

PENGARUH POSISI INTRUDER TERHADAP BENTUK PERMUKAAN BED GRANULAR PADA EFEK KACANG BRASIL DUA-DIMENSI

Sparisoma Viridi^{*)}, Siti Nurul Khotimah, Hari Anggit Cahyo Wibowo, Trise Nurul Ain, Dimas Praja Purwa Aji

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia

^{*)} Email: dudung@gmail.com

Abstrak

Efek kacang Brasil dua-dimensi dengan partikel bed dan intruder terbuat dari keping akrilik diamati dengan vibrasi sinusoidal yang diselingi waktu diam sehingga memudahkan untuk mengambil foto yang baik untuk diproses lebih lanjut. Parameter vibrasi adalah $f = 13$ Hz dan $\Gamma = 2$. Dalam tulisan ini disajikan evolusi posisi intruder dengan waktu apung $T_{\text{rise}} = 67$ langkah, dengan posisi awal intruder saat sisi bawahnya mengenai dasar wadah dan posisi akhir saat sisi atasnya menyentuh permukaan bed partikel. Tinggi bed partikel awal adalah 21 buah dan lebarnya adalah 19 buah. Rasio intruder dan bed kira-kira 2.545. Bentuk permukaan bed paling melengkung diamat saat posisi intruder berada di antara konfigurasi awal dan akhir dalam observasi.

Abstract

Two-dimension Brazil-nut effect using acrylic plate as intruder and bed particles is observed under non-continuous sinusoidal vibration in order to obtain sufficient image quality for further process. Vibration parameters are $f = 13$ Hz and $\Gamma = 2$. In this work time series of intruder position is presented, which shows that it has rise time $T_{\text{rise}} = 67$ steps, with initial position defined as lower side of intruder in touch with bottom of the container and final position is defined as upper side of intruder is on the bed particle surface. Initial height and width of bed particles are 21 and 92 particles, respectively. Ratio of intruder and bed particle diameter is about 2.545. Most curved of bed particle surface is observed while intruder position is about in the middle between its initial and final configurations.

Keywords: Brazil-nut effect, granular materials, two-dimension system, vertical vibration, rise time.

1. Pendahuluan

Efek kacang Brasil (EKB) adalah suatu fenomena dalam material butiran yang telah lama dikenal [1] dan telah dikaji menggunakan simulasi untuk satu intruder dalam dua-dimensi [2], serta campuran biner dalam dua- dan tiga-dimensi [3]. Sedangkan dalam eksperimen telah pula dikaji sistem tiga-dimensi untuk satu intruder [4] dan campuran biner [5], serta kuasi dua-dimensi untuk satu intruder [6] dan beberapa intruder [7]. Bila umumnya EKB menggunakan vibrasi vertikal [1-7], terdapat pula fenomena EKB saat digunakan vibrasi horisontal [8]. Suatu Gedankenexperiment dalam dua-dimensi untuk mengamati keberlakuan prinsip energi minimum dan peningkatan kontaktopi telah pula dilakukan [9]. Dalam tulisan ini, hasil eksperimen dalam dua-dimensi sebenarnya (bukan lagi kuasi dua-dimensi) dengan menggunakan cakram akrilik digunakan untuk merelasikan antara posisi intruder dengan bentuk permukaan bed partikel granular.

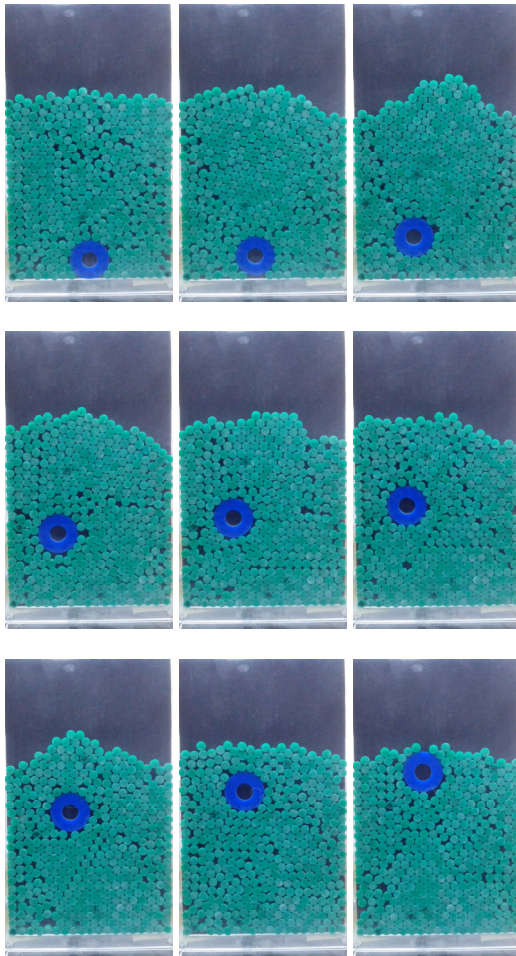
2. Eksperimen

Untuk bed partikel digunakan cakram berbahan akrilik dengan diameter 0.55 cm, tebal 2 mm, dan massa rata-rata 0.85 g, sedangkan untuk intruder digunakan cakram berbahan sama yang berongga dengan diameter luar 1.4 cm, diameter dalam 1 cm, tebal 2 mm, dan massa 1.05 g. Partikel bed dan intruder dimasukkan ke dalam wadah persegi panjang berukuran 19 cm \times 10 cm dan tabel celahnya 2 mm + beberapa lembar kertas (untuk mengurangi terjadinya gesekan antara partikel dengan dinding wadah). Bahan wadah bersifat tembus pandang, akan tetapi juga terbuat dari akrilik sehingga efek elektrostatik yang sering muncul dapat dicegah. Sistem digetarkan dengan frekuensi $f = 13$ Hz dan percepatan tak berdimensi $\Gamma = 2$ menggunakan bentuk gelombang sinusoidal. Syarat awal konfigurasi partikel butiran adalah dengan intruder diletakkan pada dasar wadah dan di tengah-tengah, serta di atasnya diletakkan partikel-partikel bed secara acak dengan dijatuhkan sembarang. Vibrasi dilakukan dengan durasi $\Delta t = 1$ s dan kemudian dihentikan sehingga dapat diambil fotonya dengan baik. Kedua langkah tersebut

diulang-ulang sehingga didapatkan kumpulan foto-foto mulai dari intruder saat berada di dasar wadah sampai sisi atas intruder menyinggung permukaan bed granular.

3. Hasil dan Diskusi

Eksperimen yang telah dilakukan memberikan kumpulan 67 gambar yang sembilan di antaranya disajikan dalam Gambar 1.

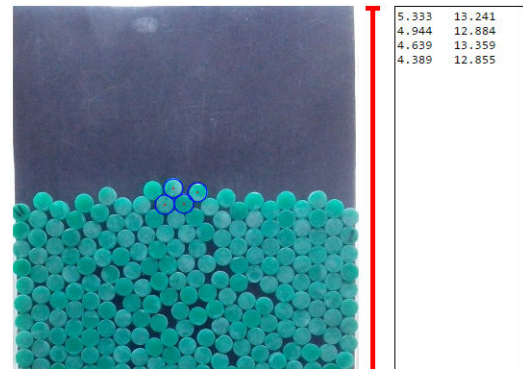


Gambar 1. Posisi intruder dengan urutan nomor gambar 1, 10, 22, 34, 40, 46, 55, 60, dan 67.

Secara kualitatif hasil observasi dalam Gambar 1 telah memberikan informasi bahwa saat berada pada konfigurasi awal dan akhir permukaan bed partikel memberikan bentuk yang relatif datar, akan tetapi di antara dua keadaan tersebut permukaan bed partikel cenderung melengkung. Hal menarik untuk dikaji lebih lanjut, seperti pengaruh posisi intruder terhadap kelengkungan permukaan bed partikel.

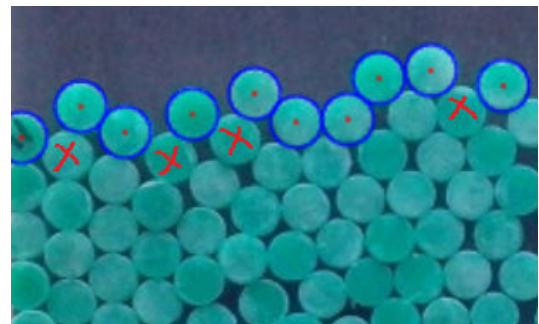
Posisi intruder dan posisi partikel-partikel bed yang berada pada permukaan bed partikel ditentukan dengan melakukan digitasi dari gambar-gambar yang diperoleh, yang sebagiannya telah

