

## IMPLEMENTATION OF INQUIRY TRAINING MODEL IN LEARNING PHYSICS TO IMPROVE STUDENT FORMAL THINKING ABILITY

### IMPLEMENTASI MODEL PEMBELAJARAN *INQUIRY TRAINING* DALAM PEMBELAJARAN FISIKA UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN BERPIKIR FORMAL SISWA

Derlina\*, S. Mihardi

Program Studi Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Medan, Indonesia

Diterima: 12 Januari 2015. Disetujui: 28 Maret 2015. Dipublikasikan: Juli 2015

#### ABSTRAK

Rendahnya kemampuan berpikir formal siswa menyebabkan hasil belajar yang mereka peroleh juga rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas model pembelajaran inquiry training dalam meningkatkan kemampuan berpikir formal siswa. Disain yang digunakan adalah kuasi eksperimen "non-equivalent groups pretest-posttest design". Implementasi pembelajaran kelas eksperimen dibelajarkan dengan model pembelajaran inquiry training, kelas kontrol dengan model pembelajaran direct instruction. Data kemampuan berpikir formal diperoleh melalui tes kemampuan berpikir formal. Efektivitas model pembelajaran dalam meningkatkan kemampuan berpikir formal ditentukan berdasarkan rerata skor gain yang dinormalisasi dengan statistik uji beda rerata, uji t. Hasil penelitian ditemukan bahwa pembelajaran dengan model inquiry training lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir formal siswa dibandingkan dengan pembelajaran direct instruction. Persentase N-gain kemampuan berpikir formal untuk siswa kelas eksperimen untuk indikator berpikir hipotesis deduktif, berpikir kombinasi dan refleksi berada pada kategori sedang, berpikir proporsional pada kategori tinggi. Untuk siswa kelas kontrol persentase N-gain rata-rata untuk berpikir hipotesis deduktif berada pada kategori rendah, sementara berpikir proporsional, berpikir kombinasi dan berpikir refleksi berada pada kategori sedang.

#### ABSTRACT

Low ability of formal thinking students caused the learning outcomes they get too low. This study aims to determine the effectiveness of the inquiry learning model training in improving students' ability to think formal. The design was used quasi-experimental "non-equivalent groups pretest-posttest design". Implementation experimental class learning with inquiry learning model training, control class learning with direct instruction. Data obtained through a formal thinking ability test thinking ability. Learning model efectivity in improving formal thinking ability is determined based on the gain score average which normalized by average difference test of statistic, namely t test. The results of the reasearch found that the inquiry training learning model is more effective in improving students formal thinking ability compared with the direct instruction learning model. The N-gain percentage of formal thinking ability of students in the experiment class in the indicators of hypothetical deductive thinking, combination thinking and reflection thinking are in the medium category, just proportional thinking is the high category. N-gain average percentage of control class for the hypothesis deductive thinking is just in the low category, while the proportional thinking, combination thinking and reflection thinking are in the medium category.

© 2015 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

**Keywords:** Inquiry training model, formal thinking ability.

#### PENDAHULUAN

Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional pasal 1 menyatakan bahwa Pendidikan Nasional ber-

tujuan untuk mengembangkan potensi siswa agar menjadi sumber daya manusia berkualitas dan mampu beradaptasi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Peningkatan kemampuan dalam rangka penyesuaian diri dengan perubahan dan memasuki era globalisasi antara lain dapat dilakukan melalui peningkatan kemampuan siswa dalam belajar

---

#### \*Alamat Korespondensi:

Jln. Willem Iskandar Psr V.- Kotak Pos No. 1589 Medan 20221. Tel (061) 6625970, Fax (061) 614002-613319  
E-mail: derlina.nst@gmail.com/HP 081210161520

fisika. Namun demikian, salah satu permasalahan penting dalam pembelajaran fisika adalah rendahnya hasil belajar fisika. Data *International Education Achievement (IEA)*, mengatakan Indonesia mendapatkan urutan 40 dari 42 negara dalam hal prestasi bidang Ilmu Pengetahuan Alam (Wachidi, 2010; Martin 2012). Indonesia tertinggal jauh dari rerata negara-negara tetangga. Kebanyakan siswa hanya mampu menyelesaikan soal-soal konkrit dengan kategori kognitif rendah. Secara internasional soal – soal ilmu pengetahuan alam menuntut siswa menyelesaikan permasalahan yang abstrak dan memiliki kemampuan menganalisis, mensintesis, dan mengevaluasi, kemampuan-kemampuan ini merupakan kemampuan berpikir formal. Kemampuan berpikir formal sangat menentukan keberhasilan siswa dalam belajar fisika, sebagaimana dikatakan Erman dan Edi (2011) bahwa agar siswa memahami konsep-konsep dasar fisika diperlukan kemampuan berpikir formal.

Eksperimen merupakan kunci keberhasilan dalam meningkatkan kemampuan berpikir formal. Kekuatan pembelajaran fisika dalam mengembangkan kemampuan berpikir formal terletak pada kemampuan siswa melaksanakan eksperimen. Menurut Liliyasi (2005a) kemampuan berpikir formal tidak dapat berkembang dalam pembelajaran fisika tanpa percobaan di laboratorium. Di sisi lain fisika dianggap sebagai pelajaran yang sulit karena pembelajaran fisika memerlukan kegiatan laboratorium (Heller & Heller, 1999). Kesulitan siswa dalam belajar fisika juga terjadi karena materi pelajaran yang disajikan guru dalam pembelajaran terdiri dari konsep-konsep yang sebagian besar bersifat abstrak, menggunakan angka-angka, lambang-lambang yang unik dan rumus-rumus (Erlina, 2011); kontennya sangat banyak dan bervariasi (Liliyasi, 2005b). Selain itu Andriingsih *et al* (2011) menyatakan bahwa fisika memiliki konsep, hukum, serta prinsip yang abstrak sehingga dalam pembelajarannya memerlukan kemampuan berpikir abstrak. Kemampuan berpikir abstrak yang kurang dikembangkan menyebabkan siswa menganggap fisika sebagai pelajaran yang sulit dan tidak disukai.

Penyajian konsep yang abstrak dan konten yang sangat banyak disertai dengan rumus-rumus matematika terjadi dalam pembelajaran fisika di sekolah. Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan tampak bahwa suasana pembelajaran fisika masih berbasis materi, berorientasi pada guru dan siswa cen-

derung pasif. Kegiatan pembelajaran diawali dengan pemberian fakta dan konsep melalui metode ceramah, dilanjutkan dengan pemberian contoh soal dan pemberian tugas rumah. Model pembelajaran yang dilakukan tidak relevan dengan karakteristik fisika itu sendiri, kurang melibatkan siswa dalam pembelajaran untuk melaksanakan keterampilan-keterampilan proses sains. Kondisi ini mengakibatkan kemampuan berpikir formal siswa rendah dan tidak berkembang sebagaimana mestinya. Rendahnya kemampuan berpikir formal siswa terlihat dari kualitas jawaban dan pertanyaan-pertanyaan yang disampaikan pada saat kegiatan pembelajaran.

Ditinjau dari usia biologisnya siswa SMA seyogyanya sudah berada dalam tingkat kemampuan berpikir formal, namun karena kecepatan pertumbuhan dan lingkungan siswa berbeda-beda sehingga masih ada siswa SMA berada dalam tingkat kemampuan berpikir konkrit. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa banyak siswa yang tidak dapat mengoperasionalkan kemampuan berpikirnya sesuai dengan kelompok umurnya. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Susiwi *et al* (2008) menunjukkan bahwa 25 - 75% siswa sekolah lanjutan dan mahasiswa belum mencapai tingkat operasional formal. Selain itu hasil penelitian pada mahasiswa Program Studi Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Surabaya ditemukan bahwa 80% masih berada pada tingkat kemampuan berpikir konkrit atau tidak dapat mengoperasikan kemampuan berpikir formalnya (Erman dan Edi, 2011). Hal ini juga sejalan dengan penelitian Harahap (2005) yang menemukan bahwa 60,9% mahasiswa MIPA Universitas Negeri Medan semester pertama masih berada dalam tingkat kemampuan berpikir konkrit.

