

## Pengaruh Frekuensi Vibrasi Terhadap Kualitas Lapisan Tipis Opal yang Disintesis dengan Metode Deposisi Horizontal

Yulia Eka Putri, Muldarisnur

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas  
Kampus Unand Limau Manis, Padang 25163 Indonesia

Info Artikel	ABSTRAK
<p><b>Histori Artikel:</b></p> <p>Diajukan: 10 Mei 2019 Direvisi: 20 Mei 2019 Diterima: 23 Mei 2019</p>	<p>Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi lapisan tipis opal menggunakan metode deposisi horizontal dengan penambahan frekuensi vibrasi. Sintesis dilakukan pada suhu ruang dengan variasi frekuensi vibrasi 75 Hz, 200 Hz, 300 Hz, dan 400 Hz menggunakan <i>speaker</i> dalam keadaan volume tetap. Karakterisasi dilakukan menggunakan Mikroskop Optik, SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) dan Spektrofotometer UV-Vis. Hasil mikroskop optik menunjukkan permukaan sampel dengan frekuensi vibrasi rendah lebih homogen dan tebal dibandingkan frekuensi vibrasi tinggi. Hasil SEM menunjukkan lapisan <i>multilayer</i> terbentuk pada semua sampel. Spektrum absorsi spektrofotometer UV-Vis menunjukkan nilai absorbansi maksimum tertinggi pada panjang gelombang 588 nm dengan nilai absorbansi 0,2. Semakin tinggi frekuensi vibrasi yang digunakan, semakin kecil nilai absorbansi dan nilai FWHM.</p>
<p><b>Kata kunci:</b></p> <p>Lapisan tipis opal polystyrene deposisi horizontal vibrasi</p>	
<p><b>Keywords:</b></p> <p><i>Thin layer opal polystyrene horizontal deposition vibration</i></p>	
<p><b>Penulis Korespondensi:</b></p> <p>Yulia Eka Putri Email: <a href="mailto:yuliaekaputri14@gmail.com">yuliaekaputri14@gmail.com</a></p>	<p><i>Thin opal films have been synthesized using horizontal deposition method modified applying the addition at frequency vibration. Synthesizing was carried out with at room temperature with frequency vibration of 75, 200, 300, and 400 Hz. Characterization was carried of using optical microscope, SEM (Scanning Electron Microscopy) and UV-Vis Spectrophotometer. Characterization with optical microscope shows that small frequency vibration thickness homogeneity of opal sample. SEM show that multilayer layer is all sample deposition with frequency vibration 75 Hz, 200 Hz, 300 Hz and 400 Hz. The UV-Vis spectra show that the highest maximum absorbance of 0,2 at wavelength of 588 nm for vibration frequency of 75 Hz. The higher the vibration speed, the smaller the maximum absorbance and the FWHM.</i></p>

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

### 1. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi optik sekarang ini masih bergantung pada piranti elektronik untuk melakukan fungsi seperti penguatan dan pengarahan *routing* sinyal. Komponen elektronik bersifat disipatif dan tidak mampu mengimbangi kecepatan transmisi sinyal pada serat optik (Bagad, 2008). Hal ini mendorong pengembangan sistem komunikasi yang sepenuhnya menggunakan piranti optik.

Kristal fotonik adalah struktur yang memiliki modulasi indeks bias secara periodik pada skala panjang gelombang cahaya. Kristal fotonik memiliki celah pita optik yang memungkinkan manipulasi

perambatan cahaya dan kontrol atas interaksi cahaya dengan bahan. Kristal fotonik, cahaya dapat dipandu tanpa pelemahan intensitas dan emisi spontan tidak diperbolehkan. Kristal fotonik dipercaya akan menjadi tulang punggung ideal untuk merealisasikan *all-optical chips* (Joannopoulos dkk., 2008). Sementara piranti optik dari kristal fotonik 1D dan 2D sudah mendekati tahap komersialisasi, struktur periodik 3D berkualitas tinggi masih sulit difabrikasi.

