

## KAJIAN FISIKA ALIRAN MATERIAL GRANULAR DEDAK GANDUM DI DALAM SALURAN *MICROFLUIDIC*

### *PHYSICS ANALYSIS OF THE FLOW OF WHEATBRAN MATERIAL IN MICROFLUIDIC CHANNEL*

A. Perima<sup>1</sup>, I P. M. Wijaya<sup>2</sup>, Y. Suharnoto<sup>3</sup>, M. Widyarti<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pascasarjana Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat, Indonesia.

<sup>2</sup>Ingenieur d'Instrumentation. Groupe Soufflet, C.R.I.S OSIRIS,  
Quai Sarrail, BP-12, 10400, Nogent-sur-Seine, France

<sup>3</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat, Indonesia.

Diterima: 1 Oktober 2013. Disetujui: 05 Desember 2013. Dipublikasikan: Januari 2014

#### ABSTRAK

Perkembangan teknologi mikroelektronik telah melahirkan suatu cabang ilmu baru yaitu *microfluidics*. Teknologi ini dapat memanipulasi instrumentasi laboratorium menjadi satu chip. Proses pembuatan chip diawali dengan pembuatan *mask* kemudian dilanjutkan dengan pencetakan master untuk kemudian dituangkan larutan Polydimethyl siloxane (PDMS) dan diikatkan dengan kaca melalui teknologi plasma. Kemudian setelah chip dibuat, dilakukan uji *microfluidics* dengan melewati campuran material granular dedak gandum dan air di dalam saluran chip tersebut dengan kecepatan 5,000  $\mu\text{l}/\text{jam}$  dan pola aliran direkam dengan menggunakan kamera kecepatan tinggi. Dari hasil rekaman, gambar dianalisis dengan menggunakan persamaan Navier-Stokes dan dilakukan simulasi untuk dapat menduga pola aliran yang terjadi di dalam saluran. Kesimpulan yang didapatkan menunjukkan bahwa aliran fluida yang diperoleh bersifat non-newtonian, dan partikel dedak gandum memiliki sifat tabrakan inelastik.

#### ABSTRACT

The development of microelectronic technology leads to a new technology branch, namely *microfluidics*. This technology can manipulate a complicated laboratory instrument into a single chip. The process of making chip starts with making mask, molding a master, pouring of Polydimethylsiloxane (PDMS) into the master, and then making the bonding between the PDMS and glass by using plasma technology. The next step is *microfluidics* testing by passing the mixing of granular material wheatbran and dionized water through the chip's channel with the speed of 5,000  $\mu\text{l}/\text{hour}$ , and recording the flow of fluid by using high speed camera. The result was then analyzed by Navier-Stokes equation and employed the simulation to predict the flow inside the chip. It can be concluded that the characteristics of fluid's flow found are non-newtonian fluid and the wheatbran particle has inelastic collision.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

**Keywords:** granular material; inelastic collision; Navier-Stokes equation; non-newtonian fluid; wheatbran

#### PENDAHULUAN

Penemuan pada bidang mikroelektronik dalam hal bagaimana memproduksi benda dalam skala mikron telah melahirkan cabang penelitian baru yang dinamakan *microfluidics*.

*Microfluidics* adalah suatu usaha untuk meminiaturkan instrumentasi laboratorium yang menangani cairan menjadi skala mikro. Dalam *microfluidics*, instrumentasi laboratorium yang telah diminiaturkan didefinisikan sebagai sistem *Laboratory on Chip* (LOC). Pada konteks ini, LOC merupakan ekstensi dari tren peminiaturan yang terjadi secara besar dalam wilayah mikroelektronik. Keuntungan yang diperoleh

\*Alamat Korespondensi:  
Gedung FATETA, Jl. Raya Dramaga  
Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia  
E-mail: angga\_eris@yahoo.co.id

antara lain : pengurangan ukuran sampel, pengurangan biaya eksperimen, meningkatkan keamanan (terutama ketika menangani bahan kimia yang mudah meledak atau korosif), mudah dibawa-bawa, dan suatu sistem yang terintegrasi dalam satu chip (Bruus, 2008).

