

Eksperimen Vibrasi Horizontal Silinder Tunggal untuk Observasi *Rolling Friction* Material Butiran Dua-Dimensi

Yopy Mardiansyah*, Yulia, Mairizwan, Suprijadi, dan Sparisoma Viridi

Abstrak

Dinamika material butiran dua-dimensi dalam bentuk silinder di atas alas mendatar yang digetarkan secara horisontal dilaporkan dalam tulisan ini. Sumber vibrasi adalah motor DC yang dapat diatur kecepatannya sehingga frekuensi vibrasi f dan amplitudo vibrasi A dapat ditentukan dengan bantuan sensor optocoupler yang diakuisisi menggunakan perangkat keras komputer papan tunggal Arduino Uno. Percepatan tak-berdimensi $\Gamma = 4\pi^2 f^2 A/g$, yang telah umum dalam bidang material butiran, digunakan untuk mengamati transisi dari keadaan silinder stabil, berotasi tanpa slip, dan berotasi dengan slip. Kekasaran permukaan, baik silinder ataupun alas yang bervibrasi horizontal, serta kelunakan permukaan keduanya, menentukan transisi dalam ruang Γ dan f .

Kata-kata kunci: vibrasi horisontal, butiran dua-dimensi, rolling friction, parameter vibrasi.

Pendahuluan

Material butiran memiliki keunikan dibandingkan wujud zat lain karena material butiran dapat memiliki karakteristik yang hanya dimiliki wujud zat lainnya. Keunikan material butiran ini dapat menimbulkan fenomena-fenomena unik yang dapat dimanfaatkan dalam bidang industri bahkan analisis bencana alam seperti gempa bumi tektonik dan longsor. Analisis fenomena material butiran terkait bencana alam ini dapat diamati dengan memodelkan silinder sebagai material butiran yang digetarkan pada arah horizontal. Wei Biao [1], melalui pemodelan menggunakan komputer, menemukan bahwa dengan meningkatkan besarnya koefisien *rolling friction* perpindahan relatif struktural akibat beban gempa menurun secara efektif. Dismasing itu, Sharma [2] juga menyatakan bahwa benda yang bergerak *rolling* suatu saat akan berhenti karena adanya *rolling friction*. Gesekan ini muncul karena adanya torsi yang berlawanan arah dengan arah rotasi benda. Hong [3], melalui percobaan menggunakan tumpukan silinder yang berbentuk heksagonal menemukan bahwa distribusi tekanan pada bagian dasar adalah identik untuk tiap partikel butiran pada lapisan dasar tersebut dan tidak bergantung pada berat beban di atasnya. Hal inilah yang membuat jam pasir akurat digunakan meskipun dengan jumlah pasir yang berbeda.

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, diketahui bahwa fenomena material butiran dapat dianalisis bahkan diaplikasikan juga untuk menganalisa bencana alam seperti gempa bumi dan longsor. Eksperimen untuk melihat fenomena ini dilakukan dengan

memodelkan material butiran sebagai silinder yang digetarkan pada arah horizontal dengan frekuensi getar dan amplitudo yang divariasikan. Cara kerja alat pada percobaan ini dijelaskan pada bagian eksperimen dan untuk melihat pengaruh frekuensi dan amplitudo getar pada perubahan gerak silinder dibahas pada bagian hasil dan diskusi.

Teori dan Eksperimen

Fenomena yang ditimbulkan material butiran untuk menganalisa bencana alam dikenal dengan istilah avalansi. Avalansi merupakan perubahan struktur material butiran pada fase padat untuk menuju kestabilan. Ketika perubahan struktur ini terjadi, material butiran sesaat berada pada fase cairan. Fenomena ini dapat digunakan untuk menganalisa gempa bumi tektonik dan bencana alam.

