

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

GAYA GRAVITASI DAN MEDAN GRAVITASI

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran ini, peserta didik diharapkan dapat:

1. menjelaskan tentang konsep Hukum Newton tentang Gravitasi dan besaran-besaran fisika yang terlibat;
2. memahami konsep terjadinya Gaya Gravitasi pada suatu benda yang berinteraksi; dan
3. memahami konsep Medan Gravitasi yang terjadi pada suatu titik benda.

B. Uraian Materi

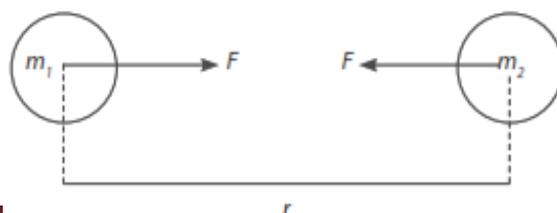
Ananda telah mengetahui bahwa gaya terbagi atas dua yaitu gaya sentuhan/kontak dan gaya tidak sentuh. Gaya karena sentuhan telah kita pelajari di modul KD. 3.7 sebelumnya, dimana terdapat gaya normal (N), gaya gesekan (f_g) ataupun gaya dorong itu sendiri. Sedangkan untuk gaya tak sentuh disebut juga dengan gaya medan ini muncul walaupun benda tidak bersentuhan contohnya gaya listrik, gaya magnet dan gaya gravitasi. Dengan mempelajari gaya tak sentuh ini kita semua dapat mencerna kebesaran Tuhan YME yang tidak ada duanya dan satu-satunya yang wajib di sembah, karena mampu menciptakan sistem alam semesta ini dengan perhitungan yang sempurna. Pada modul ini akan dijelaskan salah satu gaya tak sentuh yang ada di dunia ini beserta dasar-dasar yang mendasarinya sebagai salah satu kewajiban kita menjadi makhluk Tuhan YME untuk selalu taat, dan selalu terus menggali ilmu yang menuntun untuk menyadari akan kebesaran Tuhan YME.

1. Hukum Gravitasi Umum Newton dan Gaya Gravitasi

Hukum Gravitasi Umum Newton

Sebelum mengungkapkan konsep gravitasi nya, Newton sebelumnya menyelidiki gerak-gerak benda angkasa, yaitu planet dan bulan. Dalam peyelidikan itu, Newton menyadari bahwa harus ada gaya pada bulan sehingga bulan tetep berada pada orbit nya mengitari bumi. Jika gaya ini tidak ada pada bulan maka bulan akan bergerak pada lintasan lurus. Pada suatu cerita, suatu ketika Newton sedang duduk bersantai di taman rumahnya dan memperhatikan sebuah apel yang jatuh dari pohon nya. Hal inilah yang menginspirasi Newton membahas ide gravitasi yang selalu di pikirkan selama ini.

Dalam menyelidiki ide tentang gravitasi ini, Newton menghubungkan beerbagai parameter yang akan mempengaruhi tentang konsep gravitasi, seperti massa benda (m) dan jarak pisah (r) antara benda-benda yang saling berinteraksi satu dengan yang lainnya. Perhatikan gambar berikut !



Dari penyelidikannya, Newton menyimpulkan

$$F \sim m_1 \cdot m_2$$

dan

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

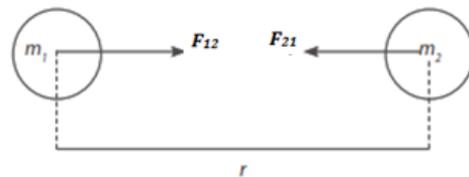
Menurut **Newton**, "Gaya gravitasi antara dua benda merupakan gaya tarik-menarik yang besarnya berbanding lurus dengan perkalian massa masing-masing benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya". Pendapat tersebut selanjutnya dikenal sebagai **Hukum Gravitasi Newton** yang secara matematis dituliskan sebagai berikut.

$$F \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Gaya Gravitasi (F)

Berdasarkan Hukum Gravitasi Newton di atas, telah dijelaskan bahwa Gaya Gravitasi merupakan gaya tarik menarik akibat interaksi dua buah benda, yang selalu berbanding lurus dengan perkalian massa masing-masing benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya, sehingga persamaan gaya gravitasi dapat ditulis :

$$F_{12} = F_{21} = F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$



Keterangan :

$F_{12} = F_{21} = F_g$ = Besar gaya tarik menarik antara kedua benda (Newton)

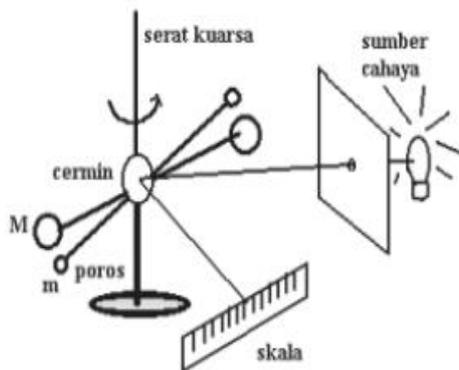
G = Tetapan/konstanta umum gravitasi ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)

m_1 = Massa benda pertama (kg)

m_2 = Massa benda kedua (kg)

r = Jarak antara titik pusat massa kedua benda m_1 dan m_2 (meter)

Tetapan gravitasi (G) ditentukan secara eksperimen pertama kali oleh *Henry Cavendish* pada tahun 1798 dengan menggunakan *neraca cavendish* berupa neraca torsi yang sangat peka.



Berdasarkan *neraca cavendish* di samping, interaksi antara bola yang bermassa m dan M dapat bergerak bebas dan akan memuntir serat kuarsa, sehingga cahaya yang memantul pada cermin akan bergeser pada skala. Dengan mengkonversikan skala, memperhatikan jarak antar benda, dan masa benda m dan massa benda M , maka Cavendish menetapkan nilai G sebesar $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$.

Terdapat tiga hal yang harus Ananda perhatikan dalam menerapkan hukum gravitasi Newton, yaitu :

1. Benda dianggap berbentuk bola seragam atau berupa partikel (titik materi) sehingga jarak pisah r adalah jarak pisah antara kedua pusat massa benda
2. Garis kerja gaya gravitasi terletak pada garis hubung yang menghubungkan pusat benda m_1 dan pusat benda m_2 .
3. F_{12} adalah gaya grvitasi ada benda 1 yang dikerjakan olehbenda 2 (disebut *aksi*), dan F_{21} adalah gaya gravitasi pada benda 2 yang dikerjakan oleh

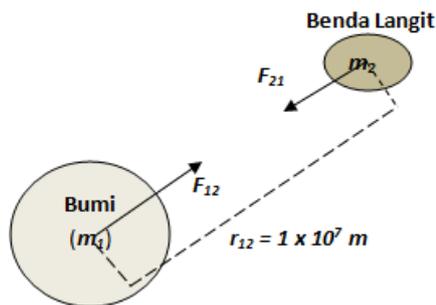
benda 1 (disebut *reaksi*). Jadi F_{12} dan F_{21} adalah dua gaya yang bekerja pada dua benda yang berbeda, sama besar dan berlawanan arah (termasuk pasangan *aksi-reaksi*)

Contoh Soal 1 :

Sebuah benda langit di ruang angkasa yang bermassa 5.000 kg mengorbit Bumi dengan jari-jari orbit 1×10^7 meter. Jika massa Bumi 6×10^{24} kg dan $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$, tentukanlah besarnya gaya gravitasi yang dirasakan oleh benda tersebut!

Pembahasan :

Perhatikan gambar kejadian berikut !



Menentukan besar gaya gravitasi yang dirasakan benda langit (F_{12})

Berdasarkan konsep gaya gravitasi dapat ditulis

$$F_{12} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r_{12}^2}$$

$$F_{12} = 6,67 \times 10^{-11} \left(\frac{(6 \cdot 10^{24}) \times (5 \cdot 10^3)}{(10^7)^2} \right)$$

$$F_{12} = 6,67 \times 10^{-11} \left(\frac{3 \times 10^{28}}{10^{14}} \right)$$

$$F_{12} = 6,67 \times 10^{-11} (3 \times 10^{14})$$

$$F_{12} = 20,01 \times 10^3 \text{ Newton}$$

$$F_{12} = 20010 \text{ Newton}$$

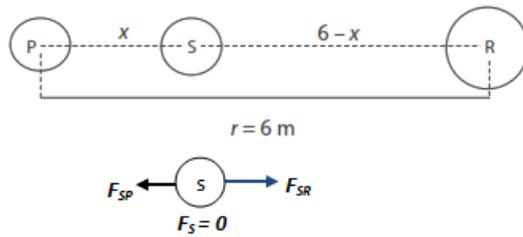
Jadi, pada kasus ini besarnya gaya gravitasi benda langit terhadap bumi adalah **20010 Newton** dengan **arah** menuju pusat bumi.

Contoh Soal 2 :

Benda P bermassa 1 kg berada pada jarak 6 meter dari benda R bermassa 4 kg. Benda S bermassa 2 kg berada di antara benda P dan R. Jika gaya gravitasi yang dirasakan benda S sama dengan nol, berapakah jarak antara P dan S?

Pembahasan :

Perhatikan gambar kasus berikut !



Menentukan jarak antara benda S ke benda P ($r_{SP} = x = \dots?$)

Berdasarkan kasus di atas dapat diketahui bahwa pada benda S tidak mengalami gaya gravitasi ($F_s = 0$), sehingga benda S diam dan berlaku hukum I Newton, dan dapat ditulis :

$$\sum F = 0$$

$$F_{SR} - F_{SP} = 0$$

$$F_{SR} = F_{SP}$$

$$G \frac{m_S \cdot m_R}{r_{SR}^2} = G \frac{m_S \cdot m_P}{r_{SP}^2}$$

$$\frac{m_R}{r_{SR}^2} = \frac{m_P}{r_{SP}^2}$$

$$\frac{1}{(6-x)^2} = \frac{4}{x^2}$$

$$\left(\frac{x}{6-x}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

$$\left(\frac{x}{6-x}\right) = \sqrt{\frac{1}{4}}$$

$$\left(\frac{x}{6-x}\right) = \frac{1}{2}$$

$$2x = 6 - x$$

$$3x = 6$$

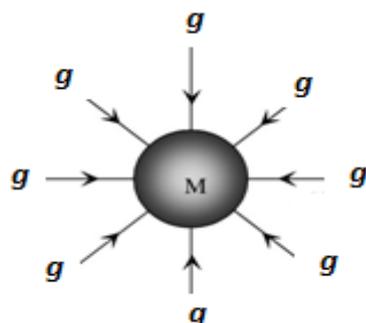
$$x = \frac{6}{3}$$

$$x = 2 \text{ meter}$$

Jadi, agar tidak ada gaya gravitasi yang dirasakan benda S ($F_s = 0$), maka jarak pisah pusat massa antara benda S ke benda P adalah **2 meter**.

2. Medan Gravitasi (g)

Medan gravitasi adalah ruang yang masih dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Besaran yang menyatakan medan gravitasi disebut kuat medan gravitasi (g), yaitu gaya gravitasi tiap satuan massa.

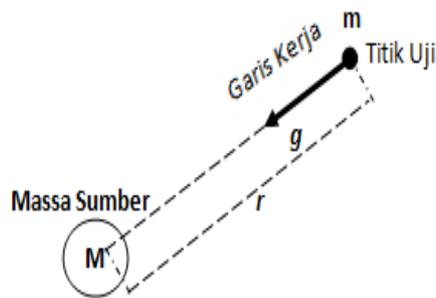


Kuat medan gravitasi (g) merupakan besaran vektor, yaitu medan yang setiap titiknya memiliki nilai dan arah. Garis-garis medan gravitasi (g) merupakan garis-garis

berdambungan (kontinue) yang selalu mengarah menuju ke massa sumber medan gravitasi (seperti terlihat gambar di samping)

Kuat medan gravitasi (g) pada titik apapun dalam suatu ruang didefinisikan sebagai gaya gravitasi (F) per satuan massa pada bermassa uji (M).

Perhatikan gambar berikut !



$$g = \frac{F}{M}$$

Sehingga berdasarkan gambar disamping akan diperoleh

$$g = \frac{G \frac{M \cdot m}{r^2}}{m}$$

$$g = G \frac{M}{r^2}$$

Dapat disimpulkan bahwa garis kerja kuat medan gravitasi terletak pada satu garis hubung yang menghubungkan titik kerja dan pusat massa sumber benda (M) dan arahnya selalu menuju ke pusat massa sumber benda (M).

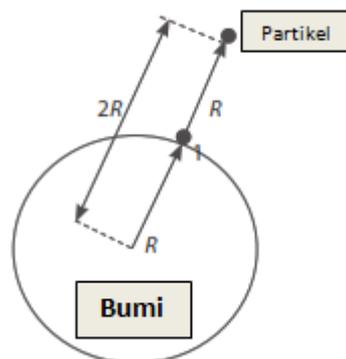
Berdasarkan analisa di atas, dapat disimpulkan bahwa *medan gravitasi* sama dengan *percepatan gravitasi* (g).

Contoh Soal 3 :

Percepatan gravitasi di suatu tempat di permukaan Bumi adalah 10 m/s^2 . Tentukanlah percepatan gravitasi partikel pada suatu titik yang berada pada ketinggian R dari permukaan Bumi ($R = \text{jari-jari Bumi}$)

Pembahasan

Perhatikan gambar pada kasus ini !



- Menentukan percepatan gravitasi partikel (g_p) sejauh R di atas permukaan bumi

Misal : Partikel ketika berada di permukaan bumi adalah g_B , maka akan berlaku analisa persamaan berikut :

$$\frac{g_p}{g_B} = \frac{G \frac{M}{R_p^2}}{G \frac{M}{R_B^2}}$$

$$\frac{g_p}{g_B} = \frac{1}{R_p^2} \cdot \frac{R_B^2}{1}$$

Sehingga diperoleh persamaan :

$$\frac{g_p}{g_B} = \frac{R_B^2}{R_p^2}$$

$$\frac{g_p}{10} = \frac{R^2}{(2R)^2}$$

$$\frac{g_p}{10} = \frac{R^2}{4R^2}$$

$$g_p = \frac{R^2}{4R^2} \times 10$$

$$g_p = 2,5 \text{ m/s}^2$$

Jadi, ketika partikel tersebut berada sejauh R di atas permukaan bumi (berada 2R dari pusat bumi), maka percepatan gravitasi yang dirasakan partikel tersebut adalah **2,5 m/s²**.

Contoh Soal 4 :

Diketahui data fisis planet A dan planet B

	Planet A	Planet B
Massa	M	$0,4 M$
Jari-jari	R	$2 R$

Jika suatu benda berada di planet A memiliki berat 600 Newton, Tentukan berat benda di planet B

Diketahui :

$$M_A = M$$

$$M_B = 0,4 M$$

$$R_A = R$$

$$R_B = 2R$$

$$w_A = 600 \text{ Newton}$$

Ditanya : Berat benda berada di planet B (w_B)

Pembahasan

Telah diketahui bahwa : $w = m \cdot g$ dan $g = G \frac{M}{R^2}$

Sehingga dari hubungan persamaan tersebut diperoleh :

$$w \sim G \frac{M}{R^2}$$

Dalam kasus ini dapat ditulis :

$$\frac{w_A}{w_B} = \frac{G \frac{M_A}{R_A^2}}{G \frac{M_B}{R_B^2}}$$

$$\frac{w_A}{w_B} = \frac{M_A}{R_A^2} \times \frac{R_B^2}{M_B}$$

$$\frac{600}{w_B} = \frac{M}{R^2} \times \frac{(2R)^2}{0,4 M}$$

$$\frac{600}{w_B} = \frac{M}{R^2} \times \frac{4 R^2}{0,4 M}$$

$$\frac{600}{w_B} = \frac{4}{0,4}$$

$$4 \times w_B = 0,4 \times 600$$

$$w_B = \frac{0,4 \times 600}{4}$$

$$w_B = 60 \text{ Newton}$$

Jadi, ketika benda tersebut berada di planet B maka berat benda tersebut sebesar **60 Newton**

C. Rangkuman

1. Hukum gravitasi umum Newton menyatakan apabila terdapat dua buah benda terpisah sejauh r dari pusat mass maka benda-bend tersebut akan mengalami gaya interaksi yang besarnya sebanding dengan perkalian massa-massa benda tersebut, tetapi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak r yang memisahkan kedua benda tersebut.
2. Gaya gravitasi merupakan gaya tarik menarik akibat interaksi dua buah benda, yang selau berbanding lurus dengan perkalian massa masing-masing benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya.
3. Terdapat tiga hal yang harus Ananda perhatikan dalam menerapkan hukum gravitasi Newton, yaitu :
 - a) Benda dianggap berbentuk bola seragam atau berupa partikel (titik materi) sehingga jarak pissah r adalah jarak pisah antara kedua pusat massa benda
 - b) Garis kerja gaya gravitasi terletak pada garis hubung yang menghubungkan pusat benda m_1 dan pusat benda m_2 .
 - c) F_{12} adalah gaya grvitasi ada benda 1 yang dikerjakan olehbenda 2 (disebut *aksi*), dan F_{21} adalah gaya gravitasi pada benda 2 yang dikerjakan oleh benda 1 (disebut *reaksi*). Jadi F_{12} dan F_{21} adalah dua gaya yang bekerja pada dua benda yang berbeda, sama besar dan berlawanan arah (termasuk pasangan *aksi-reaksi*)
4. Medan gravitasi adalah ruang yang masih dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Besaran yang menyatakan medan gravitasi disebut kuat medan gravitasi (g), yaitu gaya gravitasi tiap satuan massa

D. Penugasan Mandiri

Topik : Percepatan gravitasi di berbagai Planet

Tujuan : Menentukan percepatan gravitasi di berbagai planet

Alat dan bahan:

1. Timbangan badan
2. Kertas
3. Pensil

Langkah Kerja

1. Bentuklah kelompok yanterdiri dari tiga orang
2. Siapkan timbangan badan, kemudian ukurlah massa badan setiap anggota kelompok
3. Catat hasil pengukuran masing-masing massa badan setiap anggota kelompok, dan berat badan di Bumi setiap anggota kelompok pada tabel berikut

No	Nama Anggota Kelompok	Massa (m) sesuai pengukuran (kg)	Berat (w) badan setiap anggota kelompok (Newton)
1			
2			
3			
4			

4. Perhatikan tabel berikut !

No	Planet	Massa Planet (kg)	Jari-jari Planet (m)
1	Bumi	$5,98 \times 10^{24}$	$6,38 \times 10^6$
2	Venus	$4,88 \times 10^{24}$	$6,06 \times 10^6$
3	Saturnus	$5,68 \times 10^{26}$	$5,85 \times 10^7$

5. Dengan menggunakan data pada tabel di atas (langkah 4), dan menerapkan konsep kuat medan gravitasi (g), lengkapilah tabel berikut !

No	Planet	Percepatan gravitasi planet	Massa Peserta Didik (kg)				Berat Peserta Didik (N)			
			1	2	3	4	1	2	3	4
1	Bumi									
2	Venus									
3	Saturnus									

6. Setelah menemukan besar percepatan gravitasi dan berat badan di masing-masing planet (planet Venus dan planet Saturnus), diskusikan beberapa pertanyaan berikut:

- Bagaimana cara menentukan percepatan gravitasi pada setiap planet? Jelaskan!
- Bagaimana perbandingan percepatan gravitasi Bumi dengan percepatan gravitasi setiap planet?
- Buatlah kesimpulan dari kegiatan yang telah Ananda selesaikan tersebut

7. Diskusikan hasil yang ananda peroleh dengan seluruh anggota kelompok

E. Latihan Soal

- Jarak antara Matahari dan Bumi adalah $1,5 \times 10^8$ km, sedangkan jarak antara Matahari dan planet X adalah $4,5 \times 10^8$ km. Jika massa Bumi dan planet X dianggap sama dan F adalah gaya gravitasi pada Bumi oleh Matahari, Tentukan gaya gravitasi di planet X!

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

GERAK SATELIT DAN HUKUM KEPLER

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran ini, peserta didik diharapkan dapat:

1. menentukan kecepatan orbit satelit pada ketinggian tertentu;
2. memahami dan menganalisis gerak satelit, gerak planet dalam tata surya berdasarkan hukum Kepler dan hukum gravitasi Newton; dan
3. menyimpulkan ulasan tentang hubungan antara kedudukan, kemampuan, dan kecepatan gerak satelit berdasarkan data dan informasi hasil eksplorasi dengan menerapkan hukum Kepler.

B. Uraian Materi

1. Gerak Satelit

Satelit adalah benda-benda langit yang mengitari planet dengan ukuran yang lebih kecil dari planet tersebut. Satelit dibagi menjadi dua, yaitu *satelit alamiah* misalnya bulan dan *satelit buatan* misalnya satelit Palapa. Pada satelit berlaku gaya sentripetal (F_s) dan gaya gravitasi (F_g).

Gaya Sentripetal (F_s)

Gaya sentripetal (F_s) merupakan gaya yang bekerja pada benda yang bergerak melingkar dan arahnya selalu menuju ke pusat rotasi.

$$F = m \cdot a$$

$F_s = m \cdot a_s$ dimana F_s = gaya sentripetal dan a_s = percepatan sentripetal
Sehingga gaya sentripetal dapat ditulis

$$F_s = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Jika massa satelit adalah m , bergerak mengitari Bumi/planet dengan laju linear v_s , dan berjarak R dari pusat Bumi, maka gaya sentripetal pada satelit dapat ditulis

$$F_s = m \cdot \frac{v_s^2}{R}$$

Keterangan :

F_s = Gaya sentripetal (Newton)

m = Massa satelit (kg)

v_s = Laju linier satelit (m/s)

R = Jarak antara benda dengan pusat Bumi / planet (meter)

Gaya Gravitasi (F_g)

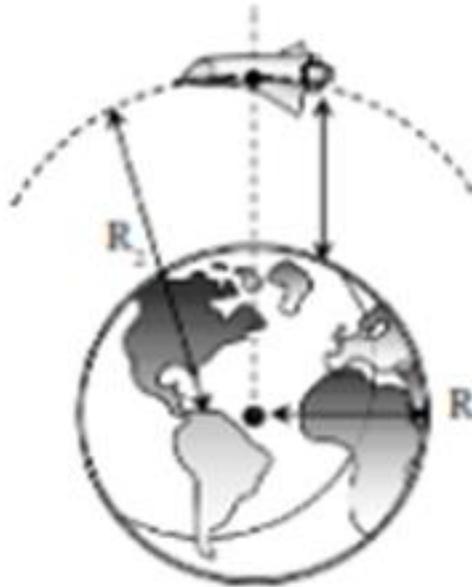
Berdasarkan kegiatan pembelajaran 1 telah dijelaskan bahwa gaya gravitasi dapat ditulis :

$$F_{12} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r_{12}^2}$$

atau

$$F_g = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r_{12}^2}$$

Perhatikan gambar ilustrasi gerak satelit yang mengorbit pada bumi berikut !



Karena satelit bergerak selalu berada pada lintasan orbitnya, maka dapat disimpulkan bahwa :

$$F_s = F_g$$

$$m_s \cdot \frac{v_s^2}{R} = G \frac{m_B \cdot m_s}{R^2}$$

$$v_s^2 = G \frac{m_B}{R}$$

$$v_s = \sqrt{G \frac{m_B}{R}}$$

Atau

$$v_s = \sqrt{G \frac{m_B}{R^2} \times R}$$

$$v_s = \sqrt{g \cdot R}$$

Keterangan :

v_s = Kecepatan linier satelit pada orbit tertentu (m/s)

M = Massa planet (kg)

G = Konstanta umum gravitasi ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

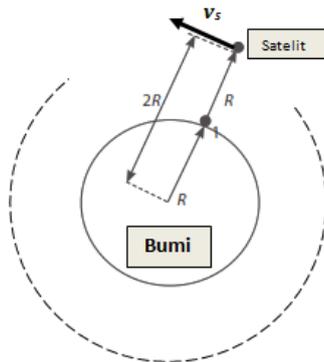
R = Jarak antara benda/satelit ke titik pusat planet/bumi (meter)

Contoh Soal 5 :

Diketahui jari-jari Bumi $R = 6,4 \times 10^6 \text{ m}$ dan percepatan gravitasi dipermukaan Bumi $g = 10 \text{ m/s}^2$. Tentukanlah kecepatan linear satelit yang mengorbit Bumi pada ketinggian R dari permukaan Bumi.

Pembahasan :

Perhatikan gambar kejadian kasus berikut !



Diketahui :

$$R_1 = R = 6,4 \times 10^6 \text{ m}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$R_2 = 2R$$

Ditanya :

Tentukan kecepatan linier satelit (v_s) saat mengorbit bumi pada ketinggian $R_2 = 2R$, diukur dari pusat bumi

Untuk menentukan kecepatan linier satelit (v_s) yang mengorbit pada ketinggian tertentu diatas permukaan bumi kita harus menentukan kuat medan gravitasi g di daerah tersebut, seperti yang dibahas pada **contoh soal 3** sebelumnya dan diperoleh

$$\frac{g_B}{g_S} = \left(\frac{R_S}{R_B}\right)^2$$

$$\frac{g_B}{g_S} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2$$

$$\frac{g_B}{g_S} = \left(\frac{2R}{R}\right)^2$$

$$\frac{g_B}{g_S} = \frac{4}{1}$$

$$g_S = \frac{g_B}{4}$$

$$g_S = \frac{10}{4} \quad \text{atau} \quad g_S = \frac{5}{2} \text{ m/s}^2$$

Jadi, kuat medan gravitasi satelit yang dirasakan dititik R_2 adalah $\frac{5}{2} \text{ m/s}^2$

Setelah diperoleh kuat medan gravitasi di titik R_2 , maka kita dapat menghitung kecepatan linier dalam ketika mengorbit bumi di ketinggian R_2 , yaitu :

$$v_s = \sqrt{g_S \cdot R}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{5}{2} \cdot (6,4 \times 10^6)}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{5}{2} \cdot (6,4 \times 10^6)}$$

$$v_s = \sqrt{(16 \times 10^6)}$$

$$v_s = 4000 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan linier satelit saat mengorbit mengelilingi bumi di titik $2R$ dari pusat bumi adalah **4000 m/s**

2. Hukum-Hukum Kepler

Sebelum Newton ada tiga astronom yang berperan besar mengubah pandangan kuno yang menganggap Matahari, Bulan, planet-planet dan bintang-bintang berevolusi mengitari bumi, serta menganggap bumi adalah pusat tata surya (*geosentris*). Ketiga ilmuwan tersebut adalah **Copernicus**, **Brahe** dan **Kepler**.

Johanes Kepler seorang ilmuwan asal Jerman menjadi asisten **Brahe** pada usia 29 tahun. Kepler mempelajari data pengamatan yang dikumpulkan Brahe selama 30 tahun dan meyakini bahwa geometri dan matematika dapat digunakan untuk menjelaskan angka, jarak dan gerak planet-planet.

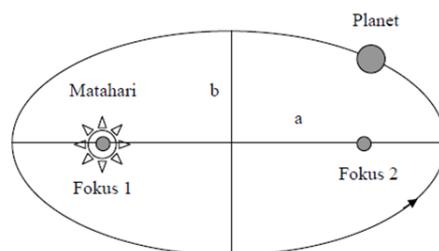
Kepler mempercayai bahwa Matahari mengerjakan sebuah gaya pada planet-planet dan ia menempatkan matahari sebagai pusat sistem (*heliosentris*). Setelah beberapa tahun menganalisis secara teliti data-data yang diperoleh dari Brahe, Kepler berhasil menemukan hukum-hukum yang menjelaskan gerak orbital dari setiap planet mengitari matahari.

Berikut hukum-hukum Kepler yang tentang gerak planet

a) Hukum I Kepler

“Semua planet bergerak pada lintasan elips mengitari Matahari dengan Matahari berada di salah satu fokus elips”

Perhatikan gambar berikut !

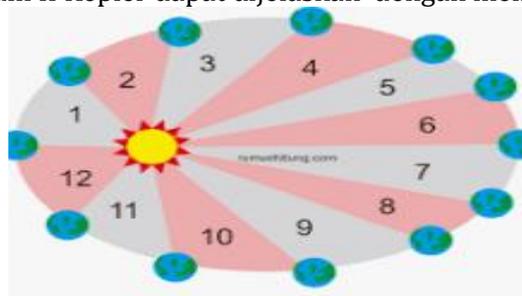


Meski secara teknis elips yang tidak sama dengan lingkaran, tetapi sebagian besar planet mengikuti orbit yang bereksentrisitas rendah, jadi secara kasar bisa dibayangkan mengaproksimasi lingkaran. Jika dilihat dari pengamatan jalan edaran planet, tidak jelas kalau orbit sebuah planet adalah elips. Namun, dari bukti perhitungan Kepler, orbit-orbit itu adalah elips, yang juga membolehkan benda-benda angkasa yang jauh dari Matahari untuk memiliki orbit elips, dan matahari berada di salah satu fokus elips.

b) Hukum II Kepler

“Suatu garis khayal yang menghubungkan Matahari dengan planet menyapu luas juring yang sama dalam selang waktu yang sama”

Hukum II Kepler dapat dijelaskan dengan memahami gambar berikut !



Jika waktu edar planet sama dalam hal ini $t_1 = t_2 = t_3$, maka luas daerah yang menyapu juring pada waktu yang sama memiliki luas (A) daerah yang sama ($A_1 = A_2 = A_3$)

c) **Hukum III Kepler**

Hukum I dan II Kepler dipublikasikan pada tahun 1609, yang berdasarkan data-data pengamatan yang diperoleh Brahe. Kemudian Kepler mencari hubungan antara gerak planet-planet yang berbeda, dan suatu penjelasan untuk menghitung gerak-gerak planet tersebut.

Dan sepuluh tahun kemudian (1619), Kepler berhasil mengemukakan hubungan tersebut dan mengungkapkannya pada Hukum III Kepler yaitu :

“Perbandingan kuadrat periode terhadap pangkat tiga dari setengah sumbu panjang elips adalah sama untuk semua planet”

Dan persamaannya dapat di tulis :

$$\frac{(\text{Periode})^2}{(\text{Radius})^3} = \text{Konstan} \quad \text{atau} \quad \frac{T^2}{R^3} = k$$

Persamaan Hukum III Kepler ini dapat dianalisa dengan menggunakan Hukum Gravitasi Newton, dimana gerak planet dapat dianalogikan sebagai gerak benda yang mengorbit pada matahari, sehingga dapat ditulis

$$F_s = F_g$$

$$m \cdot \frac{v^2}{R} = G \frac{m \cdot M}{R^2}$$

$$v^2 = G \frac{M}{R}$$

$$\omega^2 R^2 = G \frac{m_B}{R}$$

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R^2 = G \frac{M}{R}$$

$$\frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = G \frac{M}{R}$$

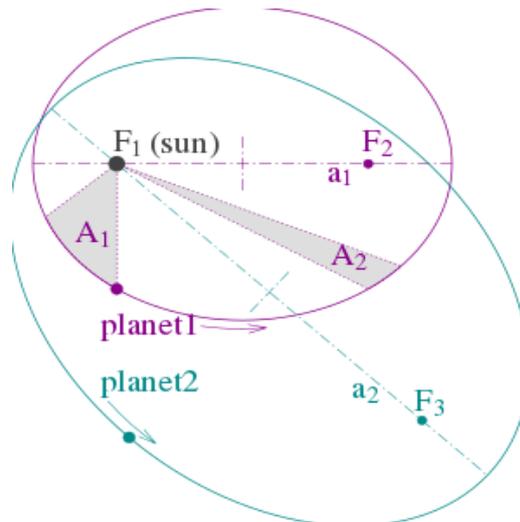
$$\frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = G \frac{M}{R}$$

$$\text{diperoleh} \quad \frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM} \quad \text{atau} \quad \frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{gR^2} = \text{Konstan}$$

