

Simulasi Tumbukan Bola Pantul menggunakan Matlab Graphical User Interface

Ai Asri Fauziah^{1,a)}, Mirda Prisma Wijayanto^{2,b)}, Mulyanto^{2,c)} dan Emma Amalia Sholihah^{1,d)}

¹Madrasah Aliyah Putri PUI Talaga, Kabupaten Majalengka,
Jl. Jend. Ahmad Yani 41 Talaga Majalengka, Indonesia, 45463

²Departemen Fisika, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

^{a)} asrifauziah2001@gmail.com (corresponding author)

^{b)} mirda.prisma.wijayanto@students.itb.ac.id

^{c)} mulyanto37@gmail.com

^{d)} emmaamalia28@gmail.com

Abstrak

Tumbukan merupakan salah satu sub topik pembelajaran fisika tingkat sekolah menengah atas. Pada umumnya, pembelajaran pada pokok bahasan tumbukan hanya terbatas untuk interaksi dua partikel dengan sekali tumbukan. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis peristiwa dinamika tumbukan bola pantul dimana tumbukan berlangsung sebanyak n – kali. Tumbukan bola dengan lantai diasumsikan bersifat elastis sehingga pola nilai tinggi pemantulan dapat dianggap sebagai suatu deret geometri. Sebagai langkah pertama adalah membentuk persamaan tinggi pantulan bola ke- n , kecepatan bola saat turun dan naik, serta menentukan waktu tempuh untuk setiap ketinggian yang diperoleh secara analitik. Hasil yang diperoleh kemudian disimulasikan dengan menggunakan Matlab. Input yang diberikan berupa data jari - jari bola, percepatan gravitasi, ketinggian dan kecepatan awal. Output yang dihasilkan berupa simulasi gerak dan plot lintasan bola yang dijalan dengan menggunakan program GUI (Graphical User Interface). Simulasi ini dapat digunakan sebagai bahan praktikum Fisika dan Matematika di tingkat menengah atas.

Kata - kata kunci : Tumbukan bola pantul, Matlab, Graphical User Interface.

PENDAHULUAN

Tumbukan merupakan istilah fisika yang mewakili suatu peristiwa dimana dua partikel atau lebih saling berdekatan dan berinteraksi dengan suatu gaya tertentu [1]. Fenomena Tumbukan banyak ditemui dalam kehidupan sehari - hari. Sebagai contoh diantaranya adalah interaksi dua buah mobil yang saling bertabrakan, bola yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu hingga kemudian bertumbukan dengan lantai dan memantul secara terus - menerus, dan lain sebagainya.

Dalam menganalisis fenomena tumbukan dapat diasumsikan bahwa gaya interaksi antar partikel jauh lebih besar daripada gaya eksternal yang mempengaruhi dinamika partikel yang saling bertumbukan tersebut . Lebih lanjut, tumbukan diasumsikan berlangsung dengan waktu yang cukup singkat sehingga kita dapat menggunakan konsep impuls dan momentum dalam menganalisis dinamika gerak benda yang saling bertumbukan. Dilain pihak, gagasan yang berkaitan dengan interaksi langsung atau kontak fisik untuk

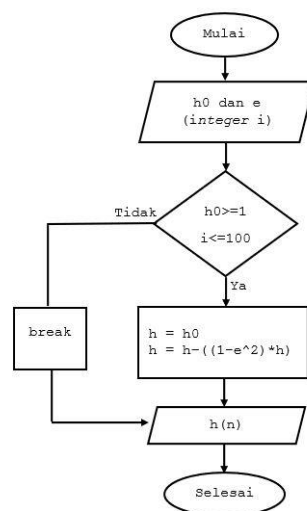
menjelaskan fenomena tumbukan perlu digeneralisasi mengingat syarat interaksi langsung hanya dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena tumbukan partikel - partikel makroskopik dan tidak secara umum berlaku untuk menjelaskan interaksi partikel mikroskopik seperti misalnya tumbukan proton dengan partikel alfa (inti atom helium) [2]. Karena kedua partikel memiliki muatan yang sejenis yaitu muatan positif maka keduanya akan menolak satu sama lain akibat adanya gaya elektrostatis kuat diantara keduanya pada jarak yang sangat dekat. Dapat dikatakan bahwa kedua partikel tersebut melakukan interaksi tetapi tanpa mengalami kontak fisik secara langsung. Oleh karena itu definisi yang lebih umum dari tumbukan adalah suatu peristiwa transfer momentum dan energi antar partikel yang saling berinteraksi satu sama lain baik dengan kontak secara langsung maupun tidak. Dengan demikian untuk menganalisis fenomena - fenomena tumbukan secara umum digunakan hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi.

