

BUKU AJAR

MATA KULIAH ARSITEKTUR KOMPUTER

BAB 7

GERBANG LOGIKA DAN RANGKAIAN DIGITAL DASAR

Berbasis Rencana Pembelajaran Semester (RPS)
Arsitektur Komputer IF221101 | 3 SKS | 2026

IDENTITAS BAB

Komponen	Keterangan
Mata Kuliah	Arsitektur Komputer
Kode	IF221101
Bobot	3 SKS
Bab	Bab 7
Judul	Gerbang Logika dan Rangkaian Digital Dasar
Fokus Pembelajaran	Memahami implementasi logika Boolean dalam gerbang dan rangkaian digital dasar
Level Pembelajaran	Pemahaman konsep, analisis tabel kebenaran, penyederhanaan fungsi, dan perancangan rangkaian sederhana

CAPAIAN PEMBELAJARAN BAB

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan hubungan antara logika Boolean dan sistem digital.
2. Mengidentifikasi fungsi gerbang AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR, dan XNOR.
3. Menyusun tabel kebenaran dari sebuah gerbang atau fungsi logika.
4. Mengubah ekspresi Boolean menjadi bentuk rangkaian logika sederhana.
5. Menerapkan hukum Boolean dan hukum De Morgan untuk transformasi fungsi.
6. Menjelaskan konsep gerbang universal.
7. Membedakan rangkaian kombinasional dan rangkaian sekuensial.
8. Menganalisis fungsi dasar rangkaian kombinasional.
9. Membuat rancangan konseptual rangkaian digital sederhana berdasarkan kebutuhan sistem.

PETA KONSEP

ALUR KONSEP BAB 7

Sistem Digital → Sinyal Biner → Aljabar Boolean → Gerbang Dasar → Gerbang Universal → Gerbang Eksklusif → Tabel Kebenaran → Ekspresi Boolean → Penyederhanaan → Rangkaian Kombinasional → Rangkaian Sekuensial → Penerapan dalam Sistem Komputer.

7.1 Pendahuluan

Komputer modern memproses informasi melalui sistem digital yang pada tingkat dasar bekerja dengan dua keadaan logis. Keadaan tersebut dapat direpresentasikan sebagai 0 dan 1. Operasi terhadap keadaan logis tidak hanya dipahami secara matematis melalui aljabar Boolean, tetapi juga dapat diwujudkan secara fisik menggunakan gerbang logika.

Gerbang logika merupakan blok dasar pembangun perangkat digital. Kombinasi berbagai gerbang dapat membentuk fungsi yang lebih kompleks, mulai dari pengambil keputusan sederhana hingga unit aritmetika, register, pengendali, dan komponen lain dalam organisasi komputer.

PERTANYAAN PEMANTIK

Bagaimana ekspresi logika seperti $(A \text{ AND } B) \text{ OR } C$ dapat diwujudkan dalam perangkat keras? Mengapa beberapa gerbang tertentu dapat digunakan untuk membangun fungsi logika lainnya?

7.2 Sistem Digital dan Sinyal Biner

Sistem digital bekerja dengan sejumlah keadaan diskret. Pada sistem biner, dua keadaan tersebut biasanya direpresentasikan sebagai logika 0 dan logika 1. Secara fisik, representasi dapat diwujudkan melalui dua rentang keadaan listrik yang dibedakan oleh rancangan teknologi perangkat keras.

Abstraksi biner memungkinkan rangkaian digital melakukan operasi secara konsisten. Dalam pembahasan logika digital, fokus utama adalah hubungan antara input dan output, bukan detail fisik implementasi transistor.

Representasi Logis	Makna Abstrak
0	False, tidak aktif, kondisi rendah
1	True, aktif, kondisi tinggi

7.3 Gerbang Logika Dasar

Gerbang logika menerima satu atau lebih input dan menghasilkan output berdasarkan aturan tertentu. Gerbang dasar terdiri atas AND, OR, dan NOT.

7.3.1 Gerbang AND

Output AND bernilai 1 hanya jika seluruh input bernilai 1. Secara Boolean dapat ditulis $Y = A \cdot B$ atau $Y = A \text{ AND } B$.

