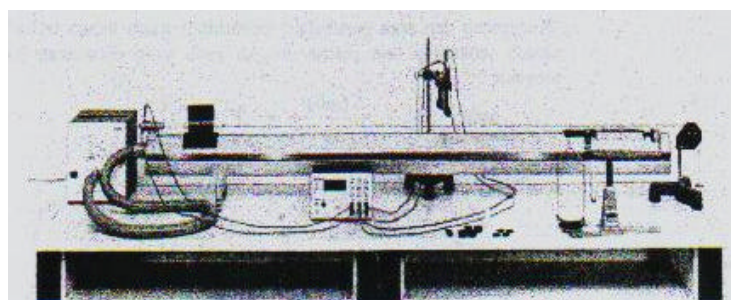


PERCOBAAN I

HUKUM NEWTON

I. Tujuan

Mempelajari gerak lurus berubah beraturan pada bidang datar dengan bantuan *air track rail* untuk menentukan hubungan antara jarak, waktu, kecepatan, dan waktu, serta hubungan antara massa, percepatan dan gaya.



Gambar 1.1
Rangkaian Percobaan untuk Menemukan Hubungan Matematis dalam Gerak Lurus Dipercepat Beraturan.

II. Ruang Lingkup

Besaran-besaran berikut ditentukan untuk gerak lurus berubah beraturan :

1. Jarak yang ditempuh sebagai fungsi waktu.
2. Kecepatan sebagai fungsi waktu.
3. Percepatan sebagai fungsi massa yang dipercepat.
4. Percepatan sebagai fungsi gaya.

A. Teori Singkat

Isaac Newton dalam karya terbesarnya '*Principia*' mengemukakan tiga buah hukum dasar bagi persoalan gerak yang dikenal dengan 3 hukum Newton yaitu :

1. Hukum Newton Pertama:

“Setiap benda akan tetap berada dalam keadaan yang diam atau bergerak lurus beraturan, kecuali bila dipaksa berubah dari keadaannya oleh gaya-gaya yang resultannya tidak nol yang bekerja padanya.”

Hukum ini dikenal pula sebagai hukum inersial (hukum kelembaman).

2. Hukum Newton Kedua:

“Kecepatan dan arah perubahan momentum suatu benda terhadap waktu adalah sebanding dan searah dengan gaya yang dikenakan pada benda tersebut.”

$$\text{Atau } \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} = \vec{F} \quad (1.1)$$

Pada umumnya massa dianggap konstan, maka:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} &= \frac{m\Delta\vec{v}}{\Delta t} = m\vec{a} \\ \text{atau } \vec{a} &= \frac{\vec{F}}{m} \quad \Rightarrow \quad \vec{F} = m\vec{a} \end{aligned} \quad (1.2)$$

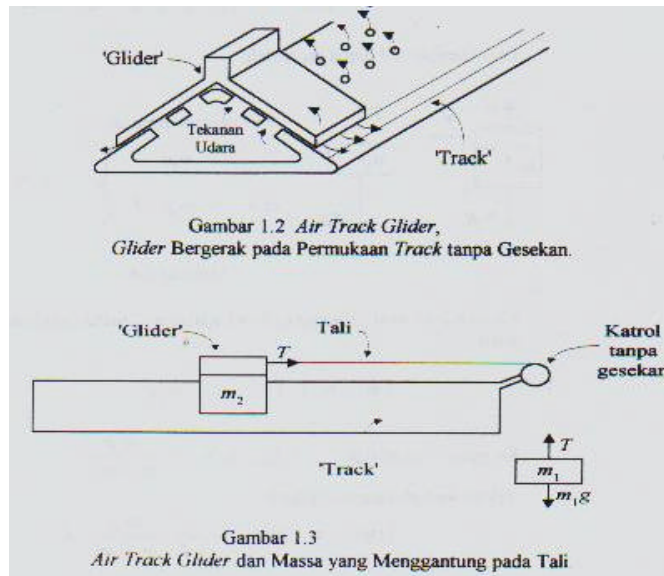
3. Hukum Newton Ketiga:

“Setiap gaya aksi pada satu benda ke benda lain akan menimbulkan gaya reaksi yang besarnya sama dan arahnya berlawanan dengan gaya aksi tersebut.”

$$\text{Atau } F_{aksi} = -F_{reaksi}$$

Ketiga hukum Newton di atas merupakan dasar dari teori mekanika klasik yang mencapai keberhasilan yang sangat mengagumkan karena hamper dapat menjelaskan semua fenomena gerak, bahkan mencakup pergerakan planet. Kelemahan mekanika klasik adalah gagal untuk menjelaskan beberapa hasil percobaan yang dilakukan pada awal abad 20, sehingga mendorong timbulnya Mekanika relativistik dan Mekanika kuantum. Namun Mekanika klasik masih cukup akurat untuk diterapkan pada fenomena gerak dalam skala makro dan kehidupan sehari-hari.

