SOAL OLIMPIADE SAINS NASIONAL (OSN) 2007

Bidang studi : FISIKA

Tingkat : SMA

Waktu : 4 jam

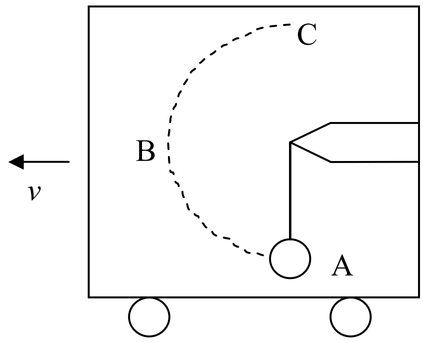
1. **(nilai 20)**

   A. Sebuah mobil bergerak menuruni suatu jalan yang miring (dengan sudut θ terhadap bidang horizontal) dengan percepatan a. Di dalam mobil terdapat sebuah bandul dengan panjang tali l dan massa m. Hitung periode osilasi bandul dalam mobil ini. Nyatakan dalam : l, a, g dan θ. (**nilai 5**)

   B. Sebuah truk yang mula-mula diam dipercepat ke kanan sampai suatu kecepatan v_0 dalam waktu t. Energi mekanik diperoleh dari perubahan energi kimia bahan bakar. Hal ini terlihat jelas dari penurunan bahan bakar dalam mobil. Sekarang tinjau kejadian ini dalam kerangka yang bergerak ke kanan dengan kecepatan ½ v_0. Menurut pengamat ini, mobil mula-mula bergerak ke kiri dengan kecepatan -½ v_0 dan setelah selang waktu t, kecepatan mobil menjadi ½ v_0 ke kanan. Bagi pengamat ini, energi mekanik mobil tidak berubah, tetapi tetap saja jumlah bensin mobil menurun. Kemanakah hilangnya energi bensin ini menurut pengamat bergerak ini? (**nilai 5**)

   C. Di belakang sebuah truk terdapat suatu batang dengan massa m dan panjang l yang bersandar di dinding belakang truk. Sudut antara batang dengan lantai truk adalah θ. Kalau seandainya lantai dan dinding truk licin, berapakah percepatan yang dibutuhkan oleh truk agar batang ini tidak terpeleset? Nyatakan dalam : g dan θ. (**nilai 5**)

   D. Sebuah kereta bergerak dengan kecepatan konstan v_0. Dalam kereta ini ada sebuah bandul seperti pada gambar. Panjang bandul adalah R dengan massa m dan mula mula bandul diam di titik A relatif terhadap truk. Tinjau 3 kasus:



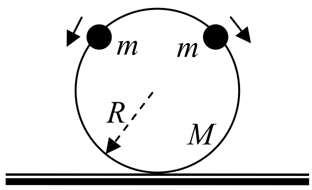
i. Jika saat t=0, kereta mulai diperlambat dengan percepatan konstan a mungkinkah massa m bergerak mencapai puncak titik C mengikuti lintasan garis putus-putus pada gambar? Jika mungkin apakah syaratnya? (ingat bahwa a bukan sesaat, tetapi sepanjang waktu). (**nilai 1,5**)

ii. Jika saat t=0, kereta mulai diperlambat dengan percepatan konstan a, **hanya** sampai bola berhasil mencapai titik B. berapakah nilai minimum a agar bola bisa mencapai titik C? Nyatakan dalam g. (**nilai 2**)

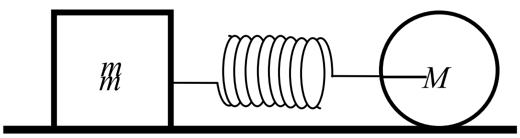
iii. Jika saat t=0, kereta direm mendadak sehingga kecepatan kereta seketika menjadi nol. Berapakah nilai minimal v_0 agar bola bisa mencapai puncak C? Nyatakan dalam : g dan R. (**nilai 1,5**)

2. (**nilai 20)**

A. Dua buah manik-manik masing-masing massanya m diletakkan diatas/dipuncak sebuah hoop licin (tanpa gesekan) bermassa M dan berjari-jari R, hoop diletakkan vertikal di atas lantai. Manik-manik diberi gangguan yang sangat kecil, sehingga meluncur kebawah, satu ke kiri dan satunya lagi ke kanan (lihat gambar). Tentukan nilai terkecil $\frac{m}{M}$ sehingga hoop akan terangkat/tidak menyentuh lantai selama bergerak. (nilai 10)