Dalam interaksi dua buah partikel atau lebih yang terisolasi, hukum kekekalan momentum dijamin untuk berlaku untuk sembarang jenis tumbukan. Akan tetapi energi kinetik total dari partikel mungkin tidak bersifat kekal bergantung pada jenis tumbukan yang terjadi. Oleh karena itu berdasarkan kondisi energi kinetik partikel, tumbukan dapat dikelompokkan menjadi tumbukan elastis (sempurna dan sebagian) serta tumbukan tidak elastis [3]. Secara matematis, tumbukan dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai koefisien restitusi yang menyatakan perbandingan perubahan kecepatan setelah dan sebelum tumbukan.

Dalam penelitian ini akan dikaji fenomena tumbukan dari bola pantul. Dinamika bola pantul merupakan salah satu kajian yang cukup menarik dalam fisika karena menjelaskan fenomena tumbukan secara berulang - ulang dimana analisa gerakannya mengikuti persamaan deret geometri tak hingga. Tinjau sebuah bola dengan jari - jari r yang dijatuhkan dari ketinggian awal h_0 . Bola dijatuhkan sehingga menumbuk lantai datar kemudian memantul membentuk lintasan parabola. Setelah mencapai titik tertinggi bola kemudian turun menumbuk lantai dan memantul kembali. Mekanisme gerakan dapat berulang hingga partikel berhenti. Pada fenomena tersebut apabila diasumsikan bahwa lantai kasar dan gesekan udara tidak diabaikan, maka tumbukan yang terjadi merupakan tumbukan tak elastis sehingga hukum kekekalan energi kinetik belum tentu berlaku. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran dinamika gerak partikel yang bertumbukan secara berulang - ulang serta memberikan visualisasi gerakan dengan menggunakan program sederhana Matlab GUI (*Graphical User Interface*) untuk level sekolah menengah pertama. Penelitian ini dibatasi untuk kasus tumbukan elastis. Gesekan udara diabaikan dan tidak ada gaya luar yang bekerja kecuali gaya gravitasi. Diharapkan hasil yang didapatkan dapat dijadikan sebagai media pembelajaran untuk terkait topik Tumbukan maupun aplikasi barisan deret untuk tingkat sekolah menengah atas dan sederajat.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen komputasi dengan topik dinamika partikel sistem fisis. *Flowchart* yang digunakan dalam penelitian ini seperti terlihat dalam gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Diagram Alir Simulasi Dinamika Bola Pantul.

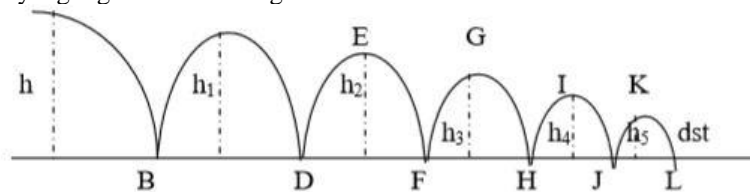
Program dimulai dengan memasukan data tinggi awal dan koefisien restitusi dari benda. Terdapat konstrain dari simulasi dimana ketentuan untuk ketinggian awal benda yaitu h_0 harus lebih besar dari sama dengan 1. Jika

ketentuan tersebut tidak dipenuhi maka program program akan mengalami *error*. Bila ketentuan program terpenuhi maka data input diolah kedalam persamaan yang telah ditentukan sehingga dapat diperoleh ketinggian berikutnya.

Flowchart diatas selanjutnya dieksekusi menggunakan MATLAB *Graphical User Interface* (GUI). GUI merupakan salah satu program MATLAB yang banyak digunakan dalam menyelesaikan persoalan numerik. GUI memungkinkan user dan pengguna dapat berinteraksi sehingga GUI ini merupakan program yang pas untuk digunakan dalam simulasi-simulasi pembelajaran Fisika khususnya tumbukan bola pantul.