A	B	$Y=A \text{ AND } B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

7.3.2 Gerbang OR

Output OR bernilai 1 apabila minimal satu input bernilai 1. Secara Boolean dapat ditulis $Y = A + B$ atau $Y = A \text{ OR } B$.

A	B	$Y=A \text{ OR } B$
0	0	0

0	1	1
1	0	1
1	1	1

7.3.3 Gerbang NOT

NOT merupakan gerbang dengan satu input yang membalik nilai logika input. Jika A bernilai 0 maka output bernilai 1, dan sebaliknya.

A	Y=NOT A
0	1
1	0

7.4 Gerbang NAND dan NOR

NAND merupakan negasi dari AND, sedangkan NOR merupakan negasi dari OR. Kedua gerbang ini penting karena memiliki sifat universal.

A	B	NAND	NOR
0	0	1	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	0

7.4.1 NAND sebagai Gerbang Universal

Gerbang NAND dapat digunakan untuk membangun fungsi NOT, AND, dan OR. Dengan demikian, rangkaian logika secara konseptual dapat dibangun hanya menggunakan kombinasi gerbang NAND.

7.4.2 NOR sebagai Gerbang Universal

NOR juga dapat digunakan untuk membentuk NOT, OR, dan AND. Sifat universal ini penting dalam studi perancangan rangkaian karena menunjukkan bahwa satu jenis fungsi dasar dapat digunakan untuk merealisasikan fungsi Boolean yang lebih luas.

7.5 Gerbang XOR dan XNOR

XOR menghasilkan 1 apabila input berbeda, sedangkan XNOR menghasilkan 1 apabila input sama. Gerbang ini sering digunakan dalam fungsi pembandingan dan operasi aritmetika tertentu.

A	B	XOR	XNOR
0	0	0	1
0	1	1	0

1	0	1	0
1	1	0	1

Untuk dua input, XOR dapat dinyatakan sebagai $Y = (\text{NOT } A \text{ AND } B) \text{ OR } (A \text{ AND NOT } B)$.

7.6 Tabel Kebenaran sebagai Model Perilaku Rangkaian

Tabel kebenaran menunjukkan hubungan antara seluruh kombinasi input yang mungkin dan output yang dihasilkan. Untuk n input biner terdapat 2^n kombinasi input.

Contoh fungsi $Y = (A \text{ AND } B) \text{ OR } C$.

A	B	C	A AND B	Y
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

KETERKAITAN DENGAN BAB SEBELUMNYA

Konsep tabel kebenaran, aljabar Boolean, hukum De Morgan, dan prinsip pencacahan yang telah dipelajari sebelumnya digunakan kembali untuk menganalisis perilaku rangkaian digital.

7.7 Ekspresi Boolean dan Implementasi Rangkaian

Ekspresi Boolean dapat diterjemahkan menjadi rangkaian dengan memetakan setiap operator menjadi gerbang yang sesuai. Misalnya, fungsi $Y = (A \text{ AND } B) \text{ OR } (\text{NOT } C)$ dapat direalisasikan menggunakan satu gerbang AND, satu gerbang NOT, dan satu gerbang OR.

Proses umum perancangan dapat dilakukan melalui beberapa langkah: memahami kebutuhan, menentukan variabel input dan output, menyusun tabel kebenaran, membentuk ekspresi Boolean, menyederhanakan ekspresi bila diperlukan, dan memetakan ekspresi menjadi gerbang.

7.8 Penyederhanaan Fungsi Boolean

Penyederhanaan bertujuan memperoleh implementasi yang lebih sederhana secara logis. Sebagai contoh:

CONTOH PENYEDERHANAAN

$(A \text{ AND } B) \text{ OR } (A \text{ AND NOT } B) = A \text{ AND } (B \text{ OR NOT } B) = A \text{ AND } 1 = A$.

Fungsi yang semula membutuhkan beberapa operasi dapat direpresentasikan hanya dengan output A. Penyederhanaan konseptual membantu mengurangi kompleksitas rangkaian.

