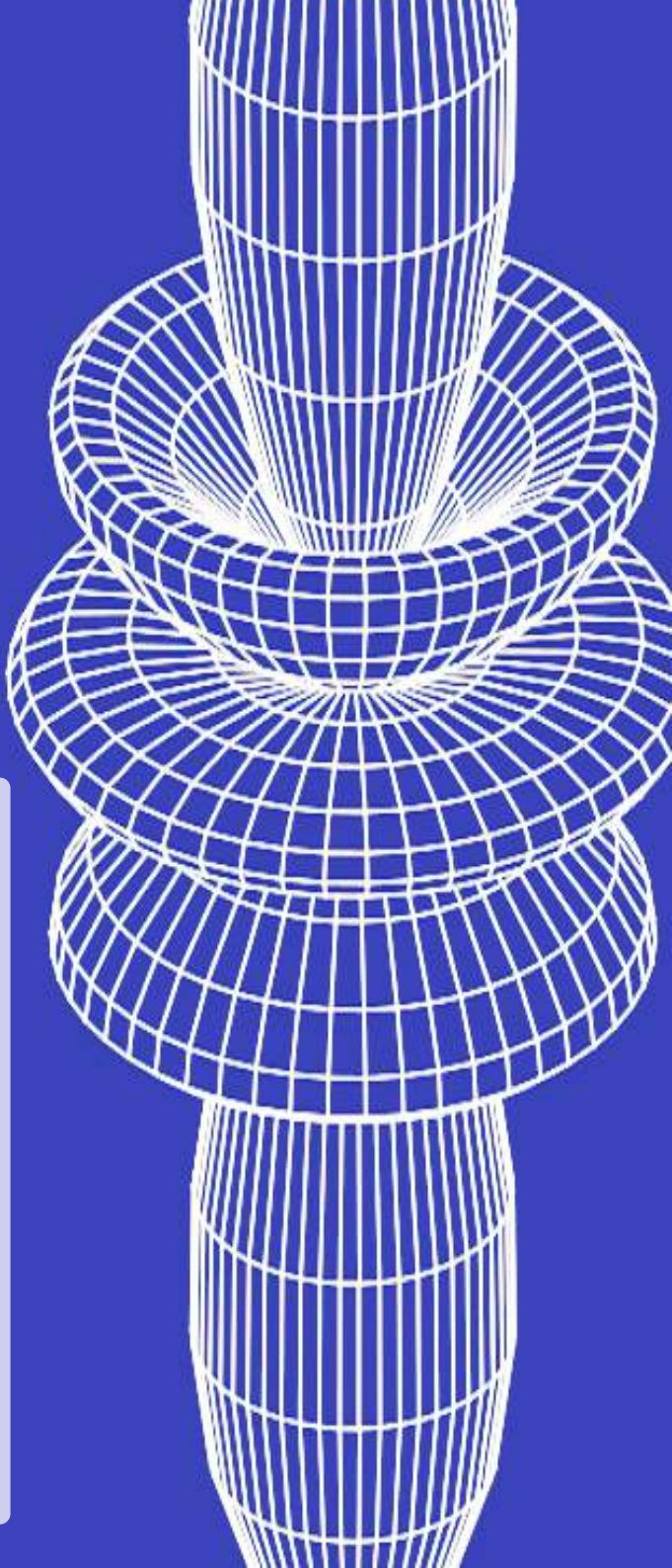


Edisi Pertama

Mekanika Kuantum

I Wayan Sudiarta



Mekanika Kuantum

Penulis: I Wayan Sudiarta

Halaman awal: 14

Halaman isi: 306 hlm.

Ukuran buku: 148×210 mm

Tata letak buku ini dibuat dengan L^AT_EX

MikTeX 2019, editor TeXMaker

website: <http://fisika.unram.ac.id/sudiarta>

<https://github.com/wayansudiarta/mechanikakuantum>

e-mail: wayan.sudiarta@unram.ac.id

©Copyleft.

