

Pengukuran Koefisien Redaman Magnetik pada Magnet yang Bergerak di Atas Air Track Menggunakan Diagram Fase

Bernadetta Dwi Paskariana¹, Ign Edi Santosa²

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Sanata Dharma,
Paingan, Maguwohardjo, Sleman, Yogyakarta

Email : bernadettadwipaskariana164@gmail.com¹, edi@usd.ac.id²

Abstract: *The motion of a magnet on an inclined aluminium air track has been observed. The magnet is placed on the side of the glider and released with no initial velocity. The magnet will move due to its weight. The magnet will also experience a damping force that is depends on its velocity. When the resultant force equals zero, the velocity becomes constant, or reaches terminal velocity. This movement is recorded with a 60 FPS digital camera. Magnetic damping measurements are made through video analysis using the Tracker and Logger Pro applications, while the Phyphox application is used to measure magnetic field. Video analysis provides data on position, velocity and acceleration against time. The measurement results show that the damping depends on the number of magnets, characterized by acceleration that decreases until it reaches a constant speed. The phase diagram is a graph of acceleration against speed forming a linear line used to determine the magnetic damping coefficient. This research is also relevant in physics learning because it can strengthen the understanding of the concepts of force, acceleration, and terminal velocity through digital technology-based experiments.*

Keywords: *air track, magnet, magnetic damping, phase diagram, terminal velocity*

Abstrak: Telah dilakukan pengamatan gerak magnet di atas *air track* aluminium yang dipasang miring. Magnet ditempatkan pada sisi *glider* dan dilepas tanpa kecepatan awal pada air track. Magnet akan bergerak karena gaya beratnya. Karena geraknya, magnet juga akan mengalami gaya redaman yang nilainya tergantung pada kecepatannya. Akibatnya akan didapat resultan gaya sama dengan nol, sehingga kecepatannya menjadi konstan, atau mencapai kecepatan terminal. Gerakan ini direkam dengan kamera digital 60 FPS Pengukuran redaman magnetik dilakukan melalui analisa video menggunakan aplikasi *Tracker* dan *Logger Pro*, sedang pengukuran medan magnet menggunakan aplikasi *Phyphox*. Dari analisa video akan diperoleh data posisi, kecepatan dan percepatan terhadap waktu. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah magnet, semakin besar redaman yang terjadi, ditandai dengan percepatan yang menurun hingga mencapai kecepatan konstan. Diagram fase berupa grafik percepatan terhadap kecepatan membentuk garis linier yang digunakan untuk menentukan koefisien redaman magnetik. Penelitian ini juga relevan dalam pembelajaran fisika karena dapat memperkuat pemahaman konsep gaya, percepatan, dan kecepatan terminal melalui eksperimen berbasis teknologi digital.

Kata kunci: *air track, magnet, redaman magnetik, diagram fase, kecepatan terminal*

1. PENDAHULUAN

Pemahaman terhadap konsep-konsep fisika, khususnya gerak lurus berubah beraturan (GLBB), sangat penting untuk ditanamkan sejak jenjang pendidikan menengah. Namun, dalam praktiknya, materi GLBB sering kali diajarkan secara teoritis dan abstrak, sehingga siswa mengalami kesulitan dalam mengaitkan konsep yang dipelajari dengan kejadian nyata di sekitar

mereka. Hal ini menyebabkan rendahnya pemahaman dan kurangnya minat terhadap pelajaran fisika. Untuk mengatasi hal tersebut, pendekatan pembelajaran berbasis eksperimen menjadi salah satu solusi efektif. Melalui eksperimen, siswa dapat mengamati langsung fenomena fisika seperti percepatan, gaya, dan kecepatan terminal, sehingga konsep yang abstrak menjadi lebih konkret dan mudah dipahami. Gerak benda di bidang miring merupakan salah satu contoh eksperimen sederhana namun kaya akan konsep, yang dapat digunakan untuk menjelaskan GLBB secara nyata. Materi ini menyangkut gaya dan hukum Newton (Tipler, 1991a). Penambahan aspek redaman magnetik ke dalam eksperimen dapat memperluas wawasan siswa bahwa gaya hambat tidak selalu disebabkan oleh gesekan biasa, melainkan juga bisa terjadi melalui interaksi elektromagnetik tanpa sentuhan langsung. Selain itu siswa juga dapat menerapkan konsep elektromagnetika (Tipler, 1991b).

