

PENENTUAN KOEFISIEN RESTITUSI MENGGUNAKAN APLIKASI *PHYPOX*

* **Yasiva Dortiana Lima**
Universitas Flores
yasivadortiana@gmail.com

Katarina Boleng Liwun
Universitas Flores
Katarinaliwun07@gmail.com

Fransiska Yosdi Ecing,
Universitas Flores
Eching99@gmail.com

Elisabeth Montesia Pora
Universitas Flores
Elisabethpora7@gmail.com

Richardo Barry Astro
Universitas Flores
richardobarryastro@gmail.com

Yasinta Embu Ika
Universitas Flores
sinta83ika@gmail.com

*Koresponden author

Abstrak-Penelitian ini bertujuan untuk menentukan koefisien restitusi menggunakan aplikasi *phyphox* dengan bantuan *smartphone*. Penelitian dilaksanakan dengan metode eksperimen dengan alat dan bahan mencakup *smartphone*, mistar, lantai semen, keramik, papan kayu, dan kelereng. Data dan hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik, serta nilai *error* koefisien restitusi. Hasil penelitian menunjukkan 1) koefisien restitusi (e) dapat diperoleh melalui peristiwa tumbukan kelereng dengan lantai semen, keramik, dan papan kayu; 2) Aplikasi *phyphox* pada menu *(In)elastic collision* dapat mencatat ketinggian kelereng saat terjadi pantulan; 3) Besar koefisien nilai koefisien restitusi (e) untuk lantai semen menggunakan menu *(In)elastic collision* melalui aplikasi *phyphox* pada *smartphone* sebesar $e = 0,77 \pm 0,012$, lantai keramik sebesar $e = 0,93 \pm 0,015$, dan papan kayu sebesar $e = 0,76 \pm 0,016$.

Kata kunci: Koefisien restitusi; *Phyphox*; *(In)elastic collision*

Abstract – *This study aims to determine the coefficient of restitution using the phyphox application with the help of a smartphone. The research was carried out using experimental methods with tools and materials including smartphones, rulers, cement floors, ceramics, wooden boards, and shells. Data and research results are displayed in the form of tables and graphs, as well as the error value of the coefficient of restitution. The results show 1) the coefficient of restitution (e) can be obtained through the collision of marbles with cement floors, ceramics, and wooden boards; 2) The phyphox application on the (In)elastic collision menu can record the height of the marbles when a bounce occurs; 3) The coefficient of restitution coefficient (e) for cement floors using the (In)elastic collision menu through the phyphox application on a smartphone is $e = 0.77 \pm 0.012$, ceramic floors are $e = 0.93 \pm 0.015$, and wooden boards are $e = 0.76 \pm 0.016$.*

Keywords: *coefficient of restitution; phyphox; (In)elastic collision*

A. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi sekarang ini tidak terbandung. Begitu banyak program yang diciptakan untuk keperluan pertahanan keamanan, perindustrian, lingkungan, pertanian, kesehatan dan pendidikan (Irfan, Rasdiansyah, 2017). Memasuki era revolusi industry 4.0 terjadi perubahan *mindset social* tentang digitalisasi teknologi (Ghufron, 2018), bisa dikatakan bahwa era teknologi ini telah masuk sampai kebagian terdekat dengan manusia seperti, proses pendidikan. Pemanfaatan teknologi sangat dirasakan pada proses pendidikan dewasa ini, teknologi dapat mempermudah proses pembelajaran sebagai media pendukung. Teknologi juga dapat dimanfaatkan sebagai sarana untuk mendapatkan informasi guna meningkatkan kualitas pendidikan.

Pemanfaatan *smartphone* menjadi salah satu pilihan sebagai media pembelajaran yang paling diminati dewasa ini. *Smartphone* menyediakan banyak aplikasi yang dapat digunakan dalam pembelajaran. Aplikasi-aplikasi ini memiliki keunggulan, antara lain interaktif, fleksibel dan mudah dalam pengoperasiannya. Aplikasi sensor *smartphone* banyak dimanfaatkan dalam mempelajari materi fisika diantaranya *Video Tracker*, *Science jurnal*, *Phyphox*, *Accelerometer Counter* dan masih banyak lagi jenisnya. Aplikasi-aplikasi ini dapat membantu pendidik dan peserta didik untuk mempelajari konsep fisika secara kontekstual (Fiqry, 2021).

Fisika merupakan ilmu pengetahuan fenomena alam yang terjadi di sekitar manusia. Fisika dibangun berdasarkan pengalaman empiris, di mana konsep-konsep diformulasikan berdasarkan fakta dan data (Riwanto, Aisyah & Arafah., 2019). Ilmu fisika memiliki peranan penting bagi kehidupan manusia karena banyak peristiwa sehari-hari yang melibatkan konsep fisika baik yang disadari maupun tanpa disadari (Amalia. R & Yulianti., 2015). Meskipun sebagian dari konsep fisika dibentuk melalui analisis matematis, namun pada akhirnya teori yang dibentuk harus diuji melalui eksperimen. Eksperimen adalah dasar dari metode ilmiah, yang merupakan cara sistematis untuk menjelajahi dunia di sekitar manusia. Meskipun beberapa eksperimen dilakukan di laboratorium, seseorang dapat melakukan eksperimen di mana saja dan kapan saja. Eksperimen juga merupakan salah satu strategi yang baik dan efektif dalam pembelajaran fisika (Siska Murti, Muhibbuddin, 2014). Kegiatan eksperimen pada bidang fisika akan lebih efektif dilaksanakan di laboratorium, seperti tumbukan atau tabrakan dua buah benda yang dapat dianalisis berdasarkan materi momentum. Momentum merupakan salah satu kajian dalam mekanika yang merupakan dasar bagi kajian ilmu fisika selanjutnya.