Sebagai pengabdian kepada masyarakat Indonesia dan Dunia, pembaca dapat mencetak atau menyalin sebagian atau seluruh buku ini dalam bentuk elektronis maupun cetak tanpa izin tertulis dari penulis. Mohon etika ilmiah tetap dijaga dan plagiasi dihindari. Dilarang mengomersialkan buku ini tanpa izin penulis. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISBN: 978-623-7024-30-9

Penerbit: CV. Garuda Ilmu

Dedikasi

Xandy, Arvin dan Utami

Kata Pengantar

Mekanika kuantum bukanlah sebuah bidang ilmu yang mudah untuk dipahami. Dari semua bidang ilmu fisika yang ada, mekanika kuantum selalu dianggap paling sulit. Ada beberapa faktor yang menjadi penghambat dalam pemahaman mekanika kuantum yaitu:

1. Konsep-konsep yang ada di dalam mekanika kuantum tidak dapat atau tidak mempunyai analogi di fisika klasik atau yang kita jumpai sehari-hari, terkadang konsep kuantum terlihat aneh, ajaib dan tidak masuk akal.
2. Mempelajari mekanika kuantum memerlukan pemahaman bahasa matematika yang lebih banyak dari bidang ilmu fisika lain.
3. Buku-buku yang tersedia, khususnya di Indonesia, belum memberi penjelasan tentang konsep-konsep dasar mekanika kuantum.

Dalam mempelajari ilmu fisika, kita perlu selalu mengingatkan diri kita bahwa ilmu fisika seperti mekanika kuantum tidaklah mudah dipelajari, sehingga memerlukan waktu yang lebih banyak untuk memahami konsep-konsepnya.

Oleh karena itu, sebaiknya setiap bab tidak dibaca dengan cepat. Bacalah perlahan, seksama dan ingatkan bahwa kita perlu memahami (bukan menghafal) dan sebaiknya tidak melompati bab-bab awal sebelum memahami isinya. Selain itu, latihan dengan mencoba banyak soal-soal perlu dilakukan untuk memperkuat pemahaman konsep.

Sebuah pernyataan yang perlu diingat (diambil dari (Bowman, Ref. 1)) yaitu:

One doesn't understand the physics unless one can solve problems.

dan

Just solving problems, without the capacity to lucidly discuss those problems and the attendant concepts and ideas, may also indicate insufficient understanding.

Mandl (Ref. 2) juga menyatakan bahwa :

The difficulties of learning and understanding quantum mechanics are largely conceptual. We have no direct experience of atoms and molecules, and we must not visualize them as tiny scaled-down versions of classical macroscopic objects. To argue by analogy in this way is usually totally misleading. These conceptual difficulties lead one to start a systematic account of quantum mechanics with a more abstract mathematical formulation.

Untuk mempermudah pemahaman konsep-konsep kuantum dan meringankan beban operasi serta penurunan matematis, penggunaan sistem aljabar komputer Maxima ditam-

bahkan di akhir buku ini (bab 14). Pembaca bisa bereksperimen dengan bantuan Maxima dan mengeksplorasi kasus-kasus atau permasalahan yang tidak mudah dilakukan dengan penurunan secara manual.

Buku ini dibagi menjadi beberapa bagian yaitu

- Bab 1 - 3 merupakan bagian pengenalan tentang konsep-konsep mekanika kuantum dan mengulang kembali atau mengingatkan kembali tentang konsep-konsep mekanika klasik yang akan digunakan untuk formulasi mekanika kuantum khususnya topik tentang formulasi Hamilton.
- Bab 4 dan 5 merupakan materi inti yang memberikan konsep dan formulasi kuantum serta penurunan persamaan Schrödinger.
- Bab 6, 7, dan 10-12 memberikan solusi persamaan Schrödinger untuk berbagai kasus dan pendekatan.
- Bab 8, 9, dan 13 menjelaskan konsep-konsep tambahan seperti notasi Dirac, momentum angular dan sistem partikel banyak yang berguna untuk pemahaman matematis dan aplikasi mekanika kuantum.
- Bab 14 memberikan contoh-contoh penggunaan sistem aljabar komputer Maxima untuk mekanika kuantum. Pengenalan tentang Maxima diberikan di lampiran.

