

## ORIENTASI GERAK JATUH BEBAS PADA SISTEM TIGA PARTIKEL

Jesi Pebralia<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang, Jl. Prof. KH. Zainal Abidin Fikri Km.3,5 Palembang, Indonesia

<sup>a</sup>E-mail: [jesipebralia@radenfatah.ac.id](mailto:jesipebralia@radenfatah.ac.id)

### Abstrak

*Partikel merupakan objek yang memiliki massa, posisi, kecepatan, serta terpengaruh oleh gaya, tetapi tak berdimensi ruang. Namun kumpulan sistem partikel bisa menjadi sistem yang memiliki dimensi ruang. Berdasarkan penjelasan tersebut, struktur massa nonrigid dapat didekati dengan menggunakan sistem  $N$  partikel yang dihubungkan oleh beberapa "pegas" sederhana. Terdapat-benda-benda riil yang cenderung jatuh pada orientasi tertentu, trajektori gerak jatuh bebas sistem massa nonrigid ini relatif berbeda dengan gerak jatuh bebas partikel sederhana. Paper ini mensimulasikan gerak suatu benda yang tersusun oleh sistem partikel dimana distribusi massa, efek konstanta pegas, dan gesekan udara merupakan aspek penting yang harus diperhitungkan. Dilakukan juga perbandingan antara gerak pusat massa sistem massa nonrigid dengan gerak partikel sederhana. Diperkirakan semakin heterogen distribusi massa sistem partikel, orientasi gerak benda akan semakin acak.*

**kata kunci:** gerak jatuh, massa non-rigid, sistem partikel

### PENDAHULUAN

Partikel adalah objek yang memiliki massa, posisi dan kecepatan serta dapat dipengaruhi oleh gaya-gaya. Partikel dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan struktur pembentuknya yaitu partikel rigid dan partikel non-rigid. Pada penelitian ini, sistem partikel yang ditinjau adalah sistem partikel non-rigid. Sistem partikel non-rigid adalah sekumpulan partikel-partikel yang membentuk suatu struktur tertentu dimana masing-masing partikel penyusun sistem dihubungkan melalui pegas dengan konstanta pegas tertentu [1]. Adapun struktur partikel dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu regular particles dan irregular particles [2]. Regular particles adalah partikel-partikel yang mempunyai susunan kisi-kisi teratur seperti kubus, segitiga, tetrahedral, dan lain sebagainya. Sedangkan, irregular particles adalah partikel-partikel yang mempunyai

susunan kisi-kisi yang tidak teratur.

Pemodelan pada benda pejal telah sebelumnya dilakukan oleh, contohnya, [3-5] dengan beberapa variasi algoritma yang pada umumnya bertumpu pada perhitungan tensor momen inersia yang cukup kompleks. Pada tulisan ini dilakukan simulasi sederhana untuk memodelkan benda tegar (sistem partikel), dengan mengaproksimasi sistem benda pejal menjadi sistem tiga partikel terhubung dengan pegas berkonstanta pegas besar. Dalam penelitian ini, struktur partikel yang digambarkan adalah regular particles dengan sistem partikel berbentuk segitiga. Sistem partikel berbentuk segitiga digambarkan oleh tiga buah partikel yang masing-masing dihubungkan dengan suatu pegas.

### Sistem Partikel

Partikel adalah objek yang memiliki massa, posisi dan kecepatan serta dapat

dipengaruhi oleh gaya-gaya. Partikel dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan struktur pembentuknya yaitu partikel *rigid* dan partikel *non-rigid*. Pada penelitian ini, sistem partikel yang ditinjau adalah sistem partikel *non-rigid*.

Sistem partikel *non-rigid* adalah sekumpulan partikel-partikel yang membentuk suatu struktur tertentu dimana masing-masing partikel penyusun sistem dihubungkan melalui pegas dengan konstanta pegas tertentu [1]. Adapun struktur partikel dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu *regular particles* dan *irregular particles* [2]. *Regular particles* adalah partikel-partikel yang mempunyai susunan kisi-kisi teratur seperti kubus, segitiga, tetrahedral, dan lain sebagainya. Sedangkan, *irregular particles* adalah partikel-partikel yang mempunyai susunan kisi-kisi yang tidak teratur. Dalam penelitian ini, struktur partikel yang digambarkan adalah *regular particles* dengan sistem partikel berbentuk segitiga.