Peristiwa tumbukan berlangsung dalam waktu singkat tetapi bukan berarti tidak dapat dianalisis, maka dari itu perlu alat rekam yang baik untuk mengambil data tumbukan agar dapat dianalisis dengan baik. Melakukan perhitungan kecepatan sebelum dan setelah tumbukan, dapat menghasilkan nilai momentum dan besar koefisien restitusi.

Menurut Faktulloh dalam penelitiannya ketika benda satu diam dan benda dua melaju lalu menumbuk benda satu maka akan terjadi tumbukan tidak lenting sama sekali dan ketika dua benda

bergerak saling mendekati maka akan terjadi tumbukan lenting sebagian (Fatkhulloh, 2012). Tumbukan terdiri atas tumbukan lenting sempurna, tumbukan lenting sebagian dan tumbukan tidak lenting sama sekali.

1. Tumbukan lenting sempurna

Pada tumbukan lenting sempurna, terjadi peristiwa tumbukan dua buah benda yang bergerak berlawanan arah pada bidang datar. Tumbukan lenting sempurna terjadi ketika jumlah energi kinetik benda sebelum dan sesudah tumbukan bernilai tetap, sehingga diperoleh koefisien tumbukan atau koefisien restitusi (e) sebesar 1 (satu). Pada peristiwa tumbukan lenting sempurna berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik (Mughny & Rahmawati, 2016).

$$EK_1 + EK_2 = EK_1 + EK_2 \quad (1)$$

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1(v'_1)^2 + \frac{1}{2}m_2(v'_2)^2 \quad (2)$$

Pada hukum kekekalan momentum linier berlaku :

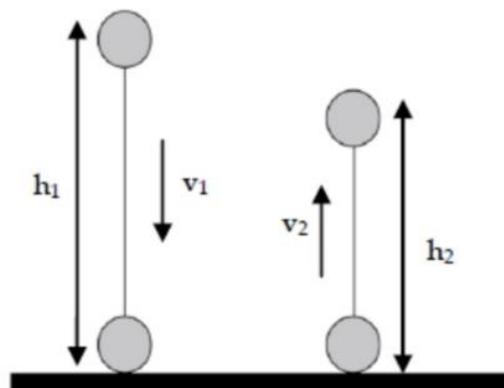
$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2 \quad (3)$$

Keterangan :

- E = koefisien restitusi
- v_1 = kecepatan benda 1 sesaat sebelum tumbukan
- v_2 = kecepatan benda 2 sesaat sebelum tumbukan
- v'_1 = kecepatan benda 1 sesaat setelah tumbukan
- v'_2 = kecepatan benda 2 sesaat setelah tumbukan

2. Tumbukan lenting sebagian

Konsep pada tumbukan lenting sebagian dapat diterapkan pada bola yang dipantulkan pada lantai. Pada peristiwa tersebut hukum kekekalan mekanik tidak berlaku karena selama tumbukan energi kinetik benda semakin berkurang. Energi kinetik sebelum tumbukan lebih besar dibandingkan energi kinetik sesudah tumbukan. Dengan demikian koefisien restitusi tumbukan lenting sebagian bernilai antara nol dan satu ($0 < e < 1$) (Mughny & Rahmawati, 2016).



Gambar 1. Tumbukan antara bola dan permukaan lantai.

Peristiwa di atas menunjukkan sebuah bola yang mengalami gerak jatuh bebas dari ketinggian h_1 terhadap lantai. Tumbukan antara bola dan lantai merupakan lenting sebagian. Hal ini dapat dilihat dari tinggi pantulan h_2 yang lebih kecil dibanding tinggi mula-mula. Pada tumbukan lenting sebagian terdapat koefisien restitusi. Koefisien restitusi (e) adalah tingkat kelentingan suatu tumbukan yang dinyatakan sebuah nilai. Jika sebuah bola dijatuhkan dari ketinggian h_1 dan terjadi tumbukan antara bola dan lantai, maka ketinggian yang diperoleh adalah h_2 dan terjadi tumbukan lagi tingginya menjadi h_3 , dan seterusnya, sehingga besarnya koefisien restitusi untuk pantulan bola dapat menggunakan persamaan berikut (Sunard & Gamayel, 2018)

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} = \sqrt{\frac{h_3}{h_2}} \quad (4)$$

Keterangan :

h_1 = ketinggian pertama setelah terjadi tumbukan

h_2 = ketinggian kedua setelah terjadi tumbukan

h_3 = ketinggian ketiga setelah terjadi tumbukan

3. Tumbukan tidak lenting sama sekali

Tumbukan tidak lenting sama sekali terjadi peristiwa menyatunya dua buah benda yang akan bergerak secara bersamaan dan memiliki kecepatan yang sama setelah tumbukan. Sehingga tumbukan tidak lenting sama sekali dari dua buah benda selalu melibatkan adanya energi kinetik dari sistem. Pada tumbukan besarnya nilai koefisien restitusi dapat dihitung menggunakan persamaan (Anjani, 2018)

$$e = \frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1} \quad (5)$$

Keterangan :

e = koefisien restitusi

v_1 = kecepatan benda 1 sesaat sebelum tumbukan

v_2 = kecepatan benda 2 sesaat sebelum tumbukan

v_1' = kecepatan benda 1 sesaat setelah tumbukan

v_2' = kecepatan benda 2 sesaat setelah tumbukan

Pada eksperimen penentuan koefisien restitusi umumnya pengamatan parameter gerak masih dilakukan secara manual. Posisi tinggi pantulan mengandalkan kecermatan pengamat yang kemudian diukur menggunakan mistar. Proses tersebut sangat rentan akan kesalahan baik berupa ketelitian alat ukur maupun subjektivitas pengamat terutama jika data yang dikumpulkan lebih dari satu pantulan (Astro et al., 2018). Salah satu cara meminimalisir kesalahan tersebut ialah menggunakan teknologi untuk menggantikan peran pengamat berupa aplikasi *video tracker* dan *phyxox*. *Tracker* adalah sebuah perangkat lunak berbasis *Open Source Java Framework*. *Software* ini dikembangkan oleh Douglas Brown pada proyek *Open Source Physics (OSP) Java*. *Tracker* bersifat *open source* sehingga aplikasi

dapat didownload secara gratis. *Tracker* berfungsi untuk memodelkan dan menganalisis video. Aplikasi ini didesain untuk pembelajaran fisika (Fitriyanto & Sucahyo, 2016).

