

Rancang Bangun Penghasil Medan Magnet Eksternal dalam Pengamatan Gerak Granular Berbahan Logam Berdipol Magnet

Bram Yohanes Setiadi^{1,a)}, Dr.rer.nat. Sparisoma Viridi, S.Si.¹, Drs. Maman Budiman, M.Eng., Ph.D.²

¹Kelompok Keilmuan Fisika Nuklir dan Biofisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Kelompok Keilmuan Fisika Teori Energi Tinggi dan Instrumentasi,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

a) bramyohanes.94@gmail.com

Abstrak

Gerak granular (objek berupa butiran) dapat digunakan untuk mempresentasikan ulang berbagai fenomena fisis dalam kehidupan sehari-hari. Aliran fluida, distribusi objek tertentu, bahkan interaksi sosial dapat dianalogikan sebagai respon gerak dari granular. Butiran bergerak dari tempat dengan potensi energi yang lebih tinggi menuju yang lebih rendah. Penelitian ini menggunakan medan magnet sebagai sumber energi (gangguan) yang menyebabkan granular berbahan logam merespon dengan gerakan. Medan magnet yang dihasilkan menggunakan solenoid yang terkuantisasi. Lempeng-lempeng logam diberikan pada bagian tengah solenoid untuk memperkuat medan magnet yang dihasilkan. Variasi nilai kuat arus (I) timbul sebagai respon dari variasi beda potensial (V) input, yang dimonitor menggunakan mikrokontroler. Arah arus listrik juga menjadi variabel terikat yang dikendalikan secara manual menggunakan saklar Double Pole Double Throw (DPDT). Hasil rancang bangun berupa sistem kontrol kuat medan magnet eksternal dan arah polarisasinya, serta respon gerakan granular logam berdipol magnet secara translasi (sliding) dan rotasi.

Kata-kata kunci: Granular, Medan magnet, Solenoid

PENDAHULUAN

Konsep atom yang ditemukan oleh peradaban Yunani dan India membuat setiap material fisis saat ini dapat dipandang sebagai kumpulan dari partikel atomik. Granular (butiran partikel kecil) merupakan alat bantu yang dapat digunakan untuk menginterpretasikan sifat dan interaksi partikel. Granular sendiri mencakup material padatan (*solid*), cairan (*liquid*), dan gas. Umumnya, penelitian granular dilakukan untuk mengidentifikasi peristiwa fisis mikroskopis (sel, jaringan, bakteri, peluruhan kimia, dan lain-lain) juga memprediksi fenomena alam makroskopis (astronomis).

Penelitian menggunakan granular, dilakukan dengan memberikan gangguan pada sistem granular yang telah dibangun. Gangguan yang dimaksud berupa energi yang didistribusikan pada sistem dengan metode dan ukuran tertentu. Magnet, merupakan salah satu gaya tak sentuh yang dapat digunakan untuk mengganggu sistem granular [1]. Magnet dapat dihasilkan dari elektron yang bergerak secara kontinu, sehingga menimbulkan suatu aliran listrik konstan.

Dalam makalah ini, kami melakukan pembangunan suatu sistem eksperimen guna menganalisa perilaku gerak partikel granular logam yang memiliki dipol magnet jika diberikan medan magnet yang berubah beraturan (berfluktuasi). Sistem kemagnetan dibangun dengan kumparan solenoid yang dihubungkan pada catu daya. Besar tegangan dan arah arus dikontrol terlebih dahulu dengan bantuan mikrokontroler Arduino Uno dan saklar *Dual Pole Dual Throw* (DPDT). Dengan kata lain, dalam pembuatan alat eksperimen ini, perubahan arah arus dilakukan secara manual.

ELEKTROMAGNETISME

Hukum Biot Savart

Medan magnet akibat arus tetap dari sebuah garis lurus dapat dihitung dengan Hukum Biot-Savart. Elemen panjang kawat adalah ds , r adalah jarak dari sumber arus hingga titik medan P . Sedangkan μ_0 merupakan konstanta yang disebut permeabilitas ruang vakum (*permeability of free space*) [2].