Di dalam chip *microfluidic* terdapat saluran kecil yang berukuran mikrometer. Pada saluran ini dilewatkan fluida yang akan dianalisa. Berbagai bidang penelitian dapat diaplikasikan melalui analisa di dalam saluran chip tersebut, seperti diagnosa medis, pengurutan genetik, produksi kimia, penemuan obat baru, dan proteomik (Nam-Tung et al., 2002). Dalam penelitian ini, saluran di dalam chip *microfluidic* dilewatkan dedak gandum dengan ukuran mikron. Dedak gandum adalah penutup luar kasar yang melapisi gandum kernel, dipisahkan dan dibersihkan dari proses milling komersial : IFN 4-05-190 *wheatbran* (Blair, 2008).

Dedak gandum merupakan material granular. Material granular menampilkan berbagai sifat yang berbeda dengan bahan lain sehingga sulit diklasifikasikan sebagai padatan atau cairan (Nagel, 1992). Pada penelitian ini digunakan material granular basah yang memiliki karakteristik yang merupakan kombinasi dari padatan dan cairan. Material ini memiliki sudut permukaan yang tidak biasanya ditampilkan oleh cairan sederhana; memiliki kekuatan tarik, tidak seperti air; memiliki tegangan geser yang terbatas; dan memiliki ruang fase yang terbatas untuk bersatu dengan material yang sama (Nori, 2006).

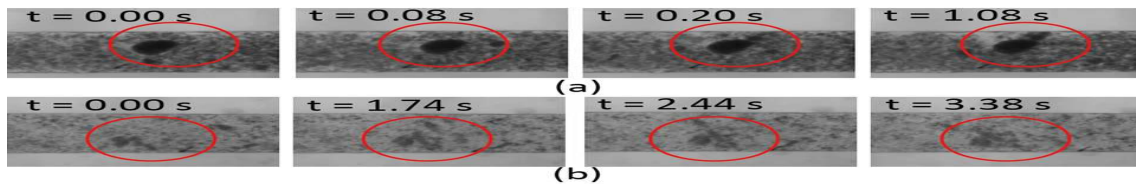
Penelitian tentang aliran material granular telah banyak dilakukan, diantaranya aliran material granular pasir di dalam corong (Nagel dan Jaegar, 1992); teori hukum konstitutif dari material granular (Pouliquen et al., 2006) Penelitian yang dilakukan sebelumnya berfokus pada material granular yang cenderung memiliki ukuran diameter yang sama dan tidak berubah, yaitu pasir atau bola kecil dengan diameter yang sama. Akan tetapi, material granular pertanian seperti dedak gandum dengan ukuran mikro belum pernah dilakukan. Berdasarkan hal tersebut, tujuan penelitian ini untuk menganalisa aliran dari material granular dedak gandum pada saluran *microfluidic* dan memberikan saran untuk konsep desain chip untuk pencampuran dedak gandum dan air terionisasi. Desain chip ini akan digunakan untuk teknologi *droplet microfluidics* untuk menemukan organisme baru dari material dedak gandum.