Berbagai artikel telah menunjukkan bahwa nilai koefisien redaman magnetik dapat diperoleh dari hubungan posisi terhadap waktu. Sebagian besar studi tersebut masih memiliki keterbatasan dalam hal kualitas data yang diperoleh, khususnya dalam menangkap proses transisi gerak menuju kecepatan terminal secara utuh. Beberapa eksperimen hanya menunjukkan data percepatan dan kecepatan dalam rentang waktu terbatas, sehingga tidak dapat memberikan gambaran yang menyeluruh mengenai bagaimana benda benar-benar mencapai kondisi kecepatan tetap (Suharyani, 2016).

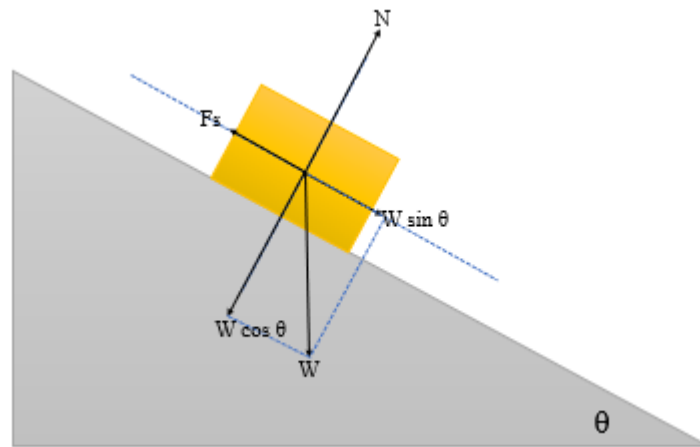
Penelitian Donoso (2010) membahas tentang bagaimana magnet yang dijatuhkan di dalam pipa logam akan melambat karena adanya gaya pengereman magnetik. Hasilnya menunjukkan bahwa saat dua magnet digunakan, gerakannya lebih lambat dan lebih singkat mencapai kecepatan terminal. Ini terjadi karena semakin banyak magnet atau semakin kuat susunan magnetnya, maka gaya hambat magnetiknya juga makin besar. Percobaan ini menunjukkan bahwa menambah jumlah magnet bisa membuat benda lebih cepat mencapai kecepatan terminal, sehingga lebih mudah diamati dan diukur. Penelitian ini cocok untuk dijadikan dasar dalam eksperimen fisika yang ingin menunjukkan proses gerak menuju kecepatan terminal secara nyata.

Penelitian seperti ini bisa mendapatkan hasil maksimal dengan penggunaan alat yang lebih baik misalnya dengan dukungan kamera ber-FPS tinggi, magnet yang lebih besar atau banyak, dan penggunaan perangkat lunak seperti *Tracker* serta *Logger Pro*. Analisis gerak dapat dilakukan secara lebih detail dan cepat. Dengan tujuan menunjukkan nilai koefisien redaman magnetik, maka tampilan juga dapat disempurnakan menggunakan diagram fase (Moreno, 2015). Diagram fase menunjukkan hubungan antara percepatan terhadap kecepatan. Penentuan nilai koefisien redaman magnetik dari fitting data dengan persamaan linier.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Teori

Benda bermassa m yang bergerak pada bidang miring dengan sudut kemiringan θ ditunjukkan pada gambar 1. Gaya yang bekerja pada benda adalah gaya berat W , gaya normal N dan gaya gesek F_s (Tipler, 1991a).



Gambar 1. Skema gerak benda pada bidang miring

Akibat gaya yang bekerja, benda akan mengalami percepatan sebesar a mengikuti persamaan:

$$m a = W \sin \theta - F_s \quad (1)$$

dengan $W = m g$
 g : percepatan gravitasi

Glider bermagnet yang dipasang di atas *air track* aluminium yang miring akan bergerak mengikuti persamaan (1). Pada gerakan *glider* ini, gaya gesek timbul karena adanya induksi magnetik pada konduktor. Besarnya gaya gesek tersebut tergantung pada kecepatan geraknya v mengikuti persamaan

$$F_s = K v \quad (2)$$

dengan K adalah koefisien redaman magnetik
 Dari persamaan (1) dan (2) dapat diperoleh persamaan percepatan fungsi kecepatan sebagai berikut