Fakta berdasarkan hasil observasi menunjukkan perlu diupayakan pembenahan terhadap pembelajaran fisika dengan model pembelajaran yang dapat meningkatkan kemampuan berpikir formal siswa antara lain dengan model pembelajaran *inquiry training*. Menurut Joyce *et al* (2009) model pembelajaran *inquiry training* adalah pembelajaran yang dirancang dengan melibatkan siswa secara langsung melakukan proses-proses ilmiah untuk belajar berangkat dari fakta menuju teori, mengharapkan siswa untuk bertanya mengapa suatu peristiwa terjadi, apa yang menyebabkan sesuatu terjadi, selanjutnya siswa melakukan penyelidikan untuk mencari jawaban, melakukan eksperimen, menganalisis data secara

logis sehingga dapat menemukan penyebab suatu gejala atau fakta bisa terjadi. Model pembelajaran *inquiry training* terdiri dari lima fase yaitu fase: (1) menyajikan masalah, (2) mengumpulkan dan memverifikasi data, (3) eksperimen, (4) mengorganisasi data, merumuskan dan menjelaskan, dan (5) menganalisis proses inkuiri. Tahapan pembelajaran ini sesuai dengan tahapan inkuiri secara umum menurut beberapa ahli (Looi, 1998; White dan Frederiksen, 1998).

Berbeda dengan model pembelajaran *inquiry training*, pembelajaran *direct instruction* menekankan kepada proses penyampaian materi secara verbal dari guru ke siswa. Siswa hanya menjadi pendengar yang pasif, menerima pengetahuan yang ditransfer oleh guru. Pembelajaran tidak memberikan kesempatan kepada siswa untuk melakukan kegiatan yang dapat mengembangkan kemampuan berpikir formalnya.

Sintaks model pembelajaran *direct instruction* terdiri dari 5 fase yakni: menyampaikan tujuan dan mempersiapkan siswa, mendemonstrasikan pengetahuan dan keterampilan, membimbing pelatihan, mengecek pemahaman dan memberikan umpan balik, serta memberikan kesempatan untuk pelatihan lanjutan dan penerapan (Arends, 2013).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas model pembelajaran *inquiry training* dalam meningkatkan kemampuan berpikir formal siswa.

## METODE

Penelitian dilakukan di SMA Negeri 5 di kota Medan. Metode penelitian adalah metode kuasi eksperimen dengan rancangan *Non-equivalent Groups Pretest-posttest Experimental Design*. Kelas eksperimen dibelajarkan dengan model pembelajaran *inquiry training*, sedang siswa kelas kontrol dibelajarkan dengan model pembelajaran *direct instruction*, se-

perti disain penelitian pada Tabel 1.

Data yang diperoleh pada penelitian ini yaitu data tentang skor kemampuan berpikir formal pada topik kinematika partikel yang diukur dengan tes kemampuan berpikir formal. Suparno (2001) menyatakan indikator kemampuan berpikir formal adalah kemampuan berpikir hipotesis deduktif, berpikir proporsional, berpikir kombinasi dan berpikir refleksi.

Efektivitas implementasi model pembelajaran dalam meningkatkan kemampuan berpikir formal siswa ditentukan berdasarkan rerata skor gain yang dinormalisasi, *N-gain*. Menurut Hake & Richard (2002) tinggi rendahnya *N-gain* dapat diklasifikasikan sebagai berikut: (1) jika  $N-gain > 70\%$ , maka *N-gain* yang dihasilkan dalam kategori tinggi; (2) jika  $30\% \leq N-gain \leq 70\%$ , maka *N-gain* yang dihasilkan dalam kategori sedang; dan (3) jika  $N-gain < 30\%$ , maka *N-gain* yang dihasilkan dalam kategori rendah. Data kemampuan berpikir formal yang berdistribusi normal dan homogen dianalisis dengan uji beda rata-rata uji t dengan menggunakan SPSS versi 16,0.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui efektivitas model pembelajaran dalam meningkatkan kemampuan berpikir formal siswa dilakukan pembelajaran yang berbeda. Kelas eksperimen dibelajarkan dengan model pembelajaran *inquiry training* dan kelas kontrol dibelajarkan dengan model pembelajaran *direct instruction*. Sebelum pembelajaran pada kedua kelas dilakukan pre tes dan setelah pembelajaran dilakukan postes.

Aktivitas pembelajaran dengan model pembelajaran *inquiry training* dilakukan dengan sintaks yaitu: Fase 1 menyajikan masalah, pada fase ini guru menghadirkan suatu masalah dan menjelaskan prosedur inkuiri. Masalah yang disajikan adalah masalah teka-teki yang menarik perhatian siswa, sehingga siswa ter-

**Tabel 1.** Disain Penelitian

Sampel	Pre-Tes	Perlakuan	Pos-Tes
Kelas Eksperimen	$P_1$	$X_1$	$P_2$
Kelas Kontrol	$P_1$	$X_2$	$P_2$

dimodifikasi dari McMillan Schumacher, 2001.

$P_1$  = Pre-Tes

$P_2$  = Pos-Tes

$X_1$  = Perlakuan dengan model pembelajaran *inquiry training*

$X_2$  = Perlakuan dengan model pembelajaran *direct instruction*

dorong untuk mencari jawaban masalahnya.

Fase 2 mengumpulkan dan memverifikasi data, pada fase ini siswa mengumpulkan informasi dan data dari masalah, siswa diharapkan dapat menemukan sifat objek serta menemukan penyebab terjadinya masalah. Verifikasi data dilakukan dengan melakukan tanya jawab antara guru dan siswa. Guru mengarahkan siswa mengumpulkan informasi tentang fakta yang mereka lihat dan alami dengan mengajukan pertanyaan, bentuk pertanyaan yang diajukan hanya bisa dijawab dengan “ya” atau “tidak”.

Fase 3 eksperimen, Pada fase ini siswa melakukan eksperimen, mengumpulkan data untuk menemukan jawaban permasalahan. Fase 4 mengorganisasi data, merumuskan dan menjelaskan, pada fase ini siswa diminta menjelaskan hasil eksperimen mereka kepada siswa lain. Guru bertugas membantu siswa dalam mengorganisasi keterkaitan data sehingga dapat dijelaskan. Fase 5 menganalisis proses inkuiri, pada fase ini siswa diminta melakukan pembahasan, menganalisis proses inkuirinya, meninjau pertanyaan-pertanyaan yang efektif dan yang kurang efektif, informasi yang sesuai dan yang tidak sesuai dengan hipotesis yang diajukan, menganalisis kelemahan dari eksperimen serta membandingkan hasil eksperimennya dengan hasil eksperimen kelompok lain.

Kelas kontrol dibelajarkan dengan model pembelajaran *direct instruction* dengan sintaks yaitu: Fase 1 menyampaikan tujuan dan mempersiapkan siswa, langkah pertama diawali dengan penyampaian standar kompetensi, kompetensi dasar, indikator dan tujuan pembelajaran. Selanjutnya guru mempersiapkan siswa agar perhatiannya terfokus pada materi pokok yang akan dibahas.

Fase 2 mendemonstrasikan pengetahuan dan keterampilan. Guru mendemonstrasikan pengetahuan/ keterampilan atau menyajikan informasi dengan sistematis dan terstruktur tahap demi tahap. Fase 3 membimbing pelatihan, siswa dengan bimbingan guru mengerjakan tugas yang latihan dan bimbingan yang diberikan sampai siswa dapat menguasai konsep dan keterampilan yang sedang dipelajari.

