BUKU RANCANGAN PENGAJARAN (BRP)

MATA KULIAH

TEORI MEDAN KLASIK

oleh

Handhika Satrio Ramadhan, Ph.D.

Program Studi S1 Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Indonesia
Depok
Desember 2017

PENGANTAR

Buku Rancangan Pembelajaran (BRP) berisi rencana-rencana pembelajaran selama satu semester, disusun untuk digunakan sebagai acuan pembelajaran mata kuliah Teori Medan Klasik di Departemen Fisika FMIPA UI. Mata kuliah Teori Medan Klasik ini diselenggarakan pada semester 5 program studi sarjana Fisika untuk kelompok bidang peminatan Fisika Nuklir dan Partikel Teoretik. Mata kuliah ini mewajibkan telah lulusnya mata kuliah Mekanika Klasik dan Medan Elektromagnetik 1 sebagai prasarat.

Di kuliah ini, mahasiswa akan mempelajari medan-medan klasik fundamental di alam. Mahasiswa juga akan belajar memformulasikan medan-medan tersebut dalam bahasa yang kovarian (relativistik). Porsi terbesar kuliah ini akan dialokasikan untuk membahas mengenai medan gravitasi, sebagai satu-satunya medan klasik yang saat ini belum dapat dikuantisasi. Untuk mendalami medan gravitasi secara modern, mahasiswa akan diajak berkenalan dengan konsep-konsep geometri diferensial, dimulai dengan konsep manifold, dan akan berpuncak pada kuantitas tensor kelengkungan Ricci. Perangkat matematika ini diperlukan untuk memahami Teori Relativitas Umum, dimana dalam teori tersebut medan gravitasi ditafsirkan sebagai kelengkungan ruang-waktu.

Buku Rancangan Pengajaran ini disusun sebagai acuan dalam proses pembelajaran, baik bagi dosen maupun mahasiswa sehingga materi dapat tersampaikan dengan baik dan tujuan pengajaran mata kuliah ini dapat dicapai.

Depok, September 2013

Handhika Satrio Ramadhan, Ph.D.

I. Informasi Umum

1.	Nama Program Studi / Jenjang Studi	:	Fisika / S1
2.	Nama Mata Kuliah	:	Fisika Nuklir dan Partikel
3.	Kode Mata Kuliah	:	SCFI603414
4.	Semester Ke-	:	5
5.	Jumlah SKS	:	4 SKS
6.	Metode Pembelajaran	:	Kuliah Interaktif
7.	Mata Kuliah yang Menjadi Prasyarat	:	Mekanika Klasik, Teori Medan Elektromagnetik 1
8.	Menjadi Prasyarat untuk Mata Kuliah	:	Teori Medan Kuantum
9.	Integrasi Antara Mata Kuliah	:	
10.	Dosen Pengampu	:	Handhika Satrio Ramadhan, Ph.D.
11.	Deskripsi Mata Kuliah	:	Teori relativitas khusus, formulasi Lagrangian dan Hamiltonian untuk sistim kontinu, teorema konservasi untuk sistim kontinu dan tensor energi-momentum. Lagrangian dari medan relativistik klasik seperti medan skalar dan medan elektromagnetik. Teori relativitas umum yang terdiri dari geometri diferensial, geodesik dan kelengkungan, persamaan Einstein, solusi Schwarzschild exterior, solusi Schwarzschild interior, lubang hitam, keruntuhan gravitasi, dan beberapa topik mengenai kosmologi.

II. Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) dan Kemampuan pada Akhir Tahap Pembelajaran (Sub-CPMK)

A. CPMK

Setelah mengikuti mata kuliah ini, mahasiswa diharapkan mampu memahami medan-medan klasik fundamental (elektromagnetik, skalar, dan gravitasi) serta mampu menerapkan formulasi kovarian (Teori Relativitas Khusus) dan Lagrangian sistem kontinu di dalam analisisnya. Mahasiswa juga diharapkan mampu menggunakan perangkat matematika geometri non-Euclid (ruang lengkung) untuk menganalisis medan gravitasi dalam kerangka Teori Relativitas Umum, serta beberapa fenomena yang terkait dengannya (solusi eksak persamaan Einstein, lubang hitam, kosmologi).