Aplikasi *tracker* yang digunakan pada eksperimen ini adalah aplikasi yang dijalankan pada sistem operasi *windows*. Program yang terdapat dalam aplikasi *tracker* merupakan salah satu *software* dari VBL yang mempunyai keistimewaan, mampu menyajikan gejala fisika secara nyata beserta representasinya baik berupa data dan grafik (Khotijah Arsini dan Anggita., 2019). *Tracker* dapat digunakan untuk menganalisis berbagai video yang berkaitan dengan kejadian alam terutama yang berhubungan dengan kelajuan, kecepatan, gaya, medan gravitasi, dan konversi energi (Muhammad Habibulloh, 2014).

Penelitian sebelumnya telah melaporkan penggunaan analisis video *Tracker* dalam menentukan koefisien tumbukan. Namun pada penelitian sebelumnya juga, ditemukan kendala dalam menggunakan aplikasi *Tracker*. Kendala tersebut yakni, frame tidak mampu menangkap posisi benda ketika mencapai ketinggian maksimum maupun saat benda tepat menumbuk lantai (Juita et al., 2020). Penelitian kali ini menggunakan aplikasi *phyphox*. Aplikasi *phyphox* dikembangkan oleh Aachen University untuk membantu melakukan eksperimen sains menggunakan *smartphone*. *Phyphox* (*physical phone experiments*) adalah sebuah aplikasi yang dapat membantu beberapa percobaan dalam praktikum fisika, aplikasi ini dirilis di *Google Play Store* dan *Apple App Store* pada bulan September 2016 (Staacks et al., 2018). Aplikasi *Phyphox* memanfaatkan sensor yang terpasang di *smartphone* sehingga tidak diperlukan alat ukur tambahan dalam pemanfaatannya. Aplikasi dapat diunduh di *App Store* atau *Google Play* (Novitasari, Jelli & Jimil., 2021).

Smartphone merupakan alat komunikasi modern yang fleksibel, nyaman dan populer. *Smartphone* juga banyak menyediakan aplikasi aplikasi yang membantu eksperimen dalam pembelajaran fisika (Ewar et al., 2021). Perangkat seluler saat ini sangat cerdas karena mengandung sensor yang menerima data dari lingkungan sekitar. *Smartphone* umumnya sudah dilengkapi dengan barometer, sensor cahaya, magnetometer, giroskop, akselerometer, dan mikrofon. Dengan memanfaatkan sensor di ponsel, kita dapat melakukan penyelidikan ilmiah terhadap kecepatan, akselerasi, magnet, suara, frekuensi, kecerahan, tekanan, dan orientasi (Novitasari, Jelli & Jimi., 2021).

B. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan koefisien restitusi antara sebuah kelereng menggunakan aplikasi *phyphox*. Penelitian ini dilaksanakan di bengkel Fisika program studi pendidikan Fisika Univesitas Flores.

Alat dan bahan yang digunakan:

1. Kelereng massanya 5,9 g dan volumenya $1,768\text{cm}^3$
2. Mistar 30 cm dengan nilai skala terkecil (1 mm)

3. *Smartphone Galaxy J5 Pro* dengan nomor model SM-J530Y/DS yang sudah terinstal aplikasi *phyphox*.
4. Permukaan lantai semen, keramik, dan papan kayu.

Langkah kerja

Prosedur menentukan koefisien tumbukan dapat dijelaskan sebagai berikut:

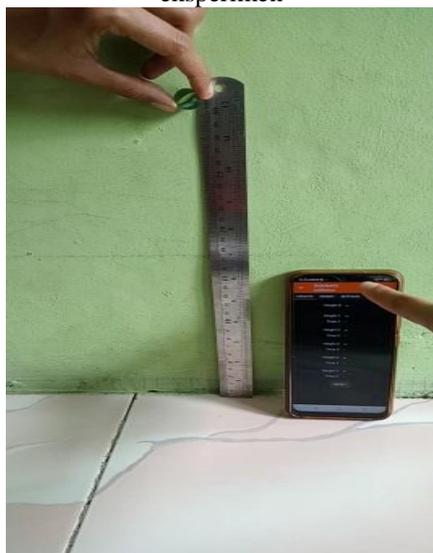
1. Kelereng dijatuhkan dari ketinggian awal 30 cm.
2. Setelah kelereng jatuh menumbuk permukaan lantai, amati ketinggian kelereng yang dideteksi oleh aplikasi *phyphox*.
3. Mengulang langkah 2 sebanyak 5 kali pada permukaan lantai semen, keramik, dan kayu.
4. Data hasil eksperimen dihitung menggunakan persamaan pada tumbukan lenting sebagian untuk memperoleh koefisien restitusi.