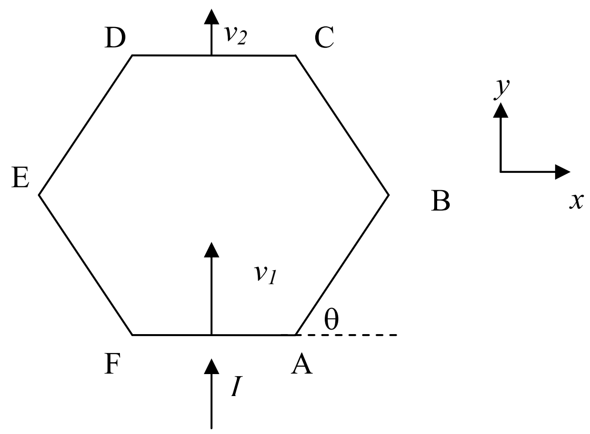
B. Perhatikan gambar di bawah



Sebuah balok bermassa m dan sebuah silinder bermassa M dihubungkan dengan pegas dengan konstanta pegas k. Tidak ada gesekan antara balok M dengan lantai, tetapi ada gesekan yang besar antara silinder dan lantai sehingga silinder bisa menggelinding **tanpa slip**. Panjang mula-mula pegas L. Saat mula mula silinder ditarik menjauh dari m sehingga panjang pegas bertambah sebesar A. Mula-mula semua sistem diam, kemudian silinder dilepas. Hitung percepatan pusat massa sistem. Nyatakan dalam : k, A, m, dan M. (**nilai 10**)

3. (nilai 20)

Enam batang identik (dengan massa m dan panjang l, momen inersia = $ml^2/12$) dihubungkan membentuk suatu hexagon. Hexagon ini diletakkan di atas permukaan licin. Titik sambung (A, B, C, D, E dan F) bebas bergerak. Saat t=0, batang FA dipukul dengan suatu impulse I sedemikian sehingga FA bergerak dengan kecepatan v_1. Karena impulse persis diberikan di tengah-tengah batang FA, maka seluruh sistem akan bergerak secara simetris (FA dan CD selalu sejajar dengan sumbu x).



Inti soal ini adalah menghitung respon sesaat sistem saat t=0 (sudut $\theta = 60^0$). Di sini anda diminta untuk menghitung berapa harga v_2 dinyatakan dalam v_1. Tetapi untuk menghitung kecepatan ini akan lebih mudah kalau dikerjakan menuruti langkah-langkah berikut.

A. anggap: kecepatan batang FA = v_1

kecepatan batang CD = v_2.

Hitung kecepatan titik B (v_{Bx} dan v_{By}) nyatakan dalam v_1 dan v_2. (**nilai 3**)

Dari jawaban ini, hitung juga kecepatan pusat massa batang AB dan batang BC: $v_{AB,x}$; $v_{AB,y}$; $v_{BC,x}$; dan $v_{BC,y}$, juga nyatakan dalam v_1 dan v_2. (**nilai 4**).

Hitung juga hubungan antara $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ dengan v_1, v_2 dan l. (**nilai 2**)

B. Pada setiap titik sambung A, B, C, D, E dan F muncul impulse sebagai respon dari impulse I. Impulse titik A dinyatakan dalam arah x dan y: $I_{A,x}$ dan $I_{A,y}$. Demikian juga untuk titik B, C, D, E dan F. Dari simetri, anda hanya perlu meninjau titik A, B dan C saja. Gambar arah impulse pada batang FA, AB, BC dan CD. (**nilai 3**)

C. Tulis persamaan gerak batang FA (hanya gerak dalam arah y saja). (**nilai 1**).

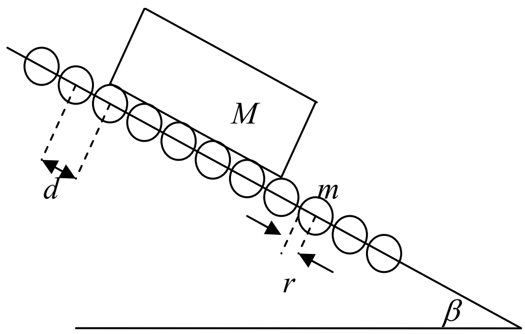
D. Tulis persamaan gerak batang AB (arah x, y dan juga gerak rotasi). (**nilai 3**)

E. Tulis persamaan gerak batang BC (arah x, y dan juga gerak rotasi). (**nilai 3**)

F. Tulis persamaan gerak batang CD (hanya gerak dalam arah y saja). (**nilai 1**).

4. **(nilai 10)**

Pada sebuah bidang miring dengan kemiringan β terhadap bidang datar dipasangi banyak sekali roda berbentuk silinder dengan massa m dan jari jari r. Permukaan roda ini dilapis karet dan jarak antar roda adalah d. Sebuah balok bermassa M dilepas dari atas bidang miring dan meluncur turun di atas bidang miring ini. Anggap dimensi balok jauh lebih besar daripada d. Karena adanya lapisan karet, maka ada gesekan antara balok dan roda. Setelah beberapa saat balok M mencapai kecepatan terminal (saat mencapai kecepatan terminal, balok M akan meluncur turun dengan kecepatan konstan).