B. Sub-CPMK

Mahasiswa diharapkan mampu

1. Memahami transformasi Lorentz.
2. Mengenal konsep dan melakukan operasi tensor secara aljabar maupun kalkulus.
3. Memformulasikan konsep elektrodinamika Maxwell secara kovarian.
4. Mengenal konsep Lagrangian dan Prinsip Aksi Minimum untuk sistem yang kontinu.
5. Menurunkan persamaan gerak dari Lagrangian untuk medan elektromagnetik (Maxwell) dan medan skalar (Klein-Gordon).
6. Menjelaskan hubungan antara simetri dengan kuantitas yang kekal, dalam kerangka teorema Noether.
7. Memahami tensor energi-momentum dan kekekalannya.
8. Mengenal konsep transformasi gauge.
9. Memformulasikan Lagrangian medan skalar yang invarian terhadap transformasi gauge (Abelian maupun non-Abelian).
10. Menjelaskan kesetaraan massa inersial dan massa gravitasi.
11. Menginterpretasi medan gravitasi sebagai kelengkungan ruang-waktu.
12. Mengenal manifold diferensiabel sebagai perangkat matematika dalam mempelajari ruang-waktu yang tak-datar.
13. Mendefinisikan medan tensor, 1-form, dan *differential forms* pada manifold, serta melakukan operasi kalkulus tensor padanya.
14. Memahami konsep tensor metrik.
15. Mengenal Simbol Christoffel dan memahami mengapa ia bukan merupakan besaran tensor.
16. Memformulasikan dan menggunakan konsep turunan kovarian sebagai suatu besaran tensor.

17. Mendefinisikan dan menurunkan persamaan geodesik pada manifold.
18. Mengukur kelengkungan intrinsik dari sebuah manifold.
19. Memformulasikan persamaan Einstein untuk medan gravitasi.
20. Mencari solusi eksak dari beberapa persamaan Einstein yang sederhana (Schwarzschild, Reissner-Nordstrom, de Sitter).
21. Membahas beberapa fenomena yang berkaitan dengan solusi persamaan Einstein (lubang hitam, kosmologi).

III. Rencana Pembelajaran

Minggu Ke	Sub-CPMK	Bahan Kajian	Metode Pembelajaran	Waktu yang Dibutuhkan	Pengalaman Belajar (*O-L-U)	Bobot Penerapan Sub-CPMK Pada MK (%)	Indikator Pencapaian Sub-CPMK	Referensi
1	1	1. Transformasi Lorentz. 2. Invarian-4. 3. Grup Lorentz. 4. Aljabar dan Kalkulus Tensor.	Kuliah mimbar	2x50 menit	70% O, 30% U	6	Memahami teori relativitas khusus secara kuantitatif dan kualitatif	1, 2, 3, 4, 5
2	2, 3	1. Potensial-4. 2. Tensor medan Maxwell . 3. Formulasi kovarian persamaan Maxwell. 4. Kebebasan gauge.	Kuliah mimbar	2x50 menit	70% O, 30% U	6	Menjelaskan secara kuantitatif analisis tensor	1, 2, 3, 4, 5
3	4, 5	1. Lagrangian sistem yang kontinu. 2. Prinsip Aksi Minimum. 3. Lagrangian medan skalar dan persamaan gerak Klein-Gordon. 4. Lagrangian medan Maxwell.	Kuliah mimbar	2x50 menit	70% O, 30% U	6	Memahami penggunaan Lagrangian dan persamaan gerak relativistik	1, 3, 4
4	6	1. Simetri dan teori grup. 2. Teorema Noether.	Kuliah mimbar	2x50 menit	70% O, 30% U	6	Memahami dasar teori grup, teorema Noether, dan tensor energi momentum	1, 3

		3. Tensor energi-momentum.						
5	7, 8, 9	1. Grup unitari. 2. Invariansi gauge untuk kasus grup Abelian dan non-Abelian. 3. Arus dan muatan Noether	Kuliah mimbar	2x50 menit	70% O, 30% U	6	Menjelaskan konsep teori grup dan aplikasi Lagrangian	1, 3
6	10,11, 12	1. Kesetaraan massa inersial dan gravitasi. 2. Manifold diferensiabel. 3. Medan vektor dan tensor. 4. 1-*form*. *5. Differential forms*. 6. Metrik tensor.	Kuliah mimbar	2x50 menit	70% O, 30% U	10	Menjelaskan kesetaraan massa inersial dan massa gravitasi, menginterpretasi medan gravitasi sebagai kelengkungan ruang-waktu, dan mengenal manifold diferensiabel sebagai perangkat matematika dalam mempelajari ruang-waktu yang tak-datar.	1, 3
7	13, 14, 15, 16	1. Simbol Christoffel. 2. Turunan kovarian.	Kuliah mimbar	2x50 menit	70% O, 30% U	10	Mendefinisikan medan tensor, 1-form, dan *differential forms* pada manifold, serta melakukan operasi kalkulus tensor	1, 2, 4, 5

