

RELATIVITAS

- Relativitas Khusus
- Prinsip Relativitas (Kelajuan Cahaya)
- Eksperimen Michelson & Morley
- Postulat Relativitas Khusus
- Konsekuensi Relativitas Khusus
- Transformasi Galileo
- Transformasi Lorentz
- Momentum Relativistik
- Energi Relativistik
- Massa sebagai ukuran energi
- Hukum Kekekalan Energi, Massa, dan Momentum Relativistik

RELATIVITAS KHUSUS

- Terkait dengan pengukuran kuantitas fisis yang bergantung kepada pengamat dan peristiwa yang diamati.
- Pernyataan khusus terkait dengan “**kerangka referensi inersial**” (kerangka acuan yang bergerak dengan v konstan [kecepatan dan arah tetap] terhadap kerangka acuan lainnya).
- Gerak hanya berarti terhadap kerangka acuan tertentu.
- Teori relativitas muncul sebagai koreksi terhadap kerangka acuan universal
- Relativitas umum berkaitan dengan kerangka yang dipercepat.

POSTULAT RELATIVITAS KHUSUS

- Terdapat dua postulat yang diungkapkan oleh EINSTEIN (1905)

- **Postulat Pertama** (asas relativitas / *Prinsip Relativitas*):

Hukum fisika dapat dinyatakan dalam persamaan yang berbentuk sama dalam semua kerangka acuan yang bergerak dengan kecepatan tetap satu dengan lainnya.

- **Postulat Kedua** (ketakubahan kelajuan cahaya):

Kelajuan cahaya dalam ruang hampa sama besar untuk semua pengamat, tidak bergantung dari keadaan gerak pengamat.

PRINSIP RELATIVITAS EINSTEIN

Ide Einstein tentang relativitas, yaitu bahwa ***semua*** pengamat yang tidak mengalami percepatan seharusnya diperlakukan sama terhadap apapun, walaupun mereka bergerak (dengan kecepatan konstan) relatif satu terhadap lainnya.

POSTULAT EINSTEIN

- ***Hukum-hukum fisika sama (invarian) untuk semua pegamat inersia (yang tidak mengalami percepatan.***
 - Hukum Newton tentang gerak sebenarnya mengacu pada prinsip relativitas, namun Pers. Maxwell dan Transformasi Galilean bertentangan dengannya.
 - Einstein melihat tidak ada perbedaan mendasar antara hukum-hukum dinamika dan elektromagnetika
 - Modifikasi mengenai mekanika oleh Einstein membawa kedua cabang fisika tersebut menuju persesuaian

POSTULAT EINSTEIN

- *Di dalam ruang hampa kecepatan cahaya yang diukur oleh semua pengamat inersia adalah*

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

yang tidak bergantung pada gerakan sumbernya.

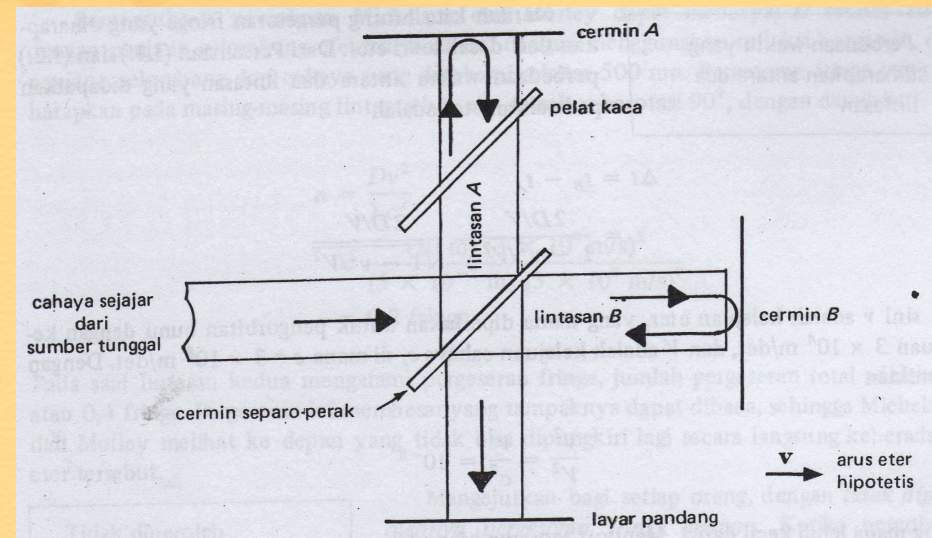
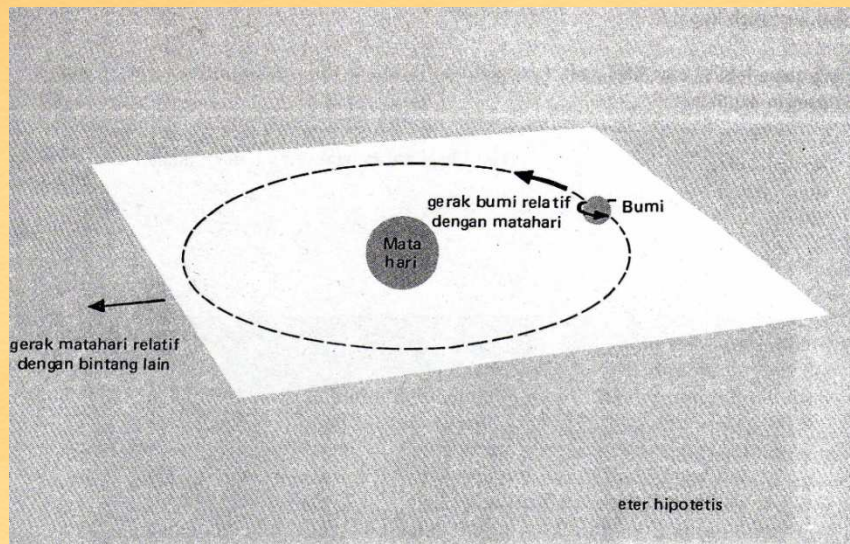
RUANG MUTLAK DAN ETER