## METODE

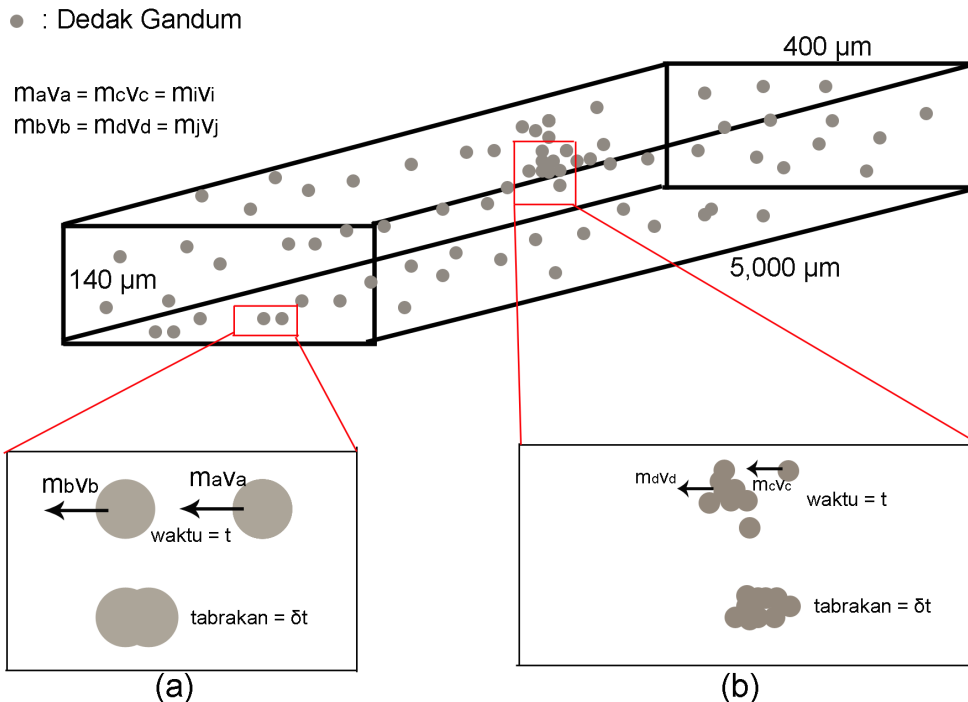
Penelitian ini dilakukan selama enam bulan di laboratorium biokimia ESPCI Paris-tech, Paris, Prancis. Bahan yang digunakan yaitu : (1) Dedak gandum yang dimikronisasi dalam larutan aquoues (dengan ukuran maksimum 20 $\mu$ m) disediakan oleh Soufflet Groupe, Prancis; (2) Poly (dimethyl siloxane) (PDMS) tipe *Sylgard* dari Dow Corning; (3) Larutan SU8 2002 dan 2150 fotoreis negatif dari *Microchem*.

Alat yang digunakan yaitu : (1) Pompa syringe dari Harvard Pump PHP 2000 berfungsi untuk menyalurkan aliran sehingga aliran bisa sampai ke dalam chip; (2) Kamera kecepatan tinggi *Phantom® v6.3* dari *Vision Research*, untuk merekam kejadian yang terjadi di dalam saluran mikro pada chip; (3) *AutoCAD 2008 student version* dari *Autodesk* digunakan untuk mendesain *mask*; (4) Syringe (plastik, polypropilen) dari B. Braun Melsungen AG, berfungsi sebagai tempat penampungan fluida; (5) Poly (tetra fluoro ethylene) (PTFE) (Teflon®) tubing dari Adtech Polymer Eng LTD, sebagai tempat aliran fluida mengalir; (6) Spin coater dari SUSS Microtec, untuk membuat lapisan PDMS menjadi seragam; (7) UV photo mask aligner dari *Susstec MJB4*, berfungsi untuk menciptakan alur saluran pada lapisan PDMS sehingga terbentuk cetakan; (8) Software *Dektak®* mechanical profilometer, untuk mengecek apakah tinggi ukuran saluran sesuai; (9) Mesin sentrifugal EBH-21 Hettich Zentrifugen, untuk mencampurkan PDMS dan curing agen menjadi homogen; (10) Vacuum suction KNF Lab Laboport, untuk mengeluarkan udara yang terdapat pada cairan material granular; (11) Software FLEX PDE *student version 6.32* untuk membuat simulasi aliran fluida.