Agar dapat membantu pemahaman dan penerapan mekanika kuantum, *errata* dan materi tambahan untuk buku ini dapat diakses secara daring di <https://github.com/wayansudiarta/mechanikakuantum>.

Buku ini sudah pasti memiliki kesalahan-kesalahan walaupun sudah lama dikerjakan. Penulis berharap mendapatkan *feedback* dari pembaca mengenai kesalahan ataupun saran serta pertanyaan sehubungan dengan mekanika kuantum. Penulis dengan senang hati membantu pembaca memahami mekanika kuantum.

Semoga buku ini bermanfaat bagi seluruh umat manusia, khususnya mahasiswa Indonesia.

Oktober 2019,
Penulis

Ucapan Terima Kasih

"I feel I am lucky. I am grateful for this life that God has given me. I am happy, as I am getting to do work that I want to do and enjoy doing it."

– Sonam Kapoor

Penulis bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas probabilitas serta ekspektasi penyelesaian buku ini yang cukup besar pada akhir tahun 2019.

Buku ini berkembang dari catatan-catatan kuliah fisika kuantum di Program Studi Fisika Fakultas MIPA Universitas Mataram. Oleh karena itu selama penulisan buku ini banyak mahasiswa yang secara langsung dan tidak langsung memberikan masukan terhadap perbaikan buku ini. Khususnya terimakasih disampaikan kepada Muji Juherwin, Adji S. Pamungkas, Nanik Andelita, Rohma Yuliani, Robiatul Adawia, Iyan Islamiyati serta mahasiswa-mahasiswa yang tergabung di Kelompok Teori dan Komputasi yang tidak mungkin disebutkan namanya semua.

Terimakasih kepada Ibu Dian W. Kurniawidi yang membantu memperbaiki tulisan serta memberikan saran-saran penjelasan tentang konsep-konsep mekanika kuantum.

Penulisan dan riset untuk buku ini didukung oleh Hibah Penelitian Dasar Berbasis Kompetensi Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi tahun 2019 dengan kontrak No. 1883/UN18.L1/PP/2019.

Terimakasih kepada istri tercinta, Putu Oka Utami dan anak-anak terkasih, Arvin dan Xandy atas semua cinta dan kasih sayangnya sehingga penulis bersemangat menyelesaikan buku ini.

Akhir kata, penulis ucapkan terimakasih kepada pembaca yang membantu menyempurnakan buku ini dan memaklumi bahwa kesempurnaan bisa diperoleh setelah kesalahan sudah diperbaiki.

Terima kasih,
Penulis

Biografi Penulis

I Wayan Sudiarta. Saya lahir di Kota Mataram pada bulan Nopember tahun 1975. Saya sekolah dari tingkat dasar sampai menengah atas di SDN 28 Mataram (lulus tahun 1987), SMPN 2 Mataram (1990) dan SMAN 1 Mataram (1993). Kemudian saya melanjutkan studi di Universitas Gadjah Mada pada tahun 1993, di RMIT University pada tahun 1994 - 1997, di University of Sydney pada tahun 1998 dan di Dalhousie University pada tahun 1999 - 2003. Selanjutnya saya bekerja sebagai *postdoc* dan *research fellow* di Dalhousie University pada tahun 2003 - 2009. Setelah itu, saya kembali ke Indonesia dan menjadi dosen di Program Studi Fisika Fakultas MIPA Universitas Mataram sampai saat ini.



