

Rancang Bangun Alat Eksperimen Momentum dan Tumbukan

Pradita Adnan Wijaya^{1,a)}, Chong Wai Lup^{2,b)}, dan Enjang Jaenal Mustopa^{3,c)}

¹Program Studi Magister Pengajaran Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Program Studi Magister Pengajaran Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

³Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} pradita.a.wijaya@student.itb.ac.id

^{b)} chwailup@student.itb.ac.id

^{c)} enjang@fi.itb.ac.id

Abstrak

Momentum didefinisikan sebagai perkalian massa benda dengan kecepatannya dan dapat dinyatakan sebagai ukuran kesulitan mengubah kecenderungan gerak benda. Sedangkan tumbukan adalah salah satu impuls yang berlangsung dalam waktu singkat. Dalam makalah ini, dibuat alat percobaan sederhana sebagai inovasi media pembelajaran untuk memahami konsep momentum, impuls dan hukum kekekalan momentum linear menggunakan alat dan bahan yang mudah didapat.

Kata-kata kunci: momentum dan tumbukan, alat eksperimen sederhana, inovasi pembelajaran

PENDAHULUAN

Kejadian momentum dan tumbukan bisa di amati dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu contoh fenomena yaitu pada permainan bola. Seringkali kecepatan melantun kembali diantara tumbukan bola lebih dikenal dengan istilah koefisien restitusi. Selain itu, juga dikenal dengan tingkat kelentingan atau keelastisan tumbukan, yang besarnya antara 0 sampai 1 ($0 \leq e \leq 1$). Kajian penelitian yang sudah pernah ada, nilai restitusi (e) dengan metode *bounce* untuk bola basket $e \approx 0.6$; baseball 0,55 Eric W. Weisstein (2007); bola tenis 0,636, bola karet 0,788 dan untuk bola golf 0,911 N Farkas and R.D Ramsier (2006). [1]

Untuk menentukan nilai e , diperlukan instrumen pengumpul data yang sangat teliti, karena peristiwa tumbukan terjadi dalam waktu yang sangat singkat. Pada penelitian ini dibuat alat eksperimen sederhana (*air track*) dua glider yang bertumbukan, dengan variasi massa. Dengan bantuan sensor *photogate*, merekam peristiwa sebelum dan sesudah tumbukan dua glider tersebut, kemudian menganalisisnya dengan *software Logger Pro 3.84* serta Ms. Excel, maka kita dapat mengetahui besarnya nilai koefisien restitusi dari peristiwa tumbukan tersebut.

TEORI

Momentum didefinisikan sebagai perkalian massa benda dengan kecepatannya dan dapat dinyatakan sebagai ukuran kesulitan mengubah kecenderungan gerak benda dengan rumus $\vec{p} = m\vec{v}$. Momentum suatu objek tidak dapat diubah melainkan diubah oleh suatu gaya luar [2]. Sedangkan impuls linear adalah perubahan momentum linear dan dapat dituliskan dalam persamaan (1).

$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt = \int_{\vec{p}_1}^{\vec{p}_2} d\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1. \quad (1)$$

Tumbukan adalah salah satu impuls yang berlangsung dalam waktu yang singkat. Pada tumbukan selalu berlaku hukum kekekalan momentum linear [3].