**Metode Numerik**

Metode numerik yang digunakan yaitu metode Euler/Verlet. Metode Euler mengikuti formulasi berikut ini:

$$\vec{r}(t + \Delta t) \approx \vec{r}(t) + \vec{v}(t)\Delta t, \tag{1}$$

$$\vec{v}(t + \Delta t) \approx \vec{v}(t) + \vec{a}(t)\Delta t. \tag{2}$$

Algoritma Verlet mengikuti formulasi berikut ini:

$$\vec{r}(t + \Delta t) = \vec{r}(t) + \vec{v}(t)\Delta t + \frac{1}{2}\vec{a}(t)\Delta t^2, \tag{3}$$

$$\vec{v}(t + \Delta t) = \vec{v}(t) + \frac{1}{2}\Delta[\vec{a}(t) + \vec{a}(t + \Delta t)]\Delta t. \tag{4}$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Simulasi ini menggunakan nilai parameter yang pada dasarnya scale invariant, tetapi masuk akal jika kita interpretasikan satuannya dalam SI. Nilai-nilai parameter yang digunakan dalam simulasi tercantum dalam Tabel 1.

Dari data pada tabel 1 nampak bahwa susunan partikel adalah m1 dan m2 sejajar dan terpeltak di bawah m3. Masing-masing partikel mengalami gaya gesek dengan koefisien gesek yang bervariasi:  $\{1, \alpha, \beta\} \times 0.01225$  ( $0.01225 = g/800$ ) berturut-turut untuk m1, m2, dan m3. Simulasi ini dilakukan pada dua kasus kasus pertama untuk konstanta pegas k seragam (108) dan kasus kedua untuk k berbeda (lihat tabel 4.1).

**Tabel 1. Nilai-nilai parameter simulasi**

Parameter	Simbol	Nilai Parameter
Massa	m[3]	{100, 100, 100}
Konstanta pegas	k[3]	{1, 1, 1} x 10 <sup>8</sup> , {1, 1.2, 1.3} x 10 <sup>8</sup>
Panjang pegas	l	1
Percepatan gravitasi	g	9.8
Konstanta gesekan udara	b[3]	{1, α, β} x 0.01225
Posisi partikel arah-x	r <sub>x0</sub> [3]	{2, 3, 2.5}

Posisi partikel arah-y	$r_{y0}[3]$	{14, 14, 14.87}
------------------------	-------------	-----------------

Untuk mengetahui seberapa besar orientasi sistem berubah seiring waktu, didefinisikan parameter orientasi berupa simpangan vertikal yang terjadi antara posisi pusat masa dan posisi partikel ke-i,

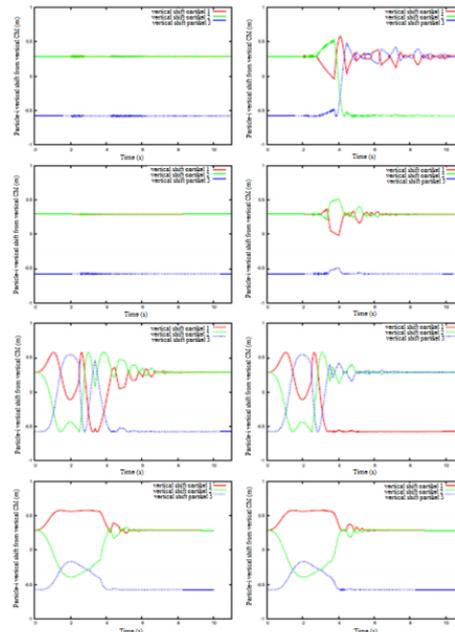
$$r_{ypi} \equiv r_{ypm} - r_i \tag{5}$$

Parameter ini menggambarkan seberapa jauh posisi vertikal partikel berubah dari waktu ke waktu. Jika pada awal nilainya positif dan pada suatu keadaan akhir nilainya negatif maka sistem pasti telah mengalami rotasi. Di sini akan ditinjau seberapa besar "fluktuasi" orientasi partikel yang dialaminya saat jatuh.

Tabel 2. Standar deviasi dari parameter orientasi untuk variasi gesekan tiap benda dan k seragam.

