



TEORI RELATIVITAS

Aritoto Arkuandato, dkk.

$E=mc^2$

ER



BUKU MATERI POKOK
PEFI4525/3SKS/MODUL 1 - 9

Digital Repository Universitas Jember

EDISI 1

TEORI RELATIVITAS

Artoto Arkundato, dkk.



PENERBIT UNIVERSITAS TERBUKA

Hak Cipta © pada penulis dilindungi oleh Undang-undang
Hak penerbitan pada Pusat Penerbitan Universitas Terbuka
Departemen Pendidikan Nasional
Kotak Pos 6666 – Jakarta 10001
Indonesia

Dilarang mengutip sebagian ataupun seluruh buku ini
dalam bentuk apapun tanpa izin dari penerbit

Edisi Kesatu
Cetakan pertama, Januari 2007
Cetakan kedua, April 2007
Cetakan ketiga, Januari 2008

Penulis : Artoto Arkundato, S.Si, M.Si.
Arianto S.Si, M.Si.
Sutisna, S.Pd, M.Si.
Heni R., M.Si.

Penelaah Materi : Heni Safitri, S.Pd.
Dody Sukmayadi, Drs. M.Sc. Ed.

Pengembang Desain Instruksional : Heni Safitri

Desain Cover dan Ilustrasi : Sunarty
Lay Outer : Nono Suwarno.
Copy Editor : Nining.S

530.1
MAT MATERI teori relativitas; 1 – 9; PEFI4525/3 SKS/
Artoto Arkundato, dkk. -- Cet. 3 –
Jakarta: Universitas Terbuka, 2008

430hal; 9 Jilid; ill.; 21 cm
ISBN: 979-689-758-X

1. Relativitas
I. Arkundato, Artoto



TINJAUAN MATA KULIAH	i
MODUL 1: TEORI RELATIVITAS KHUSUS I	1.1
Kegiatan Belajar 1:	
Kecepatan Relatif, Kerangka Acuan dan Prinsip Relativitas Klasik ..	1.2
Latihan	1.20
Rangkuman	1.20
Tes Formatif 1	1.21
 Kegiatan Belajar 2:	
Transformasi Galileo, Eksperimen Bradley, Fizeau dan Michelson-	
Morley	1.24
Latihan	1.42
Rangkuman	1.42
Tes Formatif 2	1.43
 KUNCI JAWABAN TES FORMATIF	1.47
DAFTAR PUSTAKA	1.50
 MODUL 2: TEORI RELATIVITAS KHUSUS II	2.1
Kegiatan Belajar 1:	
Prinsip Relativitas Khusus dan Transformasi Lorentz	2.2
Latihan	2.22
Rangkuman	2.23
Tes Formatif 1	2.25
 Kegiatan Belajar 2:	
Akibat-akibat Transformasi Lorentz dan Ruang 4 Dimensi	
Minkowskian	2.29
Latihan	2.46
Rangkuman	2.47
Tes Formatif 2	2.47
 KUNCI JAWABAN TES FORMATIF	2.51
DAFTAR PUSTAKA	2.56

MODUL 3: DINAMIKA RELATIVITAS

Kegiatan Belajar 1:

Momentum, Gaya dan Energi

Latihan

Rangkuman

Tes Formatif 1

Kegiatan Belajar 2:

Transformasi Momentum Energi

Latihan

Rangkuman

Tes Formatif 2

KUNCI JAWABAN TES FORMATIF

GLOSARIUM

DAFTAR PUSTAKA

MODUL 4: TENSOR DASAR UNTUK TEORI RELATIVITAS KHUSUS

Kegiatan Belajar 1:

Pengertian Dasar Tensor, Notasi Kesepakatan Einstein, Tensor Kovarian dan Kontravarian, serta Rank Tensor.....