Ada dua pendekatan dalam fabrikasi kristal fotonik. Pendekatan *top-down* menggunakan teknik litografi sedangkan *bottom-up* dengan memanfaatkan kecenderungan alami partikel koloid untuk melakukan penyusunan diri (*self-assembly*) membentuk kristal koloid yang dikenal sebagai opal. Keberagaman metode fabrikasi menghasilkan banyak tipe kristal baik dari segi dimensi, periodisitas, maupun struktur kristal. Pendekatan *top-down* sangat berhasil digunakan untuk memfabrikasi kristal fotonik 1D dan 2D, namun kurang cocok untuk fabrikasi struktur 3D karena mahal, lambat, dan sulit untuk mensejajarkan antara lapisan yang berbeda. *Self-assembly* merupakan pilihan utama untuk fabrikasi opal *artifisial* (kristal fotonik 3D) karena mudah, murah, dan cepat (Marlow, 2009).

Opal alami adalah silika amorf terhidrasi dengan komposisi  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  yang terbentuk pada suhu yang relatif rendah. Opal alami biasanya berupa *polycrystal* yang terbentuk akibat sedimentasi. Opal alami tidak cocok digunakan untuk aplikasi optik karena bersifat polikristal. Opal buatan memiliki kristalinitas lebih baik dan dapat dibuat menggunakan banyak metode (Marlow, dkk., 2009). Ada empat metode deposisi opal yang umum digunakan, yaitu metode sedimentasi, metode deposisi horizontal, metode deposisi vertikal, dan metode deposisi kapiler.

Pada penelitian ini, lapisan tipis opal dideposisi menggunakan metode deposisi horizontal yang dimodifikasi dengan penambahan vibrasi. Penggunaan getaran mekanis dapat mengurangi cacat hingga 86% (Das dkk., 2017). Vibrasi dapat meredistribusi suspensi ketika terjadi proses kristalisasi. Redistribusi partikel diharapkan menghasilkan lapisan tipis opal dengan kualitas tinggi dan dengan ketebalan yang homogen. Sampel akan dibuat dari suspensi partikel *polystyrene* dengan monodispersitas tinggi. Sampel yang diperoleh akan dikarakterisasi menggunakan spektrofotometri UV-Vis untuk mengukur absorbansi yang berkaitan dengan posisi dan lebar celah pita optik. Morfologi lapisan tipis opal akan dikarakterisasi menggunakan scanning Electron Microscopy (SEM) dan mikroskop optik.

Didalam proses *self-assembly*, penguapan pelarut menentukan laju partikel saling mendekati satu sama lain. Ketika jarak partikel lebih kecil dari nilai tertentu, maka akan terjadi proses kristalisasi. Laju kristalisasi dan gaya pendorongnya sangat penting. Laju penyusutan volume suspensi dan laju kristalisasi opal pada substrat harus seimbang agar dihasilkan opal dengan kristalinitas tinggi. Laju penguapan dapat dikontrol dengan mengatur kelembaban dan temperatur deposisi opal.

## 2. METODE

### 2.1 Preparasi Bahan

Persiapan bahan sebelum pembuatan lapisan tipis opal adalah suspensi partikel koloid polystyrene yang berukuran 252 nm disiapkan. Sebelum deposisi, larutan yang digunakan diaduk menggunakan Ultrasonic bath hingga larutan homogen.

### 2.2 Sintesis Lapisan Tipis Opal

Proses sintesis lapisan tipis opal menggunakan kaca substrat yang berukuran 25x20 mm diletakkan di atas kaca berukuran 30x30 cm. *Speaker* digunakan untuk sintesis lapisan tipis opal dengan memanfaatkan vibrasi yang dihasilkannya dan handphone sebagai sumber frekuensi. Setelah *speaker* dinyalakan dengan frekuensi 75 Hz, maka kaca substrat yang berada di atas kaca akan bervibrasi. Larutan yang telah diaduk hingga homogen kemudian diteteskan ke atas permukaan kaca substrat yang bervibrasi. Proses vibrasi dan pengendapan sampel berlangsung hingga 2 jam, koloid *polystyrene* yang dihasilkan ditunggu hingga kering. Proses pengeringan sampel dilakukan pada suhu kamar. Pengeringan sampel dilakukan untuk menghilangkan kandungan air dari sampel lapisan tipis opal. Perlakuan di atas

dilakukan kembali dengan memvariasikan kecepatan frekuensi vibrasi 200,300 dan 400 Hz hingga didapatkan sebanyak 3 buah sampel lapisan tipis opal.