Fase 4 mengecek pemahaman dan

memberikan umpan balik. Pada fase ini guru mengajukan beberapa pertanyaan dan memberikan tugas latihan untuk dikerjakan siswa di kelas. Jawaban-jawaban yang diberikan oleh siswa direspon oleh guru sebagai umpan balik bagi siswa, sehingga siswa mengetahui jawaban yang benar atau sebaliknya dan dapat memperbaiki kesalahannya dalam menjawab latihan.

Fase 5 memberikan kesempatan untuk pelatihan lanjutan. Pada fase terakhir guru memberikan latihan-latihan mandiri yang diberikan dalam bentuk tugas rumah.

Skor kemampuan berpikir formal siswa dan % N-gain antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol sebelum (pretes) dan sesudah pembelajaran (pos tes) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa % N-gain rata-rata kemampuan berpikir formal siswa pada kelas eksperimen lebih tinggi dari pada kelas kontrol. Hasil uji beda rata-rata % N-gain dengan uji t menunjukkan bahwa model pembelajaran *inquiry training* lebih efektif meningkatkan kemampuan berpikir formal siswa dibandingkan model pembelajaran *direct instruction*. Perbedaan peningkatan kemampuan berpikir formal siswa seperti kajian di atas dapat dijelaskan sebagai berikut. Model pembelajaran *inquiry training* dilakukan dengan fase: 1) menyajikan masalah, (2) mengumpulkan dan memverifikasi data, (3) eksperimen, (4) mengorganisasi data, merumuskan dan menjelaskan, dan (5) menganalisis proses inkuiri. Fase-fase pembelajaran ini sangat sesuai dengan aktivitas pembelajaran seperti yang diharapkan Departemen Pendidikan Nasional (2003) yaitu bahwa proses pembelajaran fisika menekankan pada pemberian pengalaman langsung untuk mengembangkan kompetensi agar siswa menjelajahi dan memahami alam sekitar secara ilmiah. Pembelajaran fisika diarahkan untuk mencari tahu dan berbuat sehingga dapat membantu siswa untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang alam sekitar. Menurut Panjaitan, *et al* (2015) pembelajaran dengan inkuiri merupakan strategi mengenai eksplorasi pengetahuan siswa.

Kemampuan berpikir formal siswa dapat

**Tabel 2.** Data Skor Kemampuan Berpikir Formal Siswa

	Kelas Kontrol	Kelas Eksperimen
Pretes	18,13	17,38
Postes	31,25	38,13
% N-gain	41,17	63,61

Keterangan: Skor maksimum = 50

ditingkatkan melalui fase-fase model pembelajaran *inquiry training* karena siswa difasilitasi untuk bekerja dengan metode ilmiah, merumuskan hipotesis dengan melakukan penalaran secara deduktif maupun induktif. Hipotesis dirumuskan berdasarkan jawaban guru terhadap pertanyaan siswa. Dalam perumusan hipotesis siswa dapat menghubungkan konsep dan pengetahuan yang sudah dimilikinya dengan konsep dan pengetahuan baru yang ditemukannya melalui proses asimilasi dan akomodasi, sehingga siswa sendiri yang membangun pengetahuan sampai terbentuk formulasi suatu konsep dalam dirinya. Proses siswa mengemukakan alasan untuk merumuskan hipotesis dapat meningkatkan kemampuan berpikir formal (Fayakun dan Joko, 2015; Susiwi, *et al* 2008).

Pengalaman belajar pada fase mengumpulkan data untuk dapat menguji hipotesis yang mereka tetapkan dilakukan melalui eksperimen. Eksperimen sangat dibutuhkan dalam pembentukan kemampuan berpikir formal, bahkan menurut Liliyasi (2005a) kemampuan berpikir formal kurang dapat berkembang pada pembelajaran fisika tanpa eksperimen atau praktikum. Pada tahap eksperimen siswa dilatih melakukan kegiatan keterampilan proses melakukan pengamatan, penyelidikan, dan diskusi serta mengkaji fenomena fisika, menyelidiki fakta, fenomena atau masalah untuk membuat kesimpulan umum. Menurut Doyan dan Sukmantara (2014) latihan dan eksperimen dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah serta mengembangkan kemampuan berpikir formal siswa. Siswa diarahkan untuk mengamati hubungan antar konsep ataupun variabel, misalnya mengamati hubungan variabel kecepatan dengan perpindahan dan waktu. Aktivitas yang dilakukan siswa dalam eksperimen memberikan kontribusi dalam pembentukan kemampuan berpikir formal, karena dengan berbuat siswa mendapatkan pengetahuan sebagaimana dikatakan oleh Silberman (1996) yaitu: "Apa yang saya dengar, lihat, diskusikan, dan lakukan, saya memperoleh pengetahuan dan keterampilan".

Pengalaman belajar yang didapat dalam pembelajaran *inquiry training* adalah mampu menganalisa dan mengetahui efek dari suatu variabel terhadap variabel lain, berpikir kombinasi yaitu berpikir meliputi semua kombinasi benda-benda, gagasan-gagasan atau proposisi-proposisi yang mungkin, menyebabkan siswa memiliki kemampuan berpikir formal yang baik. Pengalaman belajar ini juga akan mem-

berikan kemampuan kepada siswa untuk dapat berpikir dengan pola penetapan kemungkinan-kemungkinan yang dapat terjadi dalam menemukan jawaban suatu masalah.

Implementasi model pembelajaran *inquiry training* dapat meningkatkan kemampuan berpikir formal terjadi karena siswa diberi kesempatan berlatih menemukan fakta, konsep dan prinsip-prinsip fisika melalui pengalaman dan berinteraksi langsung dengan objeknya. Menurut Deghani (2011) kemampuan menganalisis suatu konsep akan melatih siswa berpikir kompleks. Interaksi langsung dengan objeknya menimbulkan rangsangan yang menstimulus kemampuan berpikir formal siswa. Hal yang sama dikatakan oleh Erlina (2012) bahwa perkembangan kemampuan formal tergantung kepada kualitas dan frekuensi aktivitas yang dilakukan oleh siswa dari interaksinya dengan lingkungan. Interaksi siswa dengan lingkungan melalui kegiatan eksperimen menjadikan siswa mengkonstruksi dan menemukan sendiri pengetahuannya sehingga pengetahuan itu lebih mudah dipahami dan lebih lama diingat oleh siswa, sesuai dengan pernyataan Dahar (1991) bahwa hasil belajar dengan menemukan sendiri lebih lama diingat oleh siswa dari pada hasil belajar lainnya.

Uraian di atas menunjukkan bahwa dalam pembelajaran *inquiry training* guru berperan hanya sebagai fasilitator, siswa dengan aktif melakukan perbuatan belajar. Berbeda halnya dengan pembelajaran *direct instruction* yang orientasinya adalah transfer pengetahuan, tidak memberikan kesempatan kepada siswa melakukan eksperimen, siswa hanya diharapkan menguasai konsep-konsep fisika sebanyak-banyaknya, kurang memperhatikan proses perolehan produk fisika itu sendiri sehingga siswa cenderung menghafal konsep dari pada memahami konsepnya, tidak ada rangsangan dan aktivitas yang memacu perkembangan kemampuan formal siswa.

Fisika terdiri dari konsep-konsep yang sifatnya abstrak. Menurut Mustofa, *et al* (2013) kemampuan berpikir formal memiliki peranan yang penting dalam memahami konsep abstrak. Dengan kemampuan berpikir formal siswa dapat memahami konsep dan gejala-gejala fisika dengan baik sehingga memiliki hasil belajar yang lebih baik. Berkaitan dengan hal ini Iman dan Harahap (2015) menyatakan bahwa hasil belajar siswa yang memunyai kemampuan berpikir formal tinggi lebih baik dari siswa yang mempunyai kemampuan berpikir formal rendah.

