

Metode Penentuan Diameter Gelembung Nano dengan Menggunakan Metode *Dynamic Light Scattering* berdasarkan Gerak Brownian Partikel

Irana Eka Putri^{a)} dan Grace G Redhyka

Unit Pelaksana Teknis Balai Pengembangan Instrumentasi,
Lembaga Ilmu Pengathuan Indonesia,
Bandung, Indonesia, 40135

^{a)} iran003@lipi.go.id (corresponding author)

Abstrak

Telah dilakukan studi awal metode pengujian berupa teknologi pengukuran untuk menentukan diameter gelembung berukuran nanometer (gelembung nano) dengan menggunakan metode *dynamic light scattering* (DLS). Gelembung nano memiliki karakteristik yang unik dibandingkan gelembung makroskopik pada umumnya, yaitu *lifetime* apung dalam medium cair yang lebih lama. Pada paper ini, digunakan metode berupa pendekatan secara numerik dengan menggunakan persamaan gerak Brownian untuk mensimulasikan faktor korelasi skema pengujian gelembung nano. Gerak Brownian merupakan satu metode yang umum digunakan untuk menentukan diameter partikel akibat adanya gerak translasi dan rotasi suatu partikel yang konstan dalam suatu medium. Dari hasil pendekatan secara matematika, pengukuran diameter gelembung dapat dilakukan dengan adanya pengaruh koefisien difusi (D), panjang gelombang laser yang digunakan harus kecil (laser ungu, nila, dan hijau), dan penurunan persamaan Stokes-Einstein. Dengan menggunakan hasil tersebut, pengukuran diameter gelembung juga dapat dilakukan secara *real time* (fungsi waktu) terhadap domain frekuensi. Berdasarkan hasil tersebut digunakan untuk menyusun skema aparatus percobaan pengukuran ukuran partikel yang terstandarisasi.

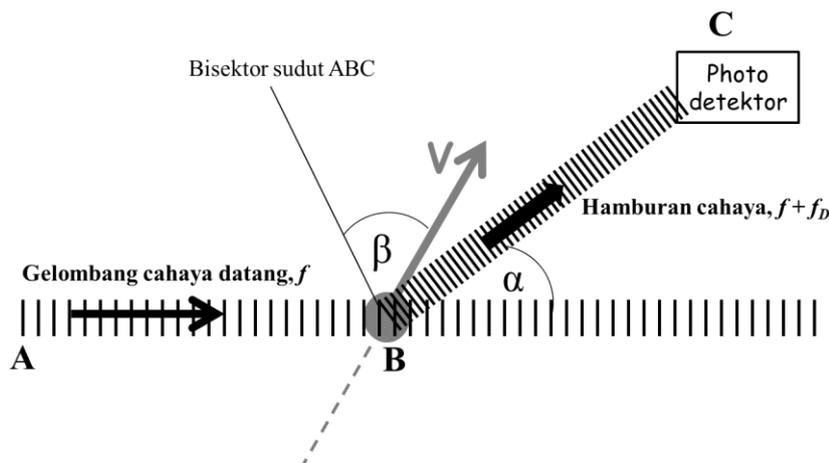
Kata-kata kunci: *Dynamic light scattering, gelembung nano, diameter gelembung, gerak Brownian, persamaan Stokes-Einstein.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi molekular makro mulai menemukan tujuan yang diharapkan pada awalnya, seperti salah satu contohnya yaitu pemanfaatan gelembung nano dalam berbagai kebutuhan manusia sehari-hari, [1-3]. Gelembung nano memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan dengan gelembung makro pada umumnya, yaitu sekitar <200 nm. Selain itu, karakteristik yang dimiliki juga cukup unik yaitu daya apung dalam medium fluida yang lebih lama dibandingkan dengan gelembung makro pada umumnya karena adanya tegangan permukaan negatif yang disebut dengan potensial zeta, [4]. Akan tetapi, gelembung nano tetap saja akan mengalami pembesaran ukuran dan akhirnya meletus seperti halnya gelembung air pada umumnya.