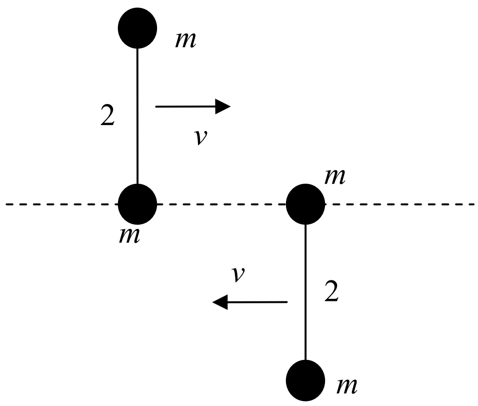


Hitung kecepatan terminal massa M. Nyatakan dalam : $d, M, m, g,$ dan β.

petunjuk: gunakan persamaan energi.

5. **(nilai 10)**

Perhatikan gambar di bawah.



Dua buah dumb-bell bergerak mendekati satu terhadap yang lain dengan kecepatan masing-masing v. Setiap dumb-bell terdiri dari 2 massa m yang terpisah pada jarak $2l$ oleh suatu batang tak bermassa. Mula-mula keduanya tidak berotasi sama sekali. saat t=0 keduanya bertumbukan lenting sempurna.

A. Diskripsikan evolusi sistem setelah tumbukan ini. (**nilai 4**).

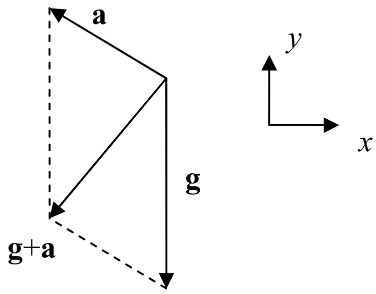
B. Anggap tumbukan terjadi di titik koordinat (0,0). Gambar grafik posisi y(x) untuk setiap massa (keempat massa). (**nilai 6**)

Emas buat Indonesia

Solusi OSN 2007_Surabaya

01.

A. Dalam kerangka mobil, akan muncul gaya fiktif sebesar *ma* yang mengarah ke atas bidang miring **(2,0 poin)**



Jumlahkan secara vektor percepatan akibat gaya fiktif ini dengan percepatan gravitasi

Dalam arah x: $-a\cos\theta$ **(1,5 poin)**

Dalam arah y: $-g + a\sin\theta$

Jadi total percepatannya adalah

$$g' = \sqrt{(-a\cos\theta)^2 + (-g + a\sin\theta)^2}$$

$$g' = \sqrt{a^2 + g^2 - 2ag\sin\theta}$$

Untuk bandul sederhana di medan gravitasi g, periode osilasi adalah $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

Untuk kasus mobil ini, tukar g dengan g'

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{\sqrt{a^2 + g^2 - 2ag\sin\theta}}}$$ **(1,5 poin)**

B. Energinya hilang ke perubahan momentum bumi. Kalau kita anggap bumi dan mobil sebagai sistem terisolasi, maka momentum linear gabungan bumi dan mobil harus kekal. Jadi saat mobil berubah dari diam menjadi bergerak dengan kecepatan v_0, sebenarnya bumi juga mengalami perubahan kecepatan (yang sangat kecil).

Momentum mula mula menurut pengamat yang bergerak dengan kecepatan $v_0/2$ terhadap bumi:

Momentum mobil: $-m\, v_0/2$.

Momentum bumi: $-M\, v_0/2$.

Momentum setelah t menurut pengamat yang sama:

Momentum mobil: $m\, v_0/2$.

Momentum bumi: $-M\, (v_0/2 + \Delta v)$.

Dari kekekalan momentum linear: $-(m+M)\, v_0/2 = m\, v_0/2 - M\, (v_0/2 + \Delta v)$.

Sederhanakan: $m\, v_0 = M\, \Delta v$.

Sekarang hitung perubahan energi bumi:

$$\Delta E = \frac{1}{2} M \left(\frac{v_0}{2} + \Delta v \right)^2 - \frac{1}{2} M \left(\frac{v_0}{2} \right)^2 = \frac{1}{2} M \left(v_0 \Delta v + (\Delta v)^2 \right)$$

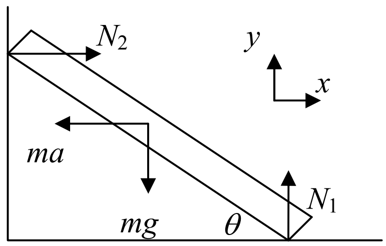
Suku kedua jauh lebih kecil, jadi bisa diabaikan.

Gunakan hubungan Δv dari persamaan momentum, didapat

$$\Delta E = \frac{1}{2} m v_0^2$$

Jadi energi yang hilang muncul sebagai energi mekanik bumi. **(5 poin)**

C. perhatikan gambar di bawah



Syarat supaya setimbang:

- Jumlah torka sama dengan nol.
- Jumlah gaya sama dengan nol

Hitung torka terhadap pusat massa:

$N_1\, l/2 \cos\theta - N_2\, l/2 \sin\theta = 0$

Sederhanakan : $N_1 \cos\theta = N_2 \sin\theta$

Jumlah gaya arah $x = 0$

$N_2 - ma = 0$

Sederhanakan $N_2 = ma$

Jumlah gaya arah y = 0

$N_1 - mg = 0$

Sederhanakan $N_1 = mg$

Substitusikan ini ke persamaan torka, didapat:

$mg \cos\theta = ma \sin\theta$

atau $a = g \text{ ctg } \theta$. **(5 poin)**

D. **i**. Kita lebih mudah bekerja dalam frame kereta. percepatan ke kanan (berlawanan dengan v_0)

Dalam frame ini ada gaya fiktif ke kiri (searah dengan v_0).

Mula mula bandul diam dalam frame ini, tetapi karena ada gaya fiktif *ma* maka bandul dipercepat dari B ke A. Ada usaha positif dari gaya fiktif ini selama gerak A ke B. Setelah itu gaya fiktif akan mulai mengerjakan usaha negatif. Jika bandul bergerak dari A ke B kemudian ke C, usaha total dari gaya fiktif nol. Sedangkan titik C mempunyai energi potensial lebih tinggi daripada titik A.

Jadi kesimpulannya, dalam kasus pertama ini, **tidak mungkin** massa m bisa mencapai titik C. (**3 poin**)

ii.untuk kasus kedua ini, selama gerak bola dari A ke B, gaya fiktif *ma* melakukan usaha sebesar *maR*.

Saat mencapai titik C, kecepatan bandul adalah *v*.

Dari hubungan kekekalan energi: $maR = \frac{1}{2}mv^2 + 2mgR$

Tetapi syarat agar mencapai titik C adalah $\frac{mv^2}{R} \geq mg$.

Atau syarat minimumnya $v^2 = gR$

Masukkan ini ke persamaan energi, didapat $a = \frac{5}{2}g$ (**4 poin**)

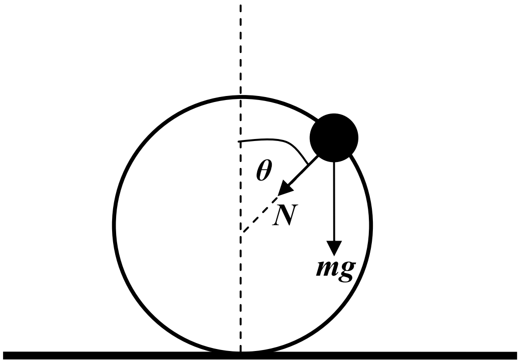
iii.Saat direm mendadak, kereta seketika berhenti. Tetapi bandul masih mempunyai kecepatan v_0. dari hubungan kekekalan energi antara titik A dan titik C didapat:

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + 2mgR$$

Dari syarat minimum seperti nomor ii : $v^2 = gR$

Didapat $v_0 = \sqrt{5gR}$ (**3 poin**)

02. a.



- ***N*** = gaya normal hoop pada manik-manik
- ***mg*** **=** gaya berat manik-manik

❖ **Tinjau manik-manik :**

$$\Sigma F = ma$$

Arah radial,

$$N + mg\cos\theta = m\frac{v^2}{R} \quad \text{...(1)}$$

Asumsikan manik-manik membentuk sudut θ terhadap vertikal, maka tinggi jatuhnya manik-manik h :

$$h = R(1-\cos\theta)$$

➢ Hukum kekekalan energi mekanik :

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgR(1-\cos\theta)$$

$$v^2 = 2gR(1-\cos\theta) \quad \text{..(2)}$$

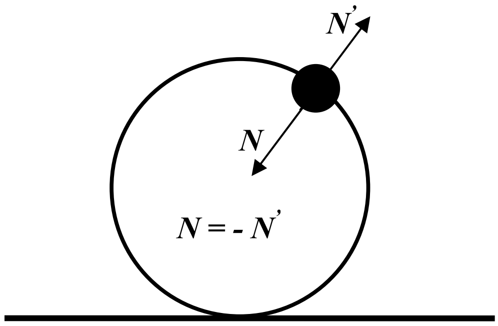
➢ Subtitusikan persamaan (2) ke persamaan (1)

$$N + mg\cos\theta = m\frac{2gR(1-\cos\theta)}{R}$$

$$N = 2mg(1-\cos\theta) - mg\cos\theta$$

$$N = mg(2-3\cos\theta)$$

Berdasarkan hukum III Newton, maka ada gaya reaksi N' dari manik-manik pada hoop yang besarnya = *N,* tapi dengan arah yang berlawanan.