Persentase *N-gain* kemampuan berpikir formal siswa dijabarkan pada indikator kemampuan berpikir formal (hipotesis deduktif, proporsional, kombinasi dan refleksi) antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa rata-rata persentase *N-gain* untuk setiap indikator kemampuan berpikir formal kelas eksperimen lebih tinggi dari kelas kontrol. Persentase *N-gain* kemampuan berpikir formal untuk siswa kelas eksperimen untuk indikator berpikir hipotesis deduktif, berpikir kombinasi dan refleksi berada pada kategori sedang dan berpikir proporsional pada kategori tinggi. Untuk siswa kelas kontrol persentase *N-gain* rata-rata untuk berpikir hipotesis deduktif berada pada kategori rendah, sementara berpikir proporsional, berpikir kombinasi dan berpikir refleksi berada pada kategori sedang. Hasil tersebut menunjukkan model pembelajaran *inquiry training* lebih efektif meningkatkan kemampuan berpikir formal siswa dibandingkan dengan model pembelajaran *direct instruction*.

Berdasarkan indikator kemampuan berpikir formal, ternyata kemampuan persentase *N-gain* tertinggi untuk materi pokok kinematika partikel terjadi pada indikator berpikir proporsional. Hal ini dimungkinkan karena pada pembelajaran dengan model pembelajaran *inquiry training* siswa diberikan berpikir bukan hanya pada berdasarkan pada fakta atau pada benda-benda dan gejala-gejala yang konkrit yang bisa diamati oleh siswa melainkan juga dapat meninjaunya berdasarkan proposisi yang berlawanan dengan fakta. Kemampuan proporsional siswa berkembang dengan baik ketika siswa melakukan manipulasi variabel misalnya manipulasi variabel jarak dan waktu. Siswa dituntut berpikir proporsi untuk memprediksi kelajuan dan kecepatan dari suatu objek yang bergerak lurus. Siswa dapat menyelesaikan suatu masalah dengan kemampuan

berpikrinya, karena siswa dilatih bekerja sebagaimana seorang ilmuwan yaitu memecahkan masalah melalui metode ilmiah. Pembelajaran yang diawali dengan penyajian masalah dan dilanjutkan dengan analisis masalah sampai pada penemuan konsep, ataupun prinsip fisika dapat memacu perkembangan kemampuan berpikir formal siswa. Senada dengan hal ini Sadia (2007) menyatakan bahwa memecahkan masalah merupakan wahana yang sangat baik dalam mengasah dan melatih kemampuan berpikir tingkat tinggi, termasuk kemampuan berpikir formal. Menurut Mariati (2012) pembelajaran fisika dengan pemecahan masalah memungkinkan siswa menyadari bagaimana merancang, memonitor dan mengontrol apa yang diketahui, apa yang diperlukan untuk mengerjakan dan bagaimana melakukannya sehingga dapat mengembangkan kemampuan berpikir formalnya.

Selain itu kegiatan pembelajaran dengan pemecahan masalah juga mengembangkan kemampuan berpikir hipotesis deduktif, berpikir kombinasi dan refleksi siswa karena pada kegiatan pembelajaran siswa diarahkan melakukan kegiatan bertanya, merumuskan hipotesis, melakukan eksperimen, menganalisis data serta menarik kesimpulan. Semua aktivitas tersebut memberikan peluang bagi siswa untuk mengasah kemampuan berpikirnya. Sementara di kelas kontrol siswa tidak diberikan kesempatan untuk melakukan berbagai aktivitas, sebab kegiatan pembelajaran dominan dikendalikan oleh guru. Kalaupun ada gejala atau fakta yang bisa diamati oleh siswa, porsinya sangat terbatas

## PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian ditemukan bahwa pembelajaran dengan model *inquiry training* lebih efektif dalam meningkatkan ke-

**Tabel 3.** Hasil Analisis Statistik Persentase *N-Gain* Kemampuan Berpikir Formal Siswa

Indikator kemampuan berpikir formal	Kelompok	Rata-rata			Peningkatan gain	Sign. (p)	Kategori	Keterangan
		Pretes	postes	<i>N-gain</i>				
Hipotesis Deduktif	Eksperimen	5,00	10,63	56,82	30,14	0.000	Sedang Rendah	signifikan
	Kontrol	5,63	8,13	26,68				
Proporsional	Eksperimen	4,00	12,00	72,73	27,56	0.000	Tinggi Sedang	signifikan
	Kontrol	4,88	9,13	45,17				
Kombinasi	Eksperimen	4,50	8,00	64,29	30,95	0.000	sedang sedang	signifikan
	Kontrol	4,50	8,75	33,33				
Refleksi	Eksperimen	3,88	7,50	67,32	36,46	0.000	sedang sedang	signifikan
	Kontrol	3,13	5,25	30,88				

