

Pemodelan Kelengkungan Kurva dan Permusan Gaya Antar Butiran pada Kasus Rantai Butiran Magnetik Terentang Horizontal

Aufa Rudiawan^{1*}, Sparisoma Viridi²

¹Program Studi Magister Sains Komputasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

²Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

* Corresponding author. E-mail: aufa.numan@students.itb.ac.id
hp: +62-812-2089-9659

ABSTRAK

Material butiran adalah material yang terdiri dari partikel-partikel padatan yang ukurannya lebih kecil, contohnya butiran magnet dan butiran besi. Butiran magnet dan besi dapat dengan mudah dibuat menjadi bentuk tertentu menggunakan tangan. Dalam penelitian ini, kedua butiran tersebut disusun menjadi rantai yang direntangkan secara horizontal. Penelitian ini bertujuan untuk membuat model kelengkungan kurva dan memperoleh rumusan gaya antar butiran untuk kasus rantai butiran magnetik terentang horizontal. Penelitian dilakukan dengan cara eksperimen dan simulasi.

Kata Kunci: butiran, eksperimen, gaya, kurva, rantai, simulasi

ABSTRACT

Granular material is a material consisting of smaller solid particles, for example granular magnets and iron granules. Magnetic and iron granules can easily be made into certain shapes using hands. In this study, these two granules are arranged into chains stretched horizontally. This study aims to model curvature curves and obtain inter-granular forces for cases of magnetic grain chains stretching horizontally. The research was conducted by experiment and simulation.

Keywords: chain, curvature, experiment, force, grain, simulation

1. Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering menjumpai material dalam bentuk butiran, atau disebut sebagai material butiran (*granular material*). Material butiran merupakan material yang terdiri dari butiran-butiran bahan lain yang ukurannya lebih kecil, contohnya beras, pasir, dan kacang-kacangan. Material butiran memiliki keunikan yaitu dapat menunjukkan sifat-sifat yang kadang hanya dimiliki oleh padatan, cair, atau gas.



Gambar 1. Contoh material butiran (a) kacang-kacangan, (b) pasir.

Salah satu material butiran yang mulai banyak diteliti adalah butiran-butiran magnet. Keunggulan dari butiran-butiran magnet adalah dijual secara komersial (mudah didapatkan) dan memiliki ukuran milimeter hingga centimeter, sehingga dapat dibentuk dengan menggunakan

tangan menjadi bentuk yang sederhana hingga struktur yang sangat kompleks.



Gambar 2. Material butiran magnet.

Pada penelitian sebelumnya [0,0] telah dilakukan pemodelan untuk kasus rantai butiran magnet yang homogen. Dengan mengasumsikan rantai butiran magnet menyerupai sebuah tali homogen, persamaan gelombang dapat diturunkan menjadi persamaan baru untuk menentukan tegang tali T .

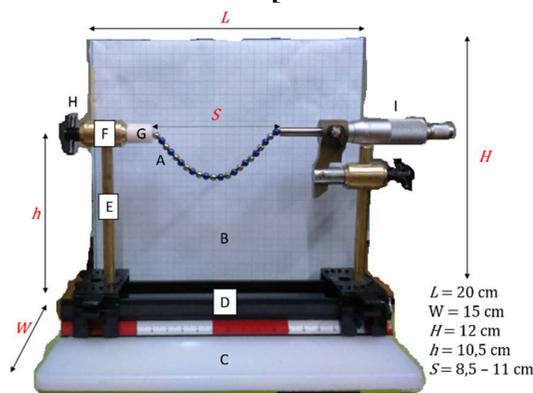
$$y(x) = \frac{\mu g}{2T} x^2 + \frac{\mu g S}{2T} x + h. \quad (1)$$

Simulasi dengan menggunakan program HTML dan JavaScript untuk kasus serupa juga telah dibuat untuk menentukan konstanta pegas antar butiran magnet.

Tujuan dari penelitian ini ini adalah untuk membuat model kelengkungan kurva dan memperoleh rumusan gaya antar butiran untuk kasus rantai butiran magnet tidak homogen, yang dilakukan dengan cara eksperimen dan simulasi.

2. Bahan dan Metode

2.1. Pembuatan Alat Eskperimen



Gambar 3. Alat eksperimen.

Eksperimen dilakukan dengan menggunakan alat seperti ditunjukkan pada gambar di atas. Berikut adalah keterangan untuk Gambar 3.