Untuk menunjukkan kebenaran Hukum Newton, khususnya yang kedua, dipakai *air track glider* yang bentuknya seperti pada gambar berikut:



Dari persamaan (1.2) diperoleh $\vec{a}$ dalam bentuk vector posisi:

$$\vec{a} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \quad (1.3)$$

Apabila suatu gaya konstan bekerja pada suatu benda, maka:

$$\vec{v}(t) = \frac{\vec{F}}{m} \cdot t \quad (1.4)$$

Kalau diandaikan bahwa : $\vec{v}(0) = 0; \vec{r}(0) = 0$ (1.5)

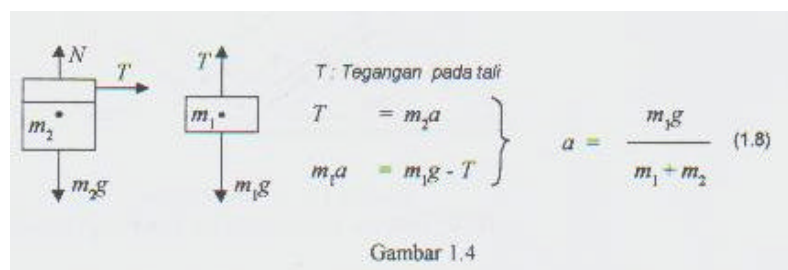
Maka vektor kedudukan massa m adalah

$$\vec{r}(t) = \frac{1}{2} \frac{\vec{F}}{m} t^2 \quad (1.6)$$

Untuk gerakan m_1 maka :

$$|\vec{F}| = m_1 |\vec{g}| = m_1 g \quad ; \text{ g: percepatan gravitasi} \quad (1.7)$$

Dari Gambar 1.3 dapat diperoleh:



Gambar 1.4

Kalau massa total peluncur (*glider*) adalah m_2 , maka persamaan gerak sistem adalah :

$$(m_2 + m_1) \cdot |a| = m_1 g \quad (1.9)$$

Kecepatannya adalah: $|v(t)| = v = \frac{m_1 g}{m_1 + m_2} \cdot t \quad (1.10)$

Vektor kedudukannya menjadi:

$$|r(t)| = s(t) = \frac{1}{2} \frac{m_1 g}{m_1 + m_2} \cdot t^2 \quad (1.11)$$

B. Daftar Alat

No.	Nama Alat	Kode	Tipe	Konfigurasi
1.	Light Barrier	LB-01	Fork Type	Light Barrier 1 buah Tripod Base 1 buah Support Rod, 40 cm 1 buah Right Angle Clamp 1 buah
2.	Precision Pulley	KATROL-01	Tanpa gesekan	Precision Pulley 1 buah Tripod Base 1 buah
3.	Slotted Weight	BEBAN-01	10 g	10 buah
4.	Slotted Weight	BEBAN-02	50 g	4 buah
5.	Slotted Weight	BEBAN-03	1 g	20 buah
6.	Weight Holder	WH-01	1 g	
7.	Silk Thread	BENANG-01	200 m	
8.	Glider	GLIDER-01	Untuk Air Track	Glider 1 buah Hook, dengan Plug 1 buah Magnet, dengan Plug 1 buah
9.	Screen	LAYAR-01	Dengan Plug, 25 mm	
10.	Screen	LAYAR-02	Dengan Plug, 100 mm	
11.	Starter System	STARTER-01		
12.	Blower	BLOWER-01	220 VAC	Blower 1 buah Pressure Tube 1,5 m 1 buah Kabel Power 1 buah
13.	Counter/Timer	TIMER-01	4 Digit	Counter/Timer 1 buah Kabel Power 1 buah
14.	Balance LG 311	NERACA-01	4 beams	
15.	Air Track Rail	RAIL-01	2 m	
16.	Connecting Cord	KABEL-01	2 m, Red	
17.	Connecting Cord	KABEL-02	2 m, Blue	
18.	Connecting Cord	KABEL-03	1 m, Red	
19.	Connecting Cord	KABEL-04	1 m, Yellow	
20.	Connecting Cord	KABEL-05	1 m, Yellow	
21.	Connecting Cord	KABEL-06	1 m, Yellow	