ditunjukkan dalam Gambar 1. Dalam tulisan ini piranti lunak digitasi yang digunakan merupakan pengembangan lebih lanjut dari versi sebelumnya [10]. Urutan penggunaan piranti lunak tersebut adalah: (i) pilih berkas gambar, (ii) tekan tombol “Create”, (iii) isikan data-data pengukuran sebenarnya, (iv) tekan tombol “Submit”, dan (v) mulai digitasi dengan menunjuk pointer mouse pada butiran yang diinginkan dan tekan tombol kiri mouse. Jendela gambar dan hasil digitasinya diberikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Proses digitasi empat butiran bed dan nilai-nilai koordinatnya.

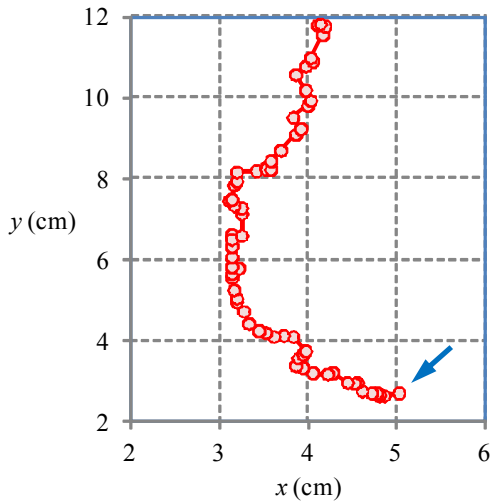
Penentuan butiran-butiran yang menggambarkan permukaan butiran bed dibatasi hanya pada butiran-butiran pada lapisan teratas atau agak di bawahnya akan tetapi kurang dari setengah diameter butiran terhadap butiran teratas terdekat, kecuali tidak terdapat butiran di atasnya. Ilustrasi perbedaan antara butiran-butiran yang dimaksud dan tidak diberikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Butiran-butiran yang didigitasi untuk menggambarkan permukaan bed partikel (lingkaran biru) dan tidak (tanda silang merah).

Intruder bergerak dari dasar wadah menuju permukaan bed partikel tidak menempuh lintasan lurus, melainkan berkelok-kelok seperti dalam Gambar 4. Pergerakan titik pusat mass sistem (intruder dan partikel-partikel bed) yang berkelok-kelok, telah dilaporkan pula sebelumnya [11], yang

dapat dikaitkan secara tak langsung dengan perubahan posisi intruder yang juga berkelok-kelok.



Gambar 4. Posisi intruder setiap saat mulai dari posisi awal (ditunjukkan dengan panah) sampai posisi akhir (ujung atas).

Terdapat sejumlah N partikel yang dikelompokkan menjadi partikel permukaan bed partikel sebagaimana digambarkan dalam Gambar 3. Posisi pusat massa dari partikel-partikel ini dapat diperoleh dari

$$\vec{r}_{pm} = \sum_{i=1}^N \vec{r}_i, \quad (1)$$

di mana massa masing-masing partikel bed granular bernilai sama, yaitu 0.85 g. Posisi titik pusat massa partikel-partikel permukaan bed granular diberikan dalam Gambar 5.

Posisi partikel-partikel permukaan bed partikel dapat diwakili oleh suatu kurva polinomial order 2 dengan melakukan curve fitting pada posisi-posisi tersebut. Lima konfigurasi dipilih, yaitu nomor 1, 22, 46, 55, dan 67, yang bentuk konfigurasinya diberikan dalam Gambar 1 sebelumnya. Persamaan-persamaan hasil curve fitting adalah sebagai berikut ini

$$y_j = a_j x^2 + b_j x + c_j,$$

$$y_1 = -0.0229x^2 + 0.2298x + 12.558, \quad R^2 = 0.562,$$

$$y_{22} = -0.1162x^2 + 1.2166x + 10.514, \quad R^2 = 0.8006,$$

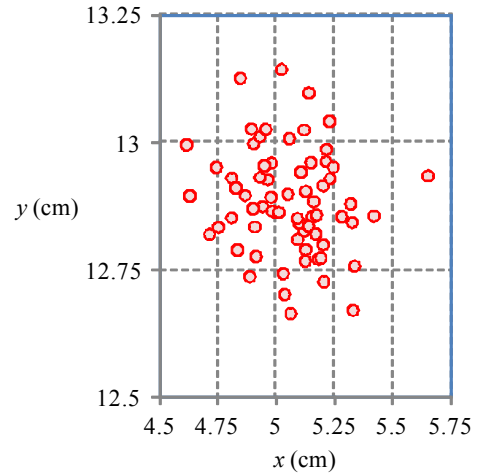
$$y_{46} = -0.0466x^2 + 0.3078x + 12.88, \quad R^2 = 0.8925,$$