							padanya. Memahami konsep tensor metrik. Mengenal Simbol Christoffel dan memahami mengapa ia bukan merupakan besaran tensor. Memformulasikan dan menggunakan konsep turunan kovarian sebagai suatu besaran tensor.	
8	**Ujian Tengah Semester**							
9	17	1. Persamaan geodesik. 2. Tensor kelengkungan Riemann. 3. Tensor Ricci. 4. Kelengkungan Ricci skalar.	Kuliah mimbar	2x50 menit	70% O, 30% U	10	Mendefinisikan dan menurunkan persamaan geodesik pada manifold.	1, 2, 4 , 5
10	18	1. Persamaan medan gravitasi yang relativistik. 2. Medan gravitasi sebagai kelengkungan ruang-waktu.	Kuliah mimbar	2x50 menit	70% O, 30% U	10	Mengukur kelengkungan intrinsik dari sebuah manifold.	1, 2, 4, 5

		3.Persamaan Einstein sebagai persamaan gerak dari Aksi Einstein-Hilbert.						
11	18	1. Metrik dengan simetri bola. 2. Solusi eksak persamaan Einstein vakum untuk eksterior. 3. Teorema Birkhoff.	Kuliah mimbar	2x50 menit	70% O, 30% U	10	Mengukur kelengkungan intrinsik dari sebuah manifold.	1, 2, 4, 5
12	19, 20	1. Persamaan Maxwell di ruang lengkung. 2. Persamaan Einstein-Maxwell . 3. Solusi eksak metrik bermuatan listrik untuk eksterior.	Kuliah mimbar	2x50 menit	30% O, 40% L, 30% U	6	Memformulasikan persamaan Einstein untuk medan gravitasi. Mencari solusi eksak dari beberapa persamaan Einstein yang sederhana (Schwarzschild, Reissner-Nordstrom, de Sitter).	1, 2, 5
13	21	1. Konstanta kosmologi. 2. Ruang de Sitter. 3. Ruang anti-de Sitter.	Kuliah mimbar	2x50 menit	30% O, 40% L, 30% U	4	Membahas beberapa fenomena yang berkaitan dengan solusi persamaan Einstein (lubang hitam, kosmologi).	1, 4, 5

14	21	1. Lubang hitam. 2. Persamaan Tolman-Oppenheimer-Volkoff untuk interior metrik. 3. Diagram Penrose. 4. Keruntuhan gravitasi. 5. Kosmologi.	Kuliah mimbar	2x50 menit	30% O, 40% L, 30% U	6	Membahas beberapa fenomena yang berkaitan dengan solusi persamaan Einstein (lubang hitam, kosmologi).	1, 4, 5
15	21	Presentasi materi	Presentasi	2x50 menit	30% O, 40% L, 30% U	4	Membahas beberapa fenomena yang berkaitan dengan solusi persamaan Einstein (lubang hitam, kosmologi).	1, 4, 5
16	**Ujian Akhir Semester**							

*) O : Orientasi
L : Latihan
U : Umpan Balik

Referensi:

1) Lewis H. Ryder, *Introduction to General Relativity,* Cambridge University Press 2009.
2) Moshe Carmeli, *Classical Fields: General Relativity and Gauge Theories*, John-Wiley and Sons 1982.
3) Lewis H. Ryder, *Quantum Field Theory*, Cambridge University Press.
4) Sean M. Carroll, *Lecture Notes on General Relativity*, http://itp.ucsb.edu/~carroll/notes, ArXiv: gr-qc/9712019.

5) Sean M. Carroll, *Spacetime and Geometry: Introduction to General Relativity*, Addison Wesley 2004.

