

PENGUKURAN DENSITAS BAHAN ORGANIK BERSKALA MILLI-LITER (mL) DENGAN METODE LEVITASI MAGNETO-ARCHIMEDES MENGGUNAKAN SUMBER MAGNET TUNGGAL

David Adi Sucipto¹, Gancang Saroja¹, Lailatin Nuriyah¹

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya, Malang

Email : david_fis08@yahoo.co.id

Abstrak

Densitas bahan merupakan suatu parameter yang dapat memberikan informasi keadaan fisika dan kimia suatu bahan. Dalam laboratorium riset, pengukuran densitas bahan sampel menjadi tahapan yang sangat penting karena densitas bahan merupakan representasi dari populasi sample. Saat ini, masih diperlukan cara pengukuran densitas sampel berukuran kecil dengan metode yang sederhana, tidak mahal, praktis, cepat, serta memiliki keakuratan yang tinggi. Metode levitasi Magneto-Archimedes merupakan metode mengukur densitas bahan dengan cara melevitasi bahan diamagnetik didalam suatu fluida magnetik, dengan memberikan gradien medan magnet pada fluida magnetik, bahan yang ingin diketahui densitasnya akan terlevitasi dengan ketinggian sebagai fungsi dari densitas dan suseptibilitas dari bahan dan fluida magnetik serta kuat medan magnet yang digunakan. Dalam penelitian ini digunakan fluida magnetik *Manganese(II) Chloride Tetrahydrate* ($MnCl_2 \cdot 4H_2O$) dan sumber medan dari magnet permanen *Neodimium* (NIB atau NdFeB). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai densitas dari sampel bahan berupa keju yang memiliki densitas sebesar $1265 \pm 21 \text{ kg/m}^3$, putih telur sebesar $1320 \pm 48 \text{ kg/m}^3$, dan daging sapi sebesar $1550 \pm 75 \text{ kg/m}^3$.

Kata kunci : densitas, levitasi, magneto-archimedes.

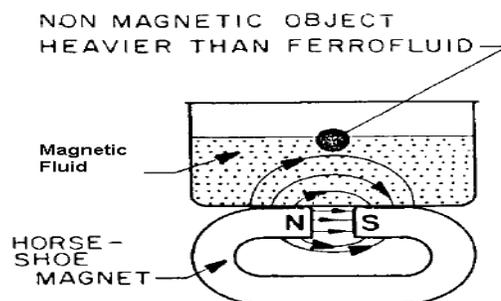
PENDAHULUAN

Salah satu sifat fisika dari suatu benda adalah densitas atau rapat massa. Densitas bahan merupakan suatu parameter yang dapat memberikan informasi keadaan fisika dan kimia suatu bahan. Di laboratorium analisis industri terutama industri pangan atau kesehatan, sampel bahan yang sering digunakan adalah berupa bahan-bahan organik^[6]. Bahan organik merupakan kumpulan beragam senyawa-senyawa organik kompleks yang sedang atau telah mengalami dekomposisi, baik berupa humus hasil humifikasi maupun senyawa-senyawa anorganik hasil mineralisasi maupun mikroba heterotrofik dan ototrofik yang terlibat didalamnya^[2].

Berbagai alat digunakan untuk mengukur densitas bahan yang berukuran kecil antara lain dengan *floating bulb hydrometer*, kolom gradien, piknometer, densitimeter tabung osilasi, dan

resonator saluran mikro tersuspensi^[3]. Namun demikian, penggunaan alat-alat tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing berkaitan dengan aspek kemudahan pengoperasian, portabilitas, dan biaya.

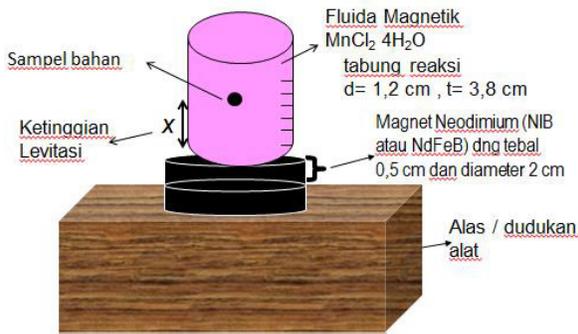
Salah satu sifat fisika fluida magnetik adalah dapat melevitasi benda-benda diamagnetik ketika berada dalam fluida magnetik yang dipengaruhi medan H . Sifat fluida magnetik tersebut telah digunakan untuk pemisahan batu bara berbasis perbedaan densitas^[7]. Metode levitasi Magneto-Archimedes merupakan salah satu metode levitasi magnetik yang dapat dimanfaatkan dalam pengukuran densitas bahan organik dengan cara melevitasi bahan didalam suatu fluida magnetik.



