

ZERO-FIELD NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE FOR STUDY OF ANTIFERROMAGNETIC PROPERTIES OF FeF₃ MATERIALS

PENGGUNAAN ZERO-FIELD NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE UNTUK STUDI SIFAT ANTIFERROMAGNETIK MATERIAL FeF₃

G.R.F. Suwandi*, S.N. Khotimah, F.Haryanto

KK Fisika Nuklir dan Biofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Teknologi Bandung

Diterima: 12 Oktober 2015. Disetujui: 28 Desember 2015. Dipublikasikan: Januari 2016

ABSTRAK

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) telah banyak digunakan sebagai "research tool" pada berbagai bidang kajian di fisika. Pada studi ini, akan dilakukan eksperimen untuk menguji sifat magnetik, khususnya antiferromagnetik pada material FeF₃. Telah dilakukan eksperimen dengan memvariasikan temperatur pada sampel dari 8 K hingga 220 K. Pulse sequence yang digunakan adalah 90°RF-τ-180°RF. Dengan memanfaatkan Fast Fourier Transform, sinyal echo ini dapat dianalisis dalam bentuk spektrum NMR dengan puncak spektrum menunjukkan frekuensi resonansinya. Diperoleh bahwa frekuensi resonansi akan menurun seiring dengan kenaikan temperatur. Posisi frekuensi pada temperatur 0 K adalah sebesar 85,41 MHz, hal ini memperlihatkan bahwa medan hyperfine dari Fe sebesar 2,14 T pada temperatur 0 K. Kurva antara frekuensi resonansi dengan temperatur menunjukkan bahwa magnetisasi tidak tepat sebanding dengan hukum Bloch T₂ namun lebih cocok dengan bentuk persamaan eksponensial yang berkaitan dengan suatu gap energi yang berasal dari dispersi spin wave. Hal ini menguatkan bahwa bahan FeF₃ merupakan bahan yang bersifat antiferromagnetik, namun bukan antiferromagnetik sederhana. Berdasarkan fitting, diperoleh gap energi sebesar 11,466 meV dan energi anisotropi sebesar 1,045 meV.

ABSTRACT

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) has been used as a research tool in many fields. In this study, the magnetic properties, especially anti-ferromagnetic properties of FeF₃ materials were investigated. Zero-field custom-built NMR method was used to investigate the anti-ferromagnetic properties in the materials. Experiments have been carried out by varying the sample temperatures from 8 K to 220 K. Ordinary spin echo pulse sequence 90°RF-τ-180°RF were used. Using Fast Fourier Transform, the signals in NMR spectrum were analyzed and the peak showed the resonance frequency. The result showed that resonance frequencies decrease with increasing in temperature. The frequency of the spectrum was around 85.41 MHz in the zero-temperature limit, and this corresponds with Fe hyperfine field at zero-temperature limit was 2.14 T. The temperature dependence of the local magnetization does not fit T₂ Bloch's Law very well. Instead, it fits the exponential form having an energy gap in the dispersion relation of the spin wave. It is obtained from the result that FeF₃ is antiferromagnetic materials with energy gap of 11.466 meV and anisotropy energy of 1.045 meV.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: Anti-ferromagnetic, FeF₃, FID echo, hyperfine field, NMR, zero-field.

PENDAHULUAN

NMR (*Nuclear Magnetic Resonance*) merupakan "research tool" yang mendasar dan telah digunakan secara luas di berbagai bidang sains dan teknologi. Penggunaan NMR

dalam bidang fisika telah dikembangkan pada berbagai bidang kajian fisika mulai dari teori hingga terapan. Pada kajian fisika partikel elementer, NMR digunakan untuk mengukur magnetik momen elektron, proton dan neutron. Pada bidang fisika atomik, efek Zeeman dan efek Stark dapat dipelajari melalui NMR. Bidang fisika terapan seperti biofisika dan fisika medik, NMR dipergunakan pada studi molekul organik, protein, fotosintesis dan magnetic re-

*Alamat Korespondensi:
Jalan Ganesha No.10 Bandung, Indonesia 40132
E-mail: galih.suwandi@gmail.com

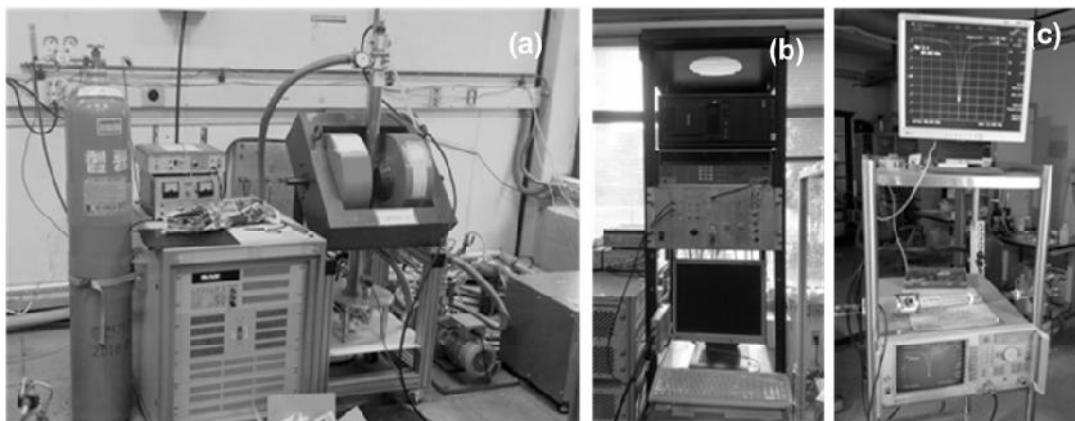
sonance imaging MRI (Sleator, 2008).