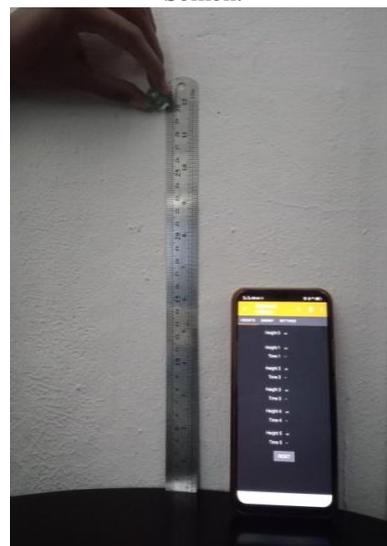
Gambar 2. Alat yang digunakan dalam eksperimen



Gambar 3. Skema Percobaan Pada Permukaan Semen.



Gambar 4 Skema percobaan pada permukaan keramik.



Gambar 5. Skema percobaan pada permukaan kayu

Data hasil percobaan tumbukan tampil secara langsung melalui menu (*In*) *elastic collision* layar *smartphone* menu ini memiliki submenu yaitu *HEIGHTS*, *ENERGY*, *DAN SETTINGS*. Pencatatan data ketinggian diperoleh melalui menu *HEIGHTS* mulai dari *heights 0* sampai *heights 5* dan waktu dari *Time 1* sampai *Time 5*. *Smartphone* mencatat suara tumbukan bola yang memantul dengan lantai. Waktu pantulan digunakan untuk menghitung ketinggian awal bola, ketinggian antara setiap pantulan, dan porsi energi yang hilang pada setiap pantulan ([https://phyphox.org/wiki/index.php/Experiment: Inelastic Collision](https://phyphox.org/wiki/index.php/Experiment: Inelastic_Collision)).

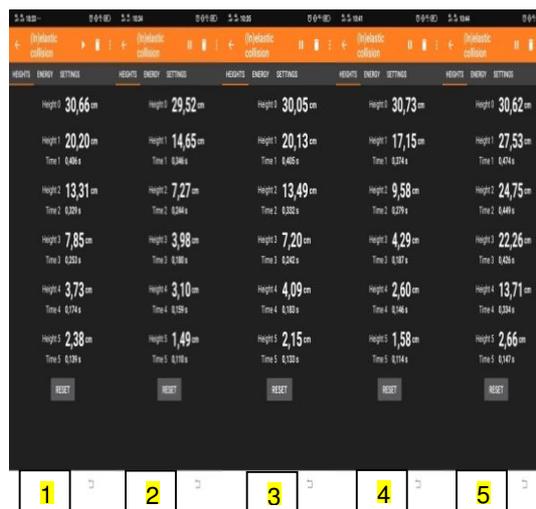
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Kristiyani., Sesuna & Wahyuni., 2020) bahwa aplikasi *phypox* memiliki kelebihan yakni dapat mengintegrasikan berbagai sensor pada *smartphone* sebagai dasar pengukuran eksperimental. Pada eksperimen ini kelereng diajtuhan dari ketinggian 30 cm (h_0) dan jatuh menumbuk lantai keramik, lantai semen dan permukaan kayu. Pemantulan yang diamati adalah tinggi pantulan pertama (h_0), pantulan kedua (h_1), pantulan ketiga (h_2), pantulan keempat (h_3), pantulan kelima (h_4) dan pantulan keenam (h_5). Eksperimen ini dilakukan sebanyak 5 kali untuk memperoleh data yang valid. Pada percobaan yang dilakukan (Sunard & Gamayel, 2018) untuk menentukan koefisien restitusi tumbukan lenting sebagian menggunakan persamaan :

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} = \sqrt{\frac{h_3}{h_2}} \quad (6)$$

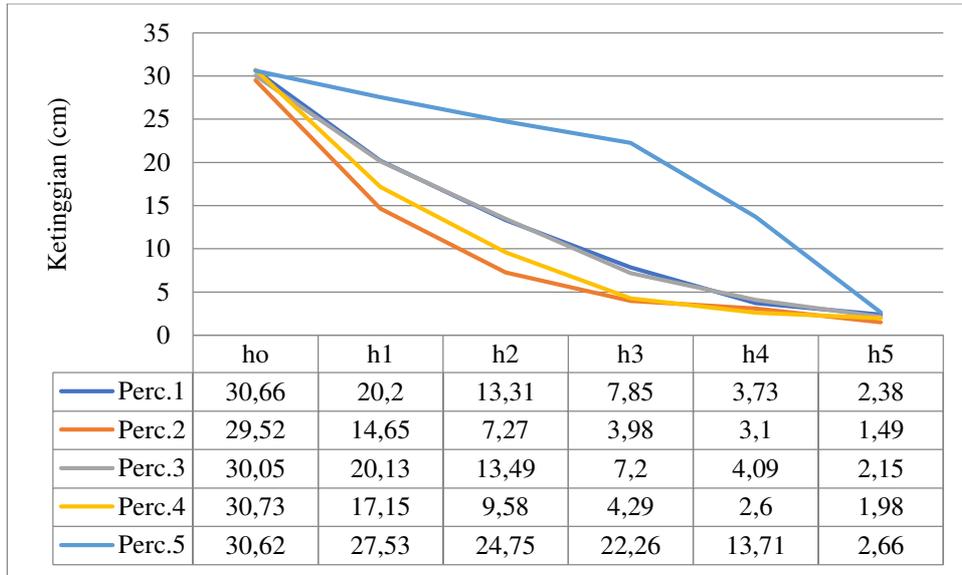
1. Percobaan dilakukan pada permukaan lantai semen

Tampilan pada layar *phypox* untuk tumbukan kelereng pada permukaan lantai semen tampak pada gambar berikut.