PEMBAHASAN

Tinjau sebuah bola dengan jari - jari r yang dijatuhkan dari ketinggian awal h_0 . Bola dijatuhkan sehingga menumbuk lantai datar kemudian memantul membentuk lintasan parabola dengan tinggi maksimum didefinisikan sebagai tinggi pantulan pertama h_n , $n = 1, 2, 3, \dots$. Mekanisme gerakan dilakukan secara berulang dimana tumbukan diasumsikan bersifat elastis dengan koefisien restitusi $e < 1$ sehingga nilai tinggi pantulan ke- $(n+1)$ lebih kecil dari tinggi pantulan ke- n . Berikut akan dilakukan analisis dinamika gerak bola pantul dengan diagram gerak yang digambarkan sebagai berikut



Gambar 2. Diagram Gerak Tumbukan Bola Pantul

Tinggi pantulan bola ke- n dapat dirumuskan dengan membandingkan momentum awal dan akhir bola setelah tumbukan, kemudian dengan meninjau koefisien restitusi dan deret geometri maka diperoleh persamaan ketinggian ke- n sebagai berikut

$$h_n = e^{2n} h, \quad (1)$$

sehingga dapat diperoleh

Tabel 1. Tinggi pantulan bola hingga $n \leq 5$

n	1	2	3	4	5
h_n	$e^2 h$	$e^4 h$	$e^6 h$	$e^8 h$	$e^{10} h$

Langkah selanjutnya adalah menentukan kecepatan bola ketika turun dan kecepatan ketika naik. Kecepatan saat bola turun diperoleh dengan meninjau hukum kekekalan energi mekanik sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut

$$v_n = e^{n-1} \sqrt{2gh}, \quad (2)$$

Dengan demikian, berdasarkan gambar 2 dapat diperoleh

Tabel 2. Kecepatan bola saat turun hingga $n \leq 5$

n	1	2	3	4	5
lintasan	v_{AB}	v_{CD}	v_{EF}	v_{GH}	v_{IJ}
v_n	$\sqrt{2gh}$	$e\sqrt{2gh}$	$e^2\sqrt{2gh}$	$e^3\sqrt{2gh}$	$e^4\sqrt{2gh}$

Dengan cara yang sama, kecepatan saat bola naik dirumuskan sebagai berikut

$$v_n' = -e^n \sqrt{2gh}, \quad (3)$$

Dengan demikian, berdasarkan gambar 2 dapat diperoleh

Tabel 3. Kecepatan bola saat naik hingga $n \leq 5$

n	1	2	3	4	5
Lintasan	v_{BC}	v_{DE}	v_{FG}	v_{HI}	v_{JK}
v_n	$-e\sqrt{2gh}$	$-e^2\sqrt{2gh}$	$-e^3\sqrt{2gh}$	$-e^4\sqrt{2gh}$	$-e^5\sqrt{2gh}$

Karena tidak ada gaya luar yang bekerja pada bola kecuali gaya gravitasi, dengan menggunakan persamaan GLBB maka secara umum waktu tempuh dapat dirumuskan sebagai

$$t = \frac{v_t - v_0}{\pm g}, \quad (4)$$

dimana v_t merupakan kecepatan akhir bola ketika mencapai suatu titik tertentu; v_0 merupakan kecepatan awal bola dari suatu titik tertentu $\pm g$ mendefinisikan percepatan (ketika bergerak turun) dan perlambatan (ketika bergerak naik) bola. Berdasarkan gambar 2 dapat diperoleh,

$$t_{AB} = \frac{v_{AB} - 0}{g} = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (5)$$

$$t_{BC} = \frac{0 - v_{BC}}{-g} = e\sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (6)$$

$$t_{CD} = \frac{v_{CD} - 0}{g} = e\sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (7)$$

$$t_{DE} = \frac{0 - v_{DE}}{-g} = e^2\sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (8)$$

$$t_{EF} = \frac{v_{EF} - 0}{g} = e^2\sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (9)$$

$$t_{FG} = \frac{0 - v_{FG}}{-g} = e^3\sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (10)$$

$$t_{GH} = \frac{v_{GH} - 0}{g} = e^3\sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (11)$$

$$t_{HI} = \frac{0 - v_{HI}}{-g} = e^4\sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (12)$$

$$t_{IJ} = \frac{v_{IJ} - 0}{g} = e^4\sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (13)$$

$$t_{JK} = \frac{0 - v_{JK}}{-g} = e^5\sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (14)$$