III. Referensi

PHY-WE, University Laboratory Experiments, Edition 94/95, Volume 1 – 5, 1.2.1 Newton's Laws

IV. Data Hasil Percobaan

Tabel 1.1 Hubungan antara jarak dengan waktu

s (m)	t(detik)	g (m/det ²)	a _{prak} (m/det ²)	Dev err a (%)	Dev err g (%)
0,6	1,547	9,891626	0,501419	0,935	0,935
0,7	1,675	9,843861	0,498998	0,448	0,448
0,8	1,790	9,851015	0,49936	0,521	0,521
0,9	1,906	9,774482	0,495481	0,260	0,260
1,0	2,012	9,74633	0,494054	0,548	0,548

Tabel 1.2 Hubungan antara kecepatan dengan waktu. $\Delta s = 25 \text{ mm}$

s (m)	t ₂ (detik)	t ₁ (detik)	At (det)	v _{prak} (m/detik)	v _{teori} (m/s)	Dev err v (%)
0,3	1,127	1,076	0,051	0,529	0,546	3,0297
0,4	1,291	1,248	0,043	0,628	0,630	0,397
0,5	1,448	1,406	0,042	0,643	0,705	8,792
0,6	1,580	1,543	0,037	0,730	0,772	5,487
0,7	1,701	1,660	0,041	0,659	0,834	21,035
0,8	1,807	1,780	0,027	1	0,892	12,166
0,9	1,918	1,887	0,031	0,871	0,946	7,894

Tabel 1.3 Hubungan percepatan dengan massa, s = 1 m

Penambahan beban pada m ₂ (gram)	t (detik)	a _{prak} (m/det ²)	a _{teori} (m/det ²)	Dev err a (%)
20 g	2,095	0,456	0,455	0,182
40 g	2,183	0,420	0,419	0,055
60 g	2,273	0,387	0,389	0,530
80 g	2,355	0,361	0,363	0,646

Tabel 1.4 Hubungan antara percepatan dengan gaya, dengan s = 1 m

Beban yang ditransfer dari glider ke weight holder	T _{prak} (N)	T _{teori} (N)	t (detik)	a _{prak} (m/det ²)	a _{teori} (m/det ²)	Dev err a (%)	Dev err T (%)
2 g	0,0299	0,028	3,873	0,133	0,130	2,947	7,011
4 g	0,0487	0,0465	3,018	0,220	0,216	1,724	4,80
6 g	0,0664	0,065	2,575	0,302	0,302	0,189	1,90
8 g	0,085	0,084	2,269	0,388	0,389	0,0188	1,14
10 g	0,102	0,102	2,058	0,472	0,475	0,563	0,330
12 g	0,119	0,121	1,895	0,557	0,561	0,764	1,452
14 g	0,136	0,140	1,767	0,641	0,648	1,084	2,688
16 g	0,152	0,150	1,661	0,725	0,734	1,1226	3,744
18 g	0,169	0,177	1,567	0,815	0,820	0,703	4,155
20 g	0,185	0,195	1,492	0,898	0,907	0,900	5,266

V. Analisis Hasil Percobaan

1. Tabel 1.1 (Hubungan antara jarak dan waktu)

Pada percobaan ini perbedaan antara perhitungan teori dan praktikum sangatlah kecil, sehingga deviasi error pun (baik untuk a maupun g) menjadi kecil ($< 1\%$). Karena deviasi error yang kecil maka percobaan ini dapat dianggap berhasil. Deviasi error ini semata-mata terjadi karena ketidakteelitian dari praktikan.

Tabel 1.2 (Hubungan antara kecepatan dan waktu)

Pada tabel ini terjadi deviasi error yang paling besar, yaitu sampai sekitar 21% pada data ke 5. Selain itu ada pula deviasi error yang cukup besar, yaitu pada data ke-6 (12,166%). Percobaan ini tidak dapat dikatakan berhasil. Deviasi error ini timbul karena permasalahan teknis. Alat yang digunakan tidaklah cukup baik (terbukti selama praktikum terjadi kerusakan alat sampai 2 kali).

Tabel 1.3 (Hubungan percepatan dengan massa)

Percobaan ini berhasil. Deviasi error yang terjadi sangatlah kecil ($\leq 0,65\%$). Deviasi error dapat terjadi karena gesekan tidak diperhitungkan (gesekan dianggap tidak ada, padahal seharusnya ada walaupun kecil sekali).