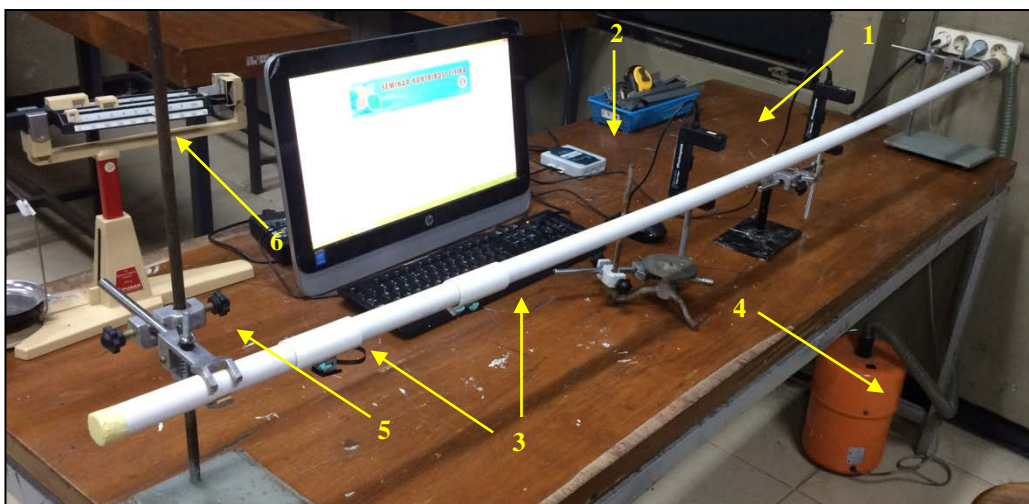
Koefisien restitusi (e) dalam persamaan (2) adalah suatu ukuran “pemulihan” tumbukan antara dua objek: seberapa besar energi kinetik yang dipertahankan oleh objek untuk memantulkan tumbukan satu sama lain dibandingkan seberapa banyak kehilangan panas atau kerja yang dilakukan untuk mendeformasi objek tersebut [4]. Semakin besar nilai e , maka tingkat keelastisannya semakin tinggi, begitu pula sebaliknya.

$$e = -\frac{(v_2' - v_1')}{(v_2 - v_1)} \quad (2)$$

Ada tiga jenis tumbukan, yaitu tumbukan lenting sempurna ($e = 1$), tumbukan lenting tidak sempurna ($0 < e < 1$) dan tumbukan tidak lenting sama sekali ($e = 0$). Pada tumbukan lenting sempurna tidak ada energi kinetik yang hilang sehingga energi kinetik awal sama dengan energi kinetik akhir (hukum kekekalan energi kinetik berlaku). Pada tumbukan lenting sebagian maka terdapat energi kinetik yang hilang sehingga energi kinetik awal tidak sama dengan energi kinetik akhir. Sedangkan pada tumbukan tak lenting kedua benda yang bertumbukan bergerak bersama dengan kecepatan yang sama.

RANCANGAN ALAT

Dalam pembuatan *air track* sederhana, komponen penting yang diperlukan dalam pembuatannya adalah pipa pvc $\frac{3}{4}$ " dengan panjang 2 meter sebagai *air track* dan pipa pvc 1" dengan panjang 7.5 cm sebagai glider. *Set-up* alat eksperimen momentum dan tumbukan ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. *Set-up* alat eksperimen

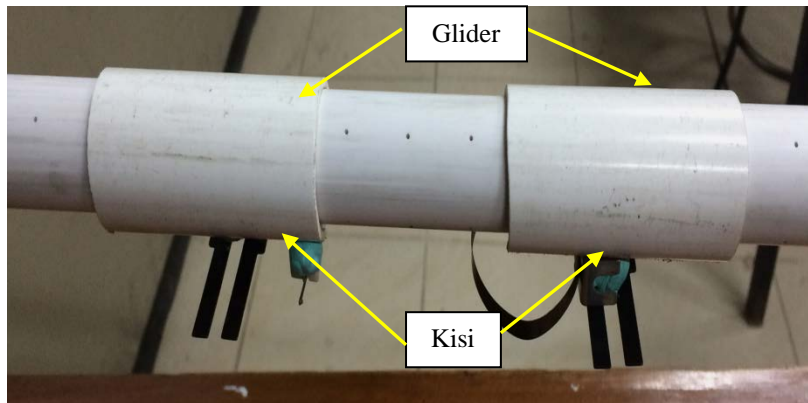
Untuk melakukan eksperimen kuantitatif dari *air track* sederhana diperlukan alat dan bahan sebagai berikut.