$$a = -(K m^{-1}) v + a_0 \quad (3)$$

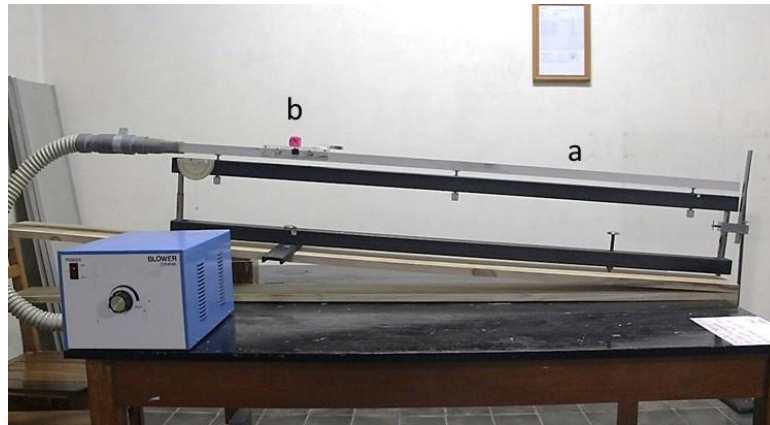
dengan $a_0 = g \sin \theta$

2.2. Desain Penelitian

Rangkaian alat dalam eksperimen disajikan pada gambar 2 di bawah. Peralatan yang digunakan meliputi

- Magnet, magnet yang digunakan yaitu magnet jenis Neodymium berjumlah 16 buah masing masing berukuran diameter 15 mm dan tebal 3 mm.
- *Air Track* sebagai lintasan untuk *glider* berbahan dasar aluminium
- Kamera 60 FPS, yang digunakan adalah camera digital Canon EOS 7000 dengan lensa dan pengaturan pengambilan video auto.
- *Software Tracker*, digunakan untuk menganalisis gerak *glider*.

- *Software Logger Pro*, digunakan untuk menampilkan grafik dan diagram fase.
- *Software Phypox*, digunakan untuk mengukur nilai medan magnet.



Gambar 2. Susunan alat. a. *air track* yang dipasang miring; b. *glider* dengan magnet yang dipasang pada sisinya.

2.3. Metode Pengambilan Data

Glider bermagnet yang ditempatkan di atas *air track*. Kamera yang digunakan untuk merekam dibuat tegak lurus terhadap posisi bidang yang akan direkam (tepi lintasan aluminium). Ketinggian kamera diatur dengan tripod agar posisinya sejajar dengan dinding dan bidang lintasan sebagai acuan. Letak kamera juga diatur dengan memperhatikan garis grid yang ada pada layar kamera supaya segaris dengan acuan dan hasil perekaman menjadi terlihat sebidang. Penempatan kamera agak jauh sampai seluruh permukaan bidang yang akan direkam terlihat secara keseluruhan di layar kamera. *Glider* bermagnet dilepaskan tanpa kecepatan awal pada lintasan aluminium miring. Perekaman gerak mulai dari awal hingga ujung lintasan.

2.4. Analisa Data

Analisis data yang dilakukan melalui beberapa tahap dengan 3 *Software* yang berbeda. *Software Phypox* digunakan untuk mengukur nilai medan magnet pada *glider*. Analisis video untuk *men-tracking* gerak benda menggunakan *Software Tracker*. Hasil analisis berupa data posisi, kecepatan, percepatan terhadap waktu. Selanjutnya untuk mengolah data dari hasil analisis *Tracker*, serta menampilkan dalam bentuk akhir yaitu diagram fase, digunakan *Software Logger Pro*. Diagram fase dibuat berdasar pada persamaan (3) yaitu hubungan antara percepatan terhadap kecepatan. Selanjutnya gradien diagram fase digunakan untuk menentukan nilai koefisien redaman magnetik K .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengukuran Nilai Medan Magnet

Pengukuran nilai medan magnet pada penelitian ini dilakukan menggunakan aplikasi *Phyphox* yang diinstal pada perangkat *smartphone*. Aplikasi ini memanfaatkan sensor magnetometer internal pada ponsel untuk mendeteksi besar medan magnet dalam satuan mikrottesla (μT). Hasil pengukuran medan magnet dari berbagai susunan magnet disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Medan Magnet yang digunakan pada *glider*

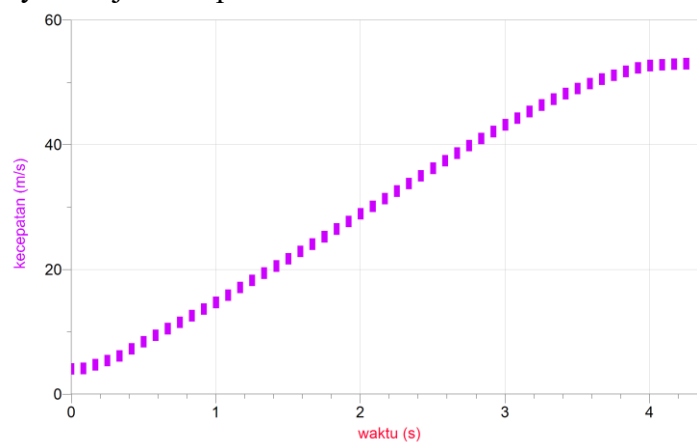
jenis magnet : neodymium
massa / magnet : 3.25 g
diameter magnet : 15 mm
tebal magnet : 3 mm