mampuan berpikir formal siswa dibandingkan dengan pembelajaran *direct instruction*. Persentase *N-gain* kemampuan berpikir formal untuk siswa kelas eksperimen untuk indikator berpikir hipotesis deduktif, berpikir kombinasi dan refleksi berada pada kategori sedang, berpikir proporsional pada kategori tinggi. Untuk siswa kelas kontrol persentase *N-gain* rata-rata untuk berpikir hipotesis deduktif berada pada kategori rendah, sementara berpikir proporsional, berpikir kombinasi dan berpikir refleksi berada pada kategori sedang. Dengan demikian model pembelajaran *inquiry training* dapat dijadikan solusi untuk meningkatkan kemampuan berpikir formal siswa pada materi pokok kinematika partikel. Kepada guru disarankan dapat mencoba model pembelajaran *inquiry training* pada materi pokok yang lain.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Andriningsih, Sriyono, dan Arif Maftukhin. (2011). Pengaruh Pola Pembelajaran dan Kemampuan Berpikir Formal Siswa terhadap Kreativitas Kognitif Siswa pada Mata Pelajaran IPA Fisika Kelas VIII SMP Negeri Se-Kabupaten Purworejo Tahun Pelajaran 2011/2012. *Jurnal Radiasi* Vol.1. No. 1, 83- 86.
- Arends, Richard I.(2013). *Learning to Teach*. New York: McGraw-Hill Companies. (Made Frida Yulia Trans). Copyright 2013 by McGraw - Hill Education (Asia) and Salemba Empat.
- Dahar, R.W.(1991). *Teori-teori Belajar*. Jakarta: Erlangga.
- Departemen Pendidikan Nasional. (2003). *Kurikulum 2004 Standar Kompetensi Mata Pelajaran Fisika SMA/MA*. Jakarta: Depdiknas.
- Deghani, M. (2011). Relationship Between Students Thinking and Self Efficacy Beliefs in Fardowsy University of Mashhad: *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 15, 2952 – 2955.
- Doyan, A., Sukmantara, I.K.Y, 2014. Pengembangan Web Intranet Fisika untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep dan Pemecahan Masalah Fisika Siswa SMK. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 10 (2), 117 – 127.
- Erlina. (2011). Deskripsi Kemampuan Berpikir Formal Mahasiswa Pendidikan Kimia Universitas Tanjung Pura. *Jurnal Visi Ilmu Pendidikan*, Vol.6. No.3.
- Erman & Edi Mintarto. (2011). Memacu Kemampuan Berpikir Formal Siswa Melalui Pembelajaran IPA Sejak Dini. *Jurnal Pendidikan Dasar Universitas Negeri Surabaya*, Vol.5. no. 2, 89-97.
- Fayakun, M. dan Joko, P. (2015). Efektivitas Pembelajaran Fisika Menggunakan Model Kontekstual (CTL) dengan metode Predict, Observe, Explain terhadap Kemampuan Berpikir Tingkat Tinggi. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 11 (1), 49 -58.
- Hake & Richard, R. (2002). *Relationship of Individual Student Normalized Learning Gains in Mechanics with Gender, High-School Physics, and Pretest Scores on Mathematics and Spatial Visualization*.
- Heller, K., & Heller, P. (1999). *Problem-Solving Labs*. Introductory Physics I Mechanics. Cooperative Group problem-solving in physics.
- Harahap, Mara Bangun. (2005). *Efek Pembelajaran Konstruktivis Kognitif Sosial dan Non Konstruktivis Konvensional Terhadap Hasil Belajar Fisika Dasar Mahasiswa FMIPA Universitas Negeri Medan*. (Unpublished Doctoral dissertation). Program Pasca Sarjana Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Hidayat, M. I dan Harahap. M.B. (2015). Efek Model Inquiry Training Berbasis Multi Media Lectora dan Kemampuan Berpikir Formal terhadap Hasil Belajar Fisika. *Jurnal Online Pendidikan Fisika Pascasarjana Unimed*, Volume 4, Nomor 1, 25-32.
- Joyce Bruce, Marsha Weil and Emily Calhoun. 2009. *Models of Teaching*, Eight Edition. New Jersey: Allyn and Bacon.
- Liliasari. (2005a). Membangun Keterampilan Berpikir Manusia Indonesia Melalui Pendidikan Sains. *Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap dalam Ilmu Pendidikan IPA pada FPMIPA*. UPI.
- Liliasari. (2005b). Membangun Masyarakat Melek Sains Berkarakter Bangsa melalui Pembelajaran. *Makalah* Disajikan pada Seminar Nasional Universitas Negeri Semarang.
- Looi, C.K. (1998). Interactive Learning Environments for Promoting Inquiry Learning. *Journal of Education Technology System*, 27,1, 3-22.
- Martin, Michael. (2012). TIMSS 2011 International Result in Science. USA and Netherlands: TIMSS PIRLS International Study Center and IEA
- McMillan, J.H. & Schumacher, S. (2001). *Research in Education: A Conceptual Introduction* (Fiveth ed). New York: Addison Longman, Inc.
- Mustofa, Masrid Pikoli, Nita Suleman. (2013). Hubungan antara Kemampuan Berpikir Formal dan Kecerdasan Visual-Spasial dengan Kemampuan Menggambarkan Bentuk Molekul Siswa Kelas XI MAN Model Gorontalo Tahun 2010/2011. *Jurnal Entropi*, Volume VIII, Nomor 1, 51-61.
- Panjaitan, M. B, M. Nur, Jatmiko, B. (2015). Model Pembelajaran Sains Berbasis Proses Kreatif-Inkuiri untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kreatif dan Pemahaman Konsep Siswa SMP. *Jurnal Pendidikan P.S. Fisika Indonesia*, 11 (1), 8-22.
- Mariati, P.S. (2012). Pengembangan Model Pembelajaran Fisika Berbasis Model Problem Solving untuk Meningkatkan Kemampuan Metak-

- ognisi dan Pemahaman Konsep Mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 8 (2012), 152-160.
- Sadia, I. Wayan. (2007). Pengembangan Kemampuan Berpikir Formal Siswa SMA Melalui Penerapan Model Pembelajaran *Problem Based Learning* dan *Cycle Learning* dalam Pembelajaran Fisika. *UNDIKSHA: Jurnal Pendidikan dan Pengajaran*, Nomor 1, Tahun XXXX.
- Silberman, M. (1996). *Active Learning: 101 Strategies to Teach Any Subject*. Boston: Allyn & Bacon.
- Suparno, Paul. (2001). *Teori Perkembangan Kognitif Jean Piaget*. Yogyakarta: Kanisius.
- Susiwi, Achmad A. Hinduan, Liliyasi, dan Sadijah Ahmad. (2008). Analisis Penguasaan Konsep Kimia Siswa SMA dalam Model Pembelajaran Praktikum D-Ei-Hd. *Makalah* Disajikan pada Seminar Nasional Kimia dalam Rangka Dies Natalis ke-52 Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA UNY.
- Wachidi. (2010). Kedudukan dan Peran Guru dalam Mengembangkan Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP) untuk Meningkatkan Mutu Pendidikan. Orasi Ilmiah Pengukuhan Jabatan Guru Besar Universitas Bengkulu.
- White, B. Y. Dan Frederiksen, J.R. (1998). Inquiry, Modeling, and Metacognition: Making Science Accessible to All Students. *Cognition and Instruction*. 16, 3-118.
- 2003. *UU RI No.20 Tahun 2003 tentang Sisdiknas*. Jakarta: Depdiknas.



## MULTILAYER POROUS COMPOSITE FROM WASTE GLASS FOR WATER FILTRATION

### KOMPOSIT PORI BERLAPIS DARI LIMBAH KACA UNTUK FILTER AIR

M.P. Aji\*, P.A. Wiguna, N. Rosita, Susanto, M.I. Savitri, M.A.N. Said, Sulhadi

Departement of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Science Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Diterima: 12 Januari 2015. Disetujui: 28 Maret 2015. Dipublikasikan: Juli 2015

#### ABSTRAK

Komposit pori berlapis telah dihasilkan dengan proses pemanasan pada temperatur  $T=700^{\circ}\text{C}$  selama 2.5 jam. Komposit pori satu lapis dibuat dengan variasi persen massa polimer PEG 1% hingga 10%. Komposit pori dua lapis dibuat dengan susunan porositas (4:3)%, (4:2)% dan (3:2)%, sedangkan komposit pori tiga lapis memiliki susunan porositas (4:3:2)%. Kinerja komposit pori berlapis untuk filter air dengan polutan methylene blue 100 ppm diestimasi dari spektrum absorbansi. Rejeksi polutan methylene blue dari komposit pori satu lapis meningkat saat fraksi polimer PEG cenderung lebih kecil dalam matrik komposit. Sedangkan, komposit pori dua lapis memiliki kemampuan untuk degradasi polutan methylene blue yang lebih baik dari satu lapis. Komposit pori tiga lapis memiliki kinerja yang baik untuk filter air dimana seluruh polutan methylene blue mampu disaring.

#### ABSTRACT

Multilayer porous composite have been produced through the heating process at temperature  $T=700^{\circ}\text{C}$  for 2.5 h. Single layered porous composite was made with a varied mass percentage of from PEG polymer 1% to 10%. Double-layered porous composite were made by the arrangement of porosity (4:3)%, (4:2)% and (3:2)%, while the three-layers porous composite have an arrangement (4:3:2)%. Performance of multilayer porous composite for water filtration with pollutants of methylene blue 100 ppm was estimated from the absorbance spectrum. Rejection of methylene blue pollutants from single layered porous composite increases when the fraction of PEG polymer tend to be smaller in the matrix. Meanwhile, the double layered porous composite has a degradation of methylene blue pollutants are better than one layer. Triple layered porous composite have good performance for the water filtration where all the pollutants of methylene blue be able to be filtered.