- Gaya angkat total dari dua manik-manik arah vertikal :

$$
\begin{aligned}
2N\cos\theta &= 2mg(2-3\cos\theta)\cos\theta \\
&= 2mg(2\cos\theta - 3\cos^2\theta)
\end{aligned}
$$

- Nilai θ akan maksimum jika turunan = 0, sehingga :

$$0 = \frac{d}{d\theta}(2\cos\theta - 3\cos^2\theta)$$

$$0 = -2\sin\theta + 6\sin\theta\cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{1}{3}$$

- Sehingga gaya angkat/ke atas F_{angkat} :

$$
\begin{aligned}
F_{angkat} &= 2mg(\frac{2}{3} - \frac{3}{9}) \\
&= \frac{2mg}{3}
\end{aligned}
$$

- Hoop akan terangkat jika F_{angkat} > berat hoop, maka :

$$\frac{2mg}{3} > Mg$$

$$\frac{m}{M} > \frac{3}{2}$$

b. Ada dua gaya dalam arah x (horizontal) pada silinder.

Gaya pulih pegas $-kA$ mengarah ke kiri (sumbu x negatif).

Gaya gesek f mengarah ke kanan (sumbu x positif).

Persamaan gerak linear silinder:

$$f - kA = Ma_M$$

Persamaan gerak rotasi silinder:

$Rf = I\alpha$ (dengan R adalah jari-jari silinder)

Hubungan antara a dan α diberikan oleh

$$R\alpha = -a_M$$

Percepatan sudut silinder positif jika silinder berputar berlawanan arah jarum jam, sedangkan jika silinder menggelinding mengikuti arah ini, kecepatan linear silinder negatif.

Momen inersia silinder = ½ MR^2.

Dari persamaan-persamaan ini didapat

$$a_M = -\frac{2k}{3M}A$$

Percepatan massa m diberikan oleh

$a_m = \dfrac{kA}{m}$ (ke arah sumbu x positif)

Percepatan pusat massa diberikan oleh

$$a_{cm} = \frac{ma_m + Ma_M}{m+M} = \frac{1}{3}\frac{kA}{m+M}$$

Jadi pusat massa akan dipercepat ke kanan sebesar $\dfrac{1}{3}\dfrac{kA}{m+M}$ (**10 poin**).

03. a. Dalam arah y :

Koordinat *y* dari titik B selalu berada di tengah tengah titik A dan C:

$$y_B = \frac{y_A + y_C}{2}$$

Sehingga kecepatan titik B juga selalu merupakan rata rata kecepatan titik A dan C dalam arah *y*.

$v_{A,y} = v_1$, dan $v_{C,y} = v_2$.

Sehingga:

$$v_{B,y} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$ **(1,5 poin)**

Untuk arah *x*, lebih mudah kalau sistem ditinjau dalam kerangka pusat massa. Pusat massa sistem bergerak dalam arah y dengan kecepatan:

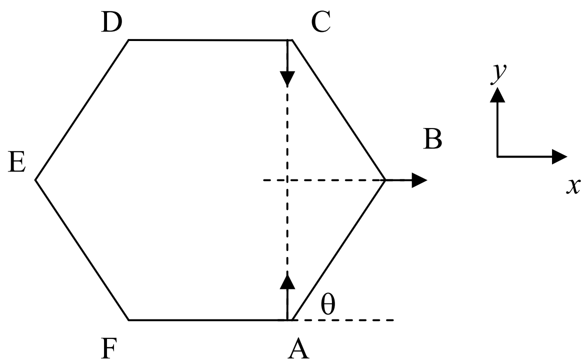
$$v_{cm} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Maka kecepatan batang FA dalam kerangka pusat massa adalah:

$$v_1 - v_{cm} = \frac{v_1 - v_2}{2}$$

Kecepatan batang BC dalam kerangka pusat massa adalah :

$$v_2 - v_{cm} = \frac{v_2 - v_1}{2}$$



Dalam kerangka ini, A dan C bergerak saling mendekat (seperti pada gambar) dan titik B bergerak ke kanan (sumbu *x* positif).

Perhatikan gambar di atas: karena panjang batang AB tetap, maka proyeksi kecepatan titik A dalam arah AB sama dengan proyeksi kecepatan B dalam arah AB.