Latihan

Rangkuman

Tes Formatif 1

Kegiatan Belajar 2:

Aljabar Tensor dan Sifat-sifat Tensor Metrik

Latihan

Rangkuman

Tes Formatif 2

KUNCI JAWABAN TES FORMATIF

DAFTAR PUSTAKA

MODUL 5: APLIKASI TENSOR DALAM TEORI RELATIVITAS KHUSUS	5.1
Kegiatan Belajar 1:	
Vektor – Empat	5.3
Latihan	5.16
Rangkuman	5.23
Tes Formatif 1	5.24
 Kegiatan Belajar 2:	
Kalkulus Tensor dalam TRK	5.27
Latihan	5.35
Rangkuman	5.37
Tes Formatif 2	5.37
 KUNCI JAWABAN TES FORMATIF	5.42
GLOSARIUM	5.44
DAFTAR PUSTAKA	5.45
 MODUL 6: PENGANTAR TEORI RELATIVITAS UMUM	6.1
Kegiatan Belajar 1:	
Landasan Teori Relativitas Umum	6.2
Latihan	6.14
Rangkuman	6.15
Tes Formatif 1	6.16
 Kegiatan Belajar 2:	
Relativitas Umum	6.19
Latihan	6.30
Rangkuman	6.31
Tes Formatif 2	6.32
 KUNCI JAWABAN TES FORMATIF	6.35
GLOSARIUM	6.36
DAFTAR PUSTAKA	6.37

**MODUL 7: ALAM DAN EKSPERIMEN DALAM KERANGKA
TEORI RELATIVITAS UMUM**

Kegiatan Belajar 1:

Elemen Garis Schwartzschild
Latihan
Rangkuman
Tes Formatif 1

Kegiatan Belajar 2:

Verifikasi Eksperimen
Latihan
Rangkuman
Tes Formatif 2

KUNCI JAWABAN TES FORMATIF
GLOSARIUM
DAFTAR PUSTAKA

MODUL 8: TENSOR UNTUK TEORI RELATIVITAS UMUM

Kegiatan Belajar 1:

Vektor, Tensor, dan Form
Latihan
Rangkuman
Tes Formatif 1

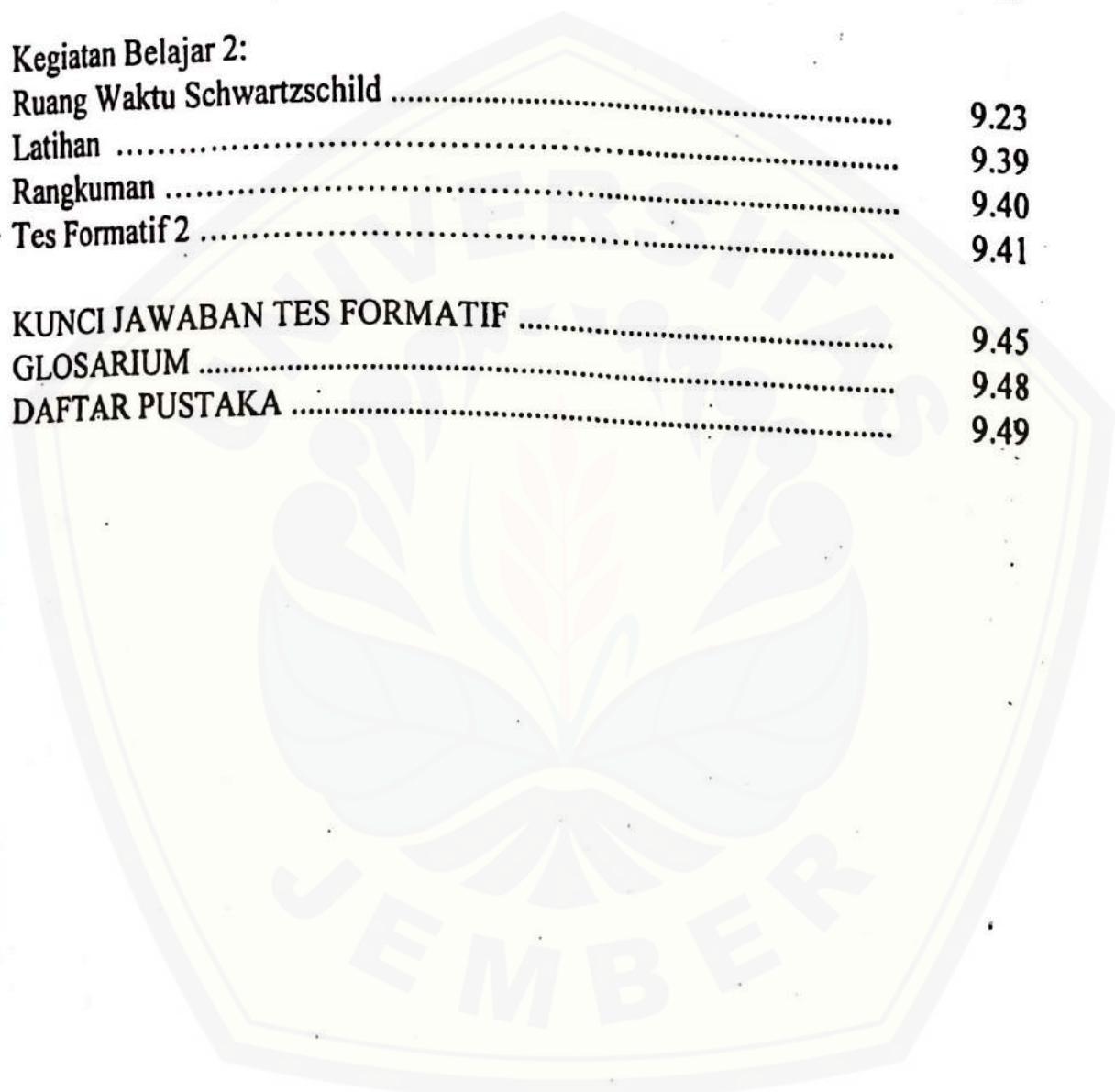
Kegiatan Belajar 2:

Diferensiasi Kovarian
Latihan
Rangkuman
Tes Formatif 2

KUNCI JAWABAN TES FORMATIF
GLOSARIUM
DAFTAR PUSTAKA

**MODUL 9: APLIKASI TENSOR DALAM TEORI
RELATIVITAS UMUM**

Kegiatan Belajar 1:	9.1
Kurvatur dan Medan Einstein	9.3
Latihan	9.19
Rangkuman	9.20
Tes Formatif 1	9.21
Kegiatan Belajar 2:	
Ruang Waktu Schwarzschild	9.23
Latihan	9.39
Rangkuman	9.40
Tes Formatif 2	9.41
KUNCI JAWABAN TES FORMATIF	9.45
GLOSARIUM	9.48
DAFTAR PUSTAKA	9.49





RANGKUMAN

Hukum-hukum mekanika klasik jika diterapkan untuk sistem berkecepatan tinggi harus dimodifikasi. Menurut prinsip relativitas Einstein maka sebuah benda bermassa m_0 jika bergerak dengan kelajuan tinggi u (mendekati kecepatan cahaya) maka massanya akan berubah bergantung kelajuan benda, sebesar $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$. Massa m sering

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

disebut dengan massa relativistik, sedangkan massa m_0 sering disebut massa diam. Selanjutnya, dari persamaan massa relativistik di atas jika kita perhatikan maka kelajuan cahaya $c = 3 \times 10^8$ m/det tidak lain merupakan batas kelajuan benda bergerak. Nilai ini dimiliki oleh foton, sehingga secara umum benda selain foton mempunyai kecepatan/kelajuan di bawah kelajuan cahaya.