Gambar 1 Levitasi magnet pada benda diamagnetik dalam fluida magnet^[4].

METODOLOG

Dalam penelitian ini digunakan sampel bahan organik keju, putih telur, dan daging sapi dengan ukuran $\pm 2\text{mL}$. Pada saat sampel yang bersifat diamagnetik dimasukkan kedalam larutan *Manganese(II) Chloride Tetrahydrate* ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) yang bersifat paramagnetik maka sampel akan dapat mengalami levitasi. Sebagai pembangkit medan magnet digunakan magnet permanen berbahan Neodimium (NIB atau NdFeB).



Gambar 3 Alat Eksperimen

Dalam keadaan tersebut, berlaku persamaan berikut.

$$\vec{F} = \vec{F}_g + \vec{F}_{mag} = (\rho_s - \rho_m)V\vec{g} + \frac{(\chi_s - \chi_m)}{\mu_0}V(\vec{B} \cdot \vec{\nabla})\vec{B} \quad 1$$

Pada saat terlevitasi stabil $\sum \vec{F} = 0$, maka persamaan diatas dapat ditulis kembali dalam bentuk sebagai berikut :

$$(\rho_s - \rho_m)V\vec{g} = \frac{(\chi_s - \chi_m)}{\mu_0}V(\vec{B} \cdot \vec{\nabla})\vec{B} \quad 2$$

Dalam Sistem koordinat Cartesian 3D dimana sumbu x sejajar dengan arah vektor gravitasi, $\vec{g} = (-g, 0, 0)$, dengan membagi kedua ruas dalam persamaan dengan volume dan percepatan gravitasi^[1], maka persamaan diatas dapat dituliskan :

$$\rho_s = \frac{(\chi_s - \chi_m)}{\mu_0 g}(\vec{B} \cdot \vec{\nabla})\vec{B} + \rho_m \quad 3$$

dimana, ρ_s densitas dari benda diamagnetik (kg/m^3), ρ_m adalah densitas dari fluida magnetik (Kg/m^3), V adalah volume dari benda (m^3), \vec{g} percepatan gravitasi (m/s^2), χ_s adalah suseptibilitas magnet benda diamagnetik, χ_m adalah suseptibilitas magnet dari fluida magnet, μ_0 adalah permeabilitas magnet dari hampa ($= 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$), serta

\vec{B} adalah induksi magnet (T)^[3]. Vektor dari fluk magnet B dapat dihitung dengan persamaan :

$$(\vec{B} \cdot \vec{\nabla})\vec{B} = B_x \frac{\partial B_x}{\partial x} \quad 4$$

$$B_x(x) = \frac{B_0}{2} \left[\frac{L+x}{\sqrt{R^2 + (L+x)^2}} - \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right] \quad 5$$

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} = \left[\frac{B_0}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{R^2 + (L+x)^2}} - \frac{(L+x)^2}{\sqrt{(R^2 + (L+x)^2)^3}} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + x^2}} + \frac{x^2}{\sqrt{(R^2 + x^2)^3}} \right] \right] \quad 6$$

dimana, x merupakan ketinggian sampel saat terlevitasi (m) atau dalam eksperimen ini diberi lambang h , R adalah jari-jari magnet (m), L adalah tebal magnet (m).

Persamaan 3 diatas merupakan persamaan yang digunakan dalam menentukan densitas sampel (bahan diamagnetik) yang digunakan pada eksperimen ini berdasarkan metode Magneto-Archimedes menggunakan magnet tunggal (*single magnetic*).

Sebagai perbandingan dilakukan pengukuran densitas sampel secara langsung. Sampel bahan yang digunakan diukur massanya dengan menggunakan neraca Electronic Precision Scale/Balance seri BEB BOECO, Germany. Massa jenis suatu benda adalah massa benda itu dibagi dengan volumenya^[8]. Dapat ditulis dengan persamaan:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad 7$$