© 2015 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

**Keywords:** porous, composite, waste, glass, water.

#### INTRODUCTION

Porous medium has been commonly used in the fluid filtration process such as water purification (Allesina *et. al.*, 2014; Takei *et. al.*, 2012). Filtration process is carried out by flowing a fluids in a porous medium and impurities contained in fluids are expected not able to

pass through the pores so that the fluid which has been filtered from impurities and then resulted fluids are clean. Various types of porous medium has been developed with a base material such as clay, zirconia, zeolites, porous carbon and membrane polymer (Unuabonah *et. al.*, 2014; Franus *et. al.*, 2014, Konrad *et. al.*, 2014, Ryu *et. al.*, 2012). Masturi *et. al.* (2012) using clay from the region Plered Purwakarta-Indonesia as a base material of porous ceramic for water filtration with organic pollutants met-

---

\*Alamat Korespondensi:  
Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229  
E-mail: mahardika190@gmail.com

hylene blue. And also clay was used by Craver dan Smith (2008) because clay have some properties that are not corrosive, non-toxic, have a high compressive strength and formable. Meanwhile, Gestel *et. al.* (2006) developed a filter by combining the role of pores formed by the particles of zirconia ( $ZrO_2$ ) and photocatalytic properties of inorganic materials such as titanium dioxide ( $TiO_2$ ). Natural zeolites are used by Aslanzade (2011) as a filter because it has a high absorption.

The use of clay as a raw material in the manufacturing of filter requires a very high combustion temperature  $T \sim 900^\circ C - 1200^\circ C$  (Baccour *et. al.*, 2009). Meanwhile, the use of inorganic material of  $TiO_2$  as a photocatalyst is only effective for the decomposition of organic pollutants during radiation photons of UV light or sunlight (Aliah *et. al.*, 2012).

Porous medium is relatively safe to use in the filtration process because there is no residue from the reaction product such as acid and carbon dioxide gases  $CO_2$  that occurred in the water purification process by a photocatalyst. Mechanism process of filtration porous medium is mechanical process in which the process is dependent on the pore size of the medium. Thus, the presence of pores in the medium is very important. Porous medium in combustion process at relative low temperature  $T \sim 700^\circ C$  had been developed with waste glass as base material (Sulhadi *et. al.* 2014). With a melting temperature is lower than its constituent materials such as silica ( $SiO_2$ ) and alumina ( $Al_2O_3$ ), fabrication of porous medium of waste glass powder can be produced by tuning the time and temperature during the process of combustion. Medium pore size in the composite of waste glass powder is smaller with increasing of time and temperature combustion (Sulhadi *et. al.*, 2015).

Porous medium of composite waste glass has been used as a water filtration. The results show that porous medium effectively separates water and large size of pollutants (in the order of hundreds of micrometers), where pollutants are still able to settle. However, the porous medium of composite waste glass can not separate the small size of pollutant, where the particles dispersed in water such as particles of dye, like methylene blue in water.

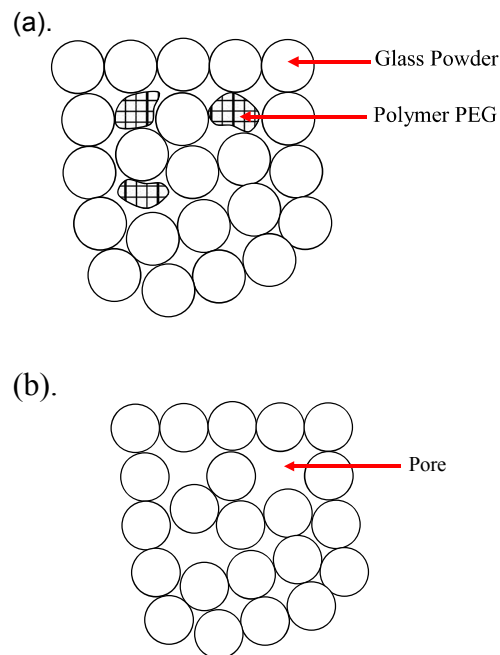
Based on the simple mechanism in the filtration in which the process is conducted in a layered medium so porous medium of glass powder composites developed with layered arrangement (multilayer). Porous medium with

layered arrangement for water filtration, where the pollutant is dispersed become a focus of the study.

## METHODS

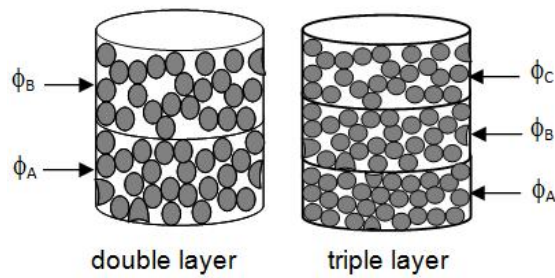
Waste glass are washed, chopped by the grinder, and filtered to obtain a homogeneous glass powder. Fabrication of pore was done by mixing polyethylene glycol (PEG) as a pore-forming agent and glass powder as a matrix composites. The heating process let the PEG polymer evaporate and leave empty spaces is called pore in the matrix composite. Illustrations of pore formation is shown in Figure 1.

The formation of pores in the matrix glass powder is determined by the fraction of the PEG polymer in the composites. Multilayer porous composites were made based on the value of porosity from a single layered porous composite. Engineering pores for single layered composite made with a variation of mass fraction from PEG polymer about 1% until 10%. PEG polymer mixture and glass powder were burned at a temperature  $T = 700^\circ C$  for 2.5 hours.



**Figure 1.** Illustration of (a) composite before the heating process and (b) pores formed after the heating process.

Multilayer porous composite was made based on the principle of the filtration process in which a layer structure were arranged from the layer that have porosity from the large to small, as illustrated in Figure 2.



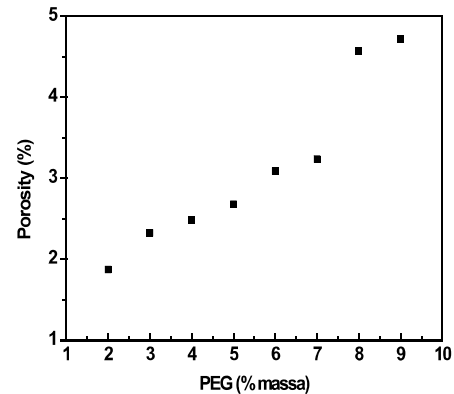
**Figure 2.** Illustration the arrangement of multilayer porous composite with a porosity  $\phi_A < \phi_B < \phi_C$ .

Performance of porous composite single, double, and triple layered were done by water filtration with organic pollutant of methylene blue with a concentration of 100 ppm. Filtration process was carried out by flowing the dirty water of methylene blue through the medium of multilayer porous composite with pressures of 0.5 bar. The filtration was observed and analyzed by using UV-Vis-NIR Ocean Optics USB type 4000.

## RESULTS AND DISCUSSION

The porosity value of single layered porous composite as shown in Figure 3 becomes a basic of making a multilayer porous composite with double and triple layered. Single layered porous composite is defined that porous composite formed from first composition of the mass fraction of PEG polymer and glass powder. The value of porosity from the single layered porous composite increases with the increasing of mass fraction of PEG polymer in matrix composites. It caused the pore formed by the PEG polymer which evaporated in matrix composites. Composite porosity with mass fraction composition of PEG polymer 1% could not be measured because the fraction of PEG polymer was small in which the structure of matrix composite is very dense. While the composite with composition of mass fraction of PEG polymer 10% has a fragile structure, so the po-

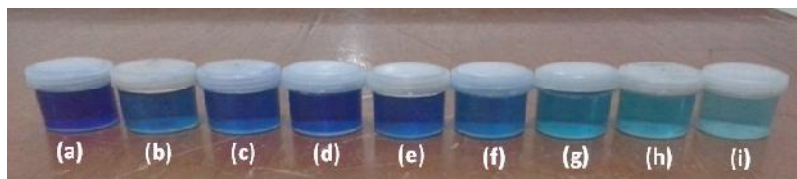
rosity could not be measured.



**Figure 3.** The distribution of porosity value of porous composite one layer.

In the early stages of development of multilayer porous composite were conducted the test of performance from single layered porous composite as a water filtration. The results of water filtration process with pollutant of methylene blue is shown in Figure 4. The results showed that there are changes in the intensity of blue color of the methylene blue solution. In simple terms, changing in the intensity of blue color describes the changing of the concentration of methylene blue particles in water.

