

Analisis Pantulan Bola Dengan Pemodelan Massa Benda - Kekakuan Pegas

Anas Mukhtar¹, Gatut Rubiono²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 01 Banyuwangi 68416
Email: anasmukhtar@unibabwi.ac.id

Abstrak – Salah satu fenomena yang banyak terjadi dalam aktivitas olahraga yang menggunakan bola adalah pantulan bola. Pantulan bola merupakan topik kajian yang menarik dan penting untuk diteliti. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis pantulan bola dengan pemodelan massa benda – kekakuan pegas. Analisis dilakukan dengan kajian mekanika yaitu dengan memodelkan bola sebagai suatu massa yang terikat pada pegas. Pemodelan ini dapat dianggap sebagai fenomena gaya tekan terhadap bola pada suatu bidang permukaan. Hasil pemodelan menunjukkan kesesuaian dengan teori dan fenomena fisik yang ada. Bola yang dipompa dengan tekanan udara yang relatif tinggi akan cenderung lebih kaku atau lebih dapat menahan gaya tekan. Pemodelan ini juga dapat dikembangkan sebagai model pengukuran kekakuan bola.

Kata kunci: *bola, pantulan, pemodelan, pegas, kekakuan pegas*

PENDAHULUAN

Bola merupakan salah satu benda yang banyak digunakan di bidang olahraga. Aktivitas dalam olahraga menggunakan interaksi pemain atau peralatan dengan bola. Bola ditendang, dipukul, dilemparkan, ditangkap dan perlakuan-perlakuan lainnya. Akibat perlakuan ini, bola mengalami gerakan-gerakan seperti menggelinding, melayang di udara, memantul di sebuah permukaan, berputar, dan gerak-gerak lainnya. Perilaku bola dalam setiap gerakannya memiliki karakteristik tersendiri dan menjadi kajian menarik.

Fenomena pantulan bola dapat ditemukan di permainan sepak bola, bola basket atau bola voli yang menggunakan bola dengan ukuran relatif besar. Fenomena juga dapat ditemukan di olahraga yang menggunakan bola dengan ukuran yang relatif lebih kecil seperti golf, tenis meja, *baseball*, tenis lapangan, kriket dan lain-lain. Banyaknya cabang olahraga yang menggunakan bola ini dapat menjadi pertimbangan bahwa penelitian atau kajian pantulan bola merupakan suatu hal yang penting. Berbagai bentuk kajian perlu dilakukan untuk mempelajari aspek karakteristik bola, khususnya perilaku bola saat bertumbukan dengan sebuah permukaan.

Pantulan bola di sebuah permukaan juga menjadi topik bahasan penelitian. Pantulan bola sangat perlu untuk dipelajari karena hasil studi dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran, pelatihan, teknik permainan, dan strategi permainan. Hasil penelitian juga dapat dijadikan acuan untuk pengembangan produk bola atau pengembangan untuk penelitian-penelitian terkait. Studi pantulan bola dapat

dijadikan bahan bagi para praktisi untuk menjadikan sebuah pertandingan menjadi lebih menarik.

Penelitian pantulan bola antara lain telah dilakukan untuk mempelajari perilaku pantulan. Penelitian dilakukan untuk perilaku pantulan berulang sebuah bola yang tidak elastis di atas permukaan tanah [1] dan perilaku bola yang membal di sebuah permukaan [2]. Perilaku bola golf dikaji untuk perilaku saat mendarat, memantul dan menggelinding di permukaan rumput [3]. Perilaku bola juga dikaji untuk dentuman dan dengung sebagai karakteristik bunyi pantulan [4] dan karakteristik pantulan bola kriket saat lemparan awal di tanah [5]. Penelitian bahkan dilakukan untuk pantulan dua buah bola [6] dan perilaku bola saat memantul di tangga [7].

Studi pantulan bola juga dilakukan secara pemodelan atau simulasi menggunakan komputer. Pantulan bola telah dimodelkan sebagai sebuah massa yang teredam oleh sebuah pegas [8]. Identifikasi parameter bola basket dikaji dengan model simulasi dan dibandingkan hasilnya dengan eksperimen [9]. Studi eksperimen dan simulasi numerik dilakukan pantulan bola polimer karena pengaruh temperatur [10].

Tumbukan bola di sebuah permukaan adalah sebuah fenomena fisik dimana terjadi gaya impak bola terhadap permukaan saat tumbukan. Koefisien tumbukan (restitusi), COR (*Coefficient of Restitution*), disimbolkan sebagai e , adalah parameter digunakan untuk menentukan kehilangan energi selama impak. Nilai e berada dalam kisaran $0 \leq e \leq 1$, di mana ($e = 0$) menunjukkan tumbukan plastik sempurna (kehilangan energi total) sementara ($e = 1$) menunjukkan tumbukan elastis sempurna (tanpa kehilangan energi). Namun, dalam

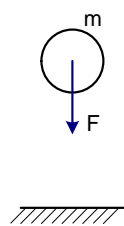
praktiknya, sangat tidak mungkin membuat tabrakan elastis sempurna karena sebagian energi dihamburkan ke suara, panas, energi regangan dan lain-lain [11].

