

Budi Basuki Subagio
Eko Supriyanto
Abu Hasan



BAHAN, KOMPONEN DAN SALURAN TRANSMISI GELOMBANG MIKRO

BAHAN, KOMPONEN DAN SALURAN TRANSMISI

--Gelombang Mikro--

Oleh:

Budi Basuki Subagio

Eko Supriyanto

Abu Hasan



PENERBIT KBM INDONESIA

adalah penerbit dengan misi memudahkan proses penerbitan buku-buku penulis di tanah air Indonesia, serta menjadi media *sharing* proses penerbitan buku.

BAHAN, KOMPONEN DAN SALURAN TRANSMISI GELOMBANG MIKRO

Copyright @ 2025 Budi Basuki Subagio, dkk.

All right reserved

Penulis

Budi Basuki Subagio
Eko Supriyanto
Abu Hasan

Desain Sampul

Aswan Kreatif

Tata Letak

Ika Puji A

Editor

Dr. Muhamad Husein Maruahey, Drs., M.Sc.
Background isi buku di ambil dari [https://www. freepik. com/](https://www.freepik.com/)

Official

Depok, Sleman-Jogjakarta (Kantor)

Penerbit KBM Indonesia

Anggota IKAPI/No. IKAPI 279/JTI/2021

081357517526 (Tlpn/WA)

Website

[https://penerbitkbm. com](https://penerbitkbm.com)
[www. penerbitbukumurah. com](http://www.penerbitbukumurah.com)

Email

[naskah@penerbitkbm. com](mailto:naskah@penerbitkbm.com)

Distributor

[https://penerbitkbm. com/toko-buku/](https://penerbitkbm.com/toko-buku/)

Youtube

Penerbit KBM Sastrabook

Instagram

@penerbit. kbmindonesia
@penerbitbukujogja

ISBN: 978-634-202-940-4

Cetakan ke-1, November 2025
17,6 x 25 cm, xiv + 170 halaman

Isi buku diluar tanggungjawab penerbit
Hak cipta merek KBM Indonesia sudah terdaftar di DJKI-Kemenkumham dan isi buku
dilindungi undang-undang.

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa seizin penerbit karena beresiko sengketa hukum

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

- i. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
- ii. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- iii. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- iv. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

PENGANTAR

Buku ini membahas secara komprehensif pentingnya memahami bahan, komponen, dan saluran transmisi dalam sistem gelombang mikro. Pada era teknologi modern, gelombang mikro menjadi tulang punggung berbagai aplikasi, mulai dari komunikasi nirkabel, radar, satelit, hingga perangkat medis. Namun, performa sistem gelombang mikro sangat ditentukan oleh kualitas material yang digunakan serta desain saluran transmisi yang tepat.

Melalui pembahasan yang sistematis, buku ini menguraikan karakteristik bahan semikonduktor, dielektrik, dan konduktor pada frekuensi tinggi, serta bagaimana pemilihan material memengaruhi efisiensi, kestabilan, dan daya tahan perangkat. Selain itu, pembaca diperkenalkan pada berbagai jenis komponen pasif dan aktif, disertai penjelasan mengenai fenomena yang muncul ketika material digunakan pada frekuensi gelombang mikro.

Fokus lain dari buku ini adalah saluran transmisi, seperti microstrip, coplanar, waveguide, dan berbagai bentuk lintasan energi lainnya. Pemahaman mengenai rugi-rugi transmisi, impedansi, serta teknik matching menjadi kunci dalam memastikan sinyal dapat ditransmisikan dengan minimal distorsi.

Ditulis dengan pendekatan yang aplikatif, buku ini ditujukan tidak hanya untuk mahasiswa teknik elektro dan telekomunikasi, tetapi juga bagi praktisi industri yang bergelut dalam bidang sistem frekuensi tinggi. Dengan pemahaman yang kuat tentang material dan saluran transmisi, pembaca diharapkan mampu merancang, menganalisis, dan mengembangkan perangkat gelombang mikro yang lebih handal dan efisien.