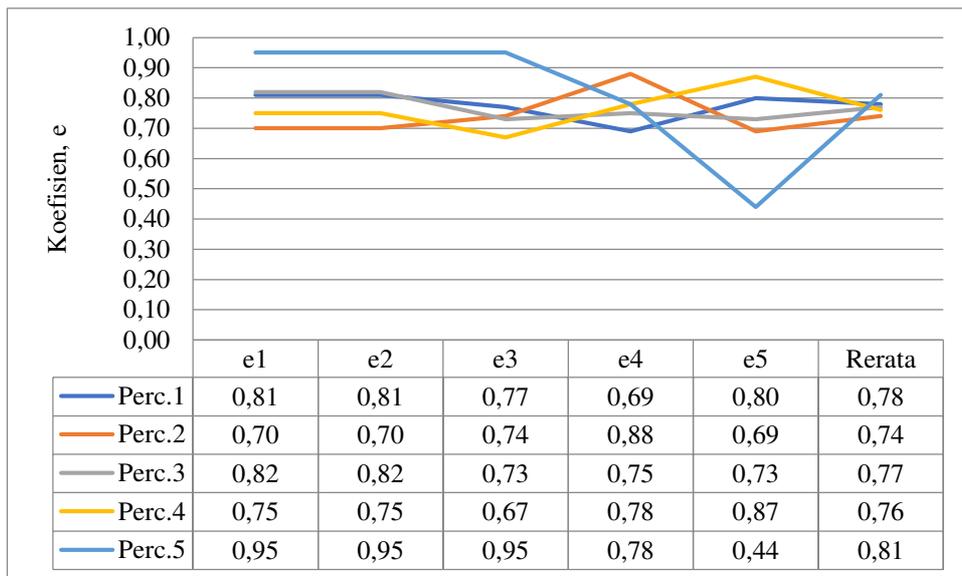
Gambar 6 . Hasil Percobaan Pada Permukaan Lantai Semen.

Hasil pencatatan data ketinggian kelereng di layar *phypox* pada Gambar 6 di atas dapat ditampilkan dalam bentuk Gambar 7 berikut.



Gambar 7 Grafik KetinggianTumbukan Kelereng dengan Lantai Semen

Dan dengan melakukan penghitungan data menggunakan pers. (6), maka koefisien restitusi pada lantai semen tampak dalam Gambar 8 berikut:



Gambar 8 Grafik Koefisien Lantai Semen

Keterangan:

$$e1 = \sqrt{\frac{h_0}{h_1}};$$

$$e2 = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}};$$

$$e3 = \sqrt{\frac{h_2}{h_3}};$$

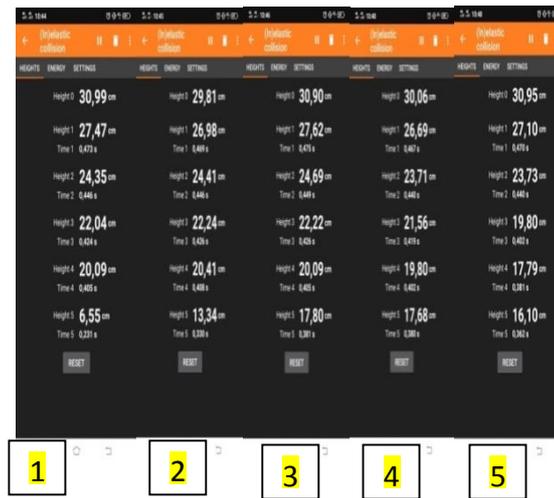
$$e4 = \sqrt{\frac{h_3}{h_4}};$$

$$e5 = \sqrt{\frac{h_4}{h_5}};$$

Rerata total koefisien restitusi untuk 5 (lima) kali percobaan untuk tumbukan kelereng dengan lantai semen adalah sebesar $e = 0,77$ dengan kesalahan $0,012$. Jadi, koefisien restitusi tumbukan antara kelereng dengan lantai semen sebesar $e = 0,77 \pm 0,012$.

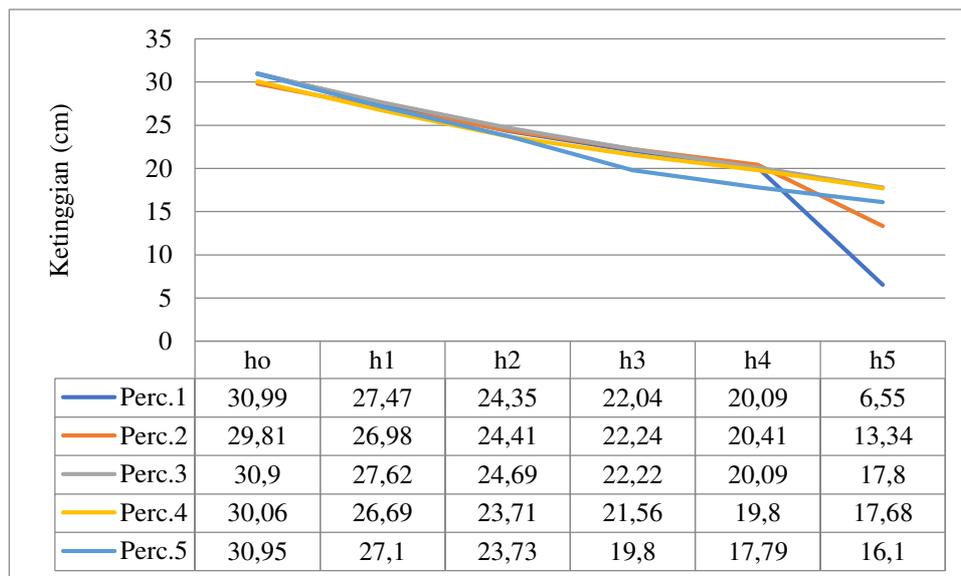
2. Percobaan dilakukan pada permukaan keramik