$$y_{55} = -0.083x^2 + 0.7787x + 11.779,$$

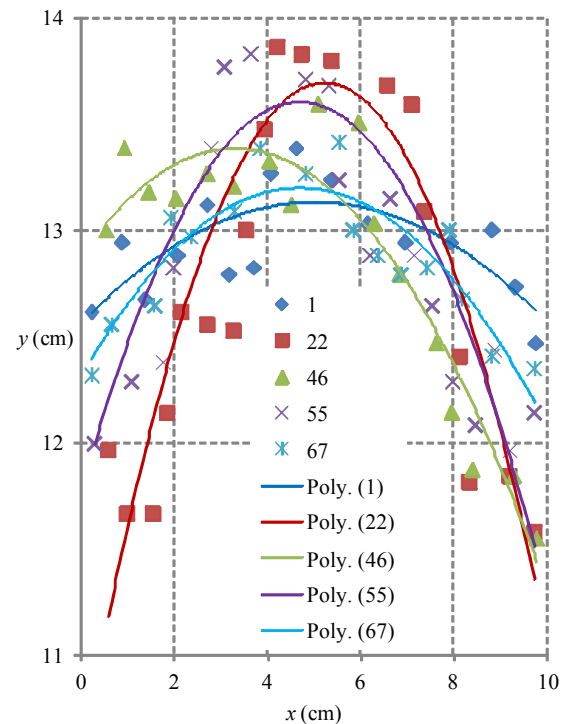
$$R^2 = 0.751,$$

$$y_{67} = -0.0401x^2 + 0.3771x + 12.316, \quad R^2 = 0.795,$$

yang bentuk kurvanya diberikan dalam Gambar 6.



Gambar 5. Posisi pusat massa partikel-partikel permukaan bed partikel.



Gambar 6. Curve fitting posisi partikel permukaan bed partikel dengan menggunakan polinomial orde 2.

Titik puncak kelengkungan kurva hasil curve fitting dapat diperoleh melalui

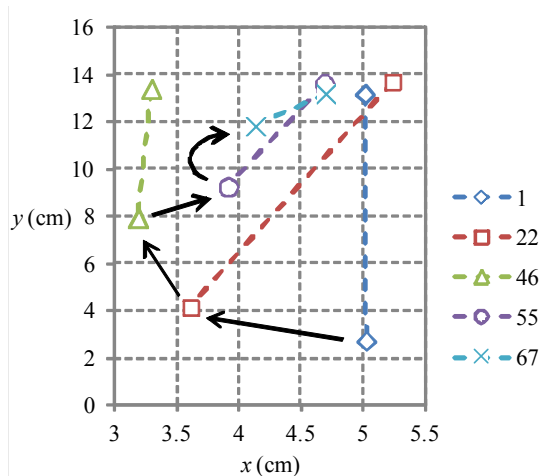
$$\frac{dy_j}{dx} = 0, \quad (2)$$

di mana $j = 1, 22, 46, 55,$ dan 67 dari Gambar 6. Titik-titik puncak pada konfigurasi j disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat titik puncak hasil curve fitting dengan menggunakan Persamaan (2).

Konfigurasi	x_p (cm)	y_p (cm)
1	5.02	13.16
22	5.23	13.70
46	3.30	13.39
55	4.69	13.61
67	4.70	13.20

Apabila posisi titik puncak kurva parabola dikaitkan dengan posisi intruder, maka akan diperoleh posisi-posisi seperti tampak dalam Gambar 7. Titik yang lebih bawah adalah posisi intruder, sedangkan titik dengan bentuk yang sama akan tetapi terletak lebih atas adalah posisi puncak kurva parabola.