Sehingga dapat disimpulkan

$$\frac{T^2}{R^3} = \text{Konstan} \rightarrow \text{TERBUKTI}$$

Dengan memahami Hukum I, II, dan III Kepler di atas Ananda bisa melakukan visualisasi pengetahuan Ananda pada gambar berikut :



Gambar di atas merupakan gambar yang langsung dapat memvisualisasi pemahaman Anda tentang Hukum I, II dan III Newton secara utuh dan menyeluruh.

Contoh Soal 6 :

Jarak rata-rata antara Matahari dan Merkurius adalah 0,4 kali jarak rata-rata Matahari dan Bumi. Jika periode revolusi Bumi adalah 1 tahun, Tentukan periode revolusi Merkurius adalah

Pembahasan

Diketahui:

$$R_{MM} = 0,4 R_{MB}$$

$$T_{MB} = 1 \text{ Tahun}$$

Ditanya: Tentukan periode revolusi Merkurius mengelilingi Matahari (T_{MM})

Dengan menerapkan Hukum III Kepler diperoleh

$$\frac{T^2}{R^3} = \text{Konstan}$$

$$\frac{T_{MB}^2}{R_{MB}^3} = \frac{T_{MM}^2}{R_{MM}^3}$$

$$\frac{1}{R_{MB}^3} = \frac{T_{MM}^2}{(0,4 R_{MB})^3}$$

$$\frac{1}{R_{MB}^3} = \frac{T_{MM}^2}{0,064 \times R_{MB}^3}$$

$$T_{MM}^2 = 0,064$$

$$T_{MM} = \sqrt{0,064}$$

$$T_{MM} = \mathbf{0,253 \text{ Tahun}}$$

Jadi, Periode revolusi Merkurius terhadap Matahari membutuhkan waktu **0,253 tahun**

C. Rangkuman

1. Satelit adalah benda-benda langit yang mengitari planet dengan ukuran yang lebih kecil dari planet tersebut. Satelit dibagi menjadi dua, yaitu *satelit alamiah* dan *satelit buatan*. Pagar satelit bergerak pada orbitnya, maka berlaku hubungan gaya sentripetal (F_s) dan gaya gravitasi (F_g).
2. Gaya sentripetal (F_s) merupakan gaya yang bekerja pada benda yang bergerak melingkar dan arahnya selalu menuju ke pusat rotasi.
3. Kecepatan linier pada gerak satelit yang mengorbit pada lintasan orbit tertentu dipengaruhi oleh jarak satelit ke pusat massa planet yang dijadikan pusat orbit (R) dan kuat medan gravitasi yang dirasakan satelit pada titik orbit satelit (g)
4. Terdapat 3 buah hukum Kepler yang membahas tentang gerak planet, yaitu :
 - a. Hukum I Kepler
"Semua planet bergerak pada lintasan elips mengitari Matahari dengan Matahari berada di salah satu fokus elips"
 - b. Hukum II Kepler
"Suatu garis khayal yang menghubungkan Matahari dengan planet menyapu luas juring yang sama dalam selang waktu yang sama"
 - c. Hukum III Kepler
"Perbandingan kuadrat periode terhadap pangkat tiga dari setengah sumbu panjang elips adalah sama untuk semua planet"
5. Hukum Newton tentang gravitasi memiliki keterkaitan yang erat dan mampu menjelaskan hukum-hukum Kepler tentang gerak planet yang telah lahir lebih dulu.

D. Latihan Soal

1. Sebuah satelit mengorbit setinggi 3.600.000 meter di atas permukaan Bumi. Jika jari-jari Bumi adalah 6.400.000 meter dan gerak satelit dianggap melingkar beraturan. Jika percepatan gravitasi di bumi g_B adalah 10 m/s^2 , Tentukan kecepatan linier satelit yang berada di orbit tersebut !
2. Dua buah satelit beredar mengitari Bumi dengan lintasan berbentuk elips. Jika perbandingan ketinggian kedua satelit dari pusat Bumi adalah 1 : 4, maka perbandingan periode revolusi kedua satelit tersebut adalah...
3. Dua planet P dan Q mengorbit Matahari. Apabila perbandingan antara jarak planet P dan planet Q ke Matahari adalah 4 : 9, dan periode planet P mengelilingi matahari 24 hari, Tentukan periode planet Q mengelilingi matahari.