

Verifikasi Hukum Kelestarian Tenaga pada Peristiwa Tumbukan Bola Menggunakan Alat Accelerator Paradox

Endra Putra Raharja^{a)}, Toni Kus Indratno^{b)}

¹Laboratorium Teknologi Pembelajaran Sains,
Program Studi Pendidikan Fisika,
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Ahmad Dahlan,
Jl. Prof. Dr. Soepomo, SH, Warungboto, Umbul Harjo, Yogyakarta, <http://ltps.uad.ac.id>

^{a)} endrapr@gmail.com

^{b)} tonikus@staff.uad.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan eksperimen sederhana untuk memverifikasi berlakunya hukum kelestarian tenaga pada peristiwa tumbukan. Alat yang digunakan dalam eksperimen ini adalah accelerator paradox, sebuah alat yang terdiri dari beberapa bola besi dan sebuah bola magnet. Lintasan bola dibuat sedemikian rupa sehingga gesekan yang terjadi sangat kecil, untuk meminimalkan ralat. Empat buah bola besi dan sebuah bola magnet diletakkan di tengah lintasan (lintasan melengkung) dalam posisi diam. Sebuah bola besi lainnya digelindingkan dari atas lintasan, setelah terjadi tumbukan sebuah bola yang mula-mula diam akan langsung meluncur dengan sangat cepat. Hal ini terjadi karena transfer tenaga dari bola yang bergerak, ditambah dengan gaya dorong dari bola magnet. Menggunakan teknik analisis video, gerak bola dapat di-tracking untuk mencari besar tenaga awal dan tenaga setelah tumbukan. Hasil analisis menunjukkan bahwa tenaga sebelum dan setelah tumbukan tetap, dengan ralat relatif hanya sebesar 2,3%. Dapat dikatakan bahwa hukum kelestarian tenaga berlaku pada peristiwa tumbukan menggunakan alat accelerator paradox. Ini teramat menarik jika dibawa ke ruang kelas, dengan eksperimen yang sederhana, siswa bisa langsung membuktikan adanya hukum kelestarian tenaga pada peristiwa tumbukan.

Kata-kata kunci: hukum kelestarian tenaga, hukum kelestarian momentum, accelerator paradox

PENDAHULUAN

Peristiwa tabrakan atau tumbukan antara dua benda sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Peristiwa ini dapat dijadikan sebuah analogi kepada siswa dalam memahami hukum kelestarian momentum dan tenaga. Selain mendapatkan sebuah demonstrasi tentu akan lebih baik jika siswa dapat membuktikan hukum kelestarian momentum dan tenaga melalui sebuah eksperimen.

Mata pelajaran fisika sangat memerlukan keberadaan fasilitas dan media pembelajaran sebagai penunjang implementasi kurikulum di sekolah. Fasilitas dan media pembelajaran yang ada saat ini masih minim digunakan oleh para guru dalam melakukan proses belajar mengajar. Berdasarkan hasil observasi di beberapa sekolah menengah atas (SMA) menyatakan bahwa sudut penyajian pembelajaran materi hukum kekekalan momentum tidak menggunakan media langsung. Salah satu faktor penyebabnya adalah keterbatasan produksi alat sehingga alat juga susah didapatkan, akibatnya tak semua siswa bisa melaksanakan praktikum secara langsung [1].

Alat accelerator paradox merupakan sebuah alat yang terdiri atas lintasan melengkung, bola besi dan bola magnet. Alat ini bekerja dengan bola tunggal yang meluncur dan bertumbukan dengan deretan bola stasioner [2]. Setelah terjadi tumbukan sebuah bola yang mula-mula diam akan langsung meluncur dengan sangat cepat. Dengan menggunakan teknik analisis video, gerak bola dapat di-tracking untuk mencari besar momentum serta

tenaga sebelum dan sesudah tumbukan. Penelitian ini dilakukan untuk memverifikasi hukum kelestarian tenaga dengan menggunakan alat accelerator paradox sehingga dapat dijadikan sebuah media pembelajaran yang menarik bagi siswa.

TEORI

Momentum dan Impuls

Momentum linear sebuah partikel atau benda dapat dimodelkan sebagai partikel dengan massa m yang bergerak dengan kecepatan v didefinisikan sebagai hasil kali massa dan kecepatan [3]. Momentum linier selanjutnya dapat dituliskan dalam persamaan (1) [4].

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (1)$$

Sedangkan impuls linear adalah perubahan momentum linear dan dapat dituliskan dalam persamaan (2).

$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt = \int_{\vec{p}_1}^{\vec{p}_2} d\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 \quad (2)$$

Hukum Kelestarian Momentum

Pada peristiwa tumbukan selalu berlaku hukum kelestarian momentum linear [5]. Tidak peduli berapapun kecepatan dan massa yang terlibat, ternyata momentum total sebelum tumbukan sama dengan sesudahnya [6]. Hal ini dapat dinyatakan dalam persamaan (3).

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}'_1 + m_2\vec{v}'_2 \quad (3)$$

Hukum Kelestarian Tenaga

Hukum kelestarian tenaga menyatakan bahwa energi dapat diubah dari satu jenis ke jenis lainnya, tetapi energi total tetap konstan. [6]. Energi total akan konstan jika hanya ada gaya gravitasi yang bekerja pada benda. Secara umum dapat dituliskan dalam persamaan (4).

$$E = Ep + Ek = \text{konstan} \quad (4)$$

Dari persamaan (3) kita dapat menjabarkannya ke persamaan (5).

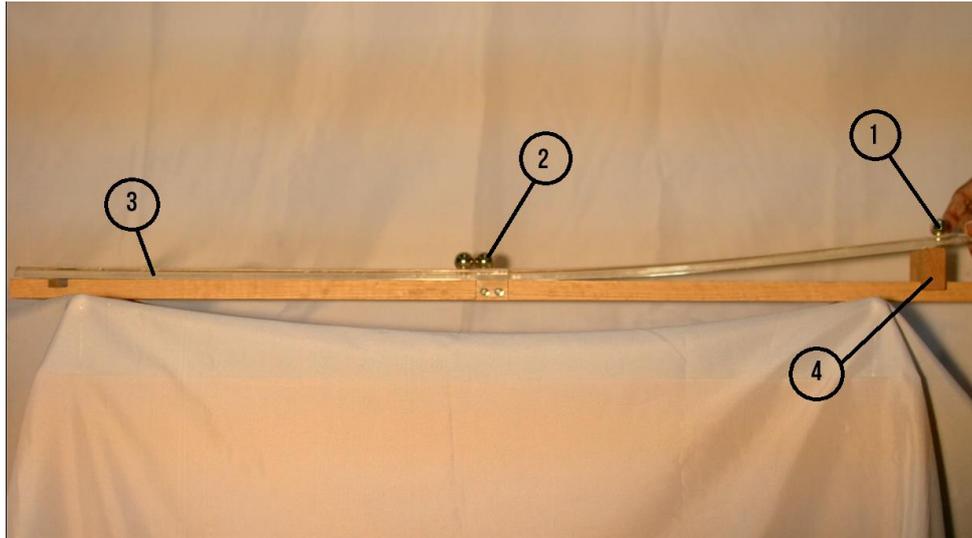
$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgy_2 \quad (5)$$

Magnet Neodymium

Magnet neodymium (NdFeB, NIB atau Neo magnet) adalah magnet permanen yang terbuat dari perpaduan neodymium, besi dan boron yang membentuk struktur tetragonal kristal Nd₂Fe₁₄B. Magnet Neodymium termasuk jenis logam, umumnya mereka berwarna perak, seperti kebanyakan logam lainnya. Magnet neodymium memiliki remanensi lebih tinggi, jauh lebih tinggi dari koersivitas dan energi produk, tetapi suhu Curie sering lebih rendah dibandingkan jenis lainnya. Magnet ini memiliki massa jenis sebesar 7,3–7,5 g/cm³ [7].

RANCANGAN EKSPERIMEN

Dalam pembuatan alat accelerator paradox, komponen penting yang diperlukan dalam pembuatannya adalah bola besi, bola magnet dan lintasan lengkung. *Set-up* alat eksperimen ini ditunjukkan pada gambar 1.