Singkatnya, buku ini mengajak pembaca untuk menyadari bahwa keberhasilan teknologi gelombang mikro tidak hanya bergantung pada teori gelombang, tetapi juga pada pemahaman mendalam tentang bahan, komponen, dan media tempat energi elektromagnetik mengalir.

DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
PENDAHULUAN	1
A. Definisi Frekuensi Tinggi Dan Gelombang Mikro	1
B. Pendukung Pembangkit Pada Frekuensi Tinggi Dan Gelombang Mikro	4
C. Pengelompokan Kanal Dan Frekuensi	5
D. Media Rambatan Frekuensi Tinggi Dan Gelombang Mikro	7
E. Soal-Soal	10
F. Ringkasan.....	10
PENERAPAN DAN SATUAN PENGUKURAN.....	11
A. Penerapan Teknologi Frekuensi Tinggi Dan Gelombang Mikro.....	11
B. Teknologi Dan Komponen Pendukung	13
C. Tantangan Dan Inovasi Pada Penerapan Gelombang Mikro	13
D. Satuan Ukur Gelombang Mikro	21
E. Soal-Soal	23
F. Ringkasan.....	23

KOMPONEN-KOMPONEN PASIF	25
A. Kawat	25
B. Efek Kulit (Skin Effect)	26
C. Induktansi Pada Kawat Lurus.....	27
D. Resistor	28
E. Kapasitor.....	32
F. Induktor	39
G. Bahan Inti Magnetik (Magnetic-Core Materials).....	45
H. Soal-Soal	48
I. Ringkasan.....	49
SEMI KONDUKTOR	51
A. Pendahuluan.....	51
B. Aplikasi Semikonduktor Pada Gelombang Mikro	53
C. Rangkaian Terintegrasi Gelombang Mikro Monolitik	54
D. Perkembangan Rangkaian Terpadu Gelombang Mikro Monolitik	62
E. Soal-Soal	73
F. Ringkasan.....	73
PARAMETER PADA SALURAN TRANSMISI	75
A. Konstanta Primer Saluran Transmisi.....	75
B. Impedansi Karakteristik	77
C. Kecepatan Fasa Dan Panjang Gelombang Pada Saluran Transmisi.	77
D. Koefisien Rambat.....	78
E. Gelombang-Gelombang Berdiri (<i>Standing Waves</i>)	80
F. Koefisien Pantul.....	82
G. Ringkasan.....	85
H. Latihan Soal	85
JENIS-JENIS SALURAN TRANSMISI	87
A. Pendahuluan.....	87
B. Saluran Transmisi Koaksial.....	90
C. Saluran-Saluran Strip (<i>Striplines</i>)	97
D. Waveguide	106
E. Mode-Mode Lain	120
F. Soal-Soal	122

SMITH CHART.....	125
A. Pendahuluan.....	125
B. Panjang Gelombang, Sudut Pantul, Impedansi Dan Admitansi	126
C. Aplikasi Smith Chart	131
D. Soal-Soal	150
E. Ringkasan.....	152
PARAMETER S	153
A. Pendahuluan.....	153
B. Koefisien Pantul Dan Koefisien Transmisi Pada Parameter S	154
C. Peran Parameter S	154
D. Penerapan Parameter S	156
E. Soal-Soal	161
F. Ringkasan.....	162
DAFTAR PUSTAKA.....	163
PROFIL PENULIS	169