- Konsekuensi Transformasi Galilean adalah jika seorang pengamat tengah melakukan pengukuran sinyal cahaya yang merambat dengan kecepatan c , maka pengamat lain yang bergerak relatif terhadapnya akan mendapati sinyal cahaya tersebut merambat tidak sama dengan c .
- Pertanyaannya kalau pengamat relatif diam terhadap kerangka acuan tersebut akan mendapati sinyal merambat dengan kecepatan c ?

RUANG MUTLAK DAN ETER

- Sebelum Postulat Einstein muncul, pengamat yang diistimewakan tersebut sama dengan pengamat yang menganut persamaan maxwell (Teori GEM)
- Ruang yang berada dalam posisi diam terhadap pengamat yang diistimewakan ini dinamakan ruang mutlak
- Semua pengamat yang bergerak terhadap ruang mutlak akan mendapati kecepatan cahaya berbeda dengan c
- Untuk mewakili seluruh ruang mutlak muncullah **POSTULAT ETER**

PERCOBAAN MICHELSON-MORLEY



PERCOBAAN MICHELSON-MORLEY

- Jika eter ada, maka pengamat di bumi yang bergerak melalui eter seharusnya merasakan suatu angin eter
- Hasil percobaan menyatakan tidak adanya gerak yang dapat terdeteksi di dalam eter.
- Konsekuensi percobaan ini:
 - Hipotesis eter tak bisa dipertahankan
 - Kelajuan cahaya dalam ruang bebas dimana pun sama, tak bergantung pada gerak sumber dan pengamatnya

KONSEKUENSI RELATIVITAS KHUSUS

- Kelajuan cahaya bagi semua pengamat sama
- Koordinat pengukuran menjadi (i) koordinat ruang, (ii) koordinat waktu, (iii) koordinat ruang-waktu.
- The relativity of simultaneity : **simultaneity is not an absolute concept but a relative one, depending on the motion of the observer.**
- Teori elektromagnetik sesuai dengan relativitas, sedangkan mekanika newton tidak.
- The ultimate speed dapat dilihat pada peluruhan gamma yang berasal dari neutral pion, yaitu
 $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$

KONSEKUENSI RELATIVITAS KHUSUS

- Pemuaian waktu
 - Relativitas Waktu
 - Waktu Proper
- Efek Doppler
 - Efek doppler cahaya (Tranversal & Longitudinal)
 - Efek Doppler untuk bunyi
 - Alam semesta mengembang
- Pengerutan Panjang
- Paradoks Kembar
- Relativitas massa

PEMUAIAN WAKTU

- **Waktu Proper** = selang waktu antara kejadian yang terjadi pada suatu tempat
- Pemuaian waktu berlaku untuk percobaan lonceng pulsa maupun lonceng konvensional
- Dilatasi Waktu :

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

t_0 = selang waktu pada saat diam relatif terhadap pengamat

t_1 = selang waktu pada saat bergerak relatif terhadap pengamat

V = Kelajuan gerak relatif

C = Kelajuan Cahaya

EFEK DOPPLER

- Efek Doppler untuk Bunyi
- Efek Doppler Transversal Cahaya
- Efek Doppler Longitudinal Cahaya

$$v = v_0 \left(\frac{1 + \frac{v_p}{c}}{1 - \frac{v_s}{c}} \right)$$

$$v = v_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$v = v_0 \sqrt{\frac{1 + \frac{v_p}{c}}{1 - \frac{v_s}{c}}}$$

PENGERUTAN PANJANG

- Lebih cepat berarti lebih pendek
- Panjang Proper = jarak antara titik yang relatif diam terhadap pengamat
- Contoh relativitas panjang adalah partikel **muon** (= partikel elementer yang tak stabil), yaitu muon yang bergerak berumur lebih panjang.
- Pengerutan Panjang (pengerutan Lorentz):

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

RELATIVITAS MASSA

- Massa diam paling kecil
- Persyaratan kekekalan momentum memberi syarat massa harus merupakan kuantitas relatif
- Kelajuan yang mendekati kelajuan cahaya diperlukan untuk melihat pertambahan massa
- Benda bertambah masif ketika bergerak dibandingkan dengan keadaan diam
- Partikel akan memiliki massa diam hanya bila partikel itu bergerak dengan kelajuan cahaya
- Massa Relativistik:

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

MASSA, ENERGI, DAN MOMENTUM DALAM RELATIVITAS

- Perlu pendefinisian ulang momentum klasik
- Hubungan massa dan energi : $E = mc^2$
- Hubungan Momentum dan Energi $E = pc$
- Pernyataan yang benar untuk energi kinetik relativistik: $K = (m - m_0) c^2$
 - Pernyataan salah : $K \neq (1/2) m_0 v^2 \neq (1/2) mv^2$
 - Pernyataan salah : $p \neq m_0 v$

PR 1

1. Apa yang dimaksud dengan kerangka inersial dan kerangka non inersial? Berikan contoh (jika perlu) untuk melengkapi definisi anda!
2. Apa yang dimaksud dengan waktu sesungguhnya?