$\alpha$	$\beta$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{total}$
1	1	0,00092 3	0,00092 3	0,00184 5	0,00369 0
1	4	0,00046 6	0,00046 7	0,00093 3	0,00186 6
4	1	0,25837 9	0,31257 3	0,36744	0,93838 2
4	4	0,12264 3	0,25300 6	0,13615 8	0,51181

Pada Tabel 2 nampak nilai standar deviasi dari parameter  $r_{yp}[i]$ , yang dilabelkan dengan  $\sigma_i$ , untuk nilai k seragam. Standar deviasi ini dihitung dari  $t = 0$  sampai  $t = 10.3$ , nilai ini diambil karena pada saat ini partikel sudah dalam keadaan stabil.



Gambar 1. perubahan parameter  $r_{yp}[i]$  terhadap waktu sampai sistem stabil.

Dari tabel 2 di atas nampak untuk  $\alpha \neq 1$  nilai standar deviasi total lebih besar dibandingkan dengan yang lain, hal ini terjadi karena nilai  $\alpha$  menentukan gerak  $m_1$  dan  $m_2$  terus sejajar sebelum tumbukan, dengan melihat simetri cermin dari sistem ini. Nilai yang tidak satu akan membuat  $m_1$  dan  $m_2$  berfluktuasi pada kondisi jatuh bebas, sehingga  $\sigma$  membesar.

Untuk mengamati lebih jauh perilaku perubahan orientasi sistem, amati gambar 1. Gambar ini memberikan informasi tentang dinamika  $r_{yp}[i]$  untuk ketiga partikel terhadap waktu. Gambar 1 di atas menunjukkan kurva simpangan vertikal dari tiap partikel relatif terhadap posisi pusat masa. Untuk nilai k

seragam (kolom kiri) serta nilai konstanta gesekan udara seragam (baris pertama), tidak terjadi perubahan simpangan vertikal. Sedangkan dengan adanya perbedaan nilai konstanta gesekan udara, simpangan vertikal yang dihasilkan akan semakin besar.

Untuk nilai  $k$  yang tidak seragam (kolom kanan), simpangan vertikal yang terjadi semakin lama dibandingkan dengan nilai  $k$  yang seragam untuk kondisi konstanta gesekan udara yang sama ( $\alpha=1$  dan  $\beta=1$ ). Tetapi hasil ini tidak menunjukkan bahwa semakin tidak seragam nilai  $k$  semakin lama simpangan vertikal terjadi, hal ini bisa kita lihat pada gambar bagian baris 3. Simpangan vertikal yang dihasilkan pada kondisi  $k$  tidak seragam justru lebih cepat stabil dibandingkan simpangan vertikal pada kondisi  $k$  seragam. Dan pada gambar pada kolom 4, bentuk kurva simpangan vertikal yang dihasilkan hampir identik antara kondisi  $k$  seragam dengan kondisi  $k$  yang tidak seragam. Berdasarkan hasil yang didapatkan, simpangan vertikal lebih dominan dipengaruhi oleh besarnya konstanta gesekan udara, sedangkan pengaruh nilai konstanta pegas relatif lebih rendah. Akan tetapi, pada nilai konstanta gesekan udara yang seragam pengaruh ketidakseragaman konstanta

pegas sangat besar terhadap simpangan vertikal.

### KESIMPULAN

Berdasarkan pemodelan yang telah dibuat, telah diketahui bahwa parameter yang dominan mempengaruhi orientasi jatuh dari sistem tiga partikel adalah koefisien hambatan udara. Sedangkan ketidakseragaman nilai konstanta pegas hanya berpengaruh pada kondisi konstanta gesekan udara yang seragam. Nilai simpangan vertikal merupakan parameter penting untuk menunjukkan apakah orientasi gerak sistem partikel ini berada dalam kondisi stabil atau sebaliknya.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrew Witkin. 1997. *An Introduction to Physically Based Modeling: Particle System Dynamics*. School computer science: Carnegie Mellon University.
- [2] Matthias Mondo, Chungeng Yin, Henrik Sorensen dan Lasse Rosendahl. 2007. *On the Modelling of Motion of Non-spherical Particles in Two Phase Flow*. Denmark: Aalborg University, Institute of Energy Technology.