Single layered porous composite sufficiently capable to reduce particles of methylene blue that dispersed in water, as shown in Figure 4. The intensity of color from methylene blue solution decreased by using single layered porous composite with smaller fraction of PEG. These observation results can be explained easily by using the illustrations mechanism of pore formation in Figure 1. Porous composite with higher of PEG fraction will produce pores with a fraction which increasingly large, corresponding from the measurement results of porosity in Figure 3. Similar result was declared by Sooksaen *et. al.* (2008) who was observed that the use of higher PEG fraction increasing-



**Figure 4.** (a). Methylene blue solution from water filtration process through single layered porous composite with varied fraction of PEG : (b). 9%, (c) 8%, (d) 7%, (e) 6%, (f) 5%, (g) 4%, (h) 3% and (i) 2%.

ly higher will produce pores with a large size in ceramics. Thereby, methylene blue particles will be much arrested when through a medium of porous composite single layered with less PEG polymer mass fraction.

The absorption spectrum of single layered porous composite were observed by using UV-Vis-NIR Ocean Optics type USB 4000. Absorption spectrum from water of the result of filtration process using single layered porous composite with a variation of mass fraction of PEG polymer in the matrix composites was shown in Figure 5.

Absorption spectrum in Figure 5 shows the characteristic of the spectrum of methylene blue that has absorption region in the wavelength range of 500 nm to 700 nm (Aliah *et al.*, 2012). The intensity of absorption spectrum from methylene blue solution decreased with smaller fraction of PEG polymer. This result corresponds with Figure 4 where the color degradation of methylene blue solution causes decreasing the absorption intensity. The changing of absorbance intensity from methylene blue solution describes a changes in the concentration of methylene blue particles. In general, the relationship between intensity of absorption and concentration is declared in the Lambert-Beer equation (Räty *et al.*, 2003) :

$$I_t = I_0 e^{-(\alpha l C)}$$

$$\log \frac{I_0}{I_t} = \alpha l C = A \tag{1}$$

with absorption coefficient  $\alpha$ , path length  $l$ , absorption  $A$ ,  $I_0$  and  $I_t$  are intensity of light come and passed. From Lambert-Beer equation, degradation of the intensity of absorption indicates a decrease in the concentration of the solution.

Absorption spectrum of methylene blue solution which was observed from the results of single layered porous composite indicates that the porous composite is not optimal enough. The development stage of porous composite with layered arrangement, that are double and triple layered of porous composite. Double layered porous composites have 3 types, with formation of porosity (i) 4% and 3%; (ii) 4% and 2%; (iii) 3% and 2%. While the triple layered porous composite prepared by composition of porosity 4%, 3% and 2%.

The performance results of double and triple layered porous composite are shown in Figure 6. The results of the filtration process shows that the degradation of methylene blue solution increase. Degradation of methylene blue solution are better than single layered porous composite, although there are still a particles of methylene blue in the water. While the results of filtration process with triple layered porous composite yielded clear water and without a methylene blue particles. The obser-

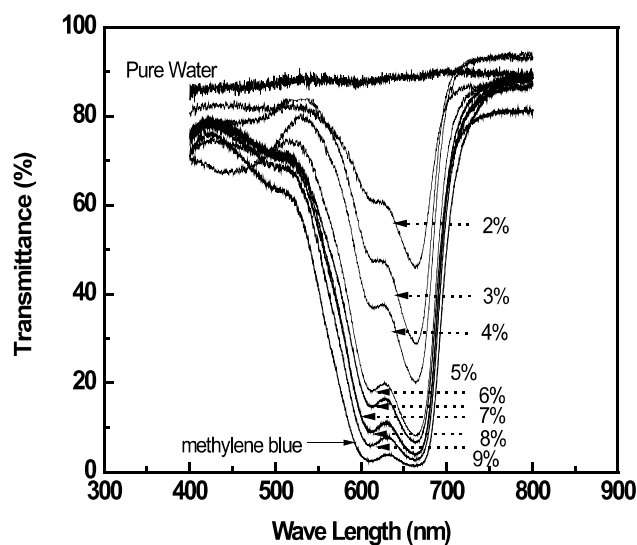


Figure 5. Absorption spectrum of filtration result with medium of single layered porous composite.

vation of color degradation of methylene blue solution corresponding to the absorption spectrum measurement results. Absorption spectrum of methylene blue particles was found in the water filtration process results. Meanwhile, water filtration process results show that triple layered porous composite can arrest absolutely the methylene blue particle in water. Thereby, triple layered porous composite can be effectively used as a water filtration to the type of pollutants with a size of constituent particles are very small such as pollutants methylene blue.

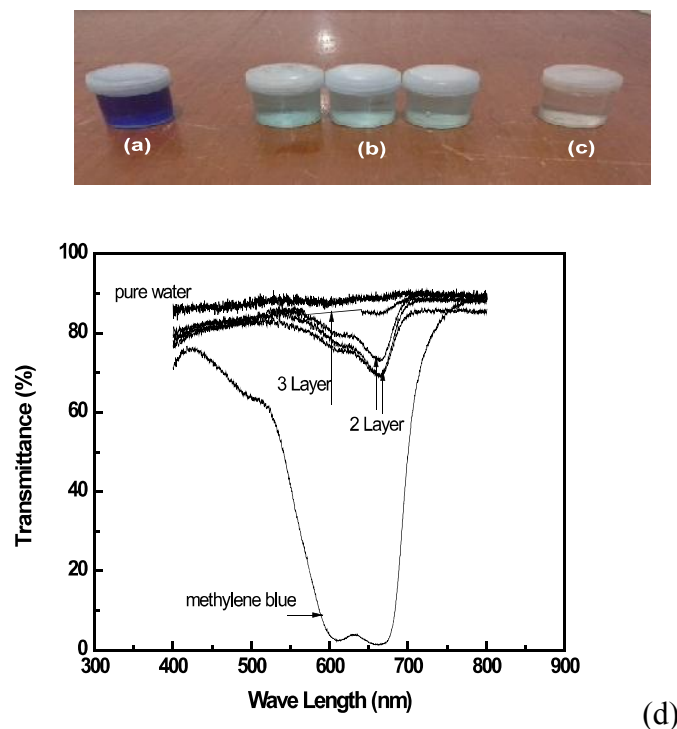
Reduction of pollutant concentrations from the filtration process known as rejection ( $R_j$ ).  $R_j$  value is proportional to the number of particles that are not able to escape from the porous medium. Whereas, the concentration of particles in solution from the results of filtration process known as retention ( $R_t$ ) (Masturi *et. al.*, 2012).  $R_t$  value is the ratio between the concentration of water filtration process results ( $C_f$ ) with initial concentration ( $C_i$ ). The relationship between  $R_j$  and  $R_t$  value is expressed in Equation 2.

$$R_j + R_t = 1 \quad (2)$$

The distribution of  $R_j$  value from the filtration process using the porous composite one layer, double and triple layered are shown in Figure 7. The linkage of concentration and intensity of absorption from Lambert-Beer equation is the basis for estimating  $R_j$  value from intensity of absorbance spectrum. Methylene blue particles have a characteristic of intensity of absorption spectrum at wavelength of 664 nm (Aliah *et. al.*, 2012).

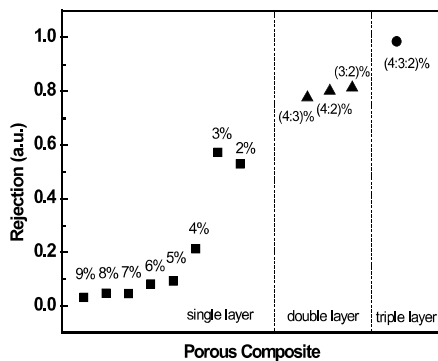
The rejection  $R_j$  of porous composite single layered increases at the smaller mass fraction of PEG polymers. In this condition, a lot of filtered particles, so that the concentration of methylene blue particles in the water is lower. At double layered porous composite,  $R_j$  value is higher, with the lower concentration of methylene blue particles.  $R_j$  value is close to the value 1 where all the methylene blue particles in water are filtered by triple layered porous composite.