Gerak bola atau secara khusus pantulan bola dapat dikaji dari sudut pandang mekanika. Fenomena fisik yang terjadi dipelajari dari aspek gerak yang terjadi. Analisis dilakukan dengan membuat pemodelan matematis untuk sebuah fenomena fisik yang dikaji. Analisis dilakukan dengan memberikan batasan-batasan sebagai asumsi awal untuk melakukan analisis secara keseluruhan. Artikel ini bertujuan untuk melakukan analisis pantulan bola dengan pemodelan massa benda – kekakuan pegas.

METODE

Apabila suatu pegas dengan tetapan pegas k diberi beban W , maka ujung pegas akan bergeser sepanjang x sesuai dengan persamaan $m g = k x$. Untuk menentukan tetapan pegas (k) dengan cara statis maka digunakan rumus gabungan antara hukum Hooke dan Hukum II Newton. Di dalam sebuah pegas terdapat gaya pemulih, yaitu gaya yang berlawanan dengan perpindahan sistem sehingga mendorong atau menarik sistem kembali pada posisi kesetimbangan [12].

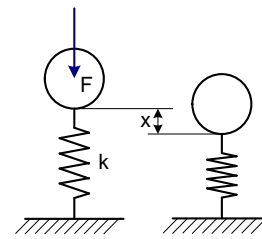
Analisis dilakukan dengan memodelkan pantulan bola sebagai massa yang jatuh ke sebuah permukaan seperti gambar 1. Dengan batasan bola jatuh bebas atau tanpa kecepatan awal, maka bola tersebut akan mengenai atau bertumbukan dengan permukaan dengan gaya sebesar F sebagai hasil kali massa (m) dengan faktor gravitasi (g). Analisis selanjutnya dilakukan untuk pemodelan bola tersebut sebagai sebuah massa yang terikat pada sebuah pegas.



Gambar 1. Model bola jatuh

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bola pada gambar 1 dimodelkan sebagai sebuah massa yang terikat pada sebuah pegas yang memiliki kekakuan tertentu. Jika sebuah gaya sebesar F menekan bola maka pegas akan memendek sebesar x . Besaran x ini sama dengan besar perpindahan posisi bola. Pemodelan seperti ini telah dilakukan oleh referensi [2] dan [8]. Skema pemodelan dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Pemodelan massa-pegas untuk pantulan bola

Berdasarkan referensi [11] maka berlaku persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$F = - k x \quad (1)$$

$$m g = - k x \quad (2)$$

Dimana:

k = konstanta (kekakuan) pegas (N/m)

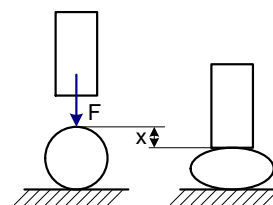
m = massa (kg)

x = jarak simpangan (m)

g = konstanta gravitasi bumi (m/dt^2)

Dari persamaan (1) dan (2) terlihat bahwa konstanta kekakuan k berbanding terbalik dengan jarak simpangan atau perpindahan x . Semakin besar k maka x akan semakin kecil, demikian pula sebaliknya. Maka bola dengan massa m yang jatuh akibat gaya gravitasi bumi sebesar g mengakibatkan gaya sebesar F terhadap permukaan. Gaya ini juga akan menentukan besar perpindahan atau pantulan bola dari permukaan tersebut.

Bola pada saat bertumbukan dengan permukaan dapat dimodelkan sebagai sebuah benda yang mendapatkan gaya tekan sebesar F ke permukaan tersebut. Skema pemodelan dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Skema kekakuan bola

Gambar 3 menunjukkan fenomena yang mirip dengan model massa-pegas. Dengan kesamaan ini maka persamaan (1) dan (2) juga berlaku. Benda atau dalam hal ini bola jika mendapatkan gaya (dalam hal ini tekanan) akan mengalami perubahan dimensi sebesar x pada arah datangnya gaya tersebut. Gaya dan perpindahan ini akan dapat menghasilkan karakteristik kekakuan bola seperti halnya dalam kekakuan pegas. Bola dengan bentuk bulat atau berpenampang lingkaran akan cenderung berubah menjadi bentuk elip.

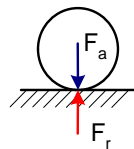
Bola yang mendapatkan tekanan seperti gambar 3 akan mengalami perubahan ukuran sebesar x . Perubahan sebesar x terjadi pada garis yang sesuai dengan arah datangnya gaya tekan. Gaya tekan

dengan besar gaya tertentu yang bekerja tidak memampatkan udara tetapi hanya akan menggeser permukaan material bola. Bola yang berisi udara adalah sebuah sistem tertutup sehingga pada saat ditekan hanya akan mengalami perubahan dimensi tetapi volumenya tetap.