Dimana m adalah massa suatu benda yang merupakan ukuran banyak zat yang terkandung dalam suatu benda. Sedangkan massa jenis atau densitas (ρ) adalah besaran yang menunjukkan perbandingan antara massa dengan volume suatu benda dan V adalah volume dari benda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data ketinggian levitasi yang diperoleh ini digunakan untuk menghitung nilai densitas sampel bahan organik menggunakan persamaan 3. Selain ketinggian levitasi, untuk menghitung nilai densitas sampel bahan terdapat beberapa variabel lain yaitu densitas fluida magnetik (ρ_m), susceptibilitas dari fluida magnetik (χ_m), susceptibilitas dari sampel (χ_s) permeabilitas magnet diruang hampa ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$), \vec{g} percepatan gravitasi (m/s^2), serta induksi magnet (\vec{B}). Sedangkan, nilai susceptibilitas dari sampel (χ_s) adalah sangat kecil. Menurut^[5], nilai susceptibilitas dari sampel ($\chi_s = -1 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{mol}$) yang nilainya jauh lebih kecil dibandingkan nilai susceptibilitas dari fluida

magnetik ($\chi_m > \chi_s$). Oleh karena itu, di dalam perhitungan nilainya dapat diabaikan. Dari data-data tersebut kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari nilai densitas masing-masing sampel bahan menggunakan program *Microsoft excel* berdasarkan persamaan 3 dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk tabel.

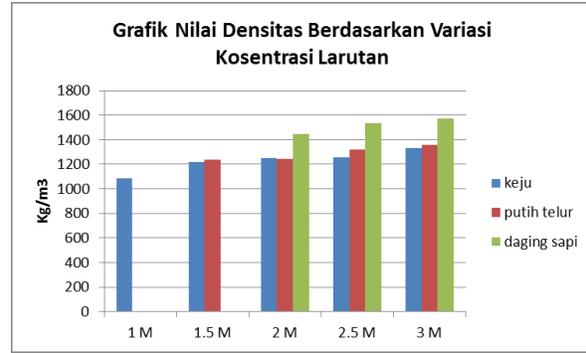
Tabel 1 Nilai densitas sampel bahan dengan Metode Magneto-Archimedes berdasarkan variasi kosentrasi larutan

Kosentrasi (M)	Bahan		
	Keju ρ_s (rata-rata) (kg/m ³)	Putih telur ρ_s (rata-rata) (kg/m ³)	Daging sapi ρ_s (rata-rata) (kg/m ³)
1	1084 ± 67	-	-
1,5	1219 ± 19	1241 ± 82	-
2	1251 ± 34	1247 ± 32	1448 ± 24
2,5	1260 ± 37	1318 ± 49	1537 ± 24
3	1335 ± 39	1359 ± 48	1570 ± 26

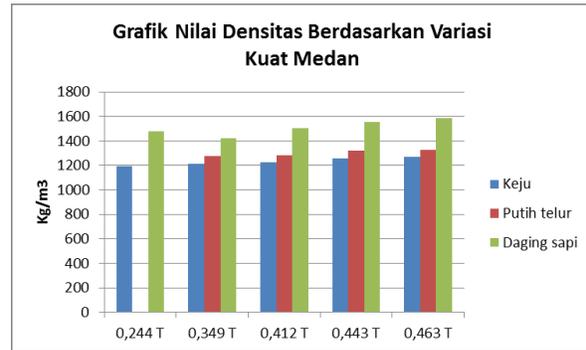
Tabel 2 Nilai densitas sampel bahan dengan Metode Magneto-Archimedes berdasarkan variasi kuat medan magnet

Medan Magnet B_o (T)	Bahan		
	Keju ρ_s (rata-rata) (kg/m ³)	Putih telur ρ_s (rata-rata) (kg/m ³)	Daging sapi ρ_s (rata-rata) (kg/m ³)
0,244	1192 ± 32	-	1476 ± 67
0,349	1212 ± 73	1274 ± 38	1419 ± 51
0,412	1224 ± 69	1283 ± 38	1505 ± 26
0,433	1258 ± 17	1317 ± 37	1552 ± 26
0,463	1270 ± 60	1324 ± 35	1586 ± 65

Berdasarkan hasil perhitungan densitas yang disajikan tabel diatas dapat dilihat bahwa ketiga sampel bahan organik memiliki pola data hasil yang sama. Pada kosentrasi yang sama dengan medan magnet yang berbeda nilai densitas sampel memiliki kecenderungan yang meningkat seiring bertambah besarnya medan magnet, begitu pula yang terjadi pada kondisi kosentrasi berbeda dan dengan medan magnet yang sama, densitas bahan juga cenderung meningkat sebanding dengan besarnya kosentrasi dari larutan.