Selanjutnya dapat diperoleh waktu t_n yang diperlukan untuk mencapai h_n sebagai berikut,

$$t_1 = t_{AB} + t_{BC} = \sqrt{\frac{2h}{g}}(1 + e), \quad (15)$$

$$t_2 = t_{AB} + t_{BC} + t_{CD} + t_{DE} = \sqrt{\frac{2h}{g}}(1 + 2e + e^2), \quad (16)$$

$$t_3 = t_{AB} + t_{BC} + t_{CD} + t_{DE} + t_{EF} + t_{FG} = \sqrt{\frac{2h}{g}}(1 + 2e + 2e^2 + e^3) \quad (17)$$

... ..

dan seterusnya. Secara umum dapat dirumuskan

$$t_{n+1} = t_n + \sum_{n+1}^n e^n \quad (18)$$

Dari persamaan (1) dan (17) dapat diperoleh tinggi pantulan bola h_n setiap waktu t_n . Sebagai contoh digunakan ketinggian awal $h_0 = 10$, percepatan gravitasi $g = 10$, koefisien restitusi $e = 0.8$. Dengan demikian dapat diperoleh

Tabel 4. tinggi pantulan bola h_n setiap waktu t_n $n \leq 5$

n	1	2	3	4	5
t_n	2.546	4.582	6.211	7.515	8.557
h_n	6.400	4.096	2.261	1.678	1.074

Terakhir akan ditentukan jarak maksimum dan waktu tempuh yang dapat dicapai bola sebelum akhirnya berhenti. terutama dilakukan analisis untuk gerak turun (AB, CD, EF, GH, IJ, ...). Kecepatan rata-rata untuk gerak turun dapat dihitung sebagai berikut. Dari persamaan (2) dapat diperoleh jumlah kecepatan bola ketika bergerak turun,

$$v = \sqrt{2gh} + e\sqrt{2gh} + e^2\sqrt{2gh} + e^3\sqrt{2gh} + \dots + 0 = \frac{\sqrt{2gh}}{1-e} \quad (18)$$

Kecepatan rata - rata untuk gerak turun didefinisikan sebagai,

$$\bar{v} = \frac{1}{2}v = \frac{\sqrt{2gh}}{2(1-e)} \quad (19)$$

Jarak total yang ditempuh bola untuk gerak turun adalah

$$S_{turun} = h + h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + \dots + 0 = h(e^0 + e^2 + e^4 + e^6 + e^8 + \dots + 0) = \frac{h}{1-e^2} \quad (20)$$

Waktu total yang ditempuh bola untuk turun

$$t_{turun} = \frac{S_{turun}}{\bar{v}} = \frac{\frac{h}{1-e^2}}{\frac{\sqrt{2gh}}{2(1-e)}} = \frac{2h(1-e)}{\sqrt{2gh}(1+e)(1-e)} = \sqrt{\frac{2h}{g}} \frac{1}{(1+e)} \quad (21)$$

Berikutnya tinjau untuk gerak naik (BC, DE, FG, HI, JK, ...). Kecepatan rata-rata untuk gerak naik dapat dihitung sebagai berikut. Dari persamaan \{Kecepatan naik\} dapat diperoleh jumlah kecepatan bola ketika bergerak naik,

$$v' = -e\sqrt{2gh} - e^2\sqrt{2gh} - e^3\sqrt{2gh} - e^4\sqrt{2gh} \dots + 0 = -\sqrt{2gh} \left(\frac{e}{1-e} \right) \quad (22)$$

Kecepatan rata - rata untuk gerak naik didefinisikan sebagai,

$$\bar{v}' = \frac{-e}{2(1-e)} \sqrt{2gh} \quad (23)$$

Jarak total yang ditempuh bola untuk gerak naik

$$S_{naik} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + \dots + 0 = h(e^2 + e^4 + e^6 + e^8 + e^{10} + \dots + 0) = \frac{e^2}{1-e^2} h \quad (24)$$