Fenomena ini dapat diamati dengan memodelkan material butiran sebagai silinder yang digetarkan pada arah horizontal. Terdapat tiga kondisi gerak silinder yang dapat diamati yaitu, diam, *rolling* tanpa slip dan *rolling* slip. Benda yang bergerak *rolling* suatu saat akan berhenti. Orang beranggapan hal ini disebabkan oleh adanya gaya gesek statis yang menghambat gerak benda. Asumsi ini disebabkan karena gerak *rolling* sangat berhubungan dengan permukaan benda yang bergerak dengan permukaan bidang. Namun, pada kenyataannya gaya gesek statis pada benda yang bergerak *rolling* dapat mempercepat atau memperlambat gerak benda. Giancolli [4] menjelaskan menggunakan persamaan hukum kedua Newton bahwa gaya gesek statis

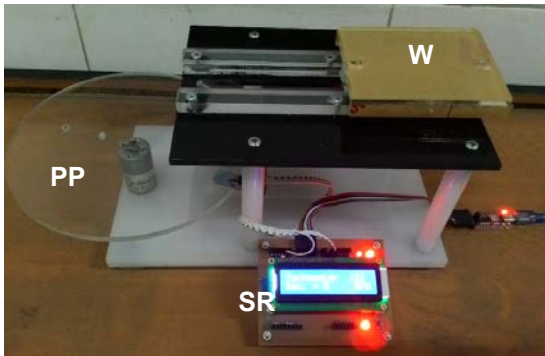
memperlambat gerak translasi benda dan mempercepat gerak rotasi benda.

Gerak alat penggetar dikarakterisasi oleh besaran percepatan tidak berdimensi (Γ) yang merupakan perbandingan antara percepatan rotasi dan percepatan gravitasi [5]. Besarnya nilai parameter vibrasi (Γ) dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\Gamma = \frac{\omega^2 A}{g} = \frac{4\pi^2 f^2 A}{g} \quad (1)$$

Dimana f merupakan frekuensi getar wadah dan A merupakan amplitudo simpangan getar wadah. Persamaan (1) menjelaskan pengaruh nilai amplitudo dan frekuensi terhadap nilai Γ . Besarnya nilai Γ menentukan batas transisi gerak silinder.

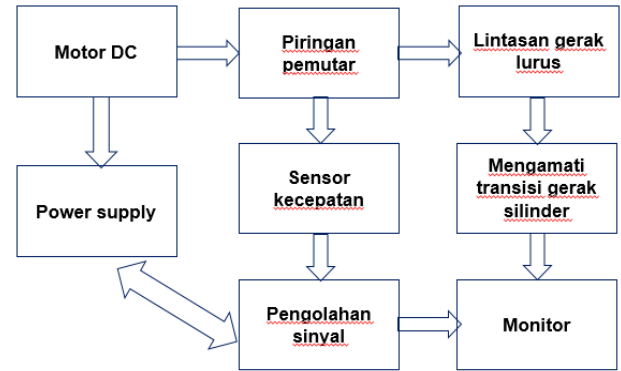
Percobaan dilakukan menggunakan alat yang dirancang dan dibuat secara manual. Alat dibuat dari bahan akrilik dan *hard nylon*. Bentuk alat secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gamabr 1. Alat Penggetar Silinder. Piringan pemutar (PP), Wadah (W), Sensor rotasi (SR)

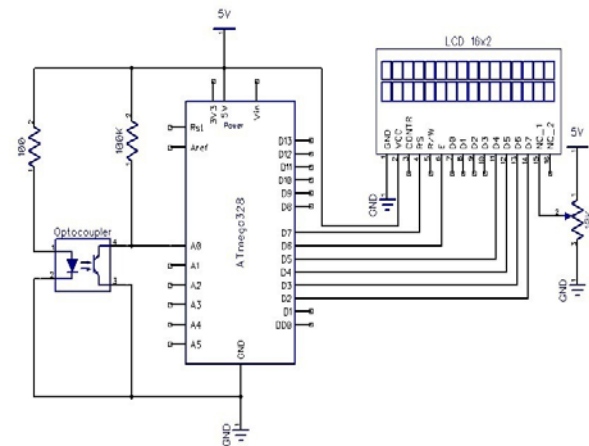
Alat ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu motor dan piringan, wadah penggetar dan sensor kecepatan rotasi.