7.9 Hukum De Morgan dalam Perancangan Rangkaian

Hukum De Morgan memberikan dua transformasi penting: $\text{NOT}(A \text{ AND } B) = \text{NOT } A \text{ OR } \text{NOT } B$, serta $\text{NOT}(A \text{ OR } B) = \text{NOT } A \text{ AND } \text{NOT } B$. Transformasi ini memungkinkan suatu fungsi diwujudkan dalam bentuk yang berbeda tetapi ekuivalen.

Dalam perancangan rangkaian, hukum ini berguna ketika implementasi ingin disesuaikan dengan jenis gerbang tertentu, misalnya merealisasikan fungsi menggunakan NAND atau NOR.

7.10 Rangkaian Kombinasional

Rangkaian kombinasional menghasilkan output yang ditentukan oleh kombinasi input saat ini. Rangkaian ini tidak memiliki kebutuhan untuk menyimpan keadaan masa lalu sebagai bagian dari fungsi dasarnya.

Karakteristik	Rangkaian Kombinasional
Output	Bergantung pada input saat ini
Memori keadaan	Tidak menjadi bagian utama fungsi
Contoh fungsi	Penjumlah, pembandingan, pemilih data, pengkodean

7.11 Contoh Rangkaian Kombinasional

7.11.1 Half Adder

Half adder menjumlahkan dua bit input A dan B. Hasilnya terdiri atas Sum dan Carry. Sum dapat dibentuk dengan XOR, sedangkan Carry dibentuk dengan AND.

A	B	Sum	Carry
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Secara Boolean: $\text{Sum} = A \text{ XOR } B$ dan $\text{Carry} = A \text{ AND } B$.

7.11.2 Full Adder

Full adder menjumlahkan tiga input, yaitu A, B, dan carry-in. Output terdiri atas Sum dan carry-out. Full adder merupakan salah satu blok dasar untuk membangun unit aritmetika digital.

Secara konseptual, sebuah full adder dapat dibangun dari kombinasi half adder dan gerbang OR.

7.11.3 Multiplexer

Multiplexer memilih salah satu dari beberapa input untuk diteruskan ke satu output berdasarkan sinyal seleksi. Komponen ini penting untuk pemilihan jalur data.

7.11.4 Decoder

Decoder menerjemahkan kombinasi input menjadi aktivasi salah satu output tertentu. Decoder digunakan dalam berbagai mekanisme seleksi dan pengalamatan.

7.12 Rangkaian Sekuensial: Pengantar

Berbeda dengan rangkaian kombinasional, rangkaian sekuensial mempertimbangkan keadaan sebelumnya. Keadaan tersebut disimpan melalui elemen memori. Konsep ini menjadi dasar bagi flip-flop, register, counter, dan berbagai komponen pengendali.

Aspek	Kombinasional	Sekuensial
Output	Input saat ini	Input saat ini dan keadaan sebelumnya
Memori	Tidak diperlukan sebagai bagian fungsi	Memerlukan elemen penyimpan keadaan
Contoh	Adder, multiplexer	Register, counter, flip-flop

Pembahasan lebih mendalam mengenai elemen memori dan rangkaian sekuensial dapat dikembangkan pada materi organisasi sistem digital berikutnya.

7.13 Penerapan Gerbang Logika dalam Sistem Komputer

Gerbang logika tidak digunakan secara terpisah dalam komputer modern. Gerbang merupakan abstraksi blok dasar yang membentuk unit lebih besar. Unit aritmetika menggunakan operasi logis untuk penjumlahan dan manipulasi bit, jalur kontrol menggunakan kondisi logika, sedangkan mekanisme pemilihan data dapat menggunakan struktur seperti multiplexer.

Komponen Sistem	Peran Konsep Logika
ALU	Operasi aritmetika dan logika
Unit Kontrol	Evaluasi kondisi dan sinyal kendali
Multiplexer	Pemilihan jalur data
Decoder	Seleksi dan pengalamatan
Register	Penyimpanan keadaan melalui elemen sekuensial

7.14 Studi Kasus 1: Sistem Akses Digital

Sebuah sistem memberikan akses jika pengguna memiliki kartu valid A dan PIN benar B, atau pengguna memiliki status administrator C. Fungsi logika dapat ditulis sebagai $Y = (A \text{ AND } B) \text{ OR } C$.

