

Konfigurasi Packing Butiran Dua-Dimensi dalam Pengaruh Dua Gaya Sentral: Pencarian Parameter Awal Klaster Stabil

Sparisoma Viridi*, Rizal Kurniadi, dan Abdul Waris

Abstrak

Penerapan dua gaya sentral pada suatu klaster partikel dilakukan untuk mencari kondisi di mana klaster dapat terpecah menjadi dua sub-klaster, sehingga dapat digunakan sebagai suatu model klasik reaksi fisi. Terdapat rentang parameter yang menjaga klaster stabil walau dua gaya sentral telah diterapkan. Sayangnya pada rentang parameter untuk klaster tak stabil tidak dapat diperoleh terciptanya dua sub-klaster, melainkan partikel yang terpancar terpisah-pisah.

Kata-kata kunci: kompaksi butiran, dua dimensi, dua gaya sentral.

Pendahuluan

Upaya untuk mempelajari reaksi fusi dengan menggunakan kumpulan partikel klasik dalam dua-dimensi telah dilakukan untuk dua partikel dan klaster partikel [1] dan telah pula dicoba untuk sistem ${}^1\text{H}^2 + {}^1\text{H}^3$ [2], yang kemudian dilengkapi dengan partikel yang memiliki struktur internal [3]. Untuk reaksi fisi sendiri telah dipelajari dengan menggunakan Monte-Carlo dengan dua gaya sentral [4] dan menggunakan distribusi uniform posisi partikel [5]. Dengan demikian akan menarik untuk mempelajarinya dengan menggunakan partikel klasik seperti dalam [1-3] yang mengalami dua gaya sentral. Salah satu parameter yang ingin dibahas adalah evolusi kompaksi partikel, yang telah diamati terjadi pada efek kacang Brasil dua-dimensi [6]. Dalam penelitian ini partikel-partikel butiran dianggap berupa benda titik yang tidak dapat berdeformasi walaupun terdapat ukuran diameter partikel dan gaya normal antar mereka dimodelkan menggunakan gaya pegas.

Teori

Terdapat sejumlah partikel-partikel butiran dua-dimensi berdiameter sama D dan bermassa sama m dengan kecepatan awal nol dan memiliki posisi awal \vec{r}_i , $i = 1, \dots, N$. Partikel-partikel tersebut saat $t = 0$ diletakkan sedemikian rupa sehingga membentuk suatu klaster tunggal berbentuk menyerupai lingkaran sebagaimana disajikan dalam Gambar 1.

Partikel-partikel butiran dapat berkumpul karena adanya gaya sentral yang memiliki bentuk

$$\vec{F}_i = -mk_g \frac{(\vec{r}_i - \vec{r}_c)}{|\vec{r}_i - \vec{r}_c|}. \quad (1)$$

mana pusat gaya sentral adalah \vec{r}_c dan terdapat suatu percepatan gravitasi k_g .

Antar partikel sendiri terdapat gaya normal yang memiliki bentuk

$$\vec{F}_{ij} = k_N \xi_{ij} \hat{r}_{ij} - \gamma_N \hat{v}_{ij}, \quad (2)$$

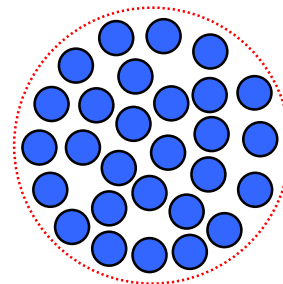
dengan

$$\xi_{ij} = \max(0, D - r_{ij}), \quad (3)$$

$$\hat{r}_{ij} = \frac{\vec{r}_{ij}}{r_{ij}}, \quad r_{ij} = |\vec{r}_{ij}| = \sqrt{\vec{r}_{ij} \cdot \vec{r}_{ij}}, \quad (4)$$

$$\hat{v}_{ij} = \frac{\vec{v}_{ij}}{v_{ij}}, \quad v_{ij} = |\vec{v}_{ij}| = \sqrt{\vec{v}_{ij} \cdot \vec{v}_{ij}}. \quad (5)$$

Dalam Persamaan (2) k_N dan γ_N adalah konstanta pegas dan redaman dalam gaya normal, yang dikenal sebagai model linear spring-dashpot [7].



Gambar 1. Posisi awal partikel-partikel butiran dua-dimensi yang membentuk klaster menyerupai lingkaran.