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{Id\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} \tag{1}$$

Persamaan di atas ialah besar medan magnet untuk panjang kawat dianggap tak hingga. Sedangkan pada kawat dengan panjang tertentu (*finite*), maka medan magnet pada suatu titik, anggap titik P , akan dipengaruhi oleh seluruh elemen panjang kawat. Dengan demikian, persamaan (1) akan menjadi,

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi \cdot l} \tag{2}$$

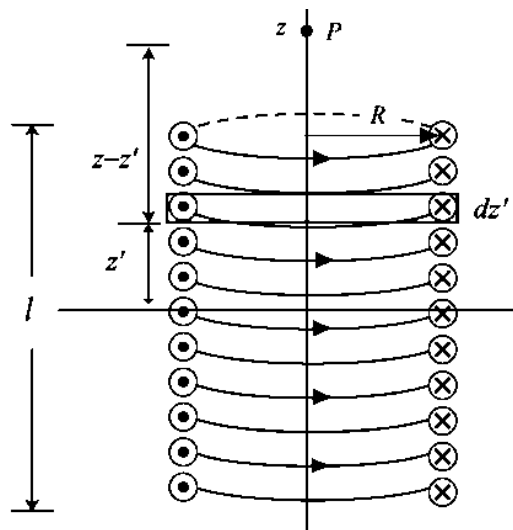
dengan l merupakan panjang kawat.

Solenoida

Pada solenoida, medan magnet yang dihasilkan pada kawat lurus akan terakumulasi membentuk suatu pola (*pattern*) khusus. Dengan menggunakan analisa *Amperian Loop* dalam Hukum Ampere, maka akan diperoleh bahwa besarnya medan magnet yang dihasilkan oleh solenoida adalah [2],

$$\vec{B}_0 = \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \frac{\mu_0 NI}{l} \tag{3}$$

Mengacu pada rumus tersebut, maka diketahui bahwa besar medan magnet yang dihasilkan oleh solenoid dipengaruhi oleh jumlah lilitan, N , kuat arus yang mengalir melalui kumparan, I , dan panjang solenoid, l .



Gambar 1. Medan magnet di titik P pada solenoida berhingga dengan panjang l [3].

Persamaan di atas merupakan besaran medan magnet yang dihasilkan solenoid secara keseluruhan. Sementara dalam eksperimen ini, medan magnet yang dihasilkan oleh solenoid akan mempengaruhi granular pada jarak tertentu, misal titik P . Jika seperti ini, maka persamaan (3) akan menjadi,

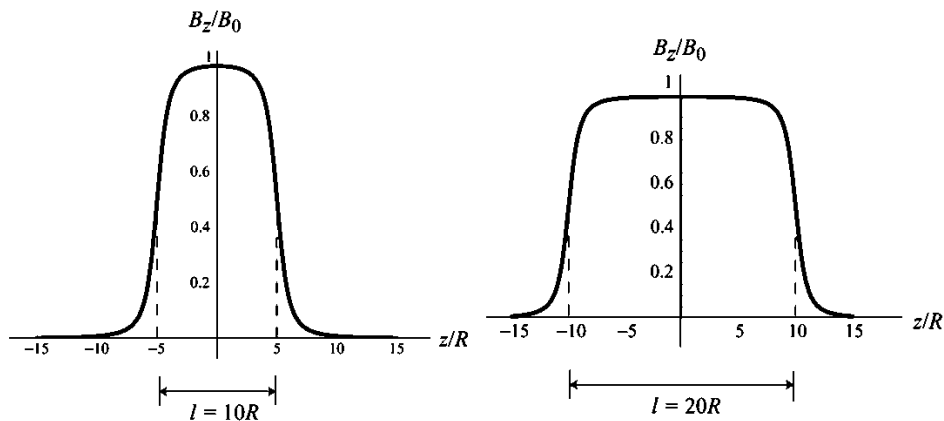
$$d\bar{B} = \frac{\mu_0 R^2}{2 \cdot [(z - z')^2 + R^2]^{3/2}} \cdot (nI \cdot dz') \tag{4}$$

dengan z adalah jarak dari titik P ke ujung solenoida, z' merupakan jarak antara komponen solenoida yang diukur dengan titik tengah solenoida ($l/2$) dan R merupakan jari-jari solenoida. Persamaan di atas kemudian diintegrasikan dengan panjang keseluruhan solenoida, dari $-l/2$ hingga $l/2$, sehingga diperoleh

$$\bar{B}_z = \frac{\mu_0 I R^2}{2} \int_{-l/2}^{l/2} \frac{dz'}{[(z - z')^2 + R^2]^{3/2}} \tag{5}$$

$$\bar{B}_z = \frac{\mu_0 I R^2}{2} \left[\frac{(l/2) - z}{\sqrt{(z - l/2)^2 + R^2}} + \frac{(l/2) + z}{\sqrt{(z + l/2)^2 + R^2}} \right] \tag{6}$$

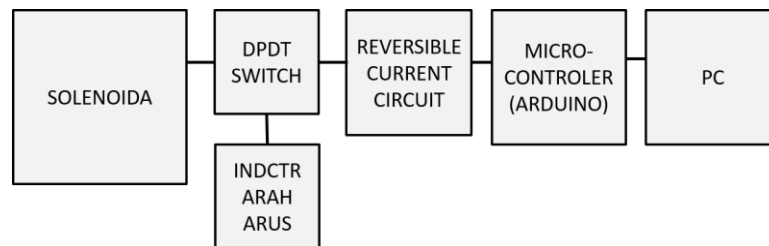
Jika persamaan (6) tersebut diplot sebagai kurva, maka besarnya medan magnet yang dihasilkan adalah,



Gambar 2. Kurva B_z/B_0 terhadap z/R [3].