### 2.3 Karakterisasi Lapisan Tipis Opal

Karakterisasi Mikroskop Optik dilakukan di Laboratorium Genetika Jurusan Biologi Universitas Andalas untuk melihat homogenitas lapisan tipis yang terbentuk. Karakterisasi SEM dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan Bandung. Karakterisasi ini bertujuan untuk dapat memperoleh informasi mengenai morfologi lapisan tipis opal. Spektrofotometer UV-VIS digunakan untuk melihat posisi dan lebar celah pita optik pada lapisan tipis opal. Sampel dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-VIS di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang.

### 2.4 Posisi Celah Pita Optik

Posisi celah pita optik pada lapisan tipis dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Bragg pada Persamaan (1) :

$$\lambda_B = 2n_{eff} d_{hkl} \sin \theta \quad (1)$$

Dimana  $\lambda_b$  adalah panjang gelombang Bragg,  $n_{eff}$  adalah indeks bias efektif, dan  $d_{hkl}$  adalah jarak antara bidang kristal. indeks bias efektif kristal fotonik memenuhi Persamaan (2) :

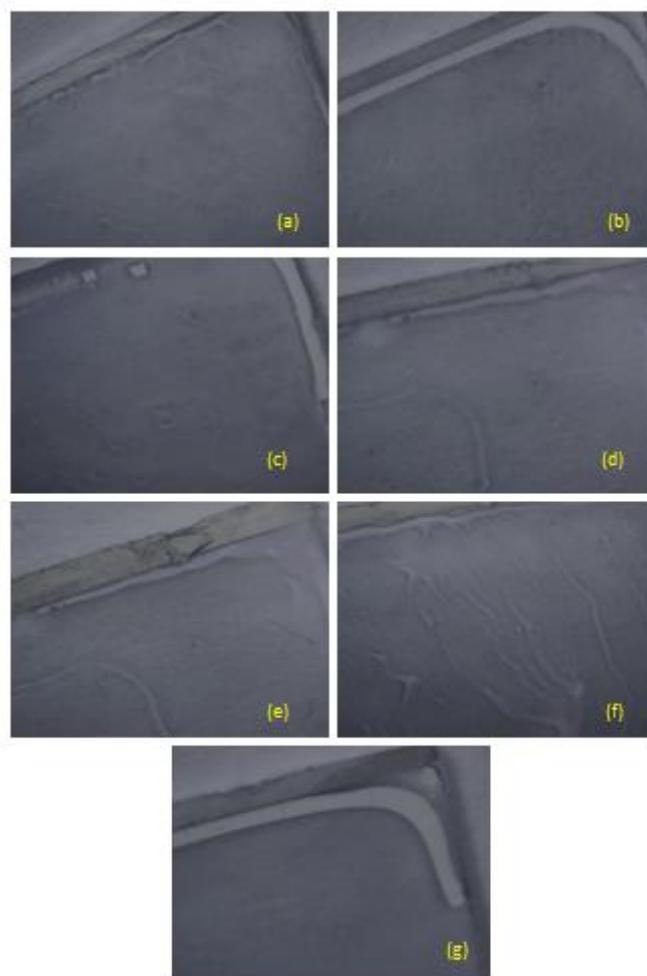
$$n_{eff} = n_1 + n_2(1 - f) \quad (2)$$

dimana  $n_1$  adalah indeks bias medium pertama *polysterene*,  $n_2$  indeks bias medium kedua udara, dan  $f$  adalah fraksi pengisian medium pertama. Lebar celah pita dapat ditentukan menggunakan *Full Width at Half of Maximum* (FWHM) dari puncak Bragg.