1. Photogate
2. LabQuest Mini
3. Glider
4. Blower

- 5. Besi penyangga
- 6. Neraca Ohaus

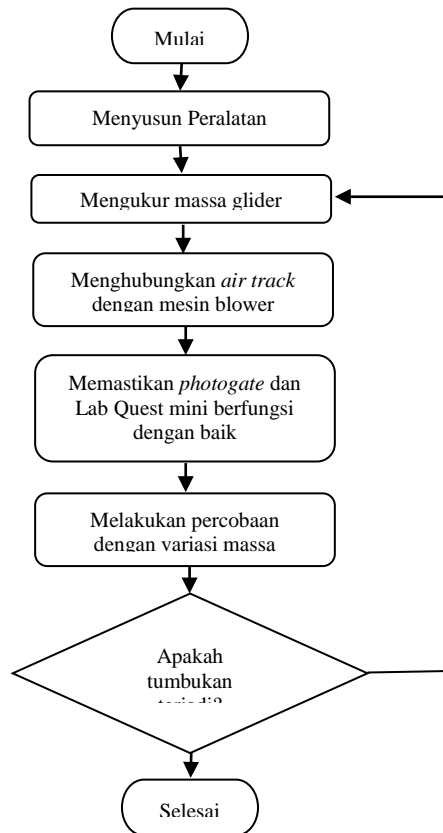
METODE EKSPERIMEN

Secara umum prosedur pengambilan data penelitian adalah menyiapkan dua model glider diperlihatkan dalam gambar 3, dengan tiga variasi kejadian, yaitu masing-masing glider bergerak dari ujung *air track* dengan arah yang berlawanan, glider pertama menumbuk glider kedua yang diam di tengah, dan sebuah glider menumbuk benda tegar. lenting sebagian (tak elastik). Penampang glider sederhana ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. Model glider sederhana

Dalam pengambilan data eksperimen momentum dan tumbukan dapat digambarkan melalui diagram alir pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir teknik pengambilan data

Saat glider bergerak, sensor photogate akan membaca waktu baik sebelum dan sesudah tumbukan. Dengan bantuan *LabQuest Mini* maka dapat dilakukan analisis menggunakan *software Logger Pro* yang dapat menampilkan data dan grafik hasil percobaan. Setelah data terkumpul, diekspor dan dianalisis dengan Ms. Excel. Kecepatan dapat dihitung dengan menggunakan jeda waktu (direkam saat kisi pada tiap glider melewati sensor *photogate*) dan jarak antar kisi (d_1 atau d_2 dalam percobaan). sehingga dapat ditentukan nilai koefisien restitusi dan impuls dari tumbukan tersebut.

HASIL DAN DISKUSI

1. Kedua glider bergerak dengan arah yang berlawanan

Tabel 1. Data kecepatan Glider 1 dengan kisi $d_1 = 0.0045$ m untuk percobaan pertama.

| Massa | Kecepatan Awal | Kecepatan Akhir |
|------------|----------------|-----------------|
| m_1 (kg) | v_1 (m/s) | v_1' (m/s) |
| 0.03060 | 0.88183 | -0.27303 |
| 0.03437 | 0.88443 | -0.16554 |
| 0.03678 | 0.80833 | -0.23005 |

Nilai kecepatan diperoleh dengan membagi jarak kisi, d dari data selisih waktu saat kisi pada *glider* melalui sensor *Photogate*. Arah kecepatan awal *Glider 1*, v_1 dianggap positif dan setelah tumbukan, arah kecepatan akhir glider 1, v_1' menjadi negatif karena arahnya sebalik dari awalnya. Nilai kecepatan secara mutlak berkurang setelah tumbukan dan ini menandakan ada kehilangan energi kinetik setelah tumbukan. Massa Glider 1 divariasikan dengan menambah beban plastisin.

Tabel 2. Data kecepatan Glider 2 dengan kisi $d_2 = 0.0044$ m bagi percobaan pertama.

| Massa | Kecepatan Awal | Kecepatan Akhir |
|------------|----------------|-----------------|
| m_2 (kg) | v_2 (m/s) | v_2' (m/s) |
| 0.02968 | -1.17115 | 0.13593 |
| 0.02968 | -1.15973 | 0.31241 |
| 0.02968 | -1.00503 | 0.47251 |

Arah kecepatan awal glider 2 adalah negatif karena berlawanan dari arah glider 1. Setelah tumbukan, kecepatan menjadi positif dan secara nilai mutlak berkurang menandakan kehilangan energi kinetik.