Dari hubungan ini kita dapat:

$$\frac{v_1 - v_2}{2}\sin\theta = v_{B,x}\cos\theta$$

Masukkan harga $\theta = 60^0$, didapat

$$v_{B,x} = \frac{v_1 - v_2}{2}\sqrt{3}\,. \qquad \textbf{(1,5 poin)}$$

Titik pusat massa batang AB berada di tengah tengah titik A dan titik B. Maka kecepatan titik pusat massa AB adalah rata rata kecepatan A dan B.

$$v_{AB,x} = \frac{1}{2}\left(v_{A,x} + v_{B,x}\right) = \frac{1}{4}\sqrt{3}\left(v_1 - v_2\right) \qquad \textbf{(1,0 poin)}$$

$$v_{AB,y} = \frac{1}{2}\left(v_{A,y} + v_{B,y}\right) = \frac{1}{4}\left(3v_1 + v_2\right) \qquad \textbf{(1,0 poin)}$$

Demikian juga dengan batang BC:

$$v_{BC,x} = \frac{1}{2}\left(v_{B,x} + v_{C,x}\right) = \frac{1}{4}\sqrt{3}\left(v_1 - v_2\right) \qquad \textbf{(1,0 poin)}$$

$$v_{BC,y} = \frac{1}{2}\left(v_{B,y} + v_{C,y}\right) = \frac{1}{4}\left(v_1 + 3v_2\right) \qquad \textbf{(1,0 poin)}$$

Untuk menghitung kecepatan sudut $\omega = \dfrac{d\theta}{dt}$, kita perlu pindah ke kerangka dimana titik A diam. Dalam kerangka ini, titik B mempunyai kecepatan dalam arah x yang sama dengan dalam kerangka lab:

$$v_{B,x} = \frac{v_1 - v_2}{2}\sqrt{3}$$

Tetapi kecepatan dalam arah y diberikan oleh:

$$v_{B,y} - v_1 = \frac{-v_1 + v_2}{2}\,.$$

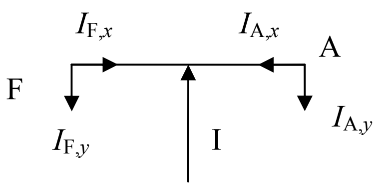
Kecepatan titik B relatif terhadap titik A arahnya tegak lurus batang AB dan besarnya adalah $v_1 - v_2$

Jadi :

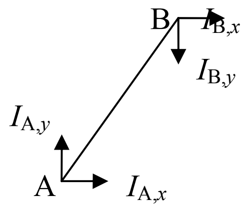
$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{v_1 - v_2}{l} \qquad \textbf{(2,0 poin)}$$

Tanda negatif karena jika $v_1 > v_2$ maka sudut θ akan mengecil.

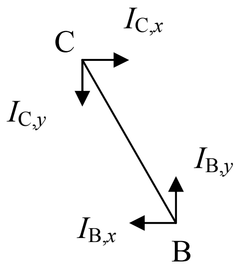
b. perhatikan gambar di bawah



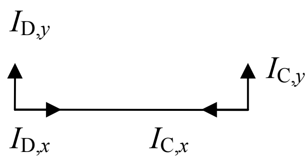
Batang AF



Batang AB



Batang BC



Batang CD

Gambar arah impulse boleh dibalik, asalkan konsisten. Impulse di titik A pada batang FA harus berlawanan arah dengan impulse di titik A pada batang AB, karena impulse ini merupakan gaya aksi-reaksi. (**masing masing gambar 0,75 poin**)

Konvensi arah dari soal nomor b akan digunakan pada nomor nomor selanjutnya.

c. untuk batang FA, Impulse dalam arah x: $I_{A,x}$ dan $I_{F,x}$ sama besar dan berlawan arah, sehingga total impulse arah *x* adalah nol.

Dalam arah y:

$I_{A,y} = I_{F,y}$.

Jadi $I - 2I_{A,y} = mv_1$ (**1,0 poin**)

d. perhatikan batang AB:

Impulse dalam arah x:

$$I_{A,x} + I_{B,x} = m\frac{1}{4}\sqrt{3}\left(v_1 - v_2\right) \qquad \textbf{(1,0 poin)}$$

Impulse dalam arah y:

$$I_{A,y} - I_{B,y} = \frac{m}{4}\left(3v_1 + v_2\right) \qquad \textbf{(1,0 poin)}$$

Impulse sudut:

$$I_{A,y}\frac{l}{4} - I_{A,x}\frac{l}{4}\sqrt{3} + I_{B,y}\frac{l}{4} + I_{B,x}\frac{l}{4}\sqrt{3} = \frac{1}{12}ml^2\frac{v_1 - v_2}{l}$$

Sederhanakan:

$$I_{A,y} - I_{A,x}\sqrt{3} + I_{B,y} + I_{B,x}\sqrt{3} = \frac{1}{3}m\left(v_1 - v_2\right) \qquad \textbf{(1,0 poin)}$$

e. perhatikan batang BC:

impulse dalam arah x:

$$-I_{B,x} + I_{C,x} = m\frac{1}{4}\sqrt{3}\left(v_1 - v_2\right) \qquad \textbf{(1,0 poin)}$$