Waktu total yang ditempuh bola untuk naik

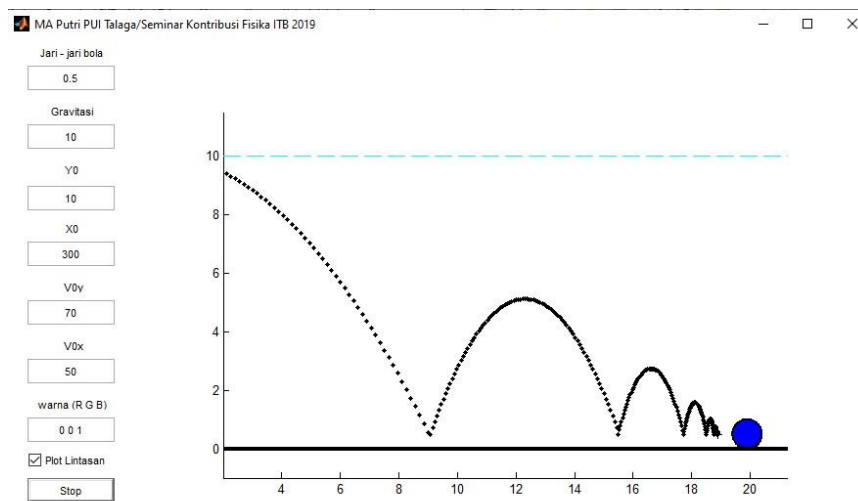
$$t_{naik} = \frac{S_{naik}}{\bar{v}'} = \frac{\frac{e^2}{1-e^2} h}{\frac{-e}{2(1-e)} \sqrt{2gh}} = -\sqrt{\frac{2h}{g}} \frac{e}{(1+e)} \quad (25)$$

Dengan demikian dapat diperoleh jarak total yang ditempuh bola hingga berhenti yaitu

$$S_{total} = S_{turun} + S_{naik} = \frac{h}{1-e^2} + \frac{e^2}{1-e^2} h = \frac{(1+e^2)}{(1-e^2)} h = \frac{(1+e)}{(1-e)} h \quad (26)$$

Waktu total yang diperlukan bola hingga berhenti adalah

$$t_{total} = t_{turun} + t_{naik} = \sqrt{\frac{2h}{g} \frac{1}{(1+e)}} - \sqrt{\frac{2h}{g} \frac{e}{(1+e)}} = \sqrt{\frac{2h}{g} \frac{(1-e)}{(1+e)}} \quad (27)$$



Gambar 3. Tampilan Simulai Gerakan Dinamika Bola Pantul.

Dapat dilihat pada gambar bahwa bola pejal dengan jari - jari $r = 0.5$ cm dijatuhkan dari ketinggian awal $y_0 = 10$ cm dan kemudian memantul. Lintasan gerak bola setelah memantul berbentuk parabola. Karena tumbukan bersifat elastis dengan koefisien restitusi $e < 1$, maka dapat dilihat bahwa tinggi pantulan bola ke- $(n+1)$ selalu lebih kecil dari tinggi pantulan bola ke- n . Persamaan tinggi pantulan bola terhadap waktu memenuhi persamaan deret geometri tak hingga. Koding simulasi dinamika tumbukan bola pantul dapat dilihat pada tautan berikut <http://bit.ly/ABS28pantul>.

KESIMPULAN

Dinamika tumbukan bola pantul merupakan salah satu topik pembelajaran fisika tingkat sekolah menengah atas yang menarik untuk dikaji karena melibatkan berbagai konsep fisika diantaranya gerak jatuh bebas, tumbukan, gerak parabola serta konsep matematika deret geometri tak hingga. Telah dilakukan simulasi dinamika tumbukan bola pantul dengan menggunakan Matlab GUI dan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 3. Sebagai penelitian lanjutan dapat dikaji pengaruh massa serta variasi jari - jari bola terhadap dinamika gerak bola. Diharapkan Matlab GUI dapat dijadikan sebagai salah satu media pembelajaran fisika tingkat sekolah menengah atas untuk dikembangkan guna memberikan simulasi lebih real dan inovatif dari soal-soal yang sering diberikan dan fenomena fisika lainnya dalam kehidupan sehari - hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ketua Penyelenggara MA Putri PUI Talaga, H. M. Damhuri dan berbagai pihak lainnya yang telah mendukung secara penuh dalam kegiatan penelitian ini.

REFERENSI

1. Walker, J., Halliday, D., Resnick, R., *Fundamentals of Physics 10th edition*, Hoboken, NJ: Wiley (2011).
2. Raymond A. Serway and John W. Jewett, Jr. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics 10th edition*, Physical Sciences: Mary Finch (2013).
3. Douglas C. Giancoli., *Physics: Principles with Applications 7th edition*, University of California (2014).