Jumlah magnet	Nilai medan magnet (μT)
1	245.5
2	444.2
3	624.4
4	880.9

Jika jumlah magnet semakin banyak, maka medan magnet yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hal ini terjadi karena setiap magnet memiliki medan magnet tertentu, dan ketika beberapa magnet disusun bersama, medan-medan magnet bertambah. Akibatnya, kekuatan tarikan menjadi lebih kuat dibandingkan jika hanya menggunakan satu magnet. Jadi, semakin banyak magnet yang digunakan, semakin besar pula medan magnet total di sekitarnya, seperti pada tabel 1.

3.2 Peristiwa Redaman Magnetik pada Magnet yang Bergerak di atas *Air Track*

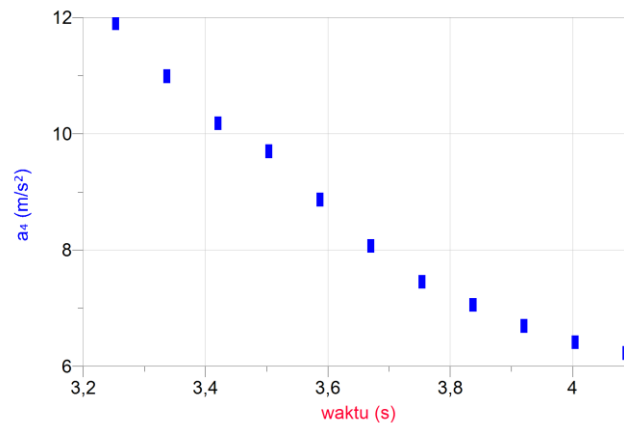
Glider bermagnet yang dilepas pada air track miring akan bergerak karena komponen gaya beratnya. Hal ini terjadi karena posisi air track miring, sehingga ada komponen gaya berat yang searah permukaan seperti ditunjukkan dalam gambar 1 di teori. Gerakan ini direkam dengan kamera dan dianalisa dengan software *Tracker*. Hasil analisa video tersebut berupa kecepatan terhadap waktu seperti ditunjukkan pada gambar 3. Terlihat dengan jelas bahwa *glider* bermagnet mula-mula kecepatannya rendah. Kemudian kecepatannya meningkat, namun akhirnya kecepatannya menjadi tetap.



Gambar 3. Grafik kecepatan terhadap waktu untuk *glider* dengan 4 buah magnet pada kemiringan *air track* 1 derajat

Hal ini terjadi, ketika kecepatan meningkat maka gaya redaman magnet yang dibentuk dari magnet yang bergerak di atas konduktor aluminium juga akan semakin meningkat. Gaya redaman akan terus bertambah namun gaya berat nilainya konstan sehingga akan tercapai kondisi resultan gaya sama dengan nol. Saat resultan gaya nol maka tidak ada percepatan sehingga kecepatannya akan konstan, tidak bertambah. Kecepatan konstan ini disebut sebagai kecepatan terminal.

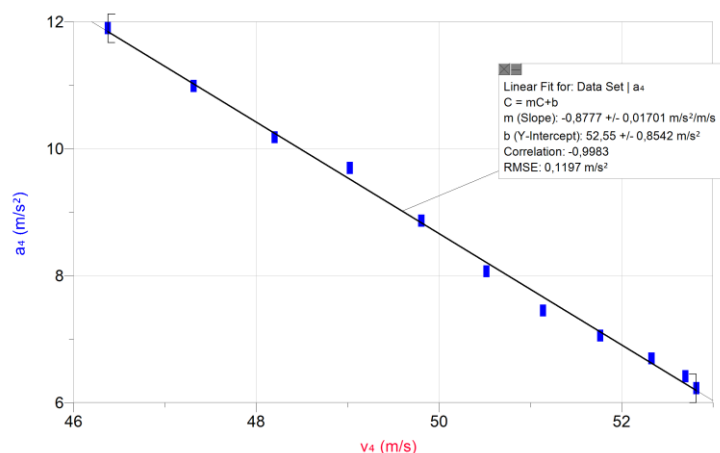
Selain kecepatan hasil analisa video dengan Tracker juga memberikan data percepatan terhadap waktu seperti ditunjukkan pada gambar 4. Berbeda dengan kecepatan, gambar 4 menunjukkan bahwa percepatan gerak *glider* mula-mula besar karena gaya geseknya masih kecil. Resultan gaya lebih didominasi oleh komponen gaya beratnya. Dengan bertambahnya kecepatan maka gaya geseknya juga meningkat, sehingga resultan gaya menurun yang ditunjukkan dengan nilai percepatan yang semakin kecil. Ketika resultan gayanya sama dengan nol maka *glider* tidak mengalami percepatan lagi, akibatnya kecepatannya menjadi tetap.