Keterangan	Simbol
Butiran besi/magnet	A
Plat aluminium dan kertas milimeter blok	B
Talenan	C
Rel presisi	D
Batang kuningan	E
Manice	F
Teflon	G
Pengunci	H
Mikrometer sekrup	I

Bahan yang digunakan untuk eksperimen berupa butiran magnet dan besi berbentuk bola dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi butiran magnet dan besi.

Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
d_m	0.498	cm	Diameter butiran magnet
d_b	0.499	cm	Diameter butiran besi
m_m	0.57	gram	Massa butiran magnet
m_b	0.51	gram	Massa butiran besi

2.2. Pengambilan Data Eksperimen

Butiran magnet dan besi ditempelkan satu sama lain sehingga membentuk rantai butiran magnet-besi. Kemudian rantai butiran tersebut direntangkan dan ditempelkan pada alat percobaan dengan posisi awal butiran pertama (x_0, y_0) dan terakhir (x_n, y_n) masing-masing $(0.25, 10.5 \text{ cm})$ dan $(10.5, 10.5 \text{ cm})$. Jarak kedua ujung rantai butiran S diatur dengan memutar mikrometer skrup dengan nilai awal S_0 11 cm. Kemudian rantai butiran difoto dengan menggunakan kamera dan diolah menggunakan perangkat lunak untuk menentukan koordinat masing-masing butiran [0].

Eksperimen dilakukan kembali dengan variasi nilai S seperti pada tabel berikut.

Tabel 2. Variasi jarak kedua ujung butiran S .

Variasi ke-	S (cm)
1	11
2	10.5
3	10
4	9.5
5	9
6	8.5

Percobaan juga dilakukan untuk variasi susunan butiran yang dideskripsikan oleh algoritma berikut.

(1)
 input : $N = 22, a = 1, \dots, 9$
 set : $k = N / a$
 for : $i = 1, \dots, k, j = 1, \dots, a$
 if : $i \% 2 = 0, u_{ij} = magnet$
 else : $u_{ij} = besi$
 output : u_{ij}

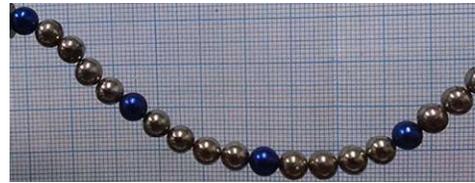
(2)
 input : $N = 22, b = 1, \dots, 4$
 set : $u_i = magnet$
 for : $i = 1, \dots, n$
 if : $i \% (b + 1) = 1, u_i = magnet$
 else : $u_i = besi$
 output : u_i

dimana N jumlah butiran, u_{ij} dan u_i jenis butiran ke- i (indeks j menunjukkan jumlah jenis butiran yang sama untuk u_i).

Sebagai contoh, variasi susunan butiran dengan Algoritma (1) dan Algoritma (2) masing-masing dapat dilihat pada Gambar 4.(a) dan Gambar 4.(b).



(a)



(b)

Gambar 4. Rantai butiran untuk $S = 10$ cm dengan (a) $a = 4$, (b) $b = 4$.

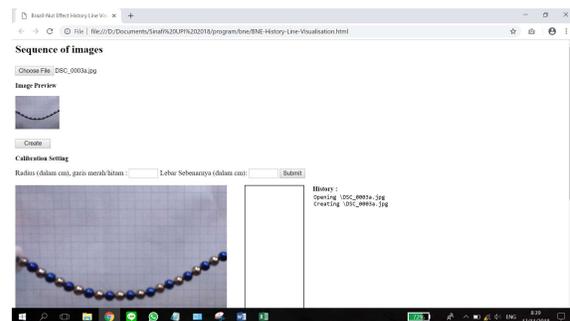
Variasi susunan butiran mengakibatkan perbedaan rasio jumlah butiran magnet terhadap jumlah butiran total X . Ketika nilai X semakin kecil, jarak kedua ujung butiran S yang terdapat pada Tabel 1 akan memiliki galat. Hal ini dikarenakan gaya tarik-menarik antar butiran melemah sehingga perlu disesuaikan agar rantai butiran tidak lepas. Diagram alir eksperimen ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir eksperimen.

2.3. Pengolahan Data Eskperimen

Perangkat lunak untuk menentukan koordinat butiran menggunakan program HTML dan Javascript dengan antarmuka (interface) seperti pada gambar berikut.