Percobaan dilakukan dengan memodelkan material butiran sebagai silinder tunggal yang diletakkan pada wadah kemudian digetarkan secara horizontal. Sumber getar berupa motor DC yang dialiri tegangan yang berasal dari *power supply*. Motor DC sebagai sumber vibrasi memutar piringan yang mengakibatkan wadah ikut bergerak lurus pada lintasan yang mengakibatkan silinder yang berada di atas wadah ikut bergerak. Berdasarkan hal ini, transisi gerak silinder relatif terhadap wadah dapat diamati. Secara ringkas, prinsip kerja alat ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Blok diagram cara kerja sistem

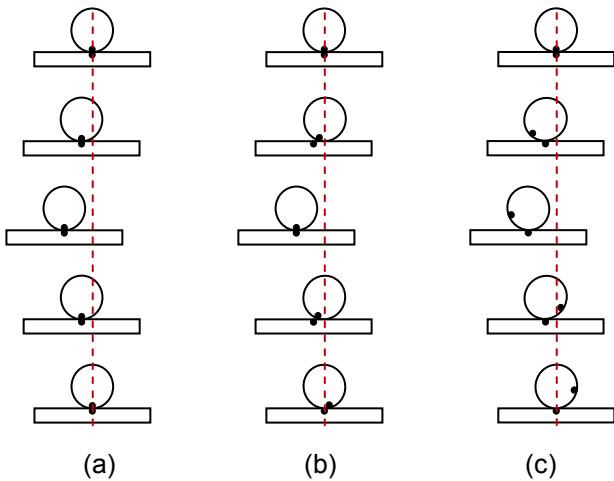
Frekuensi getaran wadah dihitung berdasarkan kecepatan rotasi piringan yang dideteksi menggunakan sensor kecepatan berupa optocoupler. Nilai frekuensi getaran diubah dengan mengatur nilai tegangan *power supply*. Optocoupler bekerja berdasarkan cahaya yang diterima *receiver*. Skematik kecepatan rotasi menggunakan optocoupler dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Skematik sensor kecepatan rotasi

Ketika cahaya dari *transmitter* tidak dapat diterima oleh *receiver*, tidak ada aliran elektron dari kaki kolektor ke emitor pada pototransistor. Akibatnya, transistor berada pada keadaan *off* sehingga hambatan dan tegangan pada bagian keluaran besar. Sebaliknya, jika *receiver* menerima cahaya, maka terdapat aliran elektron menyebabkan transistor dalam keadaan *on*. Hal ini menyebabkan hambatan pada bagian keluaran kecil dan tegangan keluaran rendah hingga mendekati nol. Sinyal keluaran ini lah yang diolah pada mikrokontroler berupa Arduino Uno dan ditampilkan pada LCD. Hasil pembacaan sensor kecepatan dikalibrasi menggunakan osiloskop dan pengukuran manual menggunakan *stopwatch*.

Transisi gerak silinder diamati dengan melihat perubahan posisi silinder relatif terhadap silinder. Jenis transisi gerak silinder dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Kondisi gerak silinder (a) diam, (b) *rolling* tanpa slip, (c) *rolling* dan slip

Posisi relatif silinder terhadap wadah ditentukan dengan menandai titik pertemuan kedua permukaan silinder dan wadah. Silinder dikatakan diam ketika posisi titik pada permukaan silinder tidak berubah terhadap wadah (a). Gerak *rolling* tanpa slip terjadi ketika silinder berotasi saat wadah digetarkan sehingga posisi titik pertemuan kedua permukaan mengalami perubahan namun masih berada pada garis yang sama (b). Sebaliknya, *rolling* dan slip terjadi ketika posisi titik pada silinder berubah terhadap wadah baik secara horizontal maupun vertikal (c).