Selanjutnya, momentum relativistik didefinisikan dengan

$$\vec{p} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \vec{u} \quad \text{sehingga} \quad \text{gaya} \quad \text{relativistik} \quad \text{adalah}$$

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \right). \quad \text{Perumusan} \quad \text{dinamika} \quad \text{relativistik} \quad \text{juga}$$

menghasilkan ungkapan ekuivalensi massa-energi yang dinyatakan dengan $E = mc^2$ untuk energi total sistem. Konversi massa menjadi energi akan menjadi jelas jika kita lihat pertambahan massa gerak partikel akibat efek relativistik, yaitu energi kinetik T adalah $T = (m - m_0)c^2 = \Delta mc^2$. Energi total sistem juga dapat dinyatakan dalam bentuk $E^2 = (pc)^2 + (m_0c^2)^2$.



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Jika 4 kg massa benda dikonversi seluruhnya menjadi energi. Berapakah energi tersebut?
 - A. $9,5 \times 10^{15}$ J.
 - B. $9,0 \times 10^{16}$ J.
 - C. $8,5 \times 10^{16}$ J.
 - D. $8,0 \times 10^{17}$ J.

- 2) Sebuah partikel bermassa 10^{-24} kg bergerak dengan laju $1,8 \times 10^8$ m/det. Hitunglah massanya saat bergerak?
 - A. $1,2 \times 10^{-23}$ kg.
 - B. $1,2 \times 10^{-24}$ kg.
 - C. $1,4 \times 10^{-23}$ kg.
 - D. $1,6 \times 10^{-25}$ kg.

- 3) Partikel bergerak dengan laju $0,5c$. Hitunglah rasio massa diam terhadap massa geraknya?
 - A. 0,777.
 - B. 0,866.
 - C. 0,977.
 - D. 0,999.

- 4) Dua buah partikel dengan massa diam 3×10^{-25} kg mendekati satu sama lain dalam suatu peristiwa tumbukan. Jika v_0 partikel adalah 2×10^8 m/det maka hitunglah laju gerak masing-masing partikel diliburan yang lain?
 - A. $2,011 \times 10^8$ m/det
 - B. $2,769 \times 10^8$ m/det
 - C. $2,777 \times 10^8$ m/det
 - D. $3,550 \times 10^8$ m/det

- 5) Berapakah laju gerak elektron agar massa geraknya 2 kali lipat dari massanya?
 - A. $2,22 \times 10^8$ m/det.
 - B. $2,59 \times 10^8$ m/det.
 - C. $3,33 \times 10^8$ m/det.
 - D. $4,44 \times 10^8$ m/det.

- 6) Sebuah roket mempunyai massa awal sebelum bergerak 100 kg. Jika kemudian tiba-tiba bergerak dengan laju habis bahan bakar setengah 2 kali laju roket terhadap kedudukan semula ($v = 0,002c$) maka berapakah massa akhir roket tersebut?
- A. 37 kg.
 B. 37,5 kg.
 C. 40 kg.
 D. 60,7 kg.
- 7) Fraksi massa partikel melampaui massa diamnya diberikan oleh $f = \frac{m - m_0}{m_0}$. Berapakah nilai $\beta = u/c$ partikel tersebut?
- A. $\beta = \frac{\sqrt{f(1+f)}}{1+f}$
 B. $\beta = \frac{\sqrt{f(2+f)}}{1+f}$
 C. $\beta = \frac{\sqrt{f(3+f)}}{1+f}$
 D. $\beta = \frac{\sqrt{f(4+f)}}{1+f}$
- 8) Sebuah elektron bergerak dengan laju tertentu sehingga momentumnya menjadi 10 kali massa diamnya kali laju cahaya. Berapakah energinya pada laju tersebut?
- A. $8,00 \times 10^{-6}$ erg
 B. $8,13 \times 10^{-6}$ erg
 C. $9,00 \times 10^{-6}$ erg.
 D. $9,00 \times 10^{-7}$ erg.

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. Bagus! Jika masih di bawah 80% Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