Gambar 6. Antarmuka (interface) perangkat lunak untuk menentukan koordinat masing-masing butiran.

Foto dari rantai butiran yang sudah diperoleh sebelumnya dihilangkan *noise*-nya dengan cara di-*crop*. Kemudian foto tersebut

diunggah ke perangkat lunak. Berikutnya, data jari-jari butiran dan jarak kedua ujung rantai butiran di-input. Selanjutnya, cursor diarahkan ke titik pusat butiran dan di-click. Hal serupa dilakukan untuk semua butiran. Terakhir, simpan data koordinat butiran ke *spreadsheet* untuk dibuat dalam bentuk grafik.

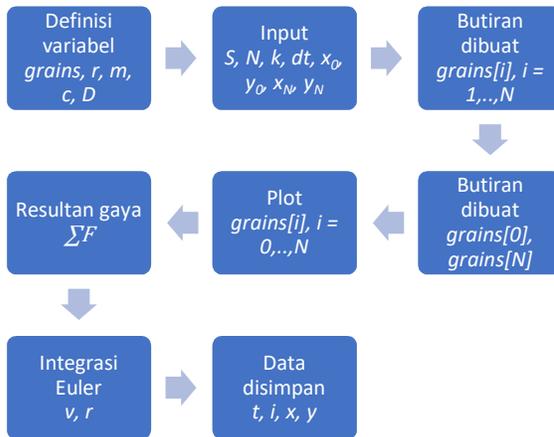
Diagram alir pengolahan data eksperimen ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir pengolahan data eksperimen.

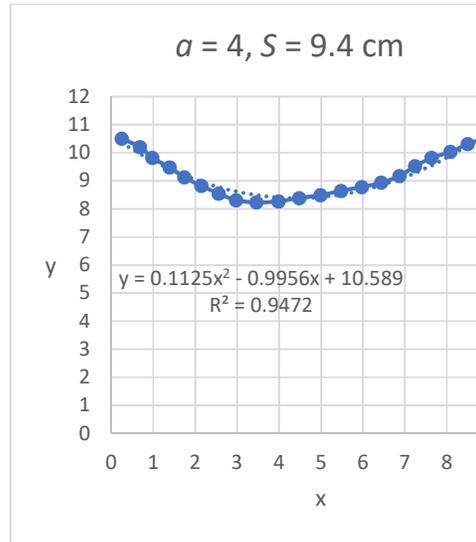
2.4. Simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan model pegas-massa untuk menggambarkan interaksi antar butiran. Gaya-gaya yang terlibat pada simulasi ini adalah gaya pegas, gaya gravitasi, dan gaya gesek udara. Dengan menggunakan Hukum Newton II, dapat ditentukan percepatan sistem sebanding dengan rasio resultan gaya terhadap massa masing-masing butiran. Kemudian dilakukan integrasi Euler untuk memperoleh posisi butiran.

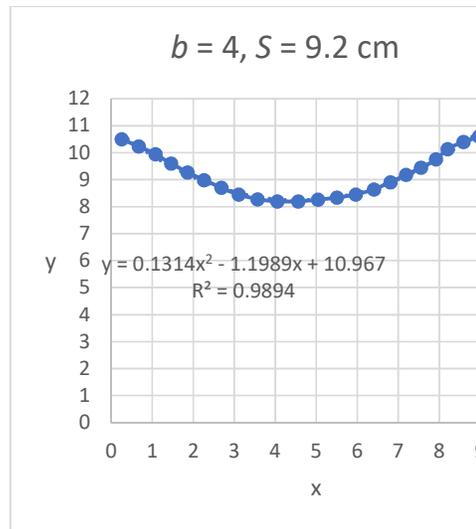


Gambar 8. Diagram alir simulasi.

3. Hasil dan Pembahasan



(a)



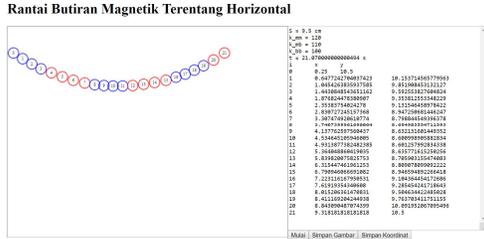
(b)

Gambar 9. Plot koordinat butiran untuk $S = 9.5 \text{ cm}$ dengan (a) $a = 4$ dan (b) $b = 4$.