Pada percobaan ini dilakukan analisis pengaruh frekuensi dan amplitudo terhadap transisi gerak silinder yang bergetar pada arah horizontal. Amplitudo getaran dihitung dengan mengukur simpangan getar wadah.

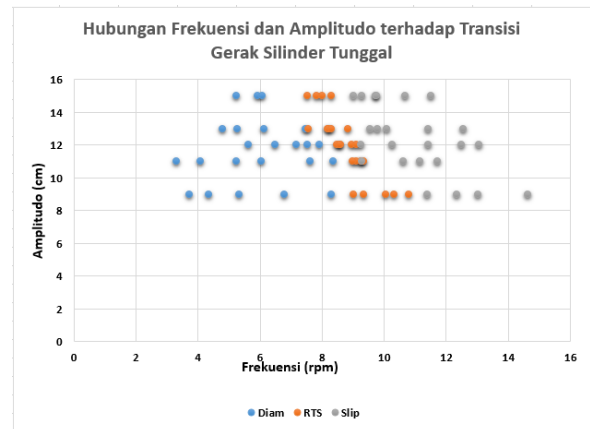
Hasil dan diskusi

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa alat pengamatan transisi gerak silinder pada wadah yang bergetar pada arah horizontal telah bekerja dengan baik dan dapat menggambarkan transisi gerak silinder dari keadaan diam, bergerak *rolling* tanpa slip dan *rolling* slip. Sensor kecepatan yang digunakan telah berhasil menunjukkan nilai yang akurat. Tampilan hasil pembacaan sensor kecepatan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. Tampilan Hasil Pembacaan Sensor Kecepatan Rotasi

Berdasarkan data yang ada, diperoleh hubungan frekuensi dan amplitudo terhadap transisi gerak benda pada gambar berikut.



Gambar 6. Grafik daerah transisi gerak silinder

Pada grafik terlihat bahwa daerah transisi gerak silinder pada ruang amplitudo dan frekuensi telah dapat dibedakan. Nilai pada grafik mewakili nilai batas maksimum yang dibutuhkan silinder untuk mengalami perubahan gerak.

Kesimpulan

Alat yang dirancang dan dibuat telah bisa digunakan untuk mengamati transisi gerak silinder dari keadaan diam, bergerak *rolling* tanpa slip dan *rolling* slip. Penggunaan alat ini masih akan dikembangkan untuk mengamati gerak silinder pada analisa bencana alam berupa gempa bumi tektonik atau longsor.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan di laboratorium elektronika dan instrumentasi atas kesediaannya meminjamkan peralatan dan komponen yang dibutuhkan. Penelitian ini didukung oleh Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (Desentralisasi Dikti) tahun 2015 dengan nomor kontrak 310/I1.C01/PL/2015.

Referensi

- [1] Biao, W., Gonglian, D., Ying, W., & Ye, X. (2014). Seismic performance of isolation system of rolling friction with springs. *Springer*.
- [2] Sharma, N., & D Reid, D. (1999). Rolling as a frictional equilibration of translation and rotation. *IOPScience*.
- [3] Hong, D. (1993). Stress Distribution of a Hexagonally Packed Granular Pile. *Physical Review*.
- [4] Giancoli, D. (1998). *Physics : Principles with Application*.
- [5] Wong, Y. S., Gan, C. H., & C.-H. W. (2005). Study on Granular Dynamics in Vertically Vibrated Beds using Tracking Technique. *MEBCS024*.

Yopy Mardiansyah*
Nuclear Physics and Biophysics Research Division
Institut Teknologi Bandung
yopymardiansyah2@gmail.com

Yulia
Nuclear Physics and Biophysics Research Division
Institut Teknologi Bandung

Mairizwan
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Bandung

Suprijadi
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Bandung

Sparisoma Viridi
Nuclear Physics and Biophysics Research Division
Institut Teknologi Bandung
dudung@fi.itb.ac.id

*Corresponding author