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Blok Sitem Radar	14
Gambar 2. 2 Diagram Blok Sitem Satelit	16
Gambar 2. 3 Diagram Blok Pemanas Gelombang Mikro.....	17
Gambar 2. 4 Diagram Blok Wi Fi Router	18
Gambar 2. 5 Diagram Blok Diatermi Mikro	19
Gambar 2. 6 Aplikasi Gelombang Mikro	21
Gambar 3. 1 Impedansi Karakteristik Resistor Wirewound	29
Gambar 3. 2 Karakteristik Frekuensi Resistor Film-Logam Dibandingkan Dengan Resistor Karbon-Komposisi. (Diadaptasi dari Handbook of Components for Electronics, McGraw-Hill).	30
Gambar 3. 3 Resistor Chip Film-Tipis. (Dengan izin dari Piconics, Inc.)	31
Gambar 3. 4 Nilai Rangkaian Ekuivalen Untuk Contoh 3.3.	32
Gambar 3. 5 Rangkaian Ekuivalen Kapasito	34
Gambar 3. 6 Frekuensi VS Impedansi Karakteristik	35
Gambar 3. 7 Karakteristik Suhu Untuk Kapasitor Dielektrik Keramik	37
Gambar 3. 8 Kapasitansi Tersebar Dan Resistansi Seri Dalam Sebuah Induktor.....	40
Gambar 3. 9 Rangkaian Ekuivalen induktor	40
Gambar 3. 10 Karakteristik Impedansi Vs Frekuensi Untuk Induktor Praktis Dan Induktor Ideal.....	41
Gambar 3. 11 The Q Variation Of An Inductor Vs. Frequency	43
Gambar 3. 12 Persyaratan induktor inti udara satu lapis.....	45
Gambar 4. 1 Perangkat Perangkat Gelombang Mikro	52

Gambar 4. 2 Semikonduktor Yang Digunakan Pada Frekuensi Tinggi Dan Gelombang Mikro	52
Gambar 4. 3 Rangkaian Diskrit, Sirkuit Terintegrasi, Dan Sirkuit Terintegrasi Gelombang Mikro	56
Gambar 4. 4 Proses Etsa Foto	65
Gambar 4. 5 Konfigurasi Resistor Planar	68
Gambar 4. 6 Resistor Film Tipis	69
Gambar 4. 7 Konfigurasi Induktor Planar	70
Gambar 4. 8 Induktor Spiral Melingkar	71
Gambar 4. 9 Diagram Skematik Kapasitor Plana	72
Gambar 5. 1 Rangkaian Equivalen Pada Suatu Potongan Pendek Δx Saluran Transmisi	76
Gambar 5. 2 Diagram Phasor arus dan tegangan.....	79
Gambar 5. 3 Representasi gelombang berdiri.....	82
Gambar 6. 1 Saluran Transmisi Gelombang Mikro	89
Gambar 6. 2 Saluran Transmisi Koaksial Dan Medan elektromagnetis.....	91
Gambar 6. 3 Rangkaian Ekivalen Isolator	92
Gambar 6. 4 Grafik Hubungan Antara Frekuensi Dengan Daya Rata-Rata Pada Kabel Koaksial.	93
Gambar 6. 5 Grafik Hubungan Antara Pelemahan Dengan Frekuensi.	94
Gambar 6. 6 Saluran Strip Gelombang Mikro	97
Gambar 6. 7 Diagram Saluran Mikrostrip.....	98
Gambar 6. 8 Struktur Dasar Saluran Transmisi Mikrostrip.	98
Gambar 6. 9 Perambatan Gelombang Pada Saluran Microstrip	99
Gambar 6. 10 Hubungan Gelombang Ternormalisasi Saluran Mikrostrip Dengan w/h	100
Gambar 6. 11 Impedansi Karakteristik Z_0 vs w/h	101
Gambar 6. 12 Saluran Strip Coplanar.....	104
Gambar 6. 13 Diagram Skematik Saluran Strip Pararel	104
Gambar 6. 14 Saluran Strip Terlindung Sebagian.....	105
Gambar 6. 15 a. Waveguide Persegi, b. Keadaan Perbatasan Medan Listrik, c. Keadaan Perbatasan Medan Magnet	107
Gambar 6. 16 Ragam Arah Rambatan.....	108
Gambar 6. 17 Sifat-sifat Ragam TE ₁₀ ,	109
Gambar 6. 18 Kecepatan Kelompok Sebagai Komponen Horizontal Dari c....	111