IV. Rancangan Tugas dan Latihan

Minggu Ke	Nama Tugas	Sub-CPMK	Penugasan	Ruang Lingkup	Cara Pengerjaan	Batas Waktu	Luaran Tugas yang Dihasilkan
1	Fenomena nuklir	1	Tugas Mandiri	1. Grup Lorentz. 2. Operasi tensor. 3. Bentuk kovarian persamaan Maxwell.	Di kelas/ berkelompok, Mandiri dan Online	2x50 menit	Lembar tugas mandiri
2	Model nuklir	2	Tugas Mandiri	1. Lagrangian dan Prinsip Aksi Minimum untuk medan klasik. 2. Persamaan gerak medan skalar (Klein-Gordon). 3. Tensor energi-momentum. 4. Teori medan gauge.	Di kelas/ berkelompok, Mandiri dan Online	2x50 menit	Lembar tugas mandiri
3	Radiasi nuklir	3	Tugas Mandiri	1. Medan vektor dan tensor. 2. 1-form dan *differential forms*. 3. Simbol Christoffel. 4. Turunan kovarian.	Di kelas/ berkelompok, Mandiri dan Online	2x50 menit	Lembar tugas mandiri
4	Aplikasi fisika nuklir	4	Tugas Mandiri	1. Persamaan geodesik. 2. Tensor kelengkungan Riemann. 3. Tensor dan skalar kelengkungan Ricci	Di kelas/ berkelompok, Mandiri dan Online	2x50 menit	Lembar tugas mandiri
5	Deposisi energi pada medium	5	Tugas Mandiri	1. Solusi Schwarzschild. 2. Solusi Reissner-Nordstrom. 3. Solusi de Sitter dan anti-de Sitter.	Di kelas/ berkelompok, Mandiri dan Online	2x50 menit	Lembar tugas mandiri
6	Deteksi partikel	6	Tugas Kelompok Presentasi	1. Lubang hitam. 2. Persamaan Tolman-Oppenheimer-Volkoff. 3. Diagram Penrose. 4. Keruntuhan gravitasi.	Di kelas/ berkelompok, Mandiri dan Online	2x50 menit	Power point mahasiswa, hasil presentasi, lembar tugas mandiri

				5. Kosmologi,			

V. Kriteria Penilaian (Evaluasi Hasil Pembelajaran)

Bentuk Evaluasi	Sub-CPMK	Instrumen/Jenis Asesmen	Frekuensi	Bobot Evaluasi (%)
Tugas Mandiri	1-4	Lembar jawaban	0	20
Tugas Kelompok	5-6	Bahan Presentasi dan Presentasi	14	30
Ujian Tengah Semester	1-3	Lembar jawaban	1	30
Ujian Akhir Semester	4-6	Lembar jawaban	1	40
Total				**100**

VI. Rubrik

A. Kriteria Nilai Presentasi

Nilai	Penyampaian Presentasi
85-90	Kelompok mampu menyampaikan penjelasan secara logis, lancar, dan tepat waktu serta mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan dari rekan mahasiswa maupun pengajar
75-84	Kelompok mampu menyampaikan penjelasan secara logis dan lancar dan dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan dari rekan mahasiswa maupun pengajar, tetapi kurang dapat mengatur waktu dengan baik
65-74	Kelompok mampu menyampaikan penjelasan secara lancar tetapi kurang dapat menyampaikan logika penalarannya
55-64	Kelompok kurang mampu menyampaikan penjelasan secara lancar dan tepat waktu dan kurang dapat menyampaikan logika penalarannya
<55	

B. Kriteria Nilai Esai

Nilai	Kualitas Jawaban
100	Jawaban sangat tepat, semua pengertian dan komponen utama dijelaskan dengan sangat lengkap
76-99	Jawaban cukup tepat, pengertian dan komponen utama dijelaskan cukup lengkap
51-75	Jawaban kurang tepat, pengertian dan komponen utama dijelaskan dengan kurang lengkap
26-50	Jawaban sangat kurang tepat, pengertian dan komponen utama dijelaskan dengan sangat kurang lengkap

<25	Jawaban salah

VII. Lampiran: Contoh Soal Ujian

1. Buktikan bahwa kontraksi sebuah vektor kontravarian dengan sebuah vektor kovarian menghasilkan skalar!
2. Tunjukkan bahwa simbol Christoffel bukanlah tensor.
3. Tunjukkan bahwa kelengkungan skalar dari suatu silinder panjang berjari-jari a adalah 0.
4. Buktika bahwa prinsip korenspondensi berlaku di relativitas umum; yaitu tunjukkan bahwa pada limit $v \ll c$, persamaan Einstein tereduksi menjadi persamaan Poisson untuk medan gravitasi.
5. Tentukan solusi metrik yang memenuhi simetri maksimal.