Daftar Isi

Dedikasi	i
Kata Pengantar	iii
Ucapan Terima Kasih	vii
Biografi Penulis	ix
Daftar Isi	x
1 Pendahuluan	1
2 Mekanika Klasik	11
2.1 Formulasi Newton	12
2.2 Koordinat Umum	13
2.3 Formulasi Lagrange	15
2.4 Formulasi Hamilton	20
3 Fenomena-Fenomena Kuantum	27
3.1 Radiasi Benda Hitam	28
3.2 Efek Fotolistrik	36
3.3 Efek Compton	40

3.4	Spektrum Atom Hidrogen	42
3.5	Hipotesis de Broglie	44
4	Keadaan Sistem Kuantum	51
4.1	Fungsi Gelombang	52
4.2	<i>Observable</i> dan Operator	57
4.3	Nilai Ekspektasi	61
4.4	Sifat Operator Hermitian	62
4.5	Persamaan Eigen	63
4.6	Komplementaritas dan Ketidakpastian	71
5	Persamaan Schrödinger	81
5.1	Fungsi Gelombang dengan Momentum Tertentu	81
5.2	Operator Momentum dan Energi	83
5.3	Persamaan Schrödinger	85
5.4	Sifat-Sifat Fungsi Gelombang Solusi Persamaan Schrödinger	89
5.5	Konservasi Probabilitas	90
5.6	Teorema Ehrenfest	93
5.7	Persamaan Schrödinger Tidak Bergantung Waktu	93
6	Solusi Persamaan Schrödinger Dimensi Satu	101
6.1	Partikel Bebas	102
6.2	Potensial Tangga	104
6.3	Potensial Penghalang Persegi	109
6.4	Sumur Potensial Persegi Tak Berhingga	116
6.5	Sumur Potensial Persegi Berhingga	123
7	Osilator Harmonik	131
7.1	Sistem Massa-Pegas	131

7.2	Pendekatan Potensial Osilator Harmonik . . .	132
7.3	Persamaan Schrödinger untuk Potensial Harmonik	133
7.4	Metode Aljabar	134
7.5	Metode Analitik	141
8	Notasi Dirac, Representasi Vektor dan Matriks	151
8.1	Bra-Ket	152
8.2	Representasi Posisi dan Fungsi Gelombang . .	158
8.3	Nilai Ekspektasi	159
8.4	Representasi Vektor dan Matriks	161
8.5	Sifat-sifat Matriks dan Definisi	164
8.6	Contoh Harmonik Osilator	165
9	Momentum Angular	175
9.1	Momentum Angular Umum	188
9.2	Spin	194
9.3	Representasi Matrik	195
10	Solusi Persamaan Schrödinger Dimensi Tiga	203
10.1	Sebuah Partikel pada Sumur Potensial Kotak 3D	203
10.2	Atom Hidrogen	207
11	Metode Perturbasi	219
11.1	Perturbasi Tidak Bergantung Waktu	220
11.2	Perturbasi Bergantung Waktu	230
12	Metode Variasi	237
12.1	Metode Rayleigh-Ritz	240

13 Sistem dengan Partikel Identik, Boson dan Fermion	245
13.1 Fungsi Gelombang Dua Partikel Identik	246
13.2 Fungsi Gelombang Partikel Banyak	249
14 Maxima untuk Mekanika Kuantum	257
14.1 Radiasi Benda Hitam	257
14.2 Hukum Wien	259
14.3 Fungsi Gelombang, Operator dan Nilai Ekspektasi	261
14.4 Representasi Fungsi dengan Fungsi Basis . . .	263
14.5 Solusi Persamaan Schrödinger	265
14.6 Potensial Tangga	266
14.7 Potensial Penghalang	269
14.8 Sumur Potensial	274
14.9 Visualisasi Fungsi <i>Spherical Harmonics</i>	280
14.10 Operator \hat{a}_{\pm}	281
14.11 Representasi Matriks Operator dan Nilai Eigen dan Vektor Eigen	283
14.12 Metode Perturbasi	285
Daftar Pustaka	287
A Konstanta Fisika	289
B Konsep dan Persamaan Matematis	291
B.1 Trigonometri	291
B.2 Rumus-rumus Turunan	292
B.3 Rumus-rumus Integral	293
B.4 Bilangan Kompleks	293

C	Pengenalan Maxima	295
C.1	Instalasi	296
C.2	Mari Kita Mulai	297