Bola yang dipompa dengan tekanan yang relatif besar akan mengalami sedikit perubahan ukuran. Sebaliknya, bola yang dipompa dengan tekanan yang lebih kecil akan mengalami perubahan yang besar karena tidak mampu menahan tekanan. Hal ini sesuai dengan kondisi fisik sebuah bola. Bola dengan isi udara bertekanan tinggi akan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menerima tekanan karena tekanan udara akan bekerja sama rata ke arah permukaan bola.

Bola yang berisi udara dengan tekanan yang relatif besar akan menghasilkan nilai kekakuan yang relatif besar pula. Hal ini karena perubahan ukuran yang lebih kecil akan menghasilkan nilai tersebut sesuai dengan hubungan yang terbalik antara kekakuan dan perpindahan. Besarnya nilai kekakuan ini cenderung akan menghasilkan pantulan yang lebih besar atau lebih tinggi. Hal ini dapat dipahami sesuai dengan kenyataan bahwa bola yang dengan tekanan udara lebih kecil (atau dapat disebut kempis) akan memiliki pantulan yang lebih kecil.

Gaya tekan terhadap bola akan diteruskan sebagai gaya tekan bola terhadap bidang permukaan. Gaya tekan bola, sesuai dengan hukum aksi reaksi Newton akan menghasilkan gaya tolak permukaan terhadap bola yang besarnya sama dengan gaya tekan bola terhadap permukaan tetapi arahnya berlawanan. Gaya tolak ini akan mengakibatkan bola memantul setelah bertumbukan dengan permukaan.



Gambar 4. Gaya aksi dan reaksi saat tumbukan bola

Pemodelan kekakuan bola pada gambar 3 memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai sebuah metode pengukuran. Konsep yang sederhana dapat digunakan dalam menentukan karakteristik sebuah bola. Karakteristik ini dapat melengkapi karakteristik yang telah ada. Penelitian dalam bentuk metode eksperimen yang tepat dapat dilakukan dalam pengembangan pengukuran kekakuan bola. Metode pengukuran secara mekanik maupun aplikasi elektronika dapat digunakan dalam pengembangan ini.

Analisis lebih lanjut juga dapat diterapkan untuk permasalahan yang lebih kompleks dengan melakukan kajian bola jatuh dengan sebuah

kecepatan awal. Kajian lain juga dapat dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor terkait seperti aerodinamika atau pengaruh angin, putaran bola atau sudut datangnya bola terhadap bidang pantulan. Pengembangan ini dapat dilakukan dengan pemodelan dengan mengacu pada fenomena mekanika benda jatuh.

KESIMPULAN

Pemodelan pantulan bola menggunakan prinsip massa-kekakuan pegas telah dilakukan dan menunjukkan kesesuaian dengan fenomena dan teori yang ada. Pemodelan dapat dikembangkan menjadi model pengukuran kekakuan bola. Penelitian eksperimen dapat dilakukan untuk mengembangkan konsep tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. E. Falcon, C. Laroche, S. Fauve, C. Coste, 1998, *Behavior of one inelastic ball bouncing repeatedly on the ground*, Eur. Phys. J. B 3(1998): 45-57
- [2]. R. Cross, 2015, *Behaviour of a bouncing ball*, <https://www.researchgate.net/publication/275467325>, diakses tanggal 25 Juli 2019
- [3]. W-J. Roh, C-W. Lee, 2010, *Golf ball landing, bounce and roll on turf*, 8th Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA), Procedia Engineering 2(2010): 3237-3242
- [4]. J. I. Katz, 2010, *Thump, ring: the sound of a bouncing ball*, Eur. J. Phys. 31 (2010): 849-856
- [5]. R. P. Renjith, B. Gopinath, 2017, *Improvement of bounce characteristics on locally available soil to prepare cricket pitches*, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET) 5(V): 519-523
- [6]. Y. Berdeni, A. Champneys, R. Szalai, 2015 *The two-ball bounce problem*. Proc. R. Soc. A 471: 1-20
- [7]. M. Gruiz, T. Meszéna, T. Tél, 2017, *Chaotic or just complicated? Ball bouncing down the stairs*, Eur. J. Phys. 38 (2017): 1-15
- [8]. M. Nagurka, S. Huang, 2006, *A mass-spring-damper model of a bouncing ball*, Int. J. Engng Ed. 22(2): 393-401
- [9]. H. Okubo, M. Hubbard, 2010, *Identification of basketball parameters for a simulation model*, 8th Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA), Procedia Engineering 2(2010): 3281-3286
- [10]. J. Diani, P. Gilormini, G. Agbobada, 2014, *Experimental study and numerical simulation of the vertical bounce of a polymer ball over a wide temperature range*, Journal of Materials Science 49(5): 2154-2163
- [11]. M. Ahmad, K.A. Ismail, F. Mat, 2016, *Impact models and coefficient of restitution: a review*, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences 11(10): 6549-6555
- [12]. Elisa, Y. Claudya, 2016, *Penentuan konstanta pegas dengan cara statis dan dinamis*, Jurnal Fisika Edukasi 3(1): 46-50