Impulse dalam arah y:

$$I_{B,y} - I_{C,y} = \frac{m}{4}\left(v_1 + 3v_2\right) \qquad \textbf{(1,0 poin)}$$

Impulse sudut

$$I_{B,y}\frac{l}{4} - I_{B,x}\frac{l}{4}\sqrt{3} + I_{C,y}\frac{l}{4} - I_{C,x}\frac{l}{4}\sqrt{3} = \frac{1}{12}ml^2\frac{v_1 - v_2}{l}$$

Sederhanakan

$$I_{B,y} - I_{B,x}\sqrt{3} + I_{C,y} - I_{C,x}\sqrt{3} = \frac{1}{3}m\left(v_1 - v_2\right) \qquad \textbf{(1,0 poin)}$$

f. Perhatikan batang CD.

Impulse $I_{C,x}$ dan $I_{D,x}$ sama besar dan berlawanan arah, jadi totalnya nol

Impulse $I_{C,y}$ dan $I_{D,y}$ sama besar.

Jadi impulse dalam arah y:

$$2I_{C,y} = mv_2 \qquad \textbf{(1,0 poin)}$$

04. Misalkan balok turun sejauh L sepanjang bidang miring. Energi potensial balok menurun sebesar:

$$\Delta E_p = -MgL\sin\beta$$

Dalam proses ini ada L/d roda yg mendapat energi kinetik. Total energi yang didapat roda-roda ini adalah

$$\Delta E_k = \frac{L}{d}\frac{1}{2}\frac{1}{2}mr^2\left(\frac{v}{r}\right)^2 = \frac{L}{d}\frac{1}{4}mv^2$$

Selain itu, ada energi juga yang hilang dalam proses menggerakkan roda. Ada slip antara proses balok M mulai menyentuh suatu roda dan saat roda mulai berputar tanpa slip. Anggap ada gesekan sebesar f.

Persamaan torka pada roda:

$$fr = \frac{1}{2}mr^2\alpha$$

jadi percepatan sudut diberikan oleh $\alpha = \dfrac{2f}{mr}$

kecepatan sudut diberikan oleh $\omega = \alpha t = \dfrac{2f}{mr}t$

syarat tidak slip: $v=\omega r$.

waktu slip diberikan oleh $t = \dfrac{mv}{2f}$

panjang lintasan slip = $vt - r\left(\dfrac{1}{2}\alpha t^2\right) = v\dfrac{mv}{2f} - r\left(\dfrac{1}{2}\dfrac{2f}{mr}\dfrac{m^2v^2}{4f^2}\right) = \dfrac{mv^2}{4f}$

Jadi energi yang hilang dalam proses memutar 1 roda adalah gaya gesek dikali panjang lintasan slip = $\dfrac{mv^2}{4}$

Jadi saat balok turun sejauh L, energi yang hilang akibat gesekan adalah : $\dfrac{L}{d}\dfrac{mv^2}{4}$

Dari hubungan energi: energi potensial balok hilang menjadi energi kinetik roda ditambah energi yang hilang akibat gesekan :

$$MgL\sin\beta = \frac{L}{d}\frac{1}{4}mv^2 + \frac{L}{d}\frac{1}{4}mv^2$$

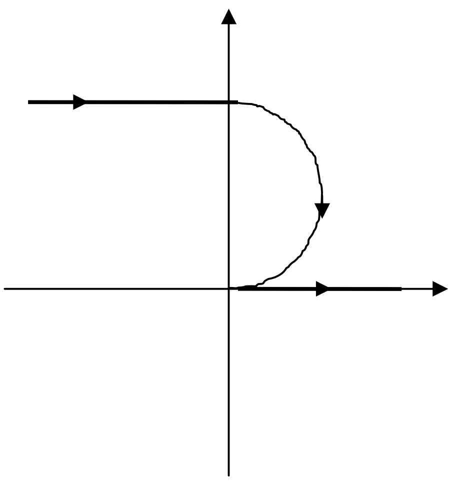
Sederhanakan, didapat :

$$v = \sqrt{\frac{2dMg\sin\beta}{m}}$$ **(15 poin)**

05.

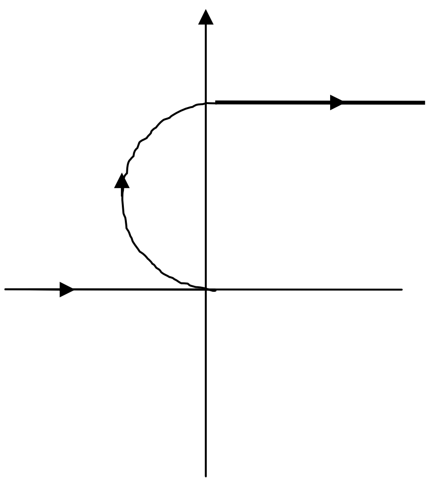
- Dumb-bell yang bergerak ke kanan, namakan dumb-bell A, terdiri dari massa 1 dan massa 2.
- Dumb-bell yang bergerak ke kiri, namakan dumb-bell B, terdiri dari massa 3 dan 4.
- Massa 2 dan 3 adalah massa yang bertumbukan.
- Karena tumbukan berlangsung sangat singkat, maka dalam proses tumbukan ini, kita hanya perlu meninjau massa 2 dan 3 saja. Abaikan kehadiran massa 1 dan 4.
- Dalam tumbukan lenting sempurna 1 dimensi antara 2 massa yang identik, kedua massa yang bertumbukan hanya bertukaran kecepatan.
- Jadi kecepatan 2 mula-mula ke kanan, setelah tumbukan akan mengarah ke kiri dengan besar *v*. **(0,5 poin)**
- Kecepatan mula-mula massa 3 ke kiri, setelah tumbukan akan mengarah ke kanan dengan besar *v*. **(0,5 poin)**
- Sekarang tinjau dumb-bell A. Massa 1 bergerak ke kanan, dan massa 2 bergerak ke kiri, masing masing dengan laju *v*. Karena massa 1 dan 2 sama, maka dumb-bell A hanya akan berotasi searah jarum jam terhadap pusat massa, dan pusat massa dumb-bell diam. **(1,0 poin)**
- Tinjau dumb-bell B. Massa 3 bergerak ke kanan dengan laju v, massa 4 bergerak ke kiri dengan laju *v*. Karena massa 3 dan 4 sama, maka dumb-bell B hanya akan berotasi searah jarum jam dan pusat massa dumb-bell B diam. **(1,0 poin)**
- Kecepatan sudut rotasi dumb-bell A dan B sama yaitu $\omega = \frac{v}{l}$. **(1,0 poin)**

- Setelah setengah periode putaran: $\frac{\pi}{\omega} = \frac{\pi l}{v}$, akan terjadi tumbukan untuk kedua kalinya. **(1,0 poin)**
- Konfigurasi sebelum tumbukan adalah:
  - Dumb-bell A: massa 2 di atas, bergerak ke kanan dengan laju v. Massa 1 di bawah bergerak ke kiri dengan laju v.
  - Dumb-bell B: massa 4 di atas, bergerak ke kanan dengan laju v. Massa 3 di bawah bergerak ke kiri dengan laju v.
- Pada tumbukan kedua, massa 1 dan 4 bertumbukan. Seperti pada tumbukan pertama, hanya terjadi pertukaran kecepatan. Massa 1 mendapat kecepatan ke kanan sebesar v, dan massa 4 mendapat kecepatan sebesar v ke kiri. **(1,0 poin)**
- Setelah tumbukan ini, dumb-bell A bergerak lurus ke kanan, tanpa rotasi dengan massa 2 di atas, dan massa 1 di bawah
- Sedangkan dumb-bell B bergerak lurus ke kiri tanpa rotasi, dengan massa 3 di bawah dan massa 4 di atas. **(1,0 poin)**



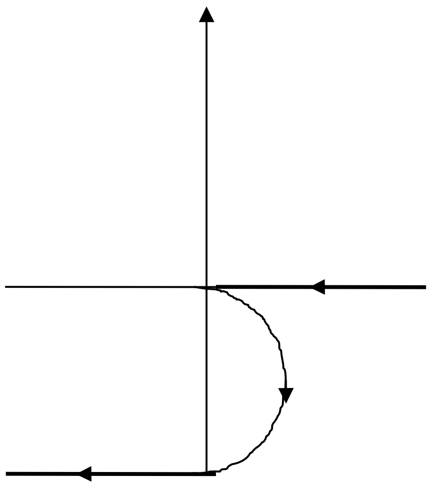
Massa 1

(2 poin)



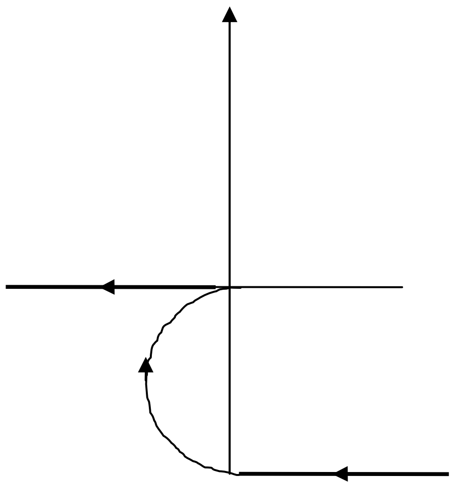
Massa 2

(2 poin)



Massa 3

(2 poin)



Massa 4

(2 poin)