Tampilan pada layar *phphox* untuk tumbukan kelereng pada permukaan lantai keramik tampak pada gambar berikut



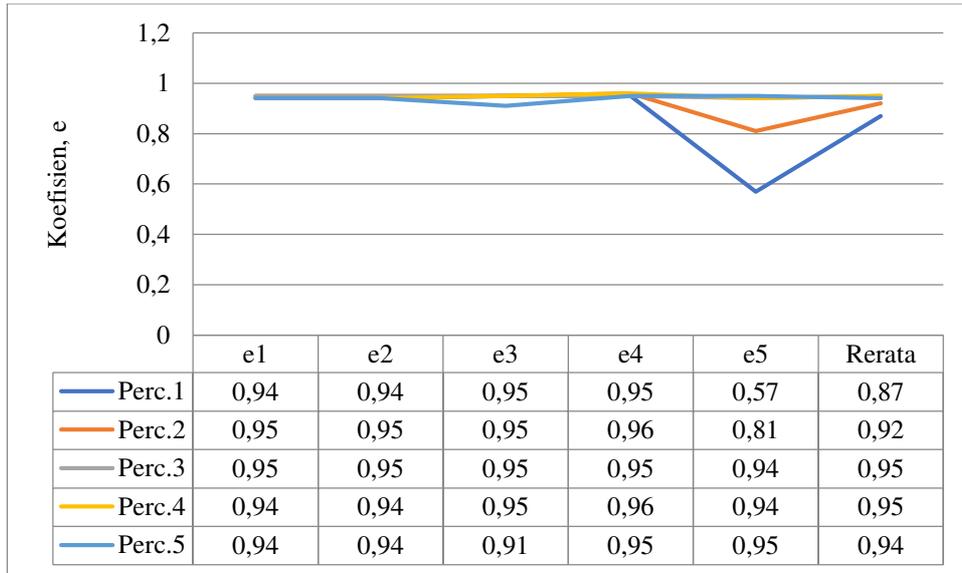
Gambar 9. Hasil percobaan pada permukaan keramik.

Hasil pencatatan data ketinggian kelereng di layar *phypox* pada Gambar 9 di atas dapat ditampilkan dalam bentuk Gambar 10 berikut.



Gambar 10 Grafik KetinggianTumbukan Kelereng dengan Lantai Keramik

Dan dengan melakukan penghitungan data menggunakan pers. (6), maka koefisien restitusi pada lantai keramik tampak dalam Gambar 11 berikut:



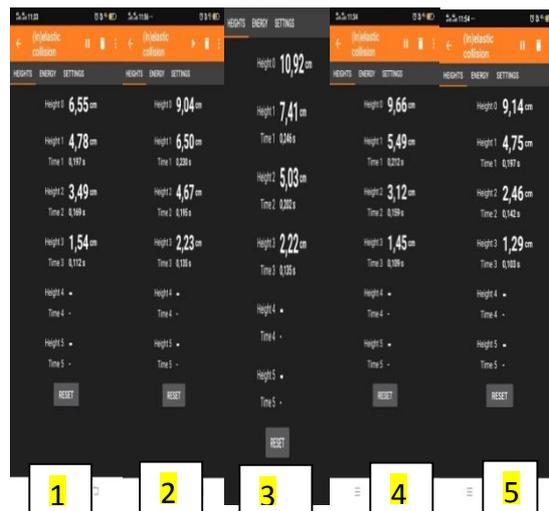
Gambar 11 Grafik Koefisien Lantai Keramik

Keterangan: $e1 = \sqrt{\frac{h_0}{h_1}}$; $e2 = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}$; $e3 = \sqrt{\frac{h_2}{h_3}}$; $e4 = \sqrt{\frac{h_3}{h_4}}$; $e5 = \sqrt{\frac{h_4}{h_5}}$

Rerata total koefisien restitusi untuk 5 (lima) kali percobaan untuk tumbukan kelereng dengan lantai keramik adalah sebesar $e = 0,93$ dengan kesalahan $0,015$. Jadi, koefisien restitusi tumbukan antara kelereng dengan lantai kayu sebesar $e = 0,93 \pm 0,015$.

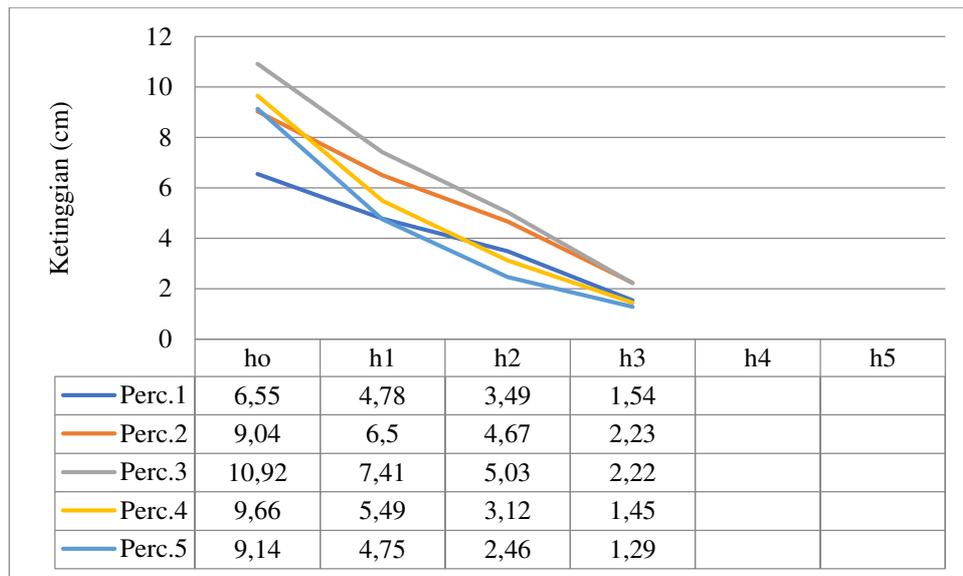
3. Percobaan dilakukan pada permukaan kayu

Tampilan pada layar *phphox* untuk tumbukan kelereng pada permukaan kayu tampak pada gambar berikut.