Gambar 6. 19 Waveguide persegi	112
Gambar 6. 20 Perbandingan Antara Gelombang-Gelombang Berdiri (Kiri) Dan Gelombang Berjalan (Kanan)	114
Gambar 6. 21 Penutupan Waveguide	115
Gambar 6. 22 Penutupan-penutupan (termination) Waveguide Yang Praktis.....	116
Gambar 6. 23 Atenuator-Atenuator Pada Waveguide	117
Gambar 6. 24 Arus-Arus Pada Dinding.....	118
Gambar 6. 25 Kontak Dan Sambungan, a) Dua Potongan-Potongan $1/4 \lambda_g$ Yang Mentransfrom Dalam Seri, b) Sebuah Flensa Penggandeng Yang Menggunakan Poin (a), c) Suatu Kontak Hubung Singkat Yang Dapat Digeser, Demikian Juga Dengan Menggunakan (a); Kontak Yang Dilukiskan Menyediakan Suatu Potongan $1/4 \lambda_g$ Yang Dihubung-Singkat Untuk Feeder Koaksial	119
Gambar 6. 26 Batang-batang reaktif: (a) Batang Kapasitif, (b) Batang Induktif, (c) Batang LC	120
Gambar 6. 27 Berbagai Mode waveguide	121
Gambar 7. 1 (A) Titik-Titik Impedansi Z_1 Dan Z_2 Pada Smith Chart; (B) Titik-Titik Admitansi Y_3 Dan Y_4 Pada Smith Chart	128
Gambar 7. 2 Impedansi dan VSWR	129
Gambar 7. 3 Transformasi Impedansi	130
Gambar 7. 4 Impedansi Beban $40 + j 50$ ohm Yang Diplot Pada Smith Chart.....	132
Gambar 7. 5 Saluran Transmisi Yang Digunakan Contoh 7.1	133
Gambar 7. 6 Smith Chart Untuk Contoh 4.1 dan 4.2	134
Gambar 7. 7 Saluran Transmisi Yang Digunakan Dalam Contoh Soal 7.2	135
Gambar 7. 8 Saluran Transmisi Yang Digunakan Dalam Contoh Soal 4.3	135
Gambar 7. 9 Smith Chart Untuk Contoh 7.3	136
Gambar 7. 10 (a). Saluran Transmisi Yang Digunakan Dalam Contoh Soal 7.4	137
Gambar 7. 11 (b). Gelombang Berdiri Untuk Saluran Tertutup Tanpa Rugi-Rugi	138
Gambar 7. 12 Smith Chart Untuk Contoh Soal 4.4	139
Gambar 7. 13 Smith Chart Untuk Contoh Soal 4.5	140
Gambar 7. 14 Saluran Transmisi Yang Digunakan Dalam Contoh Soal 7.6	142

Gambar 7. 15 Penyesuai Stub tunggal	143
Gambar 7. 16 Penyesuai Stub Tertutup	143
Gambar 7. 17 Penyesuai Stub Tunggal Untuk Soal 4.7	144
Gambar 7. 18 Smith Chart Untuk Contoh 4.7	145
Gambar 7. 19 Stub Untuk Contoh Soal 4.7	145
Gambar 7. 20 Penyesuai Stub Ganda	146
Gambar 7. 21 Smith Chart Untuk Stub Ganda	146
Gambar 7. 22 Stub Ganda Untuk Contoh Soal 4.8.....	147
Gambar 7. 23 Stub 1 Untuk Contoh Soal 4.8	148
Gambar 7. 24 Stub 2 Untuk Contoh Soal 7.8	148
Gambar 7. 25 Smith Chart Untuk Contoh Soal 4.8	149
Gambar 8. 1. Jaringan 2 port.....	155
Gambar 8. 2 Diagram Port	156
Gambar 8. 3 Grafik Terbaru Dari Data $ S_{11} $ dan $ S_{21} $ Terhadap Frekuensi.	158
Gambar 8. 4 Grafik Dari Parameter S Terhadap Frekuensi	159
Gambar 8. 5 Blok Diagram Circulator.....	160