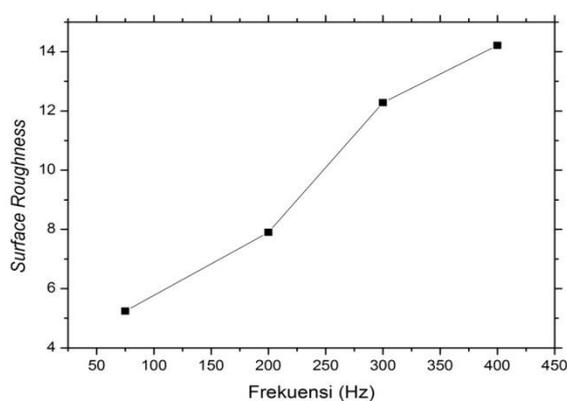
## 3. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Morfologi Permukaan

Bentuk permukaan dari sampel diamati menggunakan alat mikroskop optik. Hasil karakterisasi mikroskop optik pada Gambar 1 (a-d) memperlihatkan terbentuknya lapisan opal yang memantulkan variasi warna ketika dilihat dari sudut berbeda. Perubahan warna sampel ketika dilihat dari sudut berbeda disebut *opalesens*.



**Gambar 1** Mikroskop optik dengan perbesaran 50 kali, untuk sampel lapisan tipis opal yang dideposisikan pada frekuensi (a) 50 Hz (b) 75 Hz (c) 100 Hz (d) 200 Hz (e) 300 Hz (f) 400 Hz (g) 500 Hz



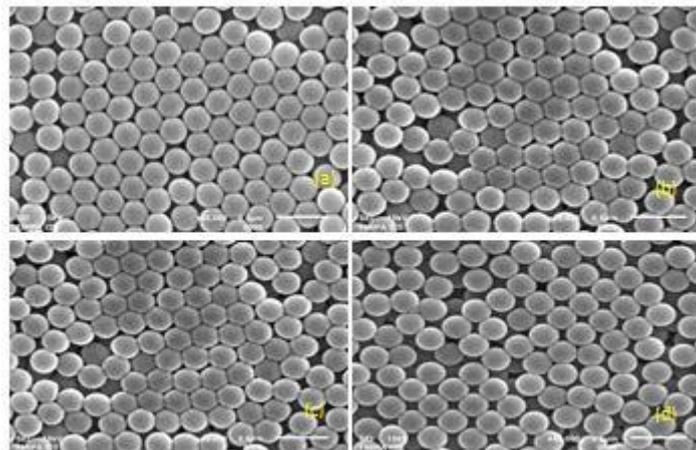
**Gambar 2** Pengaruh frekuensi terhadap ketidakhomogenan ketebalan lapisan tipis opal

Hasil karakterisasi mikroskop optik memperlihatkan bahwa sampel yang paling homogen adalah sampel yang dideposisi dengan frekuensi vibrasi sebesar 75 Hz dengan standar deviasi sebesar 5.24. Gambar 2 memperlihatkan semakin kecil frekuensi vibrasi yang diberikan maka semakin homogen sebuah sampel, hal ini dapat dilihat dari standar deviasinya, semakin kecil standar deviasi suatu sampel

maka semakin homogen sampel tersebut. Homogenitas lapisan tipis opal dapat dilihat dari lapisan yang terbentuk. Ketebalan lapisan dapat diperkirakan dari retakan yang terdapat pada sampel. Opal biasanya baru mulai terlihat retakan kalau ketebalannya diatas 10 nm atau diatas 20 lapisan.