Dynamic light scattering merupakan salah satu metode umum yang digunakan untuk menentukan ukuran partikel dengan cara memfokuskan berkas sinar monokromatis (laser) ke medium sampel berbentuk sferikal yang terlarut pada medium cairan dan bergerak menurut konsep gerak Brownian. Pola gerak Brownian pada partikel tersebut menyebabkan pergeseran Doppler ketika sinar menembak ke partikel yang bergerak dan menyebabkan perubahan panjang gelombang cahaya datang (Gambar 1) [5]. Peristiwa inilah yang digunakan untuk mengamati perbedaan ukuran partikel tersebut. Metode ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan

metode lain, yaitu antara lain waktu pengukuran yang lebih singkat, tidak menghancurkan komposisi sampel, dan tidak membutuhkan proses kalibrasi, [6].



Gambar 1. Skema hamburan cahaya partikel yang bergerak melewati gelombang cahaya datang (f_D , pergeseran Doppler; f , gelombang cahaya datang; V , kecepatan gerak partikel; α , sudut antara gelombang cahaya datang dan jarak partikel dari photodetektor; β , sudut antara vektor kecepatan dan bisektor sudut ABC.) [7].

Sampel pada penelitian ini menggunakan gelembung berukuran sangat kecil dan memiliki fase seperti koloid busa. Yaitu fase gas sebagai medium terdispersi dan fase cair sebagai medium pendispersi. Sehingga, pengamatan mengenai parameter yang dihasilkan dari peristiwa hamburan cahaya yang mengenai partikel gelembung yang terapung di dalam air perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat keefektifan metode yang digunakan untuk proses pengamatan atau pengujian.

METODE DYNAMIC LIGHT SCATTERING

Karakteristik Fisis Gelembung Nano

Gelembung nano merupakan contoh dari peristiwa koloid busa atau buih, dimana fase terdispersinya adalah gas dan fase pendispersinya adalah cair. Keunikan karakteristik gelembung nano merupakan akibat dari adanya peristiwa tegangan permukaan (γ) yang lebih tinggi dibandingkan gelembung biasa. Sehingga dapat berpengaruh pada diameter gelembung yang dihasilkan (d). Tegangan permukaan yang dimaksudkan tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan Young-Laplace yang mendeskripsikan perbedaan antara tekanan di dalam (P_g) dan di permukaan (P_l) gelembung gas tunggal dalam bentuk sferikal seperti pada persamaan (1) berikut ini, [8].

$$P_g = P_l + \frac{2\gamma}{d} \tag{1}$$

Secara teoritis, diameter gelembung nano dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini, [9].

$$d = \log^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (F_i \log \bar{d}_i)}{\sum_{i=1}^n F_i} \right] \tag{2}$$

dimana n adalah jumlah interval data pengukuran, F_i adalah frekuensi relatif dari interval ke- i (%), \bar{d}_i adalah hasil dari $(d_i \times d_{i+1})^{1/2}$ (nm atau μm), dimana d_i merupakan ukuran yang terkecil dan d_{i+1} merupakan ukuran yang terbesar dalam range interval i .

Teori Dynamic Light Scattering

Teori ini menjelaskan mengenai konsep sebuah sumber cahaya dari laser yang ditembakkan ke sebuah partikel dan mengakibatkan terjadinya hamburan cahaya. Cahaya yang terhambur dapat dideteksi dengan menggunakan tabung photomultiplier, yaitu sebuah instrumen yang menghasilkan perbandingan arus dari hasil perbandingan energi penyerapan foton dan amplifier. Ketika cahaya dipantulkan dari sebuah partikel yang bergerak, maka frekuensi cahaya yang terhambur kemudian dibelokkan akibat pengaruh kecepatan partikel tersebut. Sehingga, kecepatan partikel bergerak dapat diketahui dari pengamatan pergeseran frekuensi yang dihasilkan. Berdasarkan Gambar 1 di atas, intensitas hamburan cahaya yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) berikut ini.

$$f_D = \frac{2V}{\lambda} \cos \beta \sin \frac{\alpha}{2} \tag{3}$$

Secara teoritis, partikel udara tidak dapat menghamburkan cahaya tampak secara sama. Tetapi, hanya menghamburkan cahaya dengan panjang gelombang yang lebih pendek (ungu, nila, dan hijau). Hal tersebut dikarenakan ukuran molekul udara yang lebih kecil dibandingkan cahaya tampak. Teknologi yang digunakan untuk menggambarkan hasil pencitraan tersebut adalah *optical coherence tomography* (OCT). Teknologi OCT ini mampu melakukan pencitraan untuk jenis sampel yang tipis, transparan, dan berskala nanometer yang selama ini banyak digunakan di aplikasi medis untuk mengamati jaringan pada mata manusia [10-12]. Selain itu, teknologi ini juga memiliki keunggulan yaitu resolusinya yang tinggi