Proses pembuatan chip *microfluidic* adalah sebagai berikut, pertama diawali dengan pembuatan *mask* yang menggunakan software *AUTOCAD 2008 student version*, kemudian *mask* dicetak di Selba S.A. di Swiss. Kedua, dilakukan proses fotolitografi terhadap hasil cetakan untuk menghasilkan struktur tiga dimensi pada *master*. Ketiga, larutan PDMS (Polydimethyl Siloxane) monomer dan *curing agent* dicampur untuk menghasilkan larutan baru dan kemudian dituangkan ke dalam master lalu di oven selama 30 menit pada suhu 90°C. Keempat, hasil cetakan kemudian diikat dengan kaca melalui teknologi plasma, yang sebelumnya diberikan lubang untuk input dan output. Ukuran saluran *microfluidic* adalah 400  $\mu$ m x



**Gambar 1.** Aliran Material Granular Dedak Gandum di dalam Saluran *Microfluidic* dengan menggunakan kamera kecepatan tinggi.



**Gambar 2.** Ilustrasi bagaimana tabrakan inelastik antar partikel yang menyebabkan terjadinya gumpalan.

140  $\mu\text{m}$  x 5,000  $\mu\text{m}$ .

Selanjutnya, dilakukan pengujian *microfluidics*. Saluran di dalam chip *microfluidic* dialiri oleh dedak gandum yang telah dimikronisasi dan dicampur dengan air terionisasi (50% v/v) dengan kecepatan 5,000  $\mu\text{l}/\text{jam}$  kemudian direkam menggunakan kamera kecepatan tinggi. Pengamatan dari hasil video disimulasikan dengan menggunakan *software* FLEX PDE student version 6.32.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil rekaman video pada Gambar 1 terlihat bahwa terdapat kondisi macet dalam selang waktu tertentu. Hal ini disebabkan oleh tabrakan inelastik dari dedak gandum tersebut. Tabrakan inelastik adalah suatu kejadian ketika dua partikel bertabrakan satu sama lain akan tetapi tidak memantul atau menjauh se-

telah terjadi tabrakan, melainkan menempel antara satu dengan yang lain (Zohdi, 2003). Partikel-partikel yang menempel ini akan membentuk suatu partikel yang lebih besar dan dalam selang waktu tertentu akan menghambat aliran dan menyebabkan kemacetan di dalam aliran. Interaksi dari tabrakan inelastik ini juga membuktikan aliran dedak gandum bersifat fluida non-newtonian (Chhabra dan Richardson, 2008). Fluida non-newtonian memiliki kurva tegangan geser dan viskositasnya tidak linear.

Pola tabrakan antara partikel dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2, Zohdi, 2003 telah menganalisa mengenai bagaimana reaksi untuk dua partikel ketika tabrakan, partikel a dan partikel b maupun partikel c dan gumpalan partikel d, dengan arah normal ke arah tabrakan, konservasi momentum sebelum tabrakan pada waktu ( $t$ ) dan setelah tabrakan ( $t+\Delta t$ ), adalah pada persamaan (1), dan

(Nagel dan Jaegar, 1992) menyatakan energi kinetik yang hilang akibat tabrakan antara suatu biji granular dengan diameter  $D$ , massa  $m$ , dan kecepatan relatif  $D\gamma$  pada arah  $x$  menyebabkan terjadinya gaya gesek rata-rata pada persamaan (2). Dari hasil pengamatan, terlihat bahwa dedak gandum membentuk suatu bentuk yang baru ketika tabrakan, dan semakin lama semakin besar.

$$m_i v_{in}^t + m_j v_{jn}^t = m_i v_{in}^{t+\delta t} + m_j v_{jn}^{t+\delta t} \quad (1)$$

$$F_k = \left( \frac{dE_{kin}}{dx} \right) = \frac{mD^2}{2\lambda_c} \gamma^2 \quad (2)$$

Dari Persamaan (1) dan (2),  $m$  adalah massa dan  $v$  adalah kecepatan,  $m_i$  merupakan sebuah material granular yang berada di belakang granular lainnya dan bergerak dengan kecepatan  $v_i$ , dan  $m_j$  merupakan sebuah material granular bergerak dengan kecepatan  $m_j$  yang berada di depan material granular lainnya yang bergerak ke arahnya.