Selain itu terdapat pula gaya elektrostatis dengan muatan setiap partikel q_i dapat bernilai $+Q$ atau nol, sehingga

$$\vec{Q}_{ij} = k_Q \frac{q_i q_j}{r_{ij}^2} \hat{r}_{ij} \quad (6)$$

dan gaya gravitasi antar partikel

$$\vec{G}_{ij} = -k_G \frac{m_i^2}{r_{ij}^2} \hat{r}_{ij} \quad (7)$$

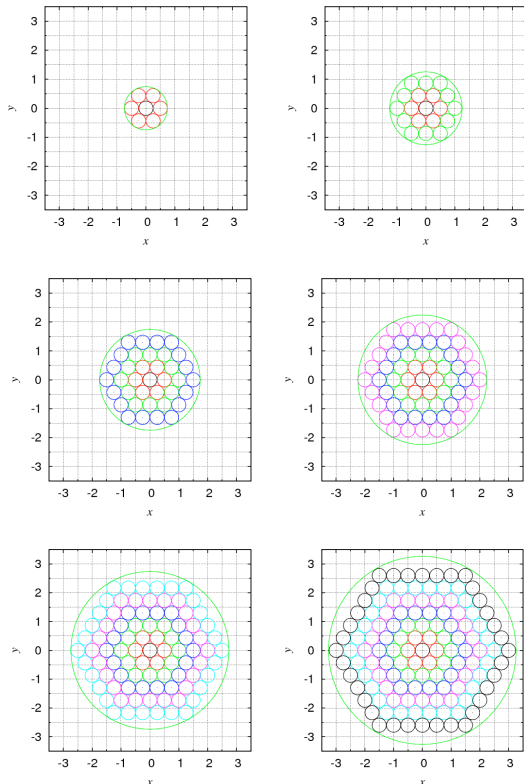
Gaya-gaya dari Persamaan (1), (2), (6), dan (7) kemudian dijumlahkan untuk memperoleh gaya total yang bekerja pada suatu partikel. Dengan menggunakan hukum kedua Newton tentang gerak dapat diperoleh percepatan setiap partikel. Selanjutnya, dengan metode numerik, Euler dapat diperoleh kecepatan dan posisi semua partikel pada satu langkah waktu Δt berikutnya

$$\vec{a}_i = \frac{1}{m_i} \left(\vec{F}_i + \sum_{j \neq i} \vec{F}_{ij} + \vec{Q}_{ij} + \vec{G}_{ij} \right), \quad (8)$$

$$\vec{v}(t + \Delta t) = \vec{v}(t) + \vec{a} \Delta t, \quad (9)$$

$$\vec{r}(t + \Delta t) = \vec{r}(t) + \vec{v} \Delta t. \quad (10)$$

Secara keseluruhan cara ini dikenal sebagai metode dinamika molekuler.



Gambar 2. Beberapa konfigurasi awal dengan jumlah lapisan berbeda-beda ($N = 2, \dots, 7$).

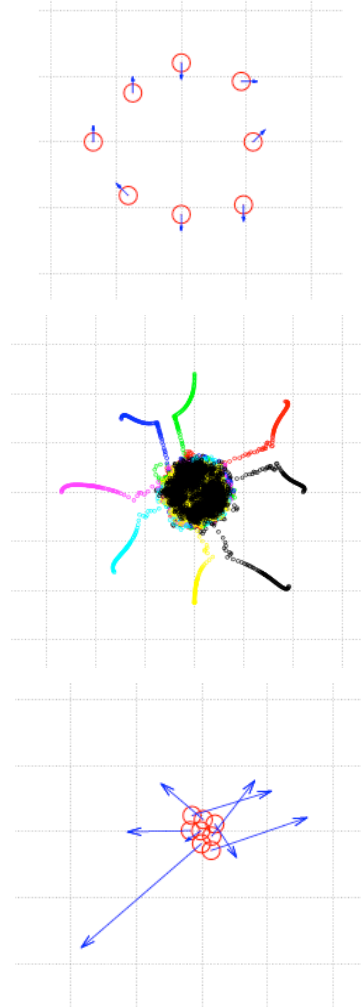
Sebagai syarat awal, partikel disusun dalam bentuk hexagonal closed pack dua-dimensi (2D-HCP), di mana jumlah partikel yang terlibatnya

dinyatakan dengan jumlah lapisan partikel, seperti yang digunakan dalam pemodelan diameter koloni berbasis partikel granular [8]. Jumlah partikel setiap lapisan diberikan dalam Tabel 1. Dengan demikian, bila terdapat konfigurasi awal dengan jumlah lapisan tiga, maka total partikelnya adalah $1 + 6 + 12 = 19$ buah.