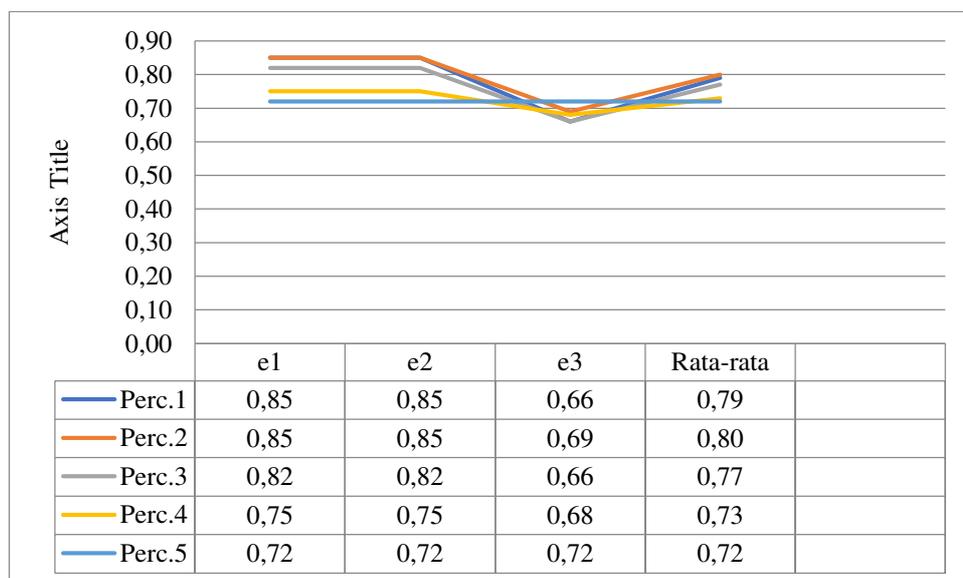
Gambar 12 Hasil Percobaan Pada Permukaan Kayu

Hasil pencatatan data ketinggian kelereng di layar *phphox* pada Gambar 12 di atas dapat ditampilkan dalam bentuk Gambar 13 berikut.



Gambar 13. Grafik KetinggianTumbukan Kelereng dengan Papan Kayu

Dan dengan melakukan penghitungan data menggunakan pers. (6), maka koefisien restitusi pada papan kayu tampak dalam Gambar 14 berikut:



Gambar 14 Grafik Koefisien Papan Kayu

Rerata total koefisien restitusi untuk 5 (lima) kali percobaan untuk tumbukan kelereng dengan kayu adalah sebesar $e = 0,76$ dengan kesalahan $0,016$. Jadi, koefisien restitusi tumbukan antara kelereng dengan kayu sebesar $e = 0,76 \pm 0,016$.

Koefisien restitusi, Menurut Tipler, diperoleh melalui peristiwa tumbukan antara dua benda, yaitu merupakan perbandingan kecepatan benda sesudah tumbukan v' dan kecepatan benda sebelum tumbukan v (Resmiyanto, 2017). Dalam penelitian ini, peristiwa tumbukan terjadi dua benda denga

satu benda dalam keadaan diam dan satu benda yang bergerak. Benda yang diam mencakup lantai semen, lantai keramik, dan kayu, sedangkan benda yang bergerak yaitu kelereng. Tumbukan semacam ini merupakan tumbukan lenting sebagian di mana terjadi penurunan energi kinetik pada tumbukan berikutnya.

Pada data ketinggian pantulan untuk percobaan dengan tiga bahan yang berbeda menunjukkan hasil yang sama yaitu terjadi penurunan ketinggian dari h_0 sampai dengan h_5 pada lantai semen dan keramik, serta h_0 sampai dengan h_3 untuk papan kayu. Hal ini tampak melalui grafik ketinggian benda untuk setiap percobaan pada masing-masing bahan. Jika ketinggian h pada kelereng dikaitkan dengan kecepatan (v) gerak jatuh bebas kelereng maka energi kinetik setelah tumbukan lebih kecil dari energi kinetik sebelum tumbukan. Pada data ketinggian juga tampak bahwa tidak ada ketinggian dengan nilai 0 yang terbaca pada *smartphone* karena tidak ada suara yang dipancarkan dari tumbukan kelereng.

Pada data koefisien restitusi pada setiap bahan menunjukkan grafik kemiripan untuk pantulan pada masing-masing percobaan. Pada data hasil koefisien restitusi juga menunjukkan bahwa tidak ada nilai 0 dan 1 pada setiap percobaan. Hal ini menunjukkan bahwa koefisien restitusi untuk lantai semen, keramik, dan papan kayu berada di antara 0 dan 1. Hasil ini sesuai dengan nilai koefisien restitusi untuk tumbukan lenting sebagian yang nilai e berada di antara 0 dan 1 (Resmiyanto, 2017). Hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai koefisien restitusi (e) untuk lantai semen sebesar $e = 0,77 \pm 0,012$, lantai keramik sebesar $e = 0,93 \pm 0,015$, dan papan kayu sebesar $e = 0,76 \pm 0,016$.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan 1) koefisien restitusi (e) dapat diperoleh melalui peristiwa tumbukan kelereng dengan lantai semen, keramik, dan papan kayu; 2) Aplikasi *phyphox* pada menu (*In*)*elastic collision* dapat mencatat ketinggian kelereng saat terjadi pantulan; 3) Besar koefisien nilai koefisien restitusi (e) untuk lantai semen menggunakan menu (*In*)*elastic collision* melalui aplikasi *phyphox* pada *smartphone* sebesar $e = 0,77 \pm 0,012$, lantai keramik sebesar $e = 0,93 \pm 0,015$, dan papan kayu sebesar $e = 0,76 \pm 0,016$.