Tabel 1.4 (Hubungan antara percepatan dengan gaya)

Deviasi error pada a cukup kecil ($< 3\%$), namun pada T cukup besar (sampai 7% - data ke-1). Walaupun demikian, percobaan masih dapat dikatakan berhasil. Grafik percobaan ini masih mempunyai pola dan bentuk yang mirip dengan lampiran PHY-WE. Deviasi error terjadi karena adanya perpindahan beban terus-menerus, sehingga a_{teori} juga berubah terus (lihat rumus-rumus berikut untuk sampai pada kesimpulan demikian).

$$a_{\text{prak}} = \frac{2s}{t^2} \quad ; \quad a_{\text{teori}} = \frac{m_1 g_{\text{teori}}}{m_1 + m_2} \quad ; \quad g_{\text{prak}} = \frac{(m_1 + m_2)a_{\text{prak}}}{m_1}$$
$$T_{\text{teori}} = (m_2 - x)a_{\text{teori}} \quad ; \quad T_{\text{prak}} = (m_1 + x)(g_{\text{prak}} - a_{\text{prak}})$$

x = beban yang ditransfer dari glider ke weight holder.

2. Alat yang digunakan:

- 1 buah Light Barrier (LB-01) dengan konfigurasi :

- * 1 buah Light Barrier
- * 1 buah Tripod Base
- * 1 buah Support Rod, 40 cm
- * 1 buah Right Angle Clamp

Berfungsi untuk menghalangi cahaya yang masuk sehingga sensor bekerja dan waktu yang ditempuh glider dapat diukur.

- 1 buah Precision Pulley (KATROL-01) dengan konfigurasi :

- * 1 buah Precision Pulley
- * 1 buah Tripod Base

Berfungsi untuk menarik glider.

- 34 buah Slotted Weight (BEBAN-01-02-03) dengan detail :

- * 10 buah 10g Slotted Weight
- * 4 buah 50g Slotted Weight
- * 20 buah 1g Slotted Weight

Berfungsi sebagai beban yang digantungkan, baik di glider maupun di weight holder.

- 1 buah Weight Holder (WH-01)

Berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan Slotted Weight.

- Benang Jahit – pengganti Silk Thread (BENANG-01)

Untuk menghubungkan glider dengan katrol (Slotted Weight).

- 1 buah Glider (GLIDER-01) dengan konfigurasi :

- * 1 buah Glider
- * 1 buah Hook dengan Plug
- * 1 buah Magnet dengan Plug

Berfungsi sebagai m₂.

- 2 buah Screen (LAYAR-01-02)

Berfungsi sebagai pembatas agar nantinya sensor dapat bekerja ketika layer melintasinya.

- 1 buah Starter System (STARTER-01)

Berfungsi untuk mengalirkan listrik agar kumparan menjadi magnet.

- 1 buah Blower (BLOWER-01) dengan konfigurasi :

- * 1 buah Blower
- * 1 buah Pressure Tube, 1,5 m
- * 1 buah Kabel Power

Berfungsi untuk mengalirkan udara ke air track rail sehingga gesekan menjadi kecil.

- 1 buah Counter Time (TIMER-01) dengan konfigurasi :

- * 1 buah Counter/Timer

* 1 buah Kabel Power

Berfungsi untuk menghitung waktu kejadian.

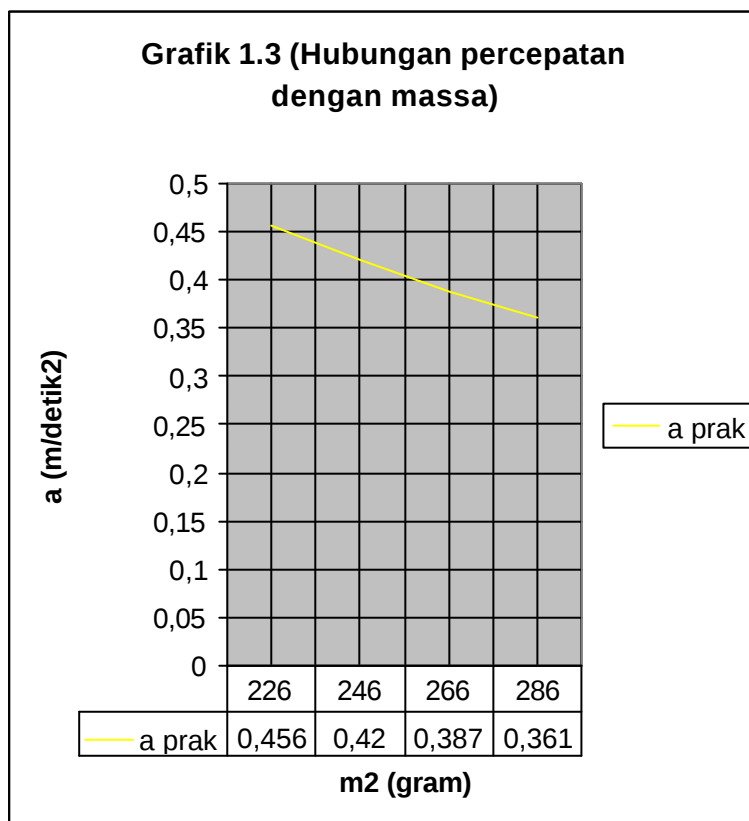
- 1 buah Air Track Rail (RAIL-01)