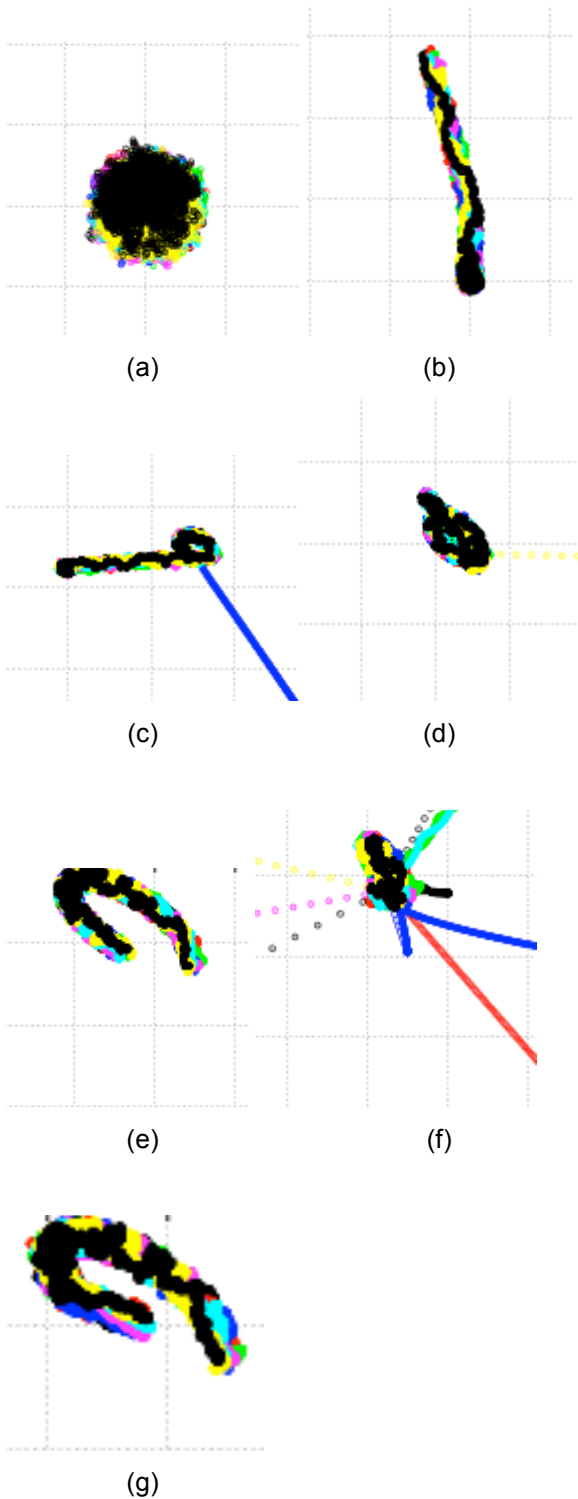
Hasil dan diskusi

Beberapa konfigurasi awal yang digunakan dalam simulasi adalah seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.

Selanjutnya kluster partikel dibiarkan mengalami gaya-gaya yang telah dibahas sebelumnya dan dilihat bagaimana suatu kluster dapat stabil atau tidak. Untuk hasil-hasil dalam Gambar 3 belum digunakan syarat awal dalam Gambar 2, akan tetapi hanya digunakan syarat berbeda yang sebelumnya telah mengalami proses stabilasi sebelum dua gaya sentral diterapkan.



Gambar 3. Konfigurasi awal sistem yang disimulasikan: syarat awal (atas), tahap stabilasi (tengah), dan vektor kecepatan saat stabil (bawah).



Gambar 4. Evolusi kluster partikel: (a, b) $k_G = 3$, $k_g = 0$, (c) $k_G = 3$, $k_g = 0$, (d) $k_G = 3$, $k_g = 0.1$, $r_{c1} = (-2, 7)$. $r_{c2} = (-0.5, 7)$, (e) $k_G = 3$, $k_g = 0.09$, $r_{c1} = (-2, 7)$. $r_{c2} = (-0.5, 7)$, (f) $k_G = 2$, $k_g = 0.08$, $r_{c1} = (-2, 7)$. $r_{c2} = (-0.5, 7)$, dan (g) $k_G = 2.5$, $k_g = 0.08$, $r_{c1} = (-2, 7)$. $r_{c2} = (-0.5, 7)$.