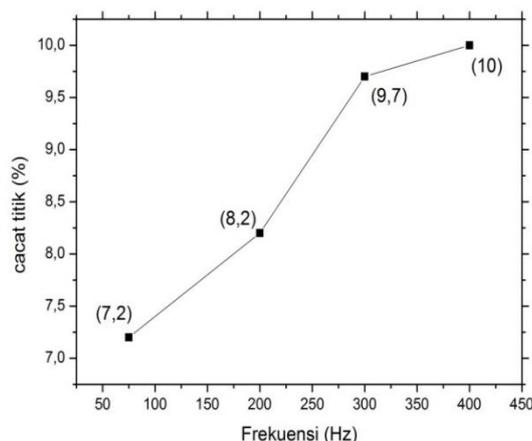
### 3.2 Morfologi Permukaan

Gambar 3 menunjukkan hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) bagian tengah dari sampel lapisan tipis opal dengan perbesaran 40.000 kali. Hasil karakterisasi SEM untuk semua sampel yang menunjukkan perbandingan morfologi dari lapisan tipis opal. Gambar 3(a-d) memperlihatkan hasil SEM bahwa terdapat partikel polystyrene yang menempel hampir semua lapisan lapisan tipis opal.



**Gambar 3** SEM untuk sampel (a) 75 Hz, (b) 200 Hz, (c) 300 Hz, dan (d) 400 Hz dengan perbesaran 40.000 kali

Gambar 3 (a-d) menunjukkan nilai frekuensi pada *speaker* ditambahkan (Gambar 3 (a-d)) terlihat bahwa terdapat partikel *polystyrene* yang menempel di bagian tengah lapisan. Hal ini menandakan bahwa frekuensi mempengaruhi meniskus dan aliran suspensi pada saat pembentukan lapisan tipis opal. Gambar SEM untuk sampel dengan frekuensi 75 Hz, 200 Hz, 300 Hz dan 400 Hz pada *speaker*. Pada sampel ini partikel *polystyrene* menunjukkan morfologi permukaannya lebih merata. Dari Gambar terlihat dengan jelas terbentuk lapisan *multilayer*. Hal ini menandakan bahwa frekuensi vibrasi sangat berpengaruh terhadap morfologi lapisan tipis opal. Semakin kecil frekuensi vibrasi yang digunakan, semakin merata patikel *polystyrene* yang menempel di bagian tengah lapisan tipis opal.



**Gambar 4** Grafik perbandingan besar cacat titik dengan frekuensi.

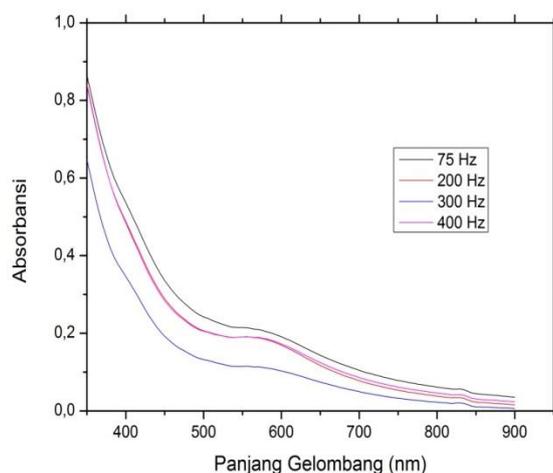
Gambar 4 menunjukkan variasi penambahan frekuensi vibrasi yang telah dilakukan didapatkan hasil yang paling baik adalah pada penambahan frekuensi vibrasi 75 Hz (sampel a). Hal ini disebabkan oleh cacat titik yang terdapat pada sampel a lebih kecil dibandingkan beberapa sampel lainnya yaitu sebesar 7,2%, dan yang paling besar pada sampel d 400 Hz yaitu sebesar 10%. Hal ini terutama ketika temperatur kristal cukup tinggi dimana atom-atom bergetar dengan frekuensi tertentu dan secara acak dapat meninggalkan kisi, lokasi kisi yang ditinggalkan disebut *vacancy* atau kekosongan vibrasi dengan kecepatan tinggi dapat menggetarkan permukaan cairan pada saat sintesis lapisan tipis. Meniskus dan aliran suspensi yang menarik partikel *polystyrene* ke bagian pinggir lapisan dipengaruhi oleh frekuensi vibrasi.