Sebagai lintasan glider.

- 6 buah Connecting Cord (KABEL 01-02-03-04-05-06)

Untuk menghubungkan counter dengan light barrier dan counter dengan starter system.

3. Grafik lainnya dapat dilihat pada lampiran (milimeter block)



4. Hukum Newton kedua $F = \frac{dP}{dt}$ tidak berlaku untuk kecepatan yang mendekati cahaya. Jika suatu benda bergerak dengan kecepatan yang mendekati kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 \text{ m/s}^2$) maka hasil perhitungan panjang dan massa benda tersebut akan berbeda dengan yang sesungguhnya. Newton menganggap benda bergerak secara absolute (diasumsikan pengamat dalam keadaan diam). Sedangkan kenyataannya, manusia mengamati dari bumi yang notabene bergerak.

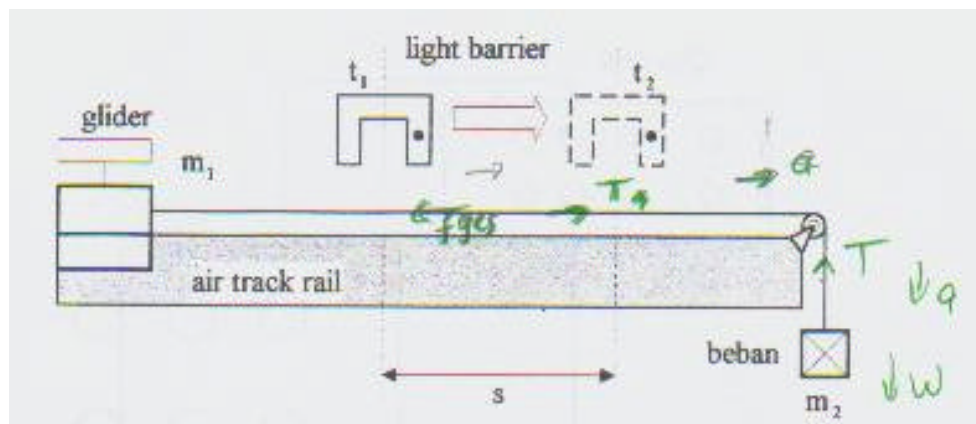
5. Kekurangan sistem mekanika Newton sehingga timbul sistem mekanika kuantum

- Sistem mekanika Newton hanya dapat berlaku untuk benda-benda yang bergerak dengan kecepatan jauh lebih kecil daripada laju cahaya.
- Ketidaksamaan antara hasil yang didapat dari eksperimental energi partikel dengan Teori Mekanika Newton.
- Untuk system partikel bermuatan seperti proton dan electron, Hukum Gravitasi Newton tidak dapat diterapkan. (Akhirnya pada mekanika kuantum sebagian besar berhubungan dengan partikel-partikel bermuatan).

6. Dua hasil percobaan fisika yang tidak dapat dijelaskan dengan Hukum Newton :

- Efek fotolistrik
- Relativitas

7.



$V_{\text{awal glider}} = 0$; $t_{\text{glider}} = t_1$; $s = s_1$

Light barrier digeser sejauh s ; $t'_{\text{glider}} = t_2$; $s = s_2$

Percepatan gravitasi = g ; $m_{\text{glider}} = m_1$; $m_{\text{beban}} = m_2$

Koefisien gesekan katrol diabaikan.

Hitung $\ddot{x}$ air track rail (dalam variabel-variabel di atas) !

Jawab :

Benda I (Glider)

$$T - f_{\text{ges}} = m_1 \cdot a$$

Benda II (Beban)

$$W - T = m_2 \cdot a \quad \Leftrightarrow \quad m_2 \cdot g - T = m_2 \cdot a$$

$$T = f_{ges} + m_1 \cdot a$$

$$T = m_2 \cdot g - m_2 \cdot a$$

Karena satu system, maka besarnya tegangan tali adalah sama.

$$T = T$$

$$f_{ges} + m_1 \cdot a = m_2 \cdot g - m_2 \cdot a$$

$$(m_1 + m_2) a = m_2 \cdot g - f_{ges}$$

$$a = \frac{m_2 \cdot g - f_{ges}}{(m_1 + m_2)} \implies v = t \cdot \frac{m_2 \cdot g - f_{ges}}{(m_1 + m_2)} \implies s = t_2 \cdot \frac{m_2 \cdot g - f_{ges}}{(m_1 + m_2)}$$

Sewaktu t_1 menempuh jarak s_1 :

$$s_1 = \frac{1}{2} \frac{m_2 \cdot g - f_{ges}}{m_1 + m_2} t_1^2$$

Sewaktu t_2 menempuh jarak s_2 :

$$s_2 = \frac{1}{2} \frac{m_2 \cdot g - f_{ges}}{m_1 + m_2} t_2^2$$

$$s_2 - s_1 = \frac{1}{2} \frac{m_2 \cdot g - f_{ges}}{m_1 + m_2} t_2^2 - \frac{1}{2} \frac{m_2 \cdot g - f_{ges}}{m_1 + m_2} t_1^2$$

$$s = \frac{1}{2} \frac{m_2 \cdot g - f_{ges}}{m_1 + m_2} t_2^2 - \frac{1}{2} \frac{m_2 \cdot g - f_{ges}}{m_1 + m_2} t_1^2$$

$$s = \frac{1}{2} \frac{(m_2 \cdot g - f_{ges}) t_2^2 - (m_2 \cdot g - f_{ges}) t_1^2}{m_1 + m_2}$$

$$s = \frac{1}{2} \frac{m_2 \cdot g \cdot t_2^2 - f_{ges} \cdot t_2^2 - m_2 \cdot g \cdot t_1^2 + f_{ges} \cdot t_1^2}{m_1 + m_2}$$

$$s = \frac{1}{2} \frac{m_2 \cdot g (t_2^2 - t_1^2) + f_{ges} (t_1^2 - t_2^2)}{m_1 + m_2}$$

$$2s (m_1 + m_2) = m_2 \cdot g (t_2^2 - t_1^2) + f_{ges} (t_1^2 - t_2^2)$$

$$f_{ges} (t_1^2 - t_2^2) = 2s (m_1 + m_2) - m_2 \cdot g (t_2^2 - t_1^2)$$

$$f_{ges} = \frac{2s (m_1 + m_2) - m_2 \cdot g (t_2^2 - t_1^2)}{t_1^2 - t_2^2}$$

$$m \cdot N = \frac{2 \cdot s (m_1 + m_2) - m_2 \cdot g (t_2^2 - t_1^2)}{t_1^2 - t_2^2}$$

$$m_1 \cdot g = \frac{2 \cdot s (m_1 + m_2) - m_2 \cdot g (t_2^2 - t_1^2)}{t_1^2 - t_2^2}$$

$$\mu \text{ (koefisien gesek air track rail)} = \frac{2 \cdot s (m_1 + m_2) - m_2 \cdot g (t_2^2 - t_1^2)}{(t_1^2 - t_2^2)(m_1 \cdot g)}$$

VI. Kesimpulan

- Tabel 1.1
 1. s (jarak) berbanding lurus dengan t (waktu).
 2. g praktikum sebanding dengan a praktikum.
 3. g praktikum berbanding terbalik dengan t.
- Tabel 1.2
 1. v praktikum berbanding lurus dengan $\ddot{A}s$ dan berbanding terbalik dengan $\ddot{A}t$
 2. v teori berbanding lurus dengan s.
- Tabel 1.3
 1. Penambahan beban pada m_2 akan mengakibatkan bertambahnya t (berbanding lurus).
 2. Penambahan beban pada m_2 berbanding terbalik dengan a (baik teori maupun praktikum).
 3. Percepatan berbanding terbalik dengan waktu.
- Tabel 1.4
 1. T sebanding dengan a.
 2. t berbanding terbalik dengan beban yang ditransfer dari glider ke weight holder.