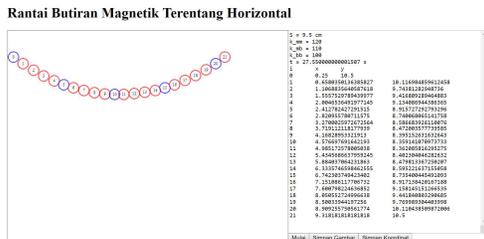
Plot rantai butiran untuk $S = 9.5 \text{ cm}$ dengan $a = 4$ dan $b = 4$ masing-masing dapat dilihat pada Gambar 9.(a) dan 9.(b). Ketika dilakukan eksperimen, jarak kedua ujung rantai butiran memiliki galat ketika dilakukan variasi susunan butiran. Untuk rantai butiran dengan $a = 4$, nilai S sebenarnya berkurang dari awalnya 9.5 cm menjadi 9.4 cm , sementara untuk $b = 4$, nilai S sebenarnya berkurang menjadi 9.2 cm . Rantai butiran akan lepas jika dipaksakan. Hal ini dikarenakan gaya tarik-menarik antar butiran besi lebih lemah jika dibandingkan gaya tarik-menarik antar butiran magnet, sehingga akan

rentan lepas. Hal serupa juga berlaku ketika jumlah butiran besi semakin banyak.

Kurva yang terbentuk dari rantai butiran diregresi dengan fungsi kuadrat, sehingga diperoleh konstanta-konstanta. Dari konstanta tersebut kemudian ditentukan nilai tegang tali. Akan tetapi, untuk kasus tidak homogen Persamaan (1) tidak berlaku. Sehingga kita belum bisa menentukan nilai tegang tali.



(a)



(b)

Gambar 10. Simulasi rantai butiran untuk $S = 9.5$ cm dengan (a) $a = 4$ dan (b) $b = 4$.

Simulasi rantai butiran memodelkan rantai butiran untuk $S = 9.5$ cm dengan $a = 4$ dan $b = 4$ masing-masing terdapat pada Gambar 10.(a) dan 10.(b). Warna biru untuk butiran magnet dan merah untuk butiran besi. Dengan simulasi ini dapat diperoleh informasi konstanta pegas yang menghubungkan antar butiran magnet-magnet, magnet-besi, dan besi-besi, serta koordinat masing-masing butiran. Kemudian, koordinat butiran dan gambar rantai butiran dapat disimpan. Kekurangan dari simulasi ini adalah belum dapat digunakan untuk *fitting* dengan data eksperimen dan simulasi dihentikan secara manual, sehingga galat yang dihasilkan masih cukup besar. Terdapat butiran yang sangat renggang dan ada juga sangat rapat, hal ini pada keadaan sesungguhnya menandakan butiran saling lepas atau bertumbukan. Perlu dibuat suatu aturan untuk mengantisipasi kondisi tersebut.

4. Simpulan

Dengan penelitian ini telah didapatkan model rantai butiran magnetik terentang horizontal untuk kasus tidak homogen. Saran penelitian selanjutnya untuk menurunkan persamaan untuk tali tidak homogen dan menggunakan simulasi untuk melakukan *fitting* dengan data eksperimen. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai modul praktikum fisika dasar atau mekanika.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih sebesar-besarnya kepada Dr. rer.nat. Sparisoma Viridi, S.Si atas bimbingannya dalam mengerjakan penelitian ini.

6. Referensi

- [1] A. N. F. Rudiawan, S. Viridi. (2018). *Pemodelan Kelengkungan Kurva pada Kasus Rantai Butiran Magnetik Terentang Horizontal*. Dalam *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains 2018 (SNIPS 2018)*. Bandung, Indonesia.
- [2] A. N. F. Rudiawan, I. Yasifa, S. Viridi. (2018). *Perumusan Gaya Antar Butiran pada Kasus Rantai Butiran Magnetik Terentang Horizontal*. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2018 (SNF 2018)*. Jakarta, Indonesia.
- [3] S. Viridi, S. N. Khotimah, Novitrian, Widayani, L. Haris, D. P. P. Aji. (2014). *Studying Brazil-Nut Effect History Line using Disk-Formed Objects, Scanner, and Web Browser*. In *Proceedings of International Conference on Advances in Education Technology (ICAET 2014)*, 162-165. Bandung, Indonesia.