Dari hasil SEM menunjukkan bahwa sel satuan yang terbentuk adalah FCC (*Face Centered Cubic*). Struktur FCC mempunyai sebuah atom pada pusat semua sisi kubus dan sebuah atom pada setiap titik sudut kubus. Sedangkan dari hasil SEM pada (gambar c) terlihat struktur atom yang berbentuk FCC, dan sebagian lagi berbentuk HCP (*Hexagonal Close Packed*). Bilangan koordinasi struktur HCP hampir sama dengan struktur FCC yaitu 12. Ciri khas struktur HCP adalah setiap atom dalam lapisan tertentu terletak tepat diatas atau dibawah sela antara tiga atom pada lapisan berikutnya. Sedangkan pada (gambar 3.d) terlihat bahwa struktur atom yang terbentuk adalah HCP (*Hexagonal Close Packet*).

### 3.3 Analisis Karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis

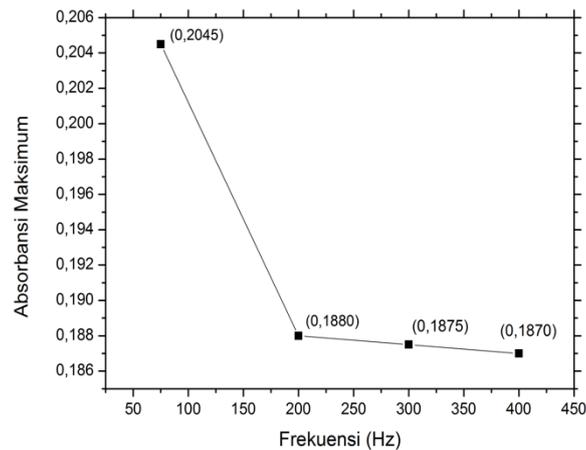
Pengukuran dengan spektrofotometer UV-Vis dilakukan agar dapat diketahui absorbansi maksimum serta panjang gelombang absorbansi maksimum (panjang gelombang Bragg) dari sintesis lapisan tipis opal yang disintesis menggunakan metode deposisi horizontal.

Gambar 5 memperlihatkan spektrum absorbansi UV-Vis keempat sampel. Spektrum UV-Vis menunjukkan adanya puncak maksimum absorbansi pada panjang gelombang 588,38 nm hal ini sesuai dengan secara teori terletak pada panjang gelombang 588,47 nm.



**Gambar 5** Spektrum absorpsi UV-Vis lapisan tipis opal yang disintesis menggunakan metode deposisi horizontal dengan variasi penambahan vibrasi menggunakan frekuensi 75 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 pada *speaker*.

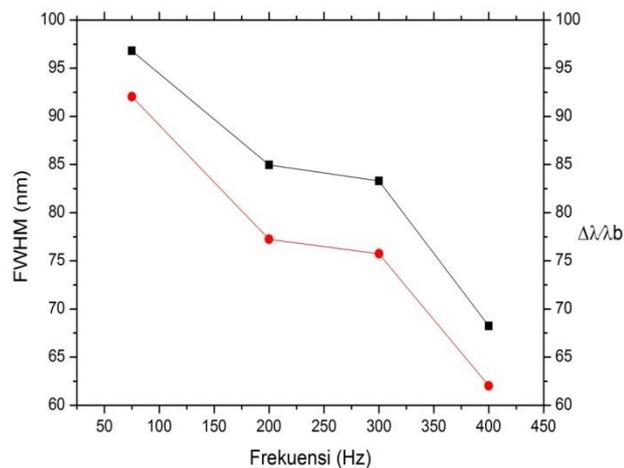
Spektrum UV-Vis untuk vibrasi dengan frekuensi 75 Hz memiliki puncak absorbansi maksimum sebesar 0,2045, sedangkan puncak absorbansi terendah pada sampel dengan frekuensi 400 Hz yaitu sebesar 0,1870. Data yang diperoleh dari spektrofotometer UV-Vis menunjukkan terjadinya pergeseran puncak absorbansi dari sampel dengan penambahan frekuensi vibrasi.