Setelah melihat pola tabrakan, selanjutnya dianalisis pola pergerakan fluida campuran dedak gandum dan air terionisasi, dengan menggunakan persamaan Navier-Stokes (3). Persamaan ini telah digunakan untuk menganalisa berbagai macam pola aliran di dalam fluida, diantaranya untuk pengamatan tanah (Narsilo et al., 2009), dan studi numerik untuk dua dimensional hidrodinamika dari granular (Almazan et al., 2009). Pada persamaan Navier-Stokes,  $v$  merupakan kecepatan,  $\rho$  merupakan densitas,  $p$  merupakan tekanan,  $\gamma$  adalah viskositas,  $\Delta^2$  adalah operasi laplacian, dan  $f$  adalah gaya. Di titik saat terjadi gumpalan, baik pada  $t = 0.00$  detik hingga  $t = 1.08$  detik,  $\frac{\partial v}{\partial z}$  dan  $\frac{\partial p}{\partial z}$  bernilai 0. Kemudian viskositas total adalah penjumlahan antara viskositas air ( $\gamma_{air}$ ) dan tegangan permukaan dedak gandum ( $\gamma_{air}$ ).

$$\frac{dv}{dt} = -(v \cdot \nabla) \cdot v - \frac{1}{\rho} \nabla p + \gamma \nabla^2 v + f \quad (3)$$

Fluks untuk fluida pada material granular basah dijelaskan oleh (Philips et al., 1992) pada persamaan (4), di mana  $J$  adalah fluks,  $K_c$  dan  $K_\mu$  adalah koefisien,  $a$  adalah radius partikel,  $\mu$  menunjukkan suspensi viskositas efektif, dan  $\gamma$  adalah magnitude dari gradien kecepatan bulk. Dari persamaan ini terlihat bahwa fluida pada penelitian ini memiliki pergerakan yang dipengaruhi oleh : ukuran partikel, konsentrasi, gaya geser, gaya gesek, gradien konsentrasi, gradien gaya geser, dan gradien gesekan. Pada penelitian ini, diameter ( $\phi$ ) yang digunakan adalah  $2 \times 10^{-7} m$ , dikarena-

kan diameter granular material yang digunakan adalah  $200 \mu m$ , dan merupakan hasil pengukuran. Oleh karena itu, persamaan (4) menjadi persamaan (5).

$$J = -K_c a^2 \nabla (\phi \gamma) - K_\mu a^2 \frac{\gamma \phi^2}{\mu} \nabla \mu \quad (4)$$

$$J = -2K_c a^2 10^{-7} \nabla (2\gamma 10^{-7}) - K_\mu a^2 \frac{\gamma (2 \times 10^{-7})^2}{\mu} \nabla \mu \quad (5)$$

Dari pengamatan melalui video, kemudian dibuat simulasi dua dimensi untuk dapat menganalisa pola aliran yang terjadi akibat dari kondisi macet tersebut. Hasil simulasi pola aliran dapat dilihat dari Gambar 3. Ketika terjadi kemacetan akibat dari tabrakan inelastik, pola aliran berubah, dan ketika energi telah cukup, maka gumpalan akan terpecah dan aliran akan berjalan seperti normal kembali. Simulasi tekanan yang terjadi di dalam saluran dapat dilihat pada Gambar 4. Tekanan saat gumpalan semakin besar terlihat terdistribusi lebih besar dibandingkan saat gumpalan semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh karena saat terjadi gumpalan lebih besar, saluran menyempit, sehingga luas areal permukaan semakin kecil, dan tekanan berbanding terbalik dengan luas permukaan, sesuai dengan rumus  $P = F/A$ .  $P$  adalah tekanan,  $F$  adalah gaya dan  $A$  adalah luas permukaan.