Mahasiswa dapat menyusun tabel kebenaran untuk seluruh kombinasi A, B, dan C, kemudian merancang rangkaian menggunakan satu gerbang AND dan satu gerbang OR.

ANALISIS

Studi kasus ini menunjukkan bagaimana aturan bisnis atau kebijakan akses dapat diterjemahkan menjadi fungsi Boolean dan kemudian diwujudkan dalam model rangkaian digital.

7.15 Studi Kasus 2: Indikator Kesalahan

Misalkan dua sensor menghasilkan sinyal A dan B. Sistem mendeteksi kondisi tidak sama melalui fungsi A XOR B. Jika keduanya sama, XNOR menghasilkan nilai 1.

Konsep ini dapat digunakan sebagai dasar pemahaman terhadap pembandingan bit sederhana.

7.16 Aktivitas Pembelajaran Mahasiswa

Aktivitas 1: Tabel Kebenaran

Buat tabel kebenaran untuk $Y = (A \text{ OR } B) \text{ AND NOT } C$.

Aktivitas 2: Identifikasi Gerbang

Tentukan gerbang yang sesuai untuk fungsi: output aktif hanya jika tepat satu dari dua input bernilai 1.

Aktivitas 3: Penyederhanaan

Sederhanakan $(A \text{ AND } B) \text{ OR } (A \text{ AND NOT } B)$.

Aktivitas 4: Hukum De Morgan

Ubah $\text{NOT}(A \text{ OR } B \text{ OR } C)$ ke bentuk ekuivalen menggunakan hukum De Morgan.

Aktivitas 5: Perancangan

Rancang fungsi logika sederhana untuk sistem alarm berdasarkan tiga kondisi input.

Aktivitas 6: Analisis

Bandingkan fungsi half adder dan full adder berdasarkan input dan outputnya.

7.17 Rangkuman

- Sistem digital menggunakan keadaan diskret yang secara konseptual dapat direpresentasikan sebagai 0 dan 1.
- Gerbang AND, OR, dan NOT merupakan fungsi dasar logika digital.
- NAND dan NOR dikenal sebagai gerbang universal karena dapat digunakan untuk membangun fungsi dasar lainnya.
- XOR mendeteksi perbedaan nilai input, sedangkan XNOR mendeteksi kesamaan nilai.
- Tabel kebenaran menunjukkan hubungan antara kombinasi input dan output.
- Ekspresi Boolean dapat diterjemahkan menjadi susunan gerbang logika.
- Penyederhanaan Boolean dapat mengurangi kompleksitas fungsi.

- Hukum De Morgan mendukung transformasi fungsi dan implementasi menggunakan gerbang tertentu.
- Rangkaian kombinasional bergantung pada input saat ini.
- Rangkaian sekuensial melibatkan keadaan sebelumnya dan elemen penyimpanan.
- Half adder dan full adder merupakan contoh blok dasar rangkaian aritmetika digital.

7.18 Glosarium Bab

Istilah	Pengertian
AND	Gerbang logika yang menghasilkan 1 jika seluruh input bernilai 1.
Decoder	Rangkaian yang menerjemahkan kombinasi input menjadi aktivasi output tertentu.
Gerbang Universal	Gerbang yang secara konseptual dapat digunakan untuk membangun fungsi logika lain, seperti NAND atau NOR.
Half Adder	Rangkaian kombinasional untuk menjumlahkan dua bit.
Full Adder	Rangkaian kombinasional untuk menjumlahkan dua bit dan satu carry-in.
Multiplexer	Rangkaian pemilih satu input dari beberapa input berdasarkan sinyal seleksi.
NAND	Negasi dari operasi AND.
NOR	Negasi dari operasi OR.
Rangkaian Kombinasional	Rangkaian dengan output yang ditentukan oleh kombinasi input saat ini.
Rangkaian Sekuensial	Rangkaian yang output atau perilakunya juga melibatkan keadaan sebelumnya.
XNOR	Gerbang yang menghasilkan 1 ketika input memiliki nilai sama.
XOR	Gerbang yang menghasilkan 1 ketika input memiliki nilai berbeda.