Gambar 1 Nilai Densitas Sampel Bahan Berdasarkan Variasi Kosentrasi Larutan



Gambar 2 Nilai Densitas Sampel Bahan Berdasarkan Variasi Kuat Medan

Kecenderungan peningkatan nilai densitas sampel bahan saat diberi variasi kosentrasi dan kuat medan magnet dikarenakan pada saat terlevitasi sampel tidak berada pada sumbu sejajar (sumbu vertikal) dari medan magnet dan tabung. Kecenderungan peningkatan nilai densitas yang ditunjukkan Gambar 1 dan Gambar 2 sesuai dengan persamaan 3 yang digunakan untuk menentukan gradien kuat medan magnet yang diberikan pada saat pengambilan data. Pada saat posisi sampel melenceng dari sumbu sejajar medan magnet, maka kecenderungan nilai densitas sampel mengalami peningkatan juga semakin besar. Karena semakin jauh posisi sampel melenceng dari sumbu sejajar, maka semakin besar juga kesalahan perhitungan densitasnya.

Selanjutnya untuk mengetahui akurasi dari pengukuran densitas dengan menggunakan metode magneto-archimedes ini dilakukan pengukuran langsung. Kemudian dihitung densitasnya berdasarkan persamaan 7. Nilai densitas sampel bahan yang dihasilkan dengan pengukuran langsung digunakan sebagai pembandingan nilai densitas sampel yang diperoleh dengan metode magneto-archimedes.

Untuk mempermudah melihat perbandingan densitas ketiga sampel berdasarkan metode magneto-archimedes dengan pengukuran secara

langsung, maka akan disajikan tabel perbandingan sebagai berikut :

Tabel 3 Perbandingan densitas terbaik hasil eksperimen dengan hasil pengukuran langsung

Bahan	Magneto-Archimedes Pada konsentrasi 2,5M & B= 0,443T $\rho_s(\text{kg/m}^3)$	Pengukuran Langsung $\rho_s(\text{kg/m}^3)$
Keju	1265 ± 21	1261 ± 4
Putih telur	1320 ± 48	1319 ± 7
Daging sapi	1550 ± 75	1547 ± 10

Tabel 3 diatas menunjukkan bahwa nilai densitas dari kedua metode hampir mendekati. Hasil eksperimen yang menggunakan metode magneto-archimedes dengan konsentrasi 2,5M dan kuat medan magnet 0,443T memiliki nilai yang hampir mendekati dengan pengukuran langsung. Perbedaan antara kedua metode bisa dikatakan cukup kecil.

PENUTUP

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa metode levitasi Magneto-Archimedes dapat digunakan untuk mengukur densitas bahan organik yang berukuran kecil (mL). Ketinggian levitasi sampel bahan dipengaruhi oleh dua parameter yaitu konsentrasi fluida magnetik dan kuat medan yang digunakan pada proses pengukuran. Dari hasil penelitian diperoleh hasil terbaik untuk nilai densitas pada konsentrasi $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ sebesar 2,5 M dan pada kuat medan magnet 0,443T. Nilai densitas dari sampel adalah $1265 \pm 21 \text{ kg/m}^3$ untuk sampel keju, $1320 \pm 48 \text{ kg/m}^3$ untuk sampel putih telur, dan $1550 \pm 75 \text{ kg/m}^3$ untuk sampel daging sapi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Engel, Herbert, Hesjedal. T. 2005. *J. Appl. Phys.* 97. 074504.
- [2]Lynch, J. M. 1983. *Soil Biotechnology, Microbiological Factors in Crop Production*. Blackwell Scientific Publication. Oxford. London.
- [3]Mirica, Katherine A. Mirica, Scott T. Phillips, Charles R.M., and George M. Whiteside. 2010. *Magnetic Levitation in the Analysis of Foods and Water*. *J. Agric. Food Chem.* 58. 6565–6569.
- [4]Raj, K. 1987. *Ferrofluids- Properties and Applications , Materials & Design*. Vol 18No4.

[5]Sohnel, O . 1985.; Novotny, P. *Densities of Aqueous Solutions of Inorganic Substances*. Elsevier: New York, NY.

[6]Suyatno. 2008. *Menghitung Besar Sampel Penelitian*. FKM Undip Semarang. Akses tanggal 3 April 2013, dari www.suyatno.blog.undip.ac.id

[7]Svoboda, J. 2004. *Physical Separation in Science and Engineering*. Vol. 13. No. 3–4. pp 127–139.

[8]Tipler, P. A. 1998. *Fisika Untuk Sains dan Teknik. Jilid 2*. Erlangga. Jakarta.