Porous composite with layered arrangement effectively as a water filtering. Pollutants through a porous composite medium is assumed to get different resistances on each layer. Fluid flowing through porous composite medium can be regarded as electrons charged particles which flowing in a conductor with



**Figure 6.** (a). Methylene blue solution; the results of water filtration process in porous composite (b) double layered, (c) triple layered; and (d) absorption spectrum from the water results of filtration process.

resistance R. The simple illustration show that the water with pollutants of methylene blue through the porous composite medium with resistance R is shown in Figure 8. In the single layered porous medium is assumed has one resistance  $R_1$ , double layered with two resistance  $R_2$  and  $R_3$  ( $R_2 < R_3$ ), while triple layered namely  $R_4$ ,  $R_5$  and  $R_6$  ( $R_4 < R_5 < R_6$ ).

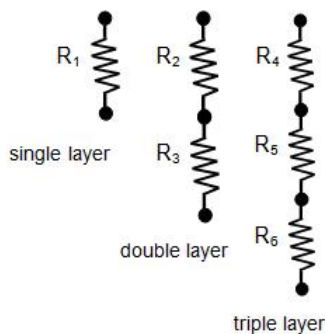


**Figure 7.** Distribution of pollutant rejection value from single, double, and triple layered of porous composite.

The resistance of fluid in a porous medium is declared by Abdullah and Khairurrijal (2009):

$$R = \frac{\Delta P}{Q} \tag{3}$$

with  $\Delta P$  : pressure and  $Q$  : debit. Expression of the Equation (3) is similar to Ohm's law. With  $\Delta P = 0.5$  bar is equal for each process filtration, debit  $Q$  of methylene blue pollutants will be smaller in the layer with smaller porosity, so that the resistance of fluid is increased. These results are agree with a model of resistance for the multilayer porous composite in Figure 8, where resistance  $R$  is greater on the layer with smaller porosity.



**Figure 8.** Illustration of a resistance layer model of fluid through the multilayer porous composite medium.

Multilayer porous composite was made with the arrangement from large porosity to small so that the fluid will have greater resistance with higher amount of smaller pore size. This is due to the confluence of two different pore sizes in each layer. This mechanism is a process where the particles of methylene blue in water was filtered in each layer. Thus, the process of filtration with multilayer porous composite is a repeatable filtration process. The filtration process using double layered porous composite will conduct double-filtration, while the triple layered porous composite will conduct triple-filtration process with different porosity.

### CONCLUSION

Multilayer porous composite from waste glass effectively used as a water filtration with pollutants of methylene blue. Degradation of methylene blue pollutants are influenced by the number of layer on a porous composite. Single layered porous composite can reduce pollutants of methylene blue until 0.5 rejection. Whereas filtration process with double layered porous composite has a rejection about ~0.8 and triple layered porous composite can reduce all methylene blue pollutants with rejection of 0.98. Thus, triple layered porous composite have the best performance as a water filtration with pollutants of methylene blue. Multilayer porous composites have repeatable mechanisms of filtration processes, so that the rejection from pollutant of methylene blue is more optimal.

### REFERENCES

Abdullah, M. and Khairurrijal, (2009), Gelation Model for Porosity Dependent Fluid Permeability in Porous Material, *Jurnal Matematika dan Sains* 14, 15-19.

Aliah, H., Aji, M.P., Masturi, Sustini, E., Budiman, M. and Abdullah, M., (2012), TiO<sub>2</sub> Nanoparticles-Coated Polypropylene Copolymer as Photocatalyst on Methylene Blue Photodegradation under Solar Exposure, *American Journal of Environmental Sciences* 8, 280-290.

Allesina, G., Pedrazzi, S., Montermini, L., Giorgini, L., Bortolani, G., and Tartarini, P., (2014), Porous Filtering Media Comparison Through Wet and Dry Sampling of Fixed Bed Gasification Products, *Journal of Physics : Conference Series* 547, 1-9.

Aslanzade, N.R., (2011), H-zeolite Softening of Water with a Reduced Amount of Reagents and Wastewaters on Double-Flow and Counter-Streaming Filters, *Journal of Water Chemistry and Technology* 33, 107-110.

- Baccour, H., Medhioub, M., Jamoussi, F. and Mhiri, T., (2009), Influence of Firing Temperature on the Ceramic Properties of Triassic Clays from Tunisia, *Journal of Materials Processing Technology* 209, 2812-2817.
- Craver, V.A.O. and Smith, J.A., (2008), Sustainable Colloidal-Silver-Impregnated Ceramic Filter for Point of Use Water Treatment, *Environmental Science & Technology* 42, 927-933.
- Franus, W., Wdowin, M. and Franus, M., (2014), Synthesis and Characterization of Zeolites Prepared from Industrial Fly Ash, *Environmental Monitoring and Assessment* 186, 5721-5729.
- Gestel, T.V., Kruidhof, H., Blank, D.H.A, and Bouwmeester, (2006), ZrO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> Membranes for Nanofiltration and Pervaporation Part 1. Preparation and Characterization of a Corrosion-Resistant ZrO<sub>2</sub> Nanofiltration Membrane with a MWCO < 300, *Journal of Membrane Science* 284, 128-136.
- Konrad, C.H., Völkl, R. and Glatzel, U., (2014), A Novel Method for the Preparation of Porous Zirconia Ceramics with Multimodal Pore Size Distribution, *Journal of the European Ceramic Society* 34, 1311-1319.
- Masturi, Silvia, Aji, M.P., Sustini, E., Khairurrijal and Abdullah, M., (2012), Permeability, Strength and Filtration Performance for Uncoated and Titania-Coated Clay Wastewater Filters, *American Journal of Environmental Sciences* 8, 79-94.
- Räty, K., Peiponen, K.E., and Asakura, T., (2003), *UV-Visible Reflection Spectroscopy of Liquids*, Springer Series in Optical Sciences, Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH.
- Ryu, K.J., Song, D.J. and Kang, D.J., (2012), Experimental Study of Optimum Filter System Design of High Purity Polymer Thread Machine, *Journal of Mechanical Science and Technology* 26, 2759-2764.
- Sooksaen, P., Suttiruengwong, S., Oniem, K., Ngamlaiad, K., and Atireklapwarodom, (2008), Fabrication of Porous Bioactive Glass-Ceramics via Decomposition of Natural Fibers, *Journal of Metals, Materials and Minerals* 18, 85-91.
- Sulhadi, Savitri, M.I., Said, M.A.N., Muklisiin, I., Wicaksono, R. and Aji, M.P., (2014), Fabrication of Mesoporous Composite from Waste Glass and Its Use as a Water Filter, *AIP Conference Proceedings* 1586, 139-142.
- Sulhadi, Susanto, Wiguna, P.A., Savitri, M.I., Said, M.A.N and Aji, M.P., (2015), Heating Time Dependent Pore Size of Porous Composite from Waste Glass, *Advanced Materials Research* 1123, 397-401.
- Takei, T, Ota, H., Dong, Q., Miura, A., Yonesaki, Y., Kumada, N. and Takahashi, H., (2012). Preparation of Porous Material from Waste Bottle Glass by Hydrothermal Treatment, *Ceramics International* 38, 2153-2157.
- Unuabonah, E.I. and Taubert A., (2014), Clay-Polymer Nanocomposites (CPNs): Adsorbents of The Future for Water Treatment, *Applied Clay Science* 99, 83-92.