Secara umum parameter simulasi yang digunakan adalah $\Delta t = 10^{-4}$, $k_N = 10^4$, $\gamma_N = 0$, $q_i = 0$, $m = 1$, and $D = 0.2$.

Setelah proses stabilisasi dalam Gambar 3 partikel dibiarkan dulu tanpa adanya gaya sentral untuk beberapa saat sehingga terlihat akan diam atau bergerak dalam kluster seperti Gambar 4(a) dan 4(b). Selanjutnya gaya sentral dengan posisi dan nilai parameter-parameter lainnya divariasikan. Terlihat bahwa terdapat kluster yang stabil seperti Gambar 4(e) dan 4(g), akan tetapi juga yang tidak stabil seperti dalam Gambar 4(c), 4(d), dan 4(f). Sayangnya kluster yang tidak stabil ini tidak membuat pecahan kluster menjadi dua kluster yang lebih kecil seperti diharapkan terjadi dalam suatu reaksi fisi.

Tabel 1. Jumlah partikel pada setiap layer.

Lapisan ke	Jumlah Partikel
1	1
2	6
3	12
4	24
5	30
6	36
7	42

Agar kluster dapat terpisah menjadi dua sub-kluster, dapat diterapkan gaya sentral yang probabilistik dan tidak selalu bekerja atau gaya sentral yang bersifat rentang pendek (short range). Penerapan jenis gaya ini akan dilakukan dalam kelanjutan penelitian ini.

Kesimpulan

Untuk sementara dapat dikatakan bahwa dua gaya sentral belum dapat memisahkan kluster partikel, akan tetapi kluster dapat stabil dengan nilai $k_g \leq 0.08$ dan $2.5 < k_G \leq 3$.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini didukung oleh Program Riset ITB 2015 Batch II dengan nomor kontrak 1763/I1.B04.1/KU/2015.

Referensi

- [1] S. Viridi, R. Kurniadi, dan A. Waris, "Skema Gaya Dua Benda untuk Tetesan Berbasiskan Partikel dengan Dinamika Molekuler Butiran: Tumbukan antar Dua Partikel dan antara Dua Kluster Partikel", *Jurnal Pengajaran Fisika Sekolah Menengah 7* (1), 9-13 (2015).
- [2] S. Viridi, R. Kurniadi, A. Waris, and Y. S. Perkasa, "A Classical Approach in Simple Nuclear Fusion Reaction ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^3$ using Two-Dimension Granular Molecular Dynamics Model", *The 3rd International Conference on Advances in Nuclear Science and*

- Engineering-2011, edited by Z. Su'ud et al., AIP Conference Proceedings 1448, American Institute of Physics, Melville, NY, 2012, pp. 170-176.
- [3] D. Irawan, S. Viridi, R. Kurniadi, dan A. Waris, "Pendekatan Klasik Reaksi Fusi Deuterium-Tritium Menggunakan Metode Velocity Verlet 2-Dimensi", Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains 2015 (SNIPS 2015), Eds. D. Irwanto et al., Bandung, Indonesia, 8-9 Juni 2015, (in review).
- [4] R. Kurniadi, A. Waris, S. Viridi, "Monte Carlo Based Toy Model for Fission Process", in 4th International Conference on Advances in Nuclear Science and Engineering-2013, edited by S. Zaki et al., AIP Conference Proceedings 1615, American Institute of Physics, Melville, NY, 2014, pp. 133-136.
- [5] R. Kurniadi, S. Viridi, A. Waris, "Fission Toy Model: The Uniform Distribution of Random Particle Position", Journal of Applied Physical Science International 2 (3), 120-124 (2015).
- [6] 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, pp. 149-153.
- [7] J. Schäfer, S. Dippel, and D. E. Wolf, "Force Schemes in Simulations of Granular Materials", Journal of Physics I France 6 (1), 5-20 (1996).
- [8] D. A. Rimadhani A., "Studi Pertumbuhan Sel-Sel Ragi Berdiameter Koloni Kurang dari Dua Puluh Sel Menggunakan Model Sel Granular Berbentuk Lingkaran", Tesis Magister, Institut Teknologi, Bandung, Indonesia, 2015.

Sparisoma Viridi*

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

Rizal Kurniadi

Nuclear Physics and Biophysics Research Division
Institut Teknologi Bandung
rijalk@fi.itb.ac.id

Abdul Waris

Nuclear Physics and Biophysics Research Division
Institut Teknologi Bandung
awaris@fi.itb.ac.id

*Corresponding author