Persamaan yang digunakan untuk simulasi adalah turunan dari persamaan umum Navier-Stokes (3). Sampai saat ini, belum ada satu orang pun yang dapat memecahkan persamaan umum Navier-Stokes dan kami hanya menurunkan persamaannya agar dapat dibuat simulasi, dan tidak memecahkan persamaan umumnya. Persamaan diturunkan dengan asumsi sebagai berikut, fluks pada sumbu  $z$  diasumsikan  $= 0$ , sehingga  $\frac{\partial v}{\partial z} = 0$  dan  $\frac{\partial p}{\partial z} = 0$ . Kemudian gaya  $f = 0$ ,  $\Phi$  adalah kecepatan potensial,  $v$  adalah kecepatan,  $p$  adalah tekanan dan  $p_0$  adalah tekanan atmosfer, dan  $v = \nabla \Phi$ ,  $v_z = 0$ ,  $v_m$  adalah kecepatan mesh, dan  $v_{x0}$  adalah kecepatan di sumbu  $x$  pada saat  $t = 0$ , dan kondisi batas (*boundary condition*)  $\delta v = 0$ , sehingga didapat persamaan sebagai berikut :

$$v_x = \Phi \partial_x v_x = \Phi \partial_x \quad (6)$$

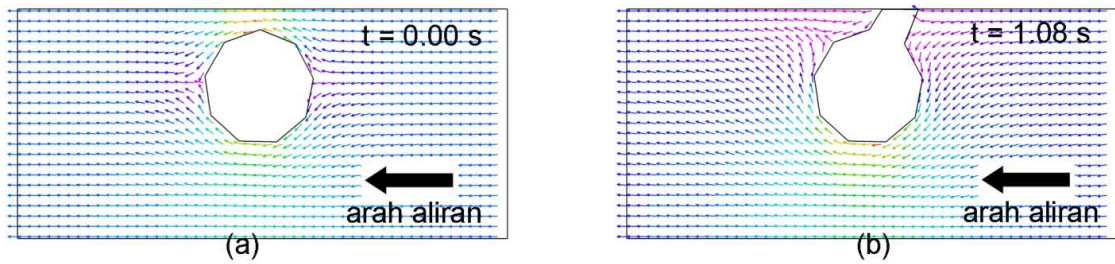
$$v_y = \Phi \partial_y v_y = \Phi \partial_y \quad (7)$$

$$v^2 = (v_x)^2 + (v_y)^2 \quad v^2 = (v_x)^2 + (v_y)^2 \quad (8)$$

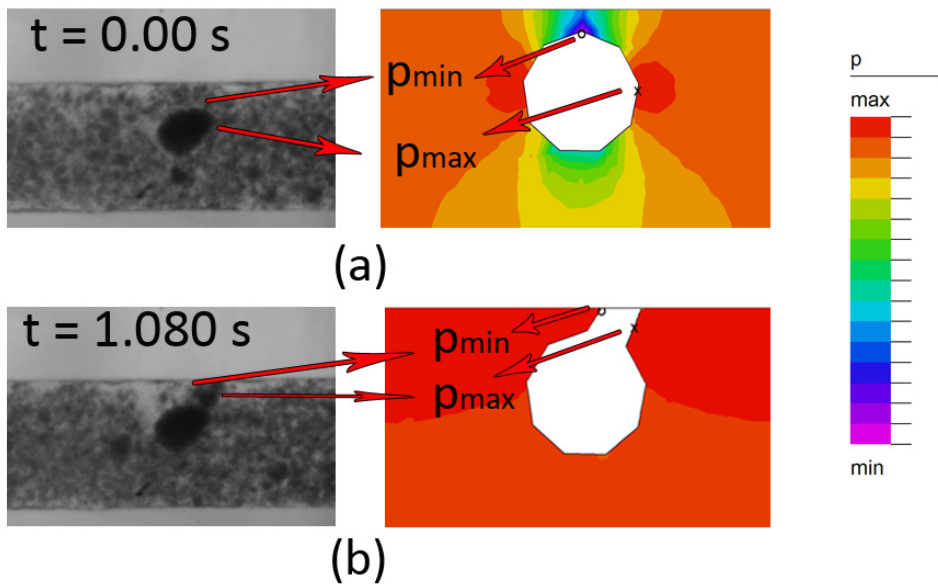
$$p = p_0 + 0.5 \rho (v_{x0}^2 - v_m^2) \quad (9)$$