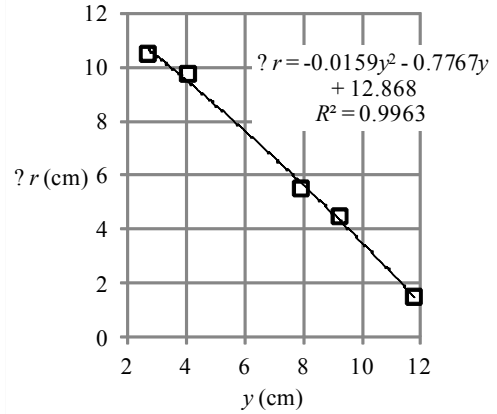
Gambar 7. Kaitan antara posisi intruder dengan posisi puncak dari kurva parabola untuk konfigurasi 1, 22, 46, 55, dan 67.

Posisi intruder dalam setiap konfigurasi (1, 22, 46, 55, dan 67) diperjelas dengan panah hitam dalam Gambar 7.

Jarak antara intruder dan posisi puncak kurva parabola dapat ditentukan dengan menggunakan

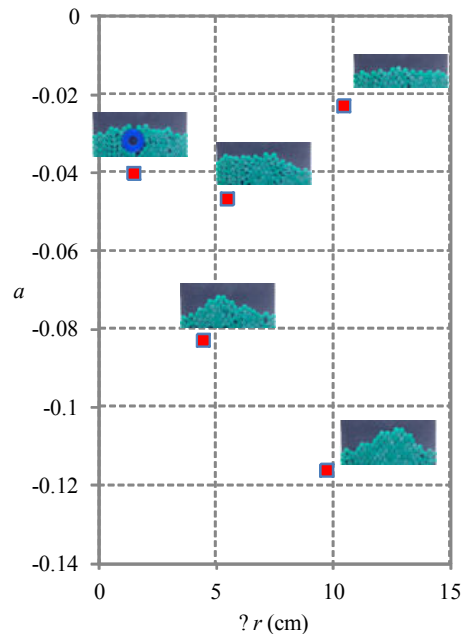
$$\Delta r = \sqrt{(x_p - x)^2 + (y_p - y)^2}, \quad (3)$$

di manan (x, y) adalah posisi intruder. Teramati bahwa nilai Δr ini merupakan fungsi kuadrat dari posisi vertikal intruder y , sebagaimana diberikan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Jarak antara titik puncak kurva parabola dengan posisi intruder Δr sebagai fungsi posisi vertikal intruder y .

Kelengkungan kurva parabola pada konfigurasi awal bernilai negatif kecil (-0.0229) dan pada konfigurasi akhir juga bernilai negatif kecil (-0.0401), dan tetapi di antara kedua konfigurasi tersebut bernilai lebih negatif (-0.1162, -0.0466, dan -0.083) sebagaimana diberikan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Kelengkungan kurva parabola a sebagai fungsi jarak antara titik puncak kurva parabola dengan posisi intruder Δr .

Informasi ini dapat digunakan sebagai suatu indikator apabila EKB diamati dari permukaan bed partikel, sebagaimana umum dilakukan untuk sistem tiga-dimensi [12], akan tetapi kurang lazim dalam sistem dua-dimensi yang dibahas dalam tulisan ini.

Dalam fluida terdapat fenomena riak, yang umum diamati, terjadi di permukaan fluida saat gelembung sedang mengapung menunjunya [13].

Hal ini dapat dianalogikan terjadi pula pada material butiran. Penjelasan lain adalah bila antara intruder terjadi gaya tarik (pada sistem multi intruder) [14] dan antar partikel bed juga terjadi gaya tarik [15], maka dapat diasumsikan bahwa antar intruder dan partikel bed terdapat gaya tolak yang menjelaskan terjadinya perubahan permukaan partikel bed saat intruder bergerak menjunnya.

4. Kesimpulan

Eksperimen untuk mengamati EKB dalam dua-dimensi sebenarnya telah dilakukan dengan menggunakan intruder, butiran, dan wadah yang terbuat dari akrilik. Teramati bahwa permukaan bed partikel dipengaruhi oleh posisi vertikal intruder, di mana jarak antar posisi puncak kelengkungan permukaan bed partikel dengan posisi intruder sebagai fungsi posisi vertikal intruder memenuhi suatu hubungan berbentuk persamaan kuadrat. Kelengkungan permukaan bed partikel pada konfigurasi awal dan akhir memiliki nilai lebih kecil dibandingkan pada konfigurasi-konfigurasi di antara kedua konfigurasi tersebut. Fenomena ini dapat digunakan untuk mendeteksi apakah EKB terjadi atau tidak, yang teramati dari permukaan bed partikel.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dan sosialisasinya didukung oleh Riset Desentralisasi DIKTI tahun 2015.