Tabel 3. Data Koefisien Restitusi dan Impuls Percobaan 1.

| Koefisien Restitusi | Impuls (kg m/s) |
|---------------------|-----------------|
| 0.19920 | 0.003455 |
| 0.23381 | 0.007605 |
| 0.38743 | 0.005661 |

Hasil e ini sesuai dengan kajian yaitu dalam ($0 < e < 1$) (lenting sebagian). Sehingga, penentuan nilai koefisien restitusi menggunakan alat percobaan sederhana dapat digunakan untuk membantu menjelaskan konsep momentum dan tumbukan. Ada perubahan momentum sebelum dan setelah tumbukan yang mana menunjukkan nilai impuls

2. Satu glider yang menumbuk glider yang diam ditengah

Tabel 4. Data kecepatan Glider 1 dengan kisi $d_1 = 0.0045$ m bagi percobaan kedua.

| Massa | Kecepatan Awal | Kecepatan Akhir |
|------------|----------------|-----------------|
| m_1 (kg) | v_1 (m/s) | v_1' (m/s) |
| 0.03060 | 1.14387 | 0.00000 |

| | | |
|---------|---------|---------|
| 0.03437 | 1.13953 | 0.00000 |
| 0.03678 | 1.11663 | 0.00000 |

Kecepatan akhir adalah nol karena glider 1 berhenti setelah tumbukan. Massa glider 1 divariasikan dengan menambah beban plastisin.

Tabel 5. Data kecepatan Glider 2 dengan kisi $d_2 = 0.0044$ m bagi percobaan kedua.

| Massa | Kecepatan Awal | Kecepatan Akhir |
|------------|----------------|-----------------|
| m_2 (kg) | v_2 (m/s) | v_2' (m/s) |
| 0.02968 | 0.00000 | 0.86241 |
| 0.02968 | 0.00000 | 0.86597 |
| 0.02968 | 0.00000 | 0.79508 |

Kecepatan awal glider 1 adalah nol karena dalam kondisi diam sebelum tumbukan. Setelah tumbukan, arah glider 2 setelah tumbukan adalah searah dengan arah gerakan awal glider 1. Dari tabel 4 dan tabel 5, dapat diketahui bahwa tidak semua energi kinetik glider 1 dipindahkan ke glider 2 ada energi kinetik yang hilang.

Tabel 6. Data Koefisien Restitusi dan Impuls Percobaan 2.

| Koefisien Restitusi | Impuls (kgm/s) |
|---------------------|----------------|
| 0.7539 | -0.0094 |
| 0.7599 | -0.0135 |
| 0.7120 | -0.0175 |

Hasil e percobaan 2 sesuai dengan kajian yaitu dalam ($0 < e < 1$) lenting sebagian). Impuls bernilai negatif menandakan bahwa arahnya berlawanan dan momentum dipindahkan dari glider 1 ke glider 2.

3. Satu glider yang menumbuk benda tegar

Tabel 7. Data kecepatan Glider, dengan kisi $d_1 = 0.0044$ m bagi percobaan ketiga.

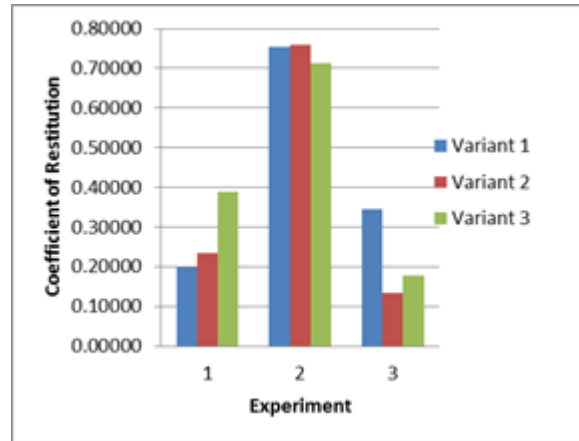
| Massa | Kecepatan Awal | Kecepatan Akhir |
|------------|----------------|-----------------|
| m_1 (kg) | v_1 (m/s) | v_1' (m/s) |
| 0.02968 | 0.99121 | -0.34159 |
| 0.03345 | 0.82059 | -0.10926 |
| 0.03586 | 0.77397 | -0.13833 |

