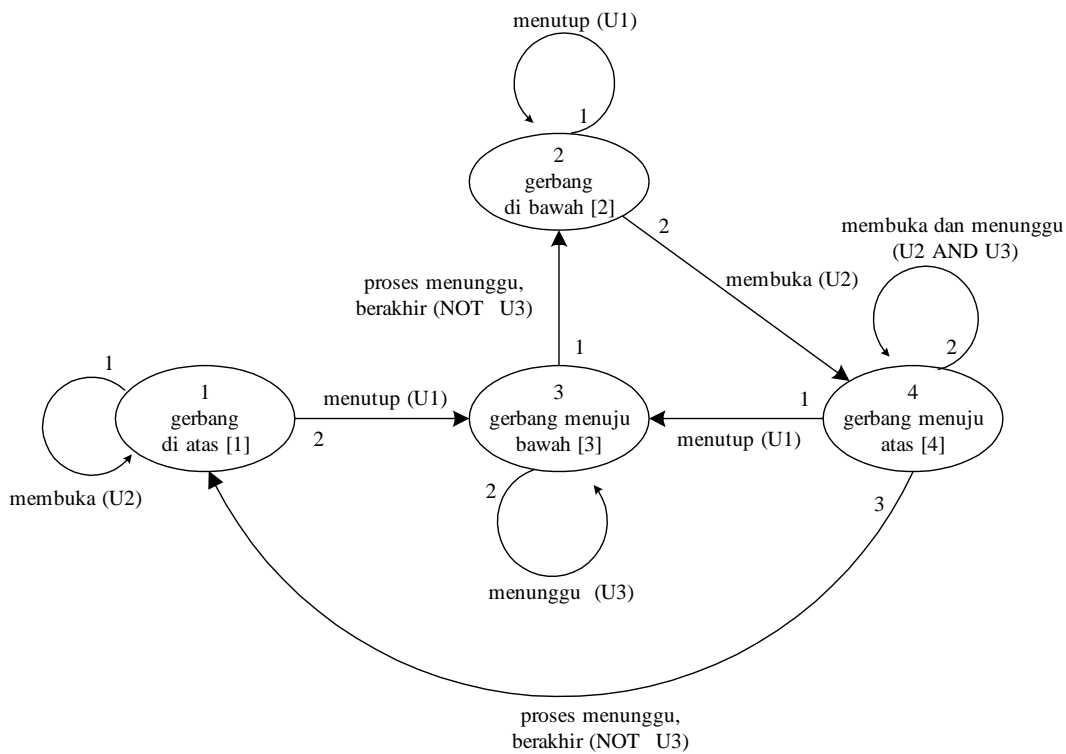
Terhadap disain sistem tersebut, dilakukan spesifikasi dan verifikasi dua sifat, yaitu *safety* dan *functionality*.

Sifat *safety*: gerbang sedang tertutup atau gerbang tertutup dan kereta berada disekitar area gerbang

$$(NOT U_1 AND (S_1 OR S_4)) OR (U_1 AND U_3 AND S_3) OR (U_1 AND NOT U_3 AND S_2)$$

Sifat *functionality*: gerbang terbuka saat kereta tidak berada disekitar area gerbang

$$(NOT U_2 AND (S_2 OR S_3)) OR (U_2 AND (S_1 OR S_4))$$



Gambar 1. Diagram transisi *state* pada desain kontrol gerbang lintas kereta api

Berikut disajikan tabel untuk sistem tersebut, dengan input sensor U_1 , U_2 , U_3 bernilai benar yang dinyakan dengan angka 1 dan *state* yang sedang aktif juga dinyatakan dengan angka 1.

Frame	Input			state			
	U ₁	U ₂	U ₃	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
T ₀	0	1	0	1	0	0	0
T ₁	1	0	1	0	0	1	0
T ₂	1	0	1	0	0	1	0
T ₃	1	0	0	0	1	0	0
T ₄	1	0	0	0	1	0	0
T ₅	0	1	1	0	0	0	1
T ₆	0	1	1	0	0	0	1
T ₇	0	1	0	1	0	0	0
T ₈	0	1	0	1	0	0	0
T ₉	1	0	1	0	0	1	0
T ₁₀	1	0	1	0	0	1	0
T ₁₁	1	0	0	0	1	0	0
T ₁₂	1	0	0	0	1	0	0
T ₁₃	0	1	1	0	0	0	1
T ₁₄	1	0	1	0	0	1	0
T ₁₅	1	0	1	0	0	1	0
T ₁₆	1	0	0	0	1	0	0
T ₁₇	1	0	0	0	1	0	0
T ₁₈	0	1	1	0	0	0	1
T ₁₉	0	1	1	0	0	0	1
T ₂₀	0	1	0	1	0	0	0

5. Penutup

Kereta api merupakan alat transportasi dengan daya angkut besar dan melayani perjalanan dengan jarak tempuh relatif jauh. Jalan kereta api merupakan jalan khusus berupa rel, yang dibangun khusus hanya dipergunakan oleh kereta api, sehingga dapat dikatakan bahwa rel adalah jalan *bebas* hambatan. Bahkan pada sejumlah tempat perpotongan dengan jalan raya, jalan kereta api diistimewakan, jalan raya ditutup untuk sementara waktu dan kereta api memperoleh prioritas lewat lebih dahulu. Pengaturannya dapat dilakukan dengan membuat gerbang lintas kereta api, yang bagian desainnya dapat dilakukan dengan menggunakan operasi-operasi aljabar boolean.

Daftar Pustaka

- [1]. -----, 1995, *A Practical Method for Design Validation of Critical Software Systems*, www.stsc.hill.af.mil/crosstalk/1995/08/Practica.asp - 26k
- [2]. Doerr A. dan Levasseur K., 1989, *Applied Discrete Structures for Computer Science*, Science Research Associates, Inc., Toronto.
- [3]. Jek Siang, Jong., 2002, *Matematika Diskrit dan Aplikasinya pada Ilmu Komputer*, Andi Offset, Yogyakarta.
- [4]. Munir, Rinaldi, 2001, *Matematika Diskrit*, CV Informatika, Bandung.
- [5]. Lipschutz, S., and Lipson, M.L., 1992, *Discrete Mathematics*, Mc-Graw Hill, New Delhi
- [6]. Malvino, A.P., 1993, *Digital Computer Electronics*, McGraw-Hill International Edition, Singapore
- [7]. Nurhaesih, N., 2004, *Penyederhanaan Rangkaian Logika dengan Menggunakan Metode Quine-McCluskey*, Jurusan Matematika, Universitas Islam Bandung, Bandung
- [8]. Permanasari, Y., 2003, *Sistem Digital*, Jurusan Matematika, Universitas Islam Bandung, Bandung

- [9]. Siregar, M., 1990, *Ekonomi dan Management Pengangkutan*, Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta
- [10]. Rosen, K. H., 2003, *Discrete Mathematics and Its Application*, Mc-Graw Hill, Singapore
- [11]. Warpani, S., 1990, *Merencanakan Sistem Perangkutan*, ITB, Bandung