HASIL ANALISA GERAK BROWNIAN PADA GELEMBUNG NANO

Teori gerak Brownian adalah pendekatan sederhana untuk memodelkan suatu sistem non-setimbang yang dinamis. Gerak Brownian suatu partikel didefinisikan sebagai suatu gerakan acak dari partikel yang sangat kecil (diameternya sekitar 1 μm) dalam medium fluida dengan massa jenis yang sama. Pada teori modern yang dikembangkan oleh Albert Einstein, gerak Brownian partikel dapat mempengaruhi nilai konstanta difusi partikel. Hal tersebut dinyatakan dalam persamaan (4) berikut ini, [5,13].

$$D = \frac{RT}{N_A 6\pi\eta a} = \frac{kT}{6\pi\eta a}, \tag{4}$$

dimana N_A adalah bilangan Avogadro ($N_A = 6,06 \times 10^{23}$ /mol), R adalah konstanta gas ideal, T adalah suhu, η adalah viskositas cairan medium, a adalah radius gerak Brownian dari partikel, dan k adalah konstanta Boltzman ($k = 1,380658 \times 10^{-23}$ JK⁻¹). Berdasarkan, tinjauan medium gelembung nano yang diasumsikan berupa fluida cair, dapat dituliskan dengan menggunakan persamaan umum terhadap domain waktu ($f(t)$) seperti pada persamaan (5) berikut ini.

$$\overline{f(t)} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+t} f(t) dt \tag{5}$$

Dimana, $f(t) = u_i = \overline{u_i} + u_i'$. Dan dengan adanya pengaruh kecepatan rata-rata aliran ($\overline{u_i}$) dalam persamaan umum terhadap domain waktu di atas maka posisi partikel dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (6) berikut.

$$\overline{u_i} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+t} (\overline{u_i} + u_i') dt \tag{6}$$

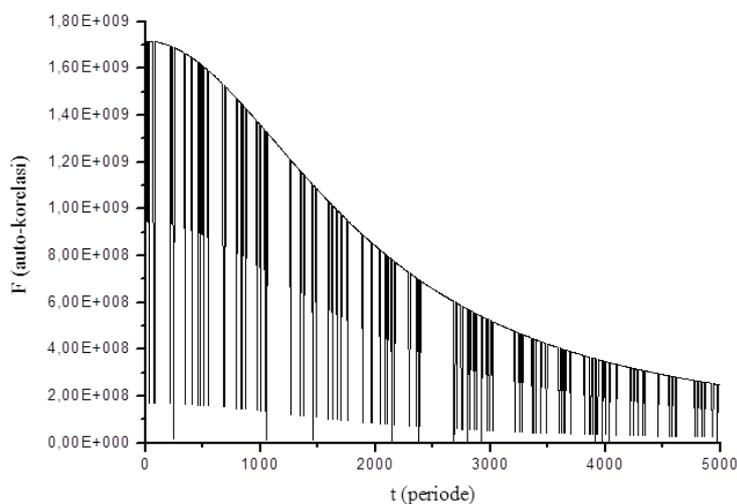
Partikel cahaya hanya menghamburkan cahaya dengan panjang gelombang pendek, seperti hijau, nila, dan ungu. Sehingga, untuk mengetahui faktor korelasi jenis gelombang cahaya yang digunakan terhadap fungsi diameter gelembung dan periode apung gelembung di dalam medium air, maka hubungan tersebut dapat dinyatakan pada Gambar 2 dengan menggunakan persamaan (7) berikut ini.

$$F(r, t) = F_0(r) \times \sum_j [r - r_j(t)] \tag{7}$$

Persamaan di atas menggunakan asumsi bahwa gelombang cahaya yang digunakan yaitu laser hijau dengan panjang gelombang 495-532 nm (F_0). Dari Gambar 2, dapat ditunjukkan bahwa korelasi yang dihasilkan yaitu korelasi negatif yang memiliki karakteristik korelasi *long-time* dengan nilai korelasi (Γ) sebesar 0,40851, artinya bahwa semakin besar ukuran gelembung yang dihasilkan dan semakin lama gelembung tersebut berada di dalam medium air, maka keefektifan laser hijau menangkap citra gelembung semakin berkurang. Hal tersebut dikarenakan gelembung yang membesar akan lebih sulit diamati dengan

menggunakan laser hijau. Nilai korelasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan korelasi Pearson seperti pada persamaan (8) berikut ini, [14].