RANCANG BANGUN ALAT

Skema Alat

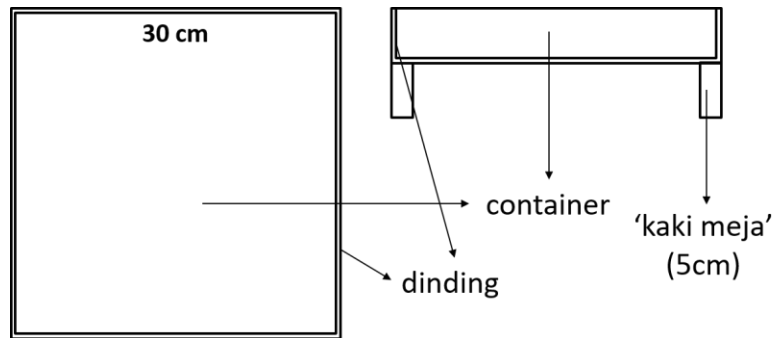


Gambar 3. Diagram rancangan alat eksperimen.

Peralatan yang dibangun terdiri atas solenoida, sakelar DPDT, rangkaian pembalik arus, dan mikrokontroler (Arduino Uno).

Container

Container atau wadah penampung granular dibuat dengan bahan akrilik berukuran tebal 3 mm. Wadah akrilik didesain dengan bentuk persegi dengan ukuran 30 cm x 30 cm. Tinggi *container* adalah 6 cm dengan rincian 5 cm merupakan tinggi kaki, sehingga, di bagian bawah dapat digunakan untuk meletakkan solenoida, sedangkan 1 cm merupakan dinding penahan granular.



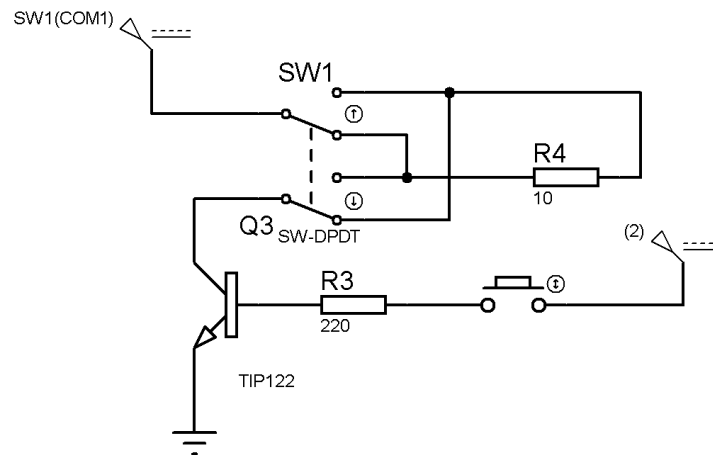
Gambar 4. Rancangan *container* granular.

Spesifikasi

Granular yang digunakan merupakan granular besi berukuran 2-3 mm. Solenoid dibuat dengan menggunakan transformator bekas berukuran 25 mm dengan rincian, kawat tembaga berdiameter 0,3 mm dengan panjang 10 meter. Catu daya yang digunakan menghasilkan tegangan listrik sebesar 0-12,11 Volt.

Rangkaian *Reversible Current*

Rangkaian pembalik arus (*reversible current*) dibuat dengan memanfaatkan saklar DPDT dan transistor TIP 122. Adapun hambatan yang digunakan ialah resistor berukuran 220 Ohm. Sedangkan 10 Ohm pada gambar merupakan hambatan dalam kumparan solenoida yang pada kenyataannya berukuran 1,9 Ohm.



Gambar 5. Rangkaian pembalik arus menggunakan saklar DPDT dan transistor TIP122.