Kecepatan glider 1 berkurang setelah menumbuk dengan suatu benda tegar (tetap diam sebelum dan setelah tumbukan) ada kehilangan dalam energi kinetik karena nilai mutlak kecepatan akhir lebih kecil dari kecepatan awal. Nilai kecepatan akhir adalah negatif karena glider 1 arahnya berlawanan setelah tumbukan.

Tabel 8. Data Koefisien Restitusi dan Impuls Percobaan 3.

| Koefisien Restitusi | Impuls (kg m/s) |
|---------------------|-----------------|
| 0.3446 | -0.0396 |
| 0.1331 | -0.0311 |
| 0.1787 | -0.0327 |

Hasil e percobaan ketiga sesuai dengan kajian yaitu dalam ($0 < e < 1$) termasuk tumbukan lenting sebagian. Impuls bernilai negatif menandakan bahwa arahnya berlawanan setelah tumbukan. Sulit untuk mencapai tumbukan lenting sempurna/ tidak lenting sama sekali. Oleh karena itu, ketika nilai koefisien restitusi dibandingkan dari hasil percobaan dari berbagai variasi dapat dilihat dari gambar 4.



Gambar 4. Nilai koefisien restitusi

Hasil pada percobaan 2 (satu glider menumbuk glider lain yang diam di tengah) cukup menarik yang menunjukkan bahwa nilai e yang diperoleh mendekati 1 (tumbukan elastis)

KESIMPULAN

Pada semua kondisi menghasilkan tumbukan tidak lenting (tak elastik). Untuk kondisi pertama, masing-masing glider bergerak dengan arah yang berlawanan diperoleh e rata-rata = 0.2735 dan momentum sebelum tumbukan p rata-rata = -0.0075 kgm/s dan setelah tumbukan p' rata-rata = 0.0016 kgm/s. Pada kondisi kedua, yaitu satu glider menumbuk glider yang diam di tengah dengan dan momentum sebelum tumbukan p rata-rata = 0.0384 kgm/s dan setelah tumbukan p' rata-rata = 0.0250 kgm/s. Koefisien restitusi rata-rata adalah 0.7420. Sedangkan pada kondisi ketiga, yaitu satu glider yang menumbuk benda tegar diperoleh e rata-rata = 0.2188 dan momentum sebelum tumbukan p rata-rata = 0.0282 kgm/s dan setelah tumbukan p' rata-rata = -0.0063 kgm/s. Secara teoritis bisa membuktikan konsep tumbukan lenting sebagian dan terjadi kehilangan energi kinetik setelah tumbukan. Oleh karena itu, alat percobaan sederhana yang dibuat bisa digunakan sebagai media pembelajaran untuk memahami konsep momentum dan tumbukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini. Kepada Dr Neny K dan Dr Novitrian yang telah memberi.

REFERENSI

1. Fatkhulloh, "Penentuan Koefisien Restitusi Menggunakan Video Based Laboratory dan Logger Pro 3.84", Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, 2 Juni 2012, Yogyakarta, Indonesia
2. Halliday and Resnick, "Fundamentals of Physics", Wiley, United State, 10th Edition. 2014, p.226
3. M. Hamron, R. Hamron, Soejoto, Rustan Rukmantara, Moerjono, Hasbuna ifli, Suparno Satira, Euis Sustini, Pepen Arifin, Agoes S., Hendro, R. Soegeng, Suprpto A., Umar Fauzi, Doddy S., M. Birsyam, Neny K., Daniel K., Triyanta, Tim Koordinator Asisten LFD 2015/2016, "Modul Eksperimen Fisika Dasar I", Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2015 p.69-77
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_restitution [diakses pada 21 Desember 2015]