$$\nabla \cdot v = \text{div } v = v_x \partial_x + v_y \partial_y \quad (10)$$

Dengan melihat karakteristik aliran flu-



**Gambar 3.** Hasil Simulasi pola aliran dengan menggunakan software FLEX PDE *student version* 6.32.



**Gambar 4.** Hasil Simulasi Distribusi Tekanan dengan menggunakan software FLEX PDE *student version* 6.32.

ida di atas, yaitu non-newtonian dan memiliki sifat inelastik, maka dapat disimpulkan bahwa dalam rentang waktu tertentu akan terjadi kemacetan di dalam saluran mikro tersebut. Penerapan dari teori ini adalah untuk pembuatan *droplet* atau tetesan dalam skala mikro atau disebut juga *droplet microfluidics*. Teknologi *droplet microfluidics* merupakan teknologi yang meminiaturisasikan fluida dalam skala mikro dalam bentuk *droplet* (The, et al. 2008).

Salah satu tujuan dari teknologi *droplet microfluidics* itu sendiri adalah untuk mendapatkan *droplet* dengan ukuran seragam. Apabila terdapat kemacetan dalam saluran mikro, *droplet* yang dihasilkan tidak seragam dan bervariasi. Ketidakseragaman ini akan membuat analisa *droplet* menjadi lebih sulit.

#### PENUTUP

Dari penelitian ini dapat disimpulkan

bahwa aliran material granular dari dedak gandum menunjukkan sifat fluida non-newtonian, dan tabrakan inelastik, sehingga dalam rentang waktu tertentu akan menyebabkan kemacetan di dalam saluran *microfluidic*.

Saran untuk desain *mixing* untuk material granular dedak gandum adalah desain dengan saluran berulang-ulang dengan tujuan agar apabila terdapat macet di salah satu aliran, aliran dapat terdistribusi melalui saluran yang lain.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada GRUPPE SOUFFLET yang telah mendanai penelitian ini dan kepada BPKLN DIKNAS atas beasiswa *Double Degree* Indonesia Prancis yang telah diberikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Almazan, L. J., Saluena C., Garzo, V., Poschel, T. 2013. A numerical study of the Navier–Stokes transport coefficients for two-dimensional granular hydrodynamics. *New Journal of Physics*, **15**.
- Blair, R. 2008. *Nutrition and Feeding of Organic Poultry*, UK, Cromwell Press, Trowbridge.
- Bruus, H. 2008. *Theoretical Microfluidics*, New York, Oxford University Press.
- Nagel, S.R., Jaegar, H. M. 1992. Physics of the Granular State. *Science*, **255**, 1523-1531.
- Nam-Tung, N., Steven, W. T. 2002. *Fundamentals and applications of microfluidics*, Norwood, Artech House.
- Narsilio G.A., O. B., Fityus, S., Yum, T.S., Smith, D.W. 2009. Upscaling of Navier–Stokes equations in porous media: Theoretical, numerical and experimental approach. *Computer and Geotechnics*, **36**, 1200-1206.
- Nori, N. M. 2006. Wet granular materials. *Advances in Physics*, **55**, 1-45.
- Philips, R. J., Armstrong, R.C., Brown, R.A., Graham, A.L. and Abbott, J.R. 1992. A constitutive equation for concentrated suspensions that accounts for shear-induced particle migration. *Physics Fluids*, **4**, 30-40.
- The, S.Y., Lin, R., Hung, L.H., Lee, A.P. 2008. Drop-let microfluidics. *Lab on a Chip* **8**(2): 198-220.
- Zohdi, T. I. 2003. Large-scale statistical inverse computation of inelastic accretion in transient granular flows. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, **38**, 1205-1219.