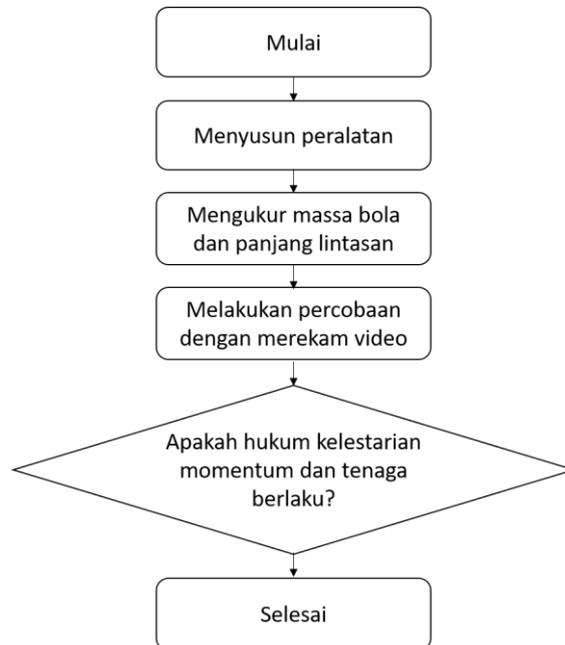
Gambar 1. *Set-up* alat eksperimen

Untuk melakukan eksperimen hukum kelestarian momentum dan tenaga diperlukan alat dan bahan sebagai berikut:

1. Bola besi
2. Bola magnet
3. Lintasan lengkung
4. Penyangga

METODE EKSPERIMEN

Dalam pengambilan data eksperimen hukum kelestarian momentum dan tenaga dapat digambarkan melalui diagram alir pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir teknik pengambilan data

Saat bola besi dan bola magnet bertumbukan, kecepatan bola yang meluncur setelahnya semakin meningkat. Dengan bantuan perangkat lunak Tracker, video eksperimen dianalisis untuk mengetahui kecepatan sebelum dan sesudah tumbukan. Setelah kecepatan didapat, dilakukan analisis data untuk mengetahui besar momentum dan energi yang terjadi pada bola, sehingga dapat ditentukan ralat dari hukum kelestarian momentum dan tenaga pada tumbukan bola.

HASIL DAN DISKUSI

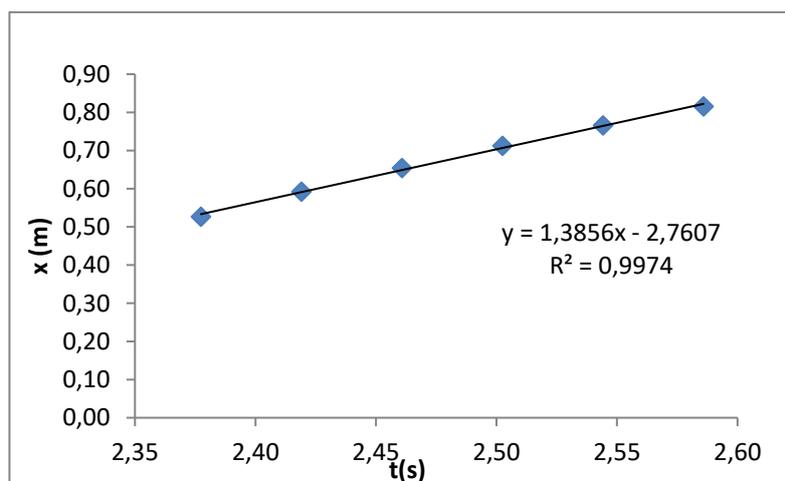
Dari hasil pengukuran didapatkan massa bola besi dan bola magnet sebesar 28 gr dan 35,4 gr. Sedangkan panjang lintasan lengkungnya adalah 91,5 cm.

Hasil Tracking pada eksperimen hukum kelestarian momentum dan tenaga dapat dilihat dalam table 1.

Tabel 2. Data hasil tracking pada tumbukan bola

Waktu (s)	Jarak (cm)	Kecepatan (cm/s)
2.00	0,46	0.00
2.04	0,46	0.00
2.09	0,46	0.00
2.13	0,46	0.00
2.17	0,46	0.00
2.21	0,46	0.00
2.25	0,46	0.00
2.29	0,46	0.00
2.34	0,46	0,80
2.38	0,52	1.58
2.42	0,59	1,53
2.46	0,65	1,44
2.50	0,71	1,34
2.54	0,76	1,24
2.59	0,81	1,15

Kecepatan bola setelah tumbukan dapat dilihat pula dalam gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara waktu dan jarak setelah tumbukan

Dari hasil pengamatan yang lebih teliti, setelah posisi bola stasioner bertumbukan, bola tersebut telah berpindah berlawanan dengan arah bola yang masuk. (Jika bola masuk bergerak ke kiri sebelum tabrakan, bola

stasioner bergerak ke kanan selama tabrakan.) Peningkatan momentum dari dua bola (dengan dua kali massa) ke kanan ini sebelum tabrakan tersebut seimbang dengan tinggi kecepatan dan momentum dari bola akhir yang bergulir keluar ke kanan.