$$\Gamma = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (8)$$



Gambar 2. Kurva korelasi r dan t terhadap jenis laser hijau

KESIMPULAN

Faktor kecepatan aliran air sebagai medium fluida apung mempengaruhi posisi gelembung selama berada di dalam medium air. Metode *dynamic light scattering* mampu melakukan pengukuran ukuran diameter gelembung gas dengan menggunakan prinsip gerak Brownian dengan menggunakan laser hijau sebagai referensi pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Pelaksana Teknis Balai Pengembangan Instrumentasi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, tim penelitian nanobubble, dan berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini.

REFERENSI

1. A. Agarwal, W. J. Ng, dan Y. Liu, *Principle and Application of Microbubble and Nanobubble Technology for Water Treatment*, *Chemosphere* **84** (2011), hal. 1175-1180.
2. K. Ebina, K. Shi, M. Hirao, J. Hashimoto, Y. Kawato, S. Kaneshiro, T. Morimoto, K. Koizumi, dan H. Yoshikawa, *Oxygen and Air Nanobubble Water Solution Promote the Growth of Plants, Fishes, and Mice*, *Plos One* **8** (2013) e65339.
3. S. Oshita dan S. Liu, *Nanobubble Characteristics and Its Application to Agriculture and Foods*, International Symposium on Agri-Foods for Health and Wealth, di Bangkok, Thailand, Volume: Proceedings of AFHW 2013, hal. 23-32 (2013).
4. F. Y. Ushikubo, T. Furukawa, R. Nakagawa, M. Enari, Y. Makino, Y. Kawagoe, T. Shiina, dan S. Oshita, *Evidance of the Existence and the Stability of Nano-bubbles in Water*, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* **361** (2010), hal. 31-37.

5. C. S. Kim, W. Qi, J. Zhang, Y. J. Kwon, dan A. Chen, *Imaging and Quantifying Brownian Motion of Micro- and Nanoparticles using Phase-Resolved Doppler Variance Optical Coherence Tomography*, *Journal of Biomedical Optics* **18** (2013), hal. 0305041-3.
6. A. Boualem, M. Jabloun, P. Ravier, M. Naiim, dan A. Mocha, *An Improved Bayesian Inversion Method for the Estimation of Multimodal Particle Size Distributions using Multiangle Dynamic Light Scattering Measurements*, 2014 IEEE Workshop on Statistical Signal Processing (SSP), di Gold Coast, VIC, *Proceeding of 2014 IEEE Workshop on Statistical Signal Processing (SSP)*, hal. 360-363 (2014).
7. F. Durst, A. Melling, dan J. H. Whitelaw, *Principle and Practice of Laser-Doppler Anemometry*, *Journal of Applied Mechanics* **437** (1981), 47019.
8. M. Matsumoto dan K. Tanaka, *Nano Bubble-Size Dependence of Surface Tension and Inside Pressure*, *Fluid Dynamics Research* **40** (2008), hal. 546-553.
9. ASABE Standards, *Standard Engineering Practices Data, chap. ASAE S318.4. Method of Determining and Expressing Fineness of Feed Materials by Sieving*, St. Joseph, USA, Volume: 56th edn (2009).
10. J. G. Fujimoto, C. Pitris, S. A. Boppart, dan M. E. Brezinski, *Optical Coherence Tomography: An Emerging Technology for Biomedical Imaging and Optical Biopsy*, *Neoplasia* **2** (2000), hal. 9-25.
11. B. H. Lee, E. J. Min, dan Y. H. Kim, *Fiber-based Optical Coherence Tomography for Biomedical Imaging, Sensing, and Precision Measurements*, *Optical Fiber Technology* **19** (2013), hal. 729-740.
12. Z. Ding, C. P. Liang, dan Y. Chen, *Technology Developments and Biomedical Applications of Polarizations-sensitive Optical Coherence Tomography*, *Frontiers of Optoelectronics* **8** (2015), hal. 128-140.
13. B. Lindner, *Diffusion Coefficient of a Brownian Particle with Friction Function by a Power Law*, *J. Stat. Phys.* **130** (2008), hal. 523-533.
14. M. T. Puth, M. Neuhäuser, dan G. D. Ruxton, *Effective Use of Pearson's Product-Moment Correlation Coefficient*, *Animal Behaviour* **93** (2014), hal. 183-189.