Gambar 4. Grafik percepatan terhadap waktu untuk *glider* dengan 4 buah magnet pada kemiringan *air track* 1 derajat

3.3 Pengukuran Koefisien Redaman Magnetik

Data kecepatan dan percepatan terhadap waktu pada gambar 3 dan 4 digunakan untuk menyusun diagram fase seperti pada gambar 5. Diagram ini menyatakan hubungan antara percepatan dengan kecepatan setiap saat, dari *glider* bermagnet 4 buah dengan massa 0,159 kg. Gambar 5 menunjukkan grafik berbentuk linier yang sesuai dengan persamaan 3. Selanjutnya nilai gradien grafik ini digunakan untuk menentukan nilai koefisien redaman magnetik.



Gambar 5. Diagram fase untuk untuk *glider* dengan 4 buah magnet pada kemiringan *air track* 1 derajat.

Untuk untuk *glider* dengan 4 buah magnet pada kemiringan *air track* 1 derajat, grafik pada gambar 5 memberikan nilai

$$\text{gradien} = -0,8777 \pm 0,02 \frac{\text{m/s}^2}{\text{m/s}}$$

Sesuai dengan persamaan 3, gradien ini sama dengan $-(Km^{-1})$.

Sehingga untuk massa total $m = 0,159 \text{ kg}$, dapat diperoleh nilai koefisien redaman magnetik sebesar

$$K = 0,139 \pm 0,02 \text{ kg/s}$$

Cara yang sama digunakan untuk mengamati redaman pada *glider* dengan berbagai jumlah magnet. Dari hasil eksperimen dengan variasi jumlah magnet, diperoleh bahwa semakin banyak magnet yang dipasang pada *glider*, maka semakin besar gaya redaman magnetik yang dihasilkan seperti ditunjukkan pada tabel 2. Hal ini terlihat dari semakin cepatnya waktu pencapaian kecepatan terminal dan semakin kecil percepatan awal yang dialami *glider*. Dengan bertambahnya jumlah magnet, medan magnet yang dihasilkan juga meningkat, sehingga perubahan fluks magnetik pada lintasan konduktor menjadi lebih besar. Akibatnya, arus eddy yang timbul juga lebih besar dan menghasilkan medan magnet pelawan yang lebih kuat, sehingga gaya redaman terhadap *glider* meningkat.

Tabel 2. Nilai koefisien redaman magnetik untuk berbagai jumlah magnet

Sudut : 1°

Massa : 159 gram

Jumlah magnet	Nilai medan magnet (μT)	Nilai koefisien redaman magnetik (kg/s)
4	245,5	0,139 ± 0,02

8	444,2	$0,148 \pm 0,05$
12	624,4	$0,164 \pm 0,03$
16	880,9	$0,183 \pm 0,01$

4. KESIMPULAN

Redaman magnetik dapat diukur melalui hubungan antara percepatan dan kecepatan pada gerak *glider* bermagnet di atas lintasan *air track* aluminium. Nilai koefisien redaman magnetik dipengaruhi oleh jumlah magnet yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Moreno, A. P. (2015). Experimental Study of Viscous Friction in Undergraduate Physics Laboratory: Introduction of Phase Diagrams to Analyse Dynamic Equilibrium. *European Journal of Physics*, **36** 035033
- Suharyani, N. P. (2016). *Pengukuran Koefisien Redaman Magnetik pada Magnet yang Bergerak di Atas Air Track Menggunakan Analisa Video dengan Software Logger Pro*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Donoso, G., Ladera, L. C., & Martin, P. (2011). Damped Fall Magnets Inside a Conducting Pipe. *Am. J. Phys.* **79**, No. 2. 193–200
- Tipler, P. A. (1991a). *Fisika Untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Tipler, P. A. (1991b). *Fisika Untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.