Hasil perhitungan didapatkan jumlah momentum bola sebelum tumbukkan sebesar $0,0226 \text{ kg.m.s}^{-1}$. Sedangkan jumlah momentum bola setelah tumbukkan sebesar $0,0221 \text{ kg.m.s}^{-1}$. Ralat dari jumlah momentum sebelum dan sesudah tumbukkan sebesar 2,3%.

Ketika bola besi diam diatas lintasan melengkung, bola tersebut menyimpan energi potensial. Energi ini dapat dianggap sebagai energi ikatan antara massa bumi dan bola. Bola besi kemudian bergulir dilintasan dan kehilangan sebagian energi tersimpan yang kemudian diubah menjadi energi kinetik. Tetapi, selain gaya gravitasi terdapat pula gaya magnet antara bola magnet stasioner dan bola besi yang meluncur. Tarikan magnet ini menghasilkan energi ikatan magnetik antara bola. Energi magnetik yang tersimpan diubah menjadi energi kinetik yang sebagian besar ditransfer ke bola yang meluncur setelahnya (Energi Potensial Gravitasi + Energi Potensial Magnetik = Energi Kinetik).

Hasil perhitungan didapatkan jumlah energi bola sebelum tumbukkan sebesar 0.01142 Joule. Sedangkan jumlah energi bola setelah tumbukkan sebesar 0.02666 Joule. Ralat dari jumlah momentum sebelum dan sesudah tumbukkan sebesar 133,5%.

KESIMPULAN

Secara teoritis alat accelerator paradox ini bisa membuktikan hukum kelestarian momentum dan tenaga. Namun dari hasil eksperimen masih menunjukkan ralat yang besar pada hukum kelestarian tenaga. Hasil perhitungan didapatkan jumlah momentum bola sebelum tumbukkan sebesar $0,0226 \text{ kg.m.s}^{-1}$. Sedangkan jumlah momentum bola setelah tumbukkan sebesar $0,0221 \text{ kg.m.s}^{-1}$. Ralat dari jumlah momentum sebelum dan sesudah tumbukkan sebesar 2,3%. Hasil perhitungan didapatkan jumlah energi bola sebelum tumbukkan sebesar 0.01142 Joule. Sedangkan jumlah energi bola setelah tumbukkan sebesar 0.02666 Joule. Ralat dari jumlah momentum sebelum dan sesudah tumbukkan sebesar 133,5%. Oleh karena itu, alat accelerator paradox ini bisa digunakan sebagai media pembelajaran untuk memahami konsep hukum kelestarian momentum dan tenaga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini. Kepada Laboratorium Teknologi Pembelajaran Sains UAD yang telah mendukung dalam merancang dan pengambilan data. Tak lupa pula kepada Program Studi Pendidikan Fisika UAD yang telah mendukung penuh penelitian ini secara finansial

REFERENSI

- [1] Y. K. Rahayu, Z. dan H. Sudrajat, "Pengembangan LKS Berbasis Video Percobaan Hukum Kekekalan Momentum Sudut untuk Pembelajaran Fisika SMA," *Jurnal Online Mahasiswa Universitas Riau*, vol. 2, no. 2, 2015.
- [2] Arbor Scientific, "Magnetic Accelerator," 2009. [Online]. Available: www.arborsci.com.
- [3] R. A. Serway dan J. W. Jewett, *Fisika untuk Sains dan Teknik*, Jakarta: Penerbit Salemba Teknik, 2009.
- [4] P. A. Wijaya, C. W. Lup dan E. J. Mustopa, "Rancang Bangun Alat Eksperimen Momentum dan Tumbukan," dalam *Seminar Kontribusi Fisika 2015*, Bandung, 2015.
- [5] Tim Koordinator Asisten LFD 2015/2016, "Modul Eksperimen Fisika Dasar I," Bandung, Institut Teknologi Bandung, 2015, pp. 66-77.
- [6] D. C. Giancoli, *Fisika*, Jakarta: Penerbit Erlangga, 2001.
- [7] M. D. Simon, L. O. Heflinger dan A. K. Geim, "Diamagnetically stabilized magnet levitation," *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, vol. 2, no. 12, pp. 4056-4059, 2014.