Berkaitan dengan penggunaan NMR pada proses pencitraan, pengembangan material sebagai *contrast agent* MRI merupakan topik kajian yang sedang dikembangkan. Secara umum, MRI *contrast agent* diklasifikasikan ke dalam 3 jenis yaitu *contrast agent* berbasis bahan ferromagnetik, superparamagnetik dan diamagnetik (Paulet, 2013). Namun, akhir-akhir ini dikembangkan *contrast agent* generasi berikutnya yaitu berbasis bahan antiferromagnetik.

Salah satu bahan yang dapat diproyeksikan sebagai *contrast agent* berbasis antiferromagnetik adalah FeF_3 (ferric fluoride). Bahan ini pertama kali diteliti melalui difraksi sinar-X. Melalui metode ini diketahui bahwa FeF_3 merupakan bimolekular rhombohedral dalam grup ruang R3C dengan 2 buah atom besi di posisi (0,0,0), dan $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$, juga 6 buah atom fluorin di posisi $\pm (u, \frac{1}{2}-u, \frac{1}{4})$, $\pm (\frac{1}{2}-u, \frac{1}{4}, u)$, $\pm (\frac{1}{4}, u, \frac{1}{2}-u)$ dengan $u=-0.614$ (Hepworth et. al, 1957). Penelitian mengenai bahan FeF_3 ini terus di-

kembangkan melalui berbagai metoda seperti *mossbauer spectra* (Ferre, 1979), *molecular orbital study* (Scholz, 1998) *magnetic frustration* (Tamine, 2002) dan bahkan akhir-akhir ini sebagai katoda baterai ion Litium (Li, 2010). Dari berbagai penelitian ini telah diketahui bahwa FeF_3 memiliki temperatur Neel sebesar 365 K (Coey, 2009). Nilai temperatur Neel ini memperlihatkan bahwa di bawah 365 K, FeF_3 bersifat antiferromagnetik. Hal ini menunjukkan bahwa FeF_3 juga akan bersifat antiferromagnetik ketika berada di temperatur rata-rata tubuh manusia (± 310 K) (Strijkers, 2007).

Satu metoda yang dapat dilakukan untuk menguji sifat magnetik bahan FeF_3 adalah NMR. Inti dari ion pada material magnetik seperti Fe pada FeF_3 memiliki medan hyperfine yang kuat. Interaksi hyperfine adalah interaksi magnetik antara momen magnetik inti dengan momen magnetik elektron. Interaksi ini memunculkan medan magnet, yang disebut medan hyperfine. Dalam kerangka pengamat yang diam di inti, interaksi ini disebabkan oleh



Gambar 1. Sistem peralatan NMR yang digunakan, terdiri atas (a) *cryostat*, sistem pendingin, (b) modulator, demodulator, pembangkit RF, komputer, dan (c) *network analyzer* (Suwandi, 2014).



Gambar 2. Proses perakitan probe NMR yang terdiri atas kapasitor, induktor, sampel dan termokopel (Suwandi, 2014).

medan magnetik yang dihasilkan oleh pergerakan elektron di sekitar inti (Christman, 1988).

Hal ini memungkinkan spektrum NMR diperoleh tanpa perlu diberikan medan magnet luar. Pada kasus ini, medan hyperfine yang dihasilkan atom Fe akan dirasakan oleh atom F sebagai medan magnet luar. Sehingga inti dari F akan berpresesi terhadap medan hyperfine dari Fe. Berkaitan dengan hal ini, maka NMR yang digunakan adalah ^{19}F -NMR. Teknik NMR tanpa adanya medan magnet luar ini disebut *zero-field NMR* (Thayer, 1987).

Sebagai medan dipol yang dibentuk oleh spin elektron yang cenderung saling menghilangkan karena tetangganya memiliki arah yang berlawanan, maka medan dipol yang dialami oleh inti sangat lemah dibandingkan dengan medan hyperfine pada antiferromagnetik. Maka, frekuensi larmor sangat ditentukan oleh konstanta kopling hyperfine dan momen magnetik (Jo, 2011).

Medan hyperfine dan konstanta kopling hyperfine pada Fe akan bergantung terhadap temperatur (Riedi, 1973). Hal ini yang melandasi penelitian kali ini dilakukan dengan menggunakan temperatur sebagai variabel yang berubah.

Pada makalah ini dilaporkan hasil penelitian berkaitan dengan pengujian sifat antiferromagnetik pada bahan FeF_3 menggunakan metode zero-field NMR dan melihat hubungan antara medan hyperfine pada FeF_3 terhadap temperatur. Pengujian ini akan memperlihatkan jenis antiferromagnetik pada bahan FeF_3 .

METODE

Bahan yang diteliti adalah FeF_3 (ferric fluoride). Sampel bahan FeF_3 yang digunakan berbentuk serbuk polikristalin dengan kemurnian 98% produksi dari Sigma-Aldrich, Korea. Sampel disimpan dalam sebuah tabung sampel berukuran diameter $(5,00 \pm 0,05)$ mm dan panjang $(22,00 \pm 0,05)$ mm. Secara kasat mata, sampel ini berwarna hijau pucat.

Bahan FeF_3 yang digunakan memiliki massa molar 112,840 gram/mol dan rapat massa 3,78 gram/cm³. Temperatur Neel untuk bahan ini adalah 365 K. (Coey, 2009). Jadi, pada temperatur tubuh manusia, bahan ini berada dalam fasa antiferromagnetik.

Sistem alat NMR yang digunakan merupakan rakitan dari Laboratorium *Magnetic Resonance and Magnetism*, KAIST, Korea Selatan. Sistem ini terdiri atas 4 bagian utama,

yaitu modulator, probe eksperimen, demodulator dan komputer seperti ditunjukkan gambar 1. Kepala probe yang digunakan adalