



TEORI RELATIVITAS

Sudirman T.P Lumbangaol, S.Pd., M.Pd.
Yoel Octobe Purba, S.Pd., M.Pd.
Misbah, M.Pd.
Kevin William Andri Siahaan, S.Pd.
Ruben Cornelius Siagian

TEORI RELATIVITAS

TEORI RELATIVITAS

Sudirman T.P Lumbangaol, S.Pd., M.Pd.
Yoel Octobe Purba, S.Pd., M.Pd.
Misbah, M.Pd.
Kevin William Andri Siahaan, S.Pd.
Ruben Cornelius Siagian



TEORI RELATIVITAS

© Penerbit Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI)

Penulis:

Sudirman T.P Lumbangaol, S.Pd., M.Pd.

Yoel Octobe Purba, S.Pd., M.Pd.

Misbah, M.Pd.

Kevin William Andri Siahaan, S.Pd.

Ruben Cornelius Siagian

Editor: Nurlaela Muhammad, S.Pd., M.Pd.

Cetakan Pertama: Januari 2023

Cover: Tim Penyusun

Tata Letak: Tim Kreatif PRCI

Hak Cipta 2023, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia

ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT

Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website: www.rcipress.rcipublisher.org

E-mail: rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2023 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I –: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2023

Dimensi : 14,8 x 21 cm

ISBN: 978-623-448-353-6

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang

Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KATA PENGANTAR

Segala Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karna kebbaikanya, sehingga kami dapat menyelesaikan buku ini. Gravitasi adalah gaya fundamental yang paling lemah. Hal ini diklaim karna gravitasi didapatkan 10^{-15} kali lebih lemah dari elektromagnetisme. Tapi tetap saja, kita masing-masing memiliki kurang lebih hubungan pribadi dengan gravitasi. Gravitasi adalah sesuatu yang harus kita pertimbangkan setiap hari. Jadi gravitasi adalah bagian dari kehidupan kita sehari-hari. Buku ini akan membahas beberapa konteks; gravitasi. Kami akan mencoba menyampaikan konsep gravitasi kepada pembaca seperti yang dilihat Albert Einstein. Einstein melihat gravitasi karena tidak ada orang lain sebelumnya yang pernah melihatnya. Dia melihat gravitasi sebagai kelengkungan ruang, manifold empat dimensi dan geodesik.

Buku ini menawarkan pengenalan yang ketat untuk teori relativitas umum Einstein. Kami mulai dari prinsip relativitas pertama dan menyajikan prinsip Einstein teori secara mandiri. Setelah memperkenalkan persamaan medan Einstein, kita beralih ke yang paling penting bab dalam buku ini yang berisi tiga tes klasik teori dan memperkenalkan gagasan tentang lubang hitam. Baru-baru ini, kosmologi juga telah membuktikan menjadi arena pengujian yang sangat penting bagi teori relativitas umum. Kami telah mengabdikan sebagian besar untuk subjek ini. Kami memperkenalkan model paling sederhana menggambarkan alam semesta yang berkembang.

Mereka dapat mengatakan cukup banyak tentang alam semesta tempat kita tinggal. Kami menyertakan konstanta

kosmologis dan menjelaskan secara rinci "model standar" dalam kosmologi. Setelah utama masalah telah disajikan, kami memperkenalkan model alam semesta anisotropik dan menjelaskan beberapa fitur. Kecuali seseorang hanya menerima prinsip-prinsip kosmologis sebagai fakta, seseorang tidak dapat dihindari untuk mempelajari alam semesta anisotropik seperti itu model.

Semua ide dan hal yang disajikan dalam buku ini memiliki satu kesamaan: semuanya didasarkan pada gagasan klasik Einstein tentang gravitasi. Kami belum mempertimbangkan mekanika kuantum apa pun dalam Buku kami, dengan satu pengecualian: termodinamika lubang hitam. Termodinamika lubang hitam adalah fitur kuantum lubang hitam, tetapi kami memilih untuk memasukkannya karena mempelajari lubang hitam tidak akan lengkap tanpanya.

Meski telah disiapkan cukup lama, kami menyadari bahwa buku ini masih memiliki banyak kekurangan. Diantaranya, tidak terdapat soal-soal latihan. Barangkali pula di sana sini masih terdapat salah tulis dan ketik. Karena itu kami dengan tangan terbuka sangat mengharap masukan positif dari para pembaca, dalam rangka penyempurnaan buku ini. Akhirnya kami berharap, semoga buku ini dapat bermanfaat bagi pengembangan fisika di masa depan.

Januari 2023
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
BAB I RUANG WAKTU MENURUT TEORI RELATIVITAS KHUSUS.....	1
A. Notasi Relativitas.....	2
B. Postulat Relativitas Khusus.....	5
C. Paradoks Kekonstanan Kecepatan Cahaya.....	8
D. Keserentakan (Simultanitas).....	15
E. Dilatasi Waktu.....	17
F. Transformasi Lorentz.....	20
G. Paradoks: Pelebaran Waktu, Kontraksi Lorentz, dan Paradoks Kembar	22
H. Roda Ruang Waktu	24
I. Jarak Ruang Waktu Yang Skalar	31
J. Vektor-4.....	34
K. Energi-Momentum 4-Vektor.....	35
L. Energi-Momentum pada Foton.....	39
M. Hal-hal Apa Yang Terlihat Pada Kecepatan Relativistik.....	42
N. Volume Fase-Ruang, Intensitas, dan Fluks	44
BAB II FUNDAMENTAL DALAM RELATIVITAS UMUM	48
A. Postulat Relativitas Umum	51
B. Implikasi dari Prinsip Ekuivalen Einstein.....	55

C. Metrik	56
D. Dasar Tetrad Ortonormal γ_m	57
E. Basis Koordinat Vektor Tangen e_μ	60
F. 4-Vektor dan Tensor.....	61
G. Turunan Kovarian	65
H. Torsi	69
I. Koefisien Koneksi dalam Hal Metrik.....	72
J. Turunan Kovarian Bebas Torsi	73
K. Koordinat 4-Kecepatan	75
L. Persamaan Geodesik.....	76
M. Koordinat 4-Momentum	78
N. Parameter Affinitas.....	78
O. Jarak Affinitas.....	79
P. Tensor Rieman.....	79
Q. Tensor Ricci, dan Keskalaran Ricci.....	84
R. Tensor Einstein	85
S. Identitas Bianchi	85
T. Kekekalan Kovarian dari Tensor Einstein.....	86
U. Persamaan Einstein	86
V. Tensor Energi-Momentum Fluida Sempurna	87
W. Batas Newton	88
BAB 3 LUBANG HITAM SCHWARZCHILD	89
A. Metrik Schwarzschild.....	89
B. Simetris yang Berbentuk Bola.....	91

C. Teorema Birkhoff	91
D. Cakrawala	92
E. Proper Time	94
F. Kesingularitasan Schwarzschild.....	95
G. Diagram Embeding	96
H. Diagram Ruang-Waktu Schwarzschild	98
I. Diagram Ruang-Waktu Eddington-Finkelstein.....	100
J. Diagram Ruang Waktu Kruskal-Szekeres.....	102
K. Anti Horizon.....	104
L. Geometri Schwarzschild yang Diperluas Secara Analitis	105
M. Diagram Penrose	108
N. Diagram Penrose Sebagai Panduan Untuk Ruang Waktu	110
O. Cakrawala Masa Depan dan Masa Lalu.....	112
P. Cakrawala Sejati.....	113
Q. Cakrawala Ilusi dan Termodinamika Lubang Hitam	115
R. Cakrawala Ilusi	116
BAB 4 ELEKTROMAGNETISME DALAM RELATIVITAS.....	118
A. Arus Konservasi	119
B. Mengukur Potensial dan Tensor Elektromagnetik..	124
C. Persamaan Maxwell.....	128
BAB 5 PRINSIP KESETARAAN KELENGKUNGAN RUANG WAKTU	132

BAB 6 UJI EKSPERIMEN TEORI RELATIVITAS UMUM	145
A. Pembekokan Cahaya	145
B. Lensa Gravitasi.....	148
C. Perihelion Merkurius	149
D. Teorema Paul Gerber	150
E. Jam Satelit GPS	152
F. Relativitas di Permukaan Bumi.....	153
G. Tidak Ada Ke-Ekuivalenan Untuk GPS.....	154
H. GPS Palsu.....	156
BAB 7 PERSAMAAN GRAVITASI.....	158
A. Prinsip Aksi Einstein-Hilbert.....	158
B. Variasi dari Aksi Einstein-Hilbert	160
C. Tensor Energi Momentum	164
D. Tensor Energi Momentum pada Fluida Sempurna..	166
E. Konservasi Energi Momentum untuk Fluida Sempurna	168
F. Persamaan Enstein.....	169
G. Batas Medan-Lemah dari Persamaan Enstein	174
BAB 8 GEOMETRI SCHWARZCHILD	183
A. Matriks Isotropis Yang Statis Dalam Bentuk Umum	183
B. Solusi Persamaan Medan untuk Ruang Kosong.....	187
C. Geodesik dalam Geometri Schwarzschild.....	192
D. Lintasan Gerak dari Partikel Masif.....	197
E. Lintasan Gerak Foton	200

BAB 9 GEOMETRI KERR.....	202
A. Matriks Umum Simetris-Sumbu Stasioner.....	203
B. Penarikan Kerangka Inersia.....	207
C. Permukaan Batas Stasioner	209
D. Event Horizon	211
E. Matriks Kerr.....	213
F. Batas-batas dari Matriks Kerr	216
G. Bentuk Matriks Kerr-Schild.....	217
H. Struktur dari <i>Black Hole</i> Kerr	219
I. Geodesik pada Bidang Ekuatorial.....	224
J. Lintasan Ekuatorial untuk Partikel Masif.....	227
K. Lintasan Ekuatorial untuk Foton	228
DAFTAR PUSTAKA.....	229
BIONARASI.....	232