7.19 Soal Latihan

A. Soal Pemahaman

10. Jelaskan hubungan antara aljabar Boolean dan gerbang logika.
11. Buat tabel kebenaran gerbang AND, OR, dan NOT.
12. Apa yang dimaksud dengan gerbang universal?
13. Jelaskan perbedaan XOR dan XNOR.
14. Mengapa tabel kebenaran penting dalam analisis rangkaian?
15. Jelaskan perbedaan rangkaian kombinasional dan sekuensial.
16. Apa fungsi utama half adder?
17. Jelaskan fungsi multiplexer.

18. Jelaskan fungsi decoder.
19. Bagaimana hukum De Morgan digunakan dalam transformasi rangkaian?

B. Soal Perhitungan dan Perancangan

20. Buat tabel kebenaran untuk $Y = (A \text{ AND } B) \text{ OR NOT } C$.
21. Sederhanakan $Y = (A \text{ AND } B) \text{ OR } (A \text{ AND NOT } B)$.
22. Ubah $\text{NOT}(A \text{ AND } B)$ menggunakan hukum De Morgan.
23. Rancang ekspresi Boolean untuk sistem yang aktif jika minimal dua dari tiga input A, B, dan C bernilai 1.
24. Tentukan fungsi Sum dan Carry dari half adder.
25. Buat tabel kebenaran untuk pembandingan dua bit menggunakan XOR dan XNOR.

C. Soal HOTS dan Studi Kasus

26. Rancang sistem alarm dengan tiga sensor yang aktif apabila minimal dua sensor mendeteksi kondisi tertentu. Buat tabel kebenaran dan ekspresi Boolean.
27. Analisis bagaimana fungsi Boolean dapat diimplementasikan hanya menggunakan gerbang NAND.
28. Bandingkan dua implementasi fungsi Boolean: implementasi langsung dan implementasi setelah penyederhanaan. Jelaskan dampaknya terhadap kompleksitas konseptual.
29. Rancang fungsi kontrol akses dengan empat variabel input dan jelaskan setiap skenario yang menghasilkan akses.
30. Jelaskan bagaimana kesalahan desain logika dapat menyebabkan keputusan yang tidak sesuai pada sistem digital.

7.20 Proyek Mini

Judul proyek: Perancang dan Simulator Rangkaian Logika Dasar.

Mahasiswa membuat aplikasi sederhana, simulasi, atau rancangan konseptual yang mampu:

- Menerima minimal dua hingga empat input biner.
- Menerapkan gerbang AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR, dan XNOR.
- Menampilkan tabel kebenaran dari fungsi yang dibangun.
- Menampilkan ekspresi Boolean.
- Menyediakan minimal satu fungsi yang disederhanakan.
- Mengimplementasikan satu studi kasus, misalnya sistem alarm, kontrol akses, atau indikator kesalahan.
- Menyertakan minimal lima skenario pengujian.

OUTPUT YANG DIHARAPKAN

Dokumentasi rancangan, tabel kebenaran, ekspresi Boolean, hasil pengujian, dan analisis hubungan antara kebutuhan sistem dengan fungsi logika yang digunakan.

7.21 Daftar Pustaka

- Mano, M. M., & Ciletti, M. D. Digital Design. Pearson.
- Wakerly, J. F. Digital Design: Principles and Practices. Pearson.
- Harris, D. M., & Harris, S. L. Digital Design and Computer Architecture. Morgan Kaufmann.

- Englander, I., & Wong, W. The Architecture of Computer Hardware, Systems Software, and Networking. John Wiley & Sons.
- Heuring, V. P., & Murdocca, M. J. Principles of Computer Architecture.
- Dokumen Rencana Pembelajaran Semester Mata Kuliah Arsitektur Komputer IF221101, Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur.

CATATAN PENYUSUNAN BAB

Bab ini menghubungkan materi logika Boolean dengan implementasinya dalam sistem digital. Pembahasan dikembangkan dari gerbang dasar hingga rangkaian kombinasional dan pengantar rangkaian sekuensial agar mahasiswa memahami bagaimana aturan logis dapat diterjemahkan menjadi struktur perangkat keras yang mendukung operasi komputer.