Daftar Acuan

- [1] A. Rosato, K. J. Strandburg, F. Prinz, and R. H. Swendsen, Why the Brazil nuts are on top: Size segregation of particulate matter by shaking, *Phys. Rev. Lett.* 58 (1987), p. 1038-1040.
- [2] S. Godoy, D. Risso, R. Soto, and P. Cordero, Rise of a Brazil nut: A transition line, *Phys. Rev. E* 78 (2008), p. 031301.
- [3] D. C. Hong, P. V. Quinn, and S. Luding, Reverse Brazil nut problem: Competition between percolation and condensation, *Phys. Rev. Lett.* 86 (2001), p. 3423-3426.
- [4] T. Shinbrot and F. J. Muzzio, Reverse bouyancy in shaken granular beds, *Phys. Rev. Lett.* 81 (1998), p. 4365-4368.
- [5] A. P. J. Breu, H. -M. Ensner, C. A. Kruelle, and I. Rehberg, Reversing the Brazil-nut effect: Competition between percolation and condensation, *Phys. Rev. Lett.* 90 (2003), p. 014302.
- [6] C. -C. Liao, S. -S. Hsiau, and C. -S. Wu, Experimental study on the effect of surface roughness of the intruder on the Brazil nut problem in a vertically vibrated bed, *Phys. Rev. E* 86 (2012), p. 061316.
- [7] M. Bose, U. U. Kumar, P. R. Nott, and V. Kumaran, Brazil nut effect and excluded volume attraction in vibrofluidized granular mixtures, *Phys. Rev. E* 72 (2005), p. 021305.
- [8] F. F. Chung, S. -S. Liaw, and C. -Y. Ju, Brazil nut effect in a rectangular plate under horizontal vibration, *Granul. Matter* 11 (2009), p. 79-86.
- [9] S. Viridi, Novitrian, S. N. Khotimah, Widayani, "Evolusi Energi Potensial dan Jumlah Titik Kontak Material Butiran Dua Dimensi dalam Kasus Efek Kacang Brasil", *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2014 (SNF 2014)*, Eds. Julio et al., Serpong, Indonesia, 4 November 2014, p. 149-153.
- [10] S. Viridi, S. N. Khotimah, Novitrian, Widayani, L. Haris, D. P. P. Aji, "Studying Brazil-Nut Effect History Line using Disk-Formed Objects, Scanner, and Web Browser", *Proceedings of International Conference on Advances in Education Technology (ICAET 2014)*, Eds. Khairurrijal et al., Bandung, Indonesia, 16-17 October 2014, pp. 162-165.
- [11] D. P. P. Aji, S. N. Khotimah, S. Viridi, "Pengamatan Efek Kacang Brazil Dua Dimensi dan Analisa Transfer Energinya dengan OpenCV yang telah Terstandarkan Prosedurnya", *Prosiding Seminar Kontribusi Fisika 2014 (SKF 2014)*, Eds. F. T. Akbar et al., Bandung, Indonesia, 17-18 November 2014, pp. 79-82.
- [12] M. Schröter, S. Ulrich, J. Kreft, J. B. Swift, and H. L. Swinney, Mechanisms in the size segregation of a binary granular mixture, *Phys. Rev. E* 74 (2006) p. 011307.
- [13] Z. Liu and Y. Zheng, PIV study of bubble rising behavior, *Powder Technol.* 168 (2006) p. 10-20.
- [14] D. A. Sanders, M. R. Swift, R.M. Bowley, and P. J. King, Are Brazil nuts attractive?, *Phys. Rev. Lett.* 93 (2004) p. 208002.
- [15] A. B. Yu, C. L. Feng, R. P. Zou, and R. Y. Yang, On the relationship between porosity and interparticle forces, *Powder Technol.* 130 (2003) p. 70-76.

This work will be presented in Seminar Nasional Fisika 2015 (SNF 2015), Jakarta, Indonesia, 6 Juni 2015, id. FTPN-015.