HASIL EKSPERIMEN

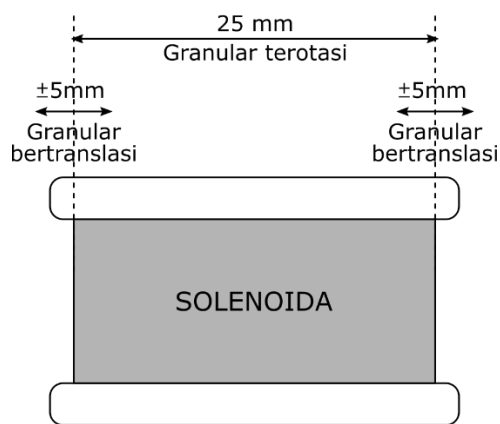
Dengan menggunakan spesifikasi komponen yang ada, baik panjang kumparan, tegangan yang mampu dihasilkan oleh catu daya, maka secara teoretik dengan memasukkan nilai-nilai tersebut dalam penghitungan Hukum Lorentz, akan diperoleh bahwa gaya magnet yang dihasilkan adalah sebesar 0,5 N. Maka dari itu, digunakan solenoida yang berasal dari transformator bekas. Pada transformator, terdapat lempengan logam dalam berketebalan 1 mm sebanyak 20 hingga 30 buah, yang terintegrasi dengan inti kumparan. Penggunaan lempengan logam ini mempengaruhi konstanta permeabilitas pada solenoid, sehingga gaya magnet yang dihasilkan oleh solenoid diperkuat. Penguatan yang dihasilkan sebanding dengan perbandingan permeabilitas material logam terhadap permeabilitas ruang vakum (untuk material ferromagnetik penguatan dapat mencapai ribuan kali) [4].

Menggunakan catu daya dengan tegangan 12,11 Volt dengan hambatan dalam kumparan sebesar 1,9 ohm, maka diperoleh secara matematis bahwa kisaran arus yang mengalir melalui kumparan adalah 5 Ampere. Sementara itu pada variasi kedua digunakan Arduino sebagai sumber tegangan variabel yang dapat terkontrol

melalui interaksi antar muka di PC. Adapun tegangan maksimal yang dapat dikeluarkan Arduino adalah 5 Volt, sehingga pada variasi tegangan yang dilakukan Arduino, didapati arus yang mengalir pada kumparan solenoid adalah 2,6 Ampere. Dengan kedua kisaran ini, didapati bahwa solenoida cukup kuat untuk membuat granular besi berinteraksi.

Dari hasil eksperimen yang dilakukan, diperoleh bahwa gerakan granular terbagi menjadi translasi dan rotasi. Adapun pengaruh medan magnet yang ditimbulkan solenoid hanya berpengaruh bagi objek yang tepat di atasnya (seperti kurva medan yang ditunjukkan pada gambar 2). Granular yang telah berada di bagian tengah solenoida akan melakukan gerak rotasi, sementara granular yang berada di tepian solenoida seakan ditarik dengan lebih kuat ke bagian tengah, sehingga menimbulkan gerak rotasi (masih diperlukan pengamatan lebih lanjut dengan kamera dengan *framerate* tinggi). Berdasarkan analisa potensial medan magnet, Bergeraknya bola granular secara translasi dapat terjadi oleh karena 'tergelincirnya' bola granular di lereng potensial medan magnet yang dihasilkan oleh solenoid.

Sementara dari eksperimen pembalikan dipol medan magnet dari solenoid, diperoleh bahwa bola hanya bergerak secara rotasi dengan jarak yang tidak terlalu banyak – menyesuaikan dengan diameter bola. Hasil ini sesuai dengan hipotesis, bahwa ketika polaritas dibalik, polaritas bola yang menghadap bawah sama dengan polaritas yang diberikan solenoida. Ketika hal itu terjadi, polaritas yang sama akan saling tolak-menolak, yang akan berakibat bola granular terotasi dengan jarak terjauh ialah setengah keliling bola.



Gambar 6. Respon gerak granular terhadap potensial magnet yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini, khususnya Bp. Dr.rer.nat Sparisoma Viridi dan Bp. Maman Budiman, Ph.D. selaku pembimbing dalam penelitian ini.

REFERENSI

1. M. Fuwa, S. Takeda, M.Zwierz, H. M. Wiseman, dan A. Furusawa, *Experimental Proof of Nonlocal Wavefunction Collapse for a Single Particle Using Homodyne Measurements*, Nature Communications 6:6665, (Online), 2015 (<http://www.nature.com/articles/ncomms7665>, diakses 23 Juni 2017).
2. D. J. Griffith, *Introduction to Electrodynamics (Third Edition)*. Prentice Hall, New Jersey (1999)
3. S. Liao, P. Dourmashkin, dan J. W. Blecher, *Physics 8.02 Electricity and Magnetism*, MIT, Massachusetts (2004)
4. W. F. Brown, *Magnetic Materials, Ch. 8 in the Handbook of Chemistry and Physics*, McGraw-Hill, New York, (1958).