**Gambar 6** Grafik perbandingan nilai absorbansi maksimum dengan frekuensi.

Gambar 6 menunjukkan nilai absorbansi berbanding terbalik dengan frekuensi. Semakin tinggi frekuensi maka nilai absorbansi maksimum semakin kecil. Puncak absorbansi menunjukkan adanya celah pita optik pada lapisan tipis opal. Keberadaan celah pita optik mengakibatkan cahaya dengan frekuensi dalam rentang *band gap* tidak dapat merambat dalam kristal fotonik sehingga semua cahaya dipantulkan.

Adanya celah pita optik menunjukkan terbentuknya struktur kristal. Struktur kristal dari lapisan tipis opal bergantung dari puncak maksimum absorbansi. Semakin tinggi puncak absorbansi yang dihasilkan maka struktur kristal yang terbentuk akan semakin baik. Semakin tinggi puncak absorbansi, semakin tebal lapisan opal yang terbentuk. Opal yang berkualitas memiliki jumlah lapisan di atas 20 lapisan dan mempunyai konsentrasi cacat rendah.



**Gambar 7** Grafik perbandingan FWHM dan  $\Delta\lambda/\lambda_b$  terhadap frekuensi

Gambar 7 menunjukkan perbandingan nilai FWHM dan  $\Delta\lambda/\lambda_b$  dengan frekuensi. Frekuensi menunjukkan perubahan yang signifikan yaitu semakin tinggi frekuensi maka nilai FWHM nya semakin kecil. FWHM dapat menentukan lebar celah pita optik, karena FWHM merupakan lebar celah pita optik (*band gap*) yang terbentuk pada lapisan tipis opal. Data grafik juga menunjukkan nilai  $\Delta\lambda/\lambda_b$  untuk sampel dengan penambahan vibrasi berkurang.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi lapisan tipis opal yang disintesis menggunakan metode deposisi horizontal dapat disimpulkan bahwa Homogenitas lapisan tipis opal bergantung pada frekuensi. Semakin rendah frekuensi, semakin homogen dan semakin tebal lapisan lapisan tipis opal. Frekuensi yang digunakan cukup kuat untuk mempengaruhi meniskus dan aliran suspensi menuju pinggir lapisan, sehingga lapisan yang terbentuk mendekati homogen dan tebal. Semakin rendah frekuensi yang digunakan, semakin tinggi kristalinitas opal yang dihasilkan, nilai absorpsi semakin kecil, dan nilai FWHM nya semakin kecil,  $\Delta\lambda/\lambda B$  untuk sampel dengan penambahan frekuensi berkurang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bagad, S., *Optical Fiber Communication*. Technical Publications. Pune, 2008.
- Das, Y., Duraina, EM., Velev, OD., Gatabi, JR., dan Beall, GW., Reduction of defects in self-assembling colloidal monolayer via surface modifiers and periodic mechanical vibration, *Surface & Coatings Technology*, **319**, 353-358, 2017.
- Irwanda, C., Pengaruh Frekuensi Vibrasi Terhadap Kualitas Lapisan Tipis Opal yang disintesis dengan Metode Deposisi Horizontal, Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Andalas, 2018.
- Joannopoulos, JD., Johnson, SG., Winn, JN., and Meade, RD., *Photonic Crystals Molding the Flow of Light*. Princeton University Press. New Jersey, 2008.
- Marlow, F., Muldarisnur, Sharifi, P., Brinkmann, R., Mendive, C., Opale: Status and Perspektiven: *Angewandte Chemie*. **121**:6328 – 6351, 2009.
- Míguez, H., Meseguer, F., López, C., Blanco, I., Moya, JS., Requena, J., Mifsud, A., dan FornØs, V., Control of the Photonic Crystal Properties of fcc-Packed Submicrometer SiO<sub>2</sub> Spheres by Sintering, *Advanced Materials*, **10**, 480-483, 1998.
- Muldarisnur, Optimasi celah pita optik opal dan *core-shell* opal, *Jurnal Ilmu Fisika*, 1979-4657, 2016.
- Muldarisnur dan Marlow, F., Opal Films Made by the Capillary Deposition Method: Crystal Orientation and Defects, *Journal of Physical Chemistry*, **115**, 414-418, 2011.