

# **MEKANIKA STATISTIK**

Mikrajuddin Abdullah  
Promgram Studi Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Bandung  
Bandung, 2017

Cetakan 1, 2017

Hak Cipta dilindungi undang-undang

All Rights Reserved

@Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITB

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITB

Hak cipta pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITB, 2017

---

Data katalog dalam terbitan

---

ABDULLAH, MIKRAJUDDIN

Mekanika Statistik

Oleh Mikrajuddin Abdullah. - Bandung.

Penerbit Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITB, 2017

Labtek VIII Lantai 1

Jl. Ganesa 10 Bandung

Telp.: 022 2515032, Fax.: 022 2502360

<http://www.fmipa.itb.ac.id>

# Kata Pengantar

Pengalaman selama sekitar 10 tahun memberikan kuliah Mekanika Statistik untuk Mahasiswa Magister dan Doktor di Institut Teknologi Bandung bahwa mata ini yang merupakan mata kuliah wajib termasuk yang cukup sulit dipahami para mahasiswa. Hal ini tidak dapat dipungkiri karena memang materi yang terkandung di dalamnya lebih banyak yang bersifat abstrak. Diperlukan abstraksi yang tinggi untuk dapat memahami bab-bab yang ada dalam kuliah tersebut.

Kesulitan makin bertambah akibat cara pembahasan di sejumlah buku yang ada terlalu global sehingga ada beberapa bagian yang memerlukan pemikiran ekstra untuk dapat memahaminya. Buku acuan utama kuliah ini di antaranya *Statistical Mechanics* tulisan K. Huang atau buku klasik *Statistical Mechanics* tulisan J.E. Mayer dan M.G. Mayer. Namun, materi yang dipaparkan dalam buku tersebut perlu dicermati dan direnungi secara mendalam agar dapat memahaminya. Tidak saja mahasiswa, tetapi dosen juga perlu kerja keras untuk memahami mater-materi tersebut.

Atas pengalaman mengajar sekitar 10 tahun saya mencoba menyusun draft sedikit-demi sedikit dan dicobakan ke mahasiswa tiap semester. Penambahan, koreksi, dan penyesuaian dengan cara tangkap mahasiswa menghasilkan naskah seperti ini. Beberapa bagian yang tidak dijelaskan detail di buku-buku yang ada akan dipaparkan secara detail di buku ini sehingga mudah dipahami mahasiswa. Beberapa ilustrasi yang tidak dijumpai pada buku-buku sebelumnya dimasukkan dalam buku ini untuk memepermudah pemahaman. Versi awal draft ini telah muncul dalam bentuk diktat kuliah yang diterbitkan Penerbit ITB dan menjadi salah satu pegangan utama mahasiswa magister dan doktor fisika ITB.

Dalam buku ini, beberapa topik yang rumit yang dibahas di buku-buku Mekanika Statistik yang sudah ada tidak dimasukkan. Harapannya adalah mahasiswa memahami dasar-dasar Mekanika Statistik dan tidak terganggu oleh sejumlah topik yang memerlukan pemahaman matematika yang cukup tinggi. Mahasiswa yang tertarik mempelajari lebih mendalam sangat dianjurkan mempelajari buku-buku teks yang sudah ada, seperti yang disebutkan di atas.

Di bagian awal tiap bab dijelaskan sejumlah persyaratan yang diperlukan untuk memahami tiap bab tersebut secara lebih mudah. Mempelajari tiap bab dari buku ini menuntun pemahaman materi kuliah tingkat sebelumnya seperti Fisika Matematika, Fisika Statistik, Termodinamika, dan sedikit Fisika Kuantum. Mahasiswa sangat diharapkan untuk mereview kembali materi-materi tersebut.

Penyelesaian buku ini tidak lepas dari bantuan dari Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi berupa Hibah Penulisan Buku Teks 2015. Oleh karena itu ucapan terima kasih penulis sampaikan pada Kemenristekdikti. Penulis juga sampaikan ucapan terima kasih kepada Agus Purwanto, D.Sc. dari Jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya atas kesediaan menjadi pendamping. Sejumlah saran dan komentar sangat berguna bagi perbaikan isi buku ini. Kepada Pimpinan FMIPA ITB yang telah memfasilitasi penerbitan buku ini penulis sampaikan terima kasih sebesar-besarnya.

Semoga buku ini menjadi salah satu acuan yang berguna bagi mahasiswa magister maupun doktor fisika di Indonesia. Tentu kekurangan masih banyak dijumpai. Perbaikan terus menerus akan tetap diperlukan. Oleh karena itu masukan dan sarat dari para mahasiswa, rekan dosen, atau pembaca lainnya sangat diharapkan.

Bandung, Juni 2016

Penulis

# Daftar Isi

Bab 1 Pengenalan Ensemble	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Dinding Assembli yang Transparan Terhadap Energi	2
1.3 Konsep Ensemble	4
1.4 Assembli Terbuka	7
1.4 Jenis-Jenis Ensemble	9
Bab 2 Ensemble Kanonik	10
2.1 Probabilitas Kemunculan Assembli	11
2.2 Sifat-Sifat Termodinamika	13
2.3 Energi Bebas Helmholtz	16
2.4 Ungkapan lain Entropi	19
2.5 Fungsi Partisi Kanonik Klasik	20
2.6 Fungsi Partisi Kanonik Semiklasik	29
2.7 Formulasi Kanonik Gas Tidak Ideal	33
2.8 Persamaan Keadaan Gas Tidak Ideal	44
2.9 Fluktuasi Energi Assembli	48
Latihan	42

Bab 3	Ensembel Grand Kanonik	47
3.1	Energi Bebas Helmholtz dan Gibbs	57
3.2	Penurunan Besaran Termodinamika dari Entropi	59
3.3	Fungsi Grand Partisi	60
3.4	Ungkapan Alternatif	63
3.5	Entropi dalam Ungkapan Probabilitas	63
3.6	Besaran Termodinamika dari Fungsi Grand Partisi	64
3.7	Perhitungan Fungsi Grand Partisi	66
3.8	Fluktuasi Jumlah Sistem dalam Assembli	81
3.9	Penurunan Fungsi Fermi-Dirac dengan Metode Perturbasi	83
Bab 4	Mekanika Statistik Kuantum	87
4.1	Fungsi Gelombang Sistem dan Lingkungan	87
4.2	Nilai Rata-Rata	88
4.3	Postulat Mekanika Statistik Kuantum	90
4.4	Matriks Kerapatan	91
4.5	Ensembel Mikrokanonik	93
4.6	Ensembel Kanonik dan Grand Kanonik	94
4.7	Metode Operator	96
4.8	Formulasi Alternatif	104
4.9	Kondensasi Boson dan Non Kondensasi Fermion	106
4.10	Tekanan Gas Kuantum Ideal	108
4.11	Persaman Gerak Matriks Kerapatan	111
4.12	Persamaan Kerapatan Sistem Bebas	113

4.13 Persamaan Kerapatan Sistem Osilator Harmonik	116
<b>Bab 5 Gas Fermi Ideal</b>	<b>120</b>
5.1 Persamaan Keadaan	120
5.2 Aplikasi Suhu Tinggi dan Kerapatan Rendah	129
5.3 Aplikasi Suhu Rendah dan Kerapatan Tinggi	131
5.4 Teori Bintang Katai Putih	132
5.5 Diamagnetisme Landau	153
5.6 Efek de Hass-Van Alphen	166
5.7 Paramagnetisme Pauli	172
<b>Bab 6 Gas Bose Ideal</b>	<b>186</b>
6.1 Persamaan Keadaan Boson	186
6.2 Kondensasi Bose-Einstein	193
6.3 Tekanan Radiasi	197
6.4 Sifat Termal Fonon	203
6.5 Radiasi Benda Hitam untuk Foton dan Neutrino	209
Latihan	213
<b>Bab 7 Ekspansi Kluster</b>	<b>216</b>
7.1 Pendahuluan	216
7.2 Penurunan Fungsi Partisi	218
<b>Bab 8 Model Ising</b>	<b>232</b>
8.1 Formulasi Ising	232
8.2 Aproksimasi Bragg-Williams	237
8.3 Aproksimasi Bethe-Pierls	243

8.4 Model Ising Satu Dimensi	254
Latihan	266
Baftar Pustaka	268
Indeks	269