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Pita Gelombang Mikro Militer U.S.	3
Tabel 1. 2 Pita Gelombang Mikro Militer U.S.	3
Tabel 1. 3 Pita Frekuensi Gelombang Mikro Standar IEEE	3
Tabel 1. 4 Pita Frekuensi yang Digunakan dalam Penyiaran Komersial	6
Tabel 1. 5 Penetapan Pita Frekuensi Standar IEEE	7
Tabel 1. 6 Kelompok Band Frekuensi Gelombang Mikro	7
Tabel 2. 1 Unit MKS	22
Tabel 2. 2 Awalan (Prefixes)	22
Tabel 2. 3 Konstanta Fisika	23
Tabel 3. 1 Nilai konstanta dielektrik material.....	33
Tabel 3. 2 AWG Wire Chart.....	47
Tabel 4. 1 Sifat-Sifat Substrat.....	57
Tabel 4. 2 Sifat-sifat Bahan Konduktor	59
Tabel 4. 3 sifat-sifat bahan dielektrik	60
Tabel 4. 4 Sifat-sifat Bahan Resistif.....	61
Tabel 6. 1 Perbandingan Umum Saluran Transmisi.....	89
Tabel 6. 2 Konstanta dielektrik dari beberapa bahan dielektrik	91
Tabel 6. 3 Data-data Kabel-kabel beserta Parameter dan Ukuran Fisiknya	95
Tabel 6. 4 Ukuran Dimensi Fisik Kabel.....	96
Tabel 6. 5 Bahan substrat dielektrik.....	102
Tabel 6. 6 Gelombang Cutoff pada berbagai Ragam.....	121
Tabel 8. 1 Parameter S untuk Jaringan 2-Port (Umum).....	155
Tabel 8. 2 Parameter S (ideal 3 dB coupler)	156
Tabel 8. 3 Analisis parameter S pada bandpass filter	157

Tabel 8. 4 Data Untuk Simulasi Filter Bandpass	157
Tabel 8. 5 Data Untuk Membuat Grafik	159
Tabel 8. 6 Contoh Nilai Parameter S pada 2.4 GHz	160
Tabel 8. 7 Contoh Nilai Ideal	161

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Tabel Konduktivitas (σ) Dalam Mho/Meter	165
Lampiran 2.....	166
Lampiran 3.....	167
Lampiran 4: Struktur Celah Energi pada Semikonduktor	168

DAFTAR PUSTAKA

- A. Bhattacharya, B. Roy, A. De, U. Chakraborty, dan A. K. Bhattacharjee (eds.), *Advances in Microwave Engineering: From Novel Materials to Novel Microwave Applications*, CRC Press, 2024
- Agung Wibowo. 2018. *Pengantar Gelombang Mikro dan Radiasi*. Bandung: Penerbit ITB
- Balanis, C. A. 2005. *Antenna Theory: Analysis and Design* (3rd ed.). Wiley-Interscience.
- Bowick Chris, 1997. *RF Circuit Design*. United States Of America: H.W Sams
- B.S, Budi, et al. 1997. *Saluran Transmisi Untuk Empat Antena Yang Disusun Phased Array*. Semarang: Politeknik Undip.
- Basuki Subagio, B. 2024. *Saluran Transmisi Untuk Sistem Telekomunikasi*. Yogyakarta. KBM Indonesia
- Basuki Subagio, B. 2025. *Teknik Frekuensi Tinggi dan Gelombang Mikro*. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.
- C. E. Free dan C. S. Aitchison, *RF and Microwave Circuit Design: Theory and Applications*, Wiley, 2021
- Collin, R. E. 2001. *Foundations for Microwave Engineering* (2nd ed.). Hoboken, NJ: IEEE Press.
- Devendra K. Misra, 2001. *Radio-Frequency and Microwave Communication Circuits: Analysis and Design*. John Wiley & Sons, Inc
- David M. Pozar. 2000. *Microwave and RF Design of Wireless Systems*. Wiley.
- Gonzalez, G. 1996. *Microwave Transistor Amplifiers: Analysis and Design* (2nd ed.). Prentice Hall.
- H. Sobol. 1995. *Handbook of Microwave Technology*. Academic Press.
- Louis E. Frenzel Jr., 2003. *Principles of Electronic Communication Systems, Fourth Edition*. Published by McGraw-Hill Education, 2 Penn Plaza, New York,