DAFTAR RUJUKAN

- Amalia, R & Yulianti. (2015). Penerapan Pendekatan Problem Posing Untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 1(2), 81–88.
- Anjani, R. (2018). Menentukan Momentum Dan Koefisien Restitusi Benda Tumbukan Menggunakan Tracker Video Analyse. *Journal of Teaching and Learning Physics*, 3(2), 21–25. <https://doi.org/10.15575/jotalp.v3i2.6554>
- Astro, R. B., Ratnaningsih, F., Asmarani, R., Aimon, H., & Kurniasih, N. (2018). Penentuan Momen Inersia Katrol pada Pesawat Atwood dengan Metode Video Tracking. *Seminar Nasional Inovasi Pembelajaran Sains (SNIPS)*, 32–39.

- Ewar, H. A., Bahagia, M. E., Jeluna, V., Astro, R. B., & Nasar, A. (2021). *Penentuan konstanta pegas menggunakan aplikasi phyphox pada peristiwa osilasi pegas*. 4(3), 147–154.
- Fatkulloh. (2012). Penentuan Koefisien Restitusi Menggunakan Video Based Laboratory dan Logger 3.84. *Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA*. Yogyakarta.
- Fiqry, R. (2021). Persepsi Mahasiswa Terhadap Pemanfaatan Aplikasi Sensor Smartphone untuk Praktikum. *JIP-Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 4(2), 103–108.
- Fitriyanto, I., & Sucahyo, I. (2016). Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika (JIPF) ISSN : 2302-4496 PENERAPAN SOFTWARE TRACKER VIDEO ANALYZER PADA PRAKTIKUM KINEMATIKA GERAK. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika (JIPF)*, 05(03), 92–97.
- Ghufron, G. (2018). Revolusi Industri 4.0: Tantangan, Peluang, Dan Solusi Bagi Dunia Pendidikan. *Seminar Nasional Dan Diskusi Panel Multidisiplin Hasil Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat 2018*, 1(1), 332–337.
- Irfan, Rasdiansyah, M. M. (2017). Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, 09(01), 23–27.
- Juita, S. T., Seko, M. S., Seku, A. Y. &, & Astro, R. B. (2020). PENENTUAN KOEFISIEN RESTITUSI BENDA MENGGUNAKAN METODE VIDEO TRACKING. *OPTIKA:Jurnal Pendidikan Fisika*, 4(1), 46–53.
- Khotijah, K., Arsini, A., & Anggita, S. R. (2019). Pengembangan Praktikum Fisika Materi Hukum Kekekalan Momentum Menggunakan Aplikasi Video Tracker. *Physics Education Research Journal*, 1(1), 37–45. <https://doi.org/10.21580/perj.2019.1.1.3961>
- Kristiyani, Y., Sesunan, F., & Wahyudi, I. (2020). PENGARUH APLIKASI SENSOR SMARTPHONE PADA PEMBELAJARAN SIMPLE HARMONIC MOTION BERBASIS INKUIRI TERBIMBING TERHADAP PENINGKATAN Email : yoanakristiyani09@gmail.com Abstrak Kristiyani ., Sesunan ., Wahyudi – Pengaruh Aplikasi Sensor Smartphone ... PENDAHULUAN. *JPF Jurnal Pendidikan Fisika*, VII(2), 138–149.
- Muhammad Habibulloh, 1)Madlazim. (2014). PENERAPAN METODE ANALISIS VIDEO SOFTWARE TRACKER DALAM PEMBELAJARAN FISIKA KONSEP GERAK JATUH BEBAS UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN PROSES SISWA KELAS X SMAN 1 SOOKO MOJOKERTO. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 4(1), 15–22.
- Resmiyanto, R. (2017). Eksperimen Konseptual Tumbukan Benda 1 Dimensi Dengan Algodoo. *Integrated Lab Journal*, 5(2), 95–100.
- Riwanto, D., Azis, A., & Arafah, K. (2019). Analisis Pemahaman Konsep Peserta Didik Dalam Menyelesaikan Soal-Soal Fisika Kelas X Mia Sma Negeri 3 Soppeng. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 15(2), 23–31. <https://doi.org/10.35580/jspf.v15i2.11033>
- Shelin Novitasari, Djeli Alvi Tulandi, J. L. (2021). Pengembangan Panduan Praktikum Online Menggunakan Smartphone Berbasis Aplikasi Phypox. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 2(Februari), 35–42.

- Siska Murti, Muhibbuddin, C. N. (2014). PENERAPAN PEMBELAJARAN BERBASIS PRAKTIKUM UNTUK PENINGKATKAN KEMAMPUAN KOGNITIF DAN PSIKOMOTORIK PADA PERKULIAHAN ANATOMI TUMBUHAN. *Jurnal Biologi Edukasi*, 6(12), 1–8.
- Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: Phyphox. *Physics Education*, 53(4), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05e>
- Sunard, A., & Gamayel, A. (2018). Pemanfaatan Pantulan Bola Karet sebagai Pemanen Energi pada Piezoelektrik. *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, 3(2502), 49. <https://doi.org/10.22236/teknoka.v3i0.2914>