- Liao, S. Y., 1990. *Semiconductor Electronic Devices*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.,
- R. Gregor, K. Ho Yeap, dan A. O. Nwajana (eds.). 2023. *Power Electronics, Radio Frequency and Microwave Engineering*, Open Access, IntechOpen,
- R. Ludwig, P. Bretchko. 2000. *RF Circuit Design: Theory and Applications*. Prentice Hall.
- Roddy Dennis & Coolen John, 2014, *Electronic Communication*, Dorling Kindersley Pvt. Ltd.
- Siswanto, J. 2020. *Sistem Telekomunikasi Frekuensi Tinggi*. Jakarta: Erlangga.
- Ulaby, F. T., & Ravaioli, U. (2015). *Fundamentals of Applied Electromagnetics* (7th ed.). Pearson.
- Wirawan, I. M. A. (2015). *Teknik Gelombang Mikro dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Andi.

Lampiran 1: Tabel Konduktivitas (σ) Dalam Mho/Meter

Tabel Konduktivitas (σ) Dalam Mho/Meter

Konduktor	σ (Mho/m)	Isolator	σ (Mho/m)
Silver	6.17×10^7	Quartz	10^{-17}
Copper	5.80×10^7	Polystyrene	10^{-16}
Gold	4.10×10^7	Rubber (hard)	10^{-15}
Aluminum	3.82×10^7	Mica	10^{-14}
Tungsten	1.82×10^7	Porcelain	10^{-13}
Zinc	1.67×10^7	Diamond	10^{-13}
Brass	1.50×10^7	Glass	10^{-12}
Nickel	1.45×10^7	Bakelite	10^{-9}
Iron	1.03×10^7	Marble	10^{-6}
Bronze	1.00×10^7	Soil (sandy)	10^{-5}
Solder	0.70×10^7	Sands (dry)	2×10^{-4}
Steel (<i>stainless</i>)	0.11×10^7	Clay	10^{-4}
Nichrome	0.10×10^7	Ground (dry)	$10^{-4} - 10^{-5}$
Graphite	7.00×10^4	Ground (wet)	$10^{-2} - 10^{-3}$
Silicon	1.20×10^3	Water (distilled)	2×10^{-4}
Water (sea)	3 – 5	Water (fresh)	10^{-3}
		Ferrite (typical)	10^{-2}

Lampiran 2

Tabel 2.1. Permitifitas Konstanta Dielektrik Realatif ϵ_r

Material	ϵ_r	Material	ϵ_r
Air	1	Sands (dry)	4
Alcohol (ethyl)	25	Silica (fused)	3.8
Bakelite	4.8	Snow	3.3
Glass	4–7	Sodium chloride	5.9
Ice	4.2	Soil (dry)	2.8
Mica (ruby)	5.4	Styrofoam	1.03
Nylon	4	Teflon	2.1
Paper	2–4	Water (distilled)	80
Plexiglass	2.6–3.5	Water (sea)	20
Polyethylene	2.25	Water (dehydrated)	1
Polystyrene	2.55	Wood (dry)	1.5–4
Porcelain (dry process)	6	Ground (wet)	5–30
Quartz (fused)	3.80	Ground (dry)	2–5
Rubber	2.5–4	Water (fresh)	80

Tabel 2.1. Relative Permeability (μ_r)

Diamagnetic Material	μ_r	Ferromagnetic Material	μ_r
Bismuth	0.99999860	Nickel	50
Paraffin	0.99999942	Cast iron	60
Wood	0.99999950	Cobalt	60
Silver	0.99999981	Machine steel	300
Paramagnetic Material	μ_r	Ferromagnetic (lanjutan)	μ_r
Aluminum	1.00000065	Ferrite (typical)	1,000
Beryllium	1.00000079	Transformer iron	3,000
Nickel chloride	1.00004	Silicon iron	4,000
Manganese sulphate	1.0001	Iron (pure)	4,000
		Mumetal	20,000
		Supermalloy	100,000

Lampiran 3

Tabel 3.1 Karakteristik Ruang Hampa

Properti	Simbol	Nilai	Keterangan
Permitivitas vakum	ϵ_0	$8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$	Menyatakan kemampuan ruang bebas menyimpan medan listrik
Permeabilitas vakum	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$	Menyatakan kemampuan ruang bebas menghantarkan medan magnet
Impedansi karakteristik	Z_0	377 ohm atau 120π	Rasio antara medan listrik dan medan magnet dalam ruang bebas
Kecepatan cahaya	c	$3 \times 10^8 \text{ m/s}$	Kecepatan rambat gelombang elektromagnetik di ruang bebas
Konduktivitas listrik	σ	0 S/m	Karena tidak ada medium penghantar, maka konduktivitas = 0

Tabel 3.2. Physical Constants

Konstanta Fisika	Simbol	Nilai
Boltzmann constant	k	$1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Electronvolt	eV	$1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$
Electron charge	q	$1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Electron mass	m	$9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Ratio of charge to mass of electron	e/m	$1.759 \times 10^{11} \text{ C/kg}$
Planck's constant	h	$6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

Lampiran 4: Struktur Celah Energi pada Semikonduktor

Struktur Celah Energi pada Semikonduktor

Semi Konduktor	Celah Energi (eV)	Konstanta kisi ($\text{\AA}^0$)	Struktur Celah Energi	Koefisien Ekspansi Pada 300 ⁰ K ($\times 10^{-6} \text{ }^0\text{C}^{-1}$)	Doping Disarankan Pada Hetero-Junction	Dopant yang umum digunakan	Afinitas elektron (eV)
Ge _{0,9} Si _{0,1}	0.77	(5.63)	Indirect	—	<i>n</i>	P, As, Sb	(4.1)
Ge	0.66	5.658	Indirect	5.7	<i>p</i>	Al, Ga, In	4.13
GaAs	1.43	5.654	Direct	5.8	<i>n</i>	Se, Te	4.07
Ge	0.66	5.658	Indirect	5.7	<i>p</i>	Al, Ga, In	4.13
ZnSe	2.67	5.667	Direct	7.0	<i>n</i>	Al, Ga, In	4.09
Ge	0.66	5.658	Indirect	5.7	<i>p</i>	Al, Ga, In	4.13
ZnSe	2.67	5.667	Direct	7.0	<i>n</i>	Al, Ga, In	4.09
GaAs	1.43	5.654	Direct	5.8	<i>p</i>	Zn, Cd	4.07
AlAs	2.15	5.661	Indirect	5.2	<i>p</i>	Zn	3.5
GaAs	1.43	5.654	Direct	5.8	<i>n</i>	Se, Te	4.07
GaP	2.25	5.451	Indirect	5.3	<i>n</i>	Se, Te	4.3
Si	1.11	5.431	Indirect	2.33	<i>p</i>	Al, Ga, In	4.01
AlSb	1.6	6.136	Indirect	3.7	<i>n/p</i>	Se, Te/Zn, Cd	3.65
GaSb	0.68	6.095	Direct	6.9	<i>p/n</i>	Zn, Cd/Se, Te	4.06
GaSb	0.68	6.095	Direct	6.9	<i>n</i>	Se, Te	4.06
InAs	0.36	6.058	Direct	4.5(5.3)	<i>p</i>	Zn, Cd	4.9
ZnTe	2.26	6.103	Direct	8.2	<i>p</i>	Cu	3.5
GaSb	0.68	6.095	Direct	6.9	<i>n</i>	Se, Te	4.06
ZnTe	2.26	6.103	Direct	8.2	<i>p</i>	Cu	3.5
InAs	0.36	6.058	Direct	4.5(5.3)	<i>n</i>	Se, Te	4.9
ZnTe	2.26	6.103	Direct	8.2	<i>p</i>	Cu	3.5
AlSb	1.6	6.136	Indirect	3.7	<i>n</i>	Se, Te	3.65
CdTe	1.44	6.477	Direct	5	<i>p/n</i>	Li, Sb, P/I	4.28
PbTe	0.29	6.52	Indirect	19.8	<i>n/p</i>	Cl, Br/Na, K	4.6
CdTe	1.44	6.477	Direct	5	<i>p</i>	Li, Sb	4.28
InSb	0.17	6.479	Direct	4.9	<i>n</i>	Se, Te	4.59
ZnTe	2.26	6.103	Direct	8.2	<i>p</i>	Cu	3.5
CeSe(hex)	1.7	4.3($\sqrt{2}$) (6.05)	Direct	2.45–4.4	<i>n</i>	Cl, Br, I	4.95

Source: After Milnes & Freucht, 116. Reprinted with permission from *Heterojunctions and Metal-Semiconductor Junctions*, Academic Press, N.Y., 1972.

Struktur celah energi pada semikonduktor menjelaskan bagaimana celah energi terbentuk dan bervariasi pada semikonduktor.

PROFIL PENULIS



Budi Basuki Subagio, S.T., M.Eng., Penulis adalah seorang dosen program studi Teknik telekomunikasi, Politeknik Negeri Semarang. Penulis lahir di Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, pada tahun 1962. Latar Belakang Pendidikan penulis adalah memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro dari Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, pada tahun 1996, dengan judul skripsi "Antena Loop Segi Empat Microstrip Untuk Antena Televisi Jalur UHF. Gelar Master of Engineering diperoleh dari Universitas Gajahmada, Yogyakarta. Indonesia, pada

tahun 2012, dengan judul tesis "Antena Larik Microstrip Untuk Sistem SCADA pada operasi Recloser Area Pengatur Distribusi PLN Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta". Penelitian yang sedang ditekuni saat ini adalah dalam bidang desain antena microstrip, saluran transmisi, transmisi daya RF dan Teknik Gelombang Mikro.

Penulis dapat di hubungi email : budi.basuki2010@gmail.com dan budib.subagio@polines.ac.id



Ir. Eko Supriyanto, S.T., M.T., IPM. merupakan dosen pada Program Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Semarang. Penulis lahir di Pati pada tahun 1969. Latar belakang pendidikan penulis berawal dari jenjang Diploma III (D3) Teknik Elektro di Politeknik Negeri Semarang, kemudian melanjutkan studi Sarjana (S1) dan Magister (S2) di Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Penulis juga telah menempuh pendidikan profesi insinyur di Universitas Hasanuddin, Makassar. Bidang keahlian dan penelitian yang ditekuni meliputi sistem telekomunikasi, antena, *Internet of Things* (IoT), dan *Artificial Intelligence* (AI). Penulis berkomitmen untuk terus berkontribusi dalam pengembangan sumber daya manusia yang unggul di bidang teknik telekomunikasi dan teknologi informasi melalui kegiatan akademik dan penelitian terapan.

Penulis dapat di hubungi email : ekosupriyanto@polines.ac.id



Abu Hasan, S.T., M.T. adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang. Penulis lahir di Brebes, Jawa Tengah, pada tahun 1965. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana dan magister di Institut Teknologi Bandung (ITB) dengan bidang keilmuan Teknik Elektro. Melalui perjalanan akademik dan profesionalnya, penulis memiliki ketertarikan yang mendalam terhadap pengembangan ilmu dan penerapan teknologi di bidang elektronika dan telekomunikasi.

Sebagai seorang pendidik dan peneliti, penulis aktif dalam kegiatan tridarma perguruan tinggi, meliputi pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat. Fokus utama penelitian penulis berada pada bidang elektronika, sistem telekomunikasi, serta pengembangan teknologi terapan untuk mendukung inovasi di sektor industri dan pendidikan vokasi.

Penulis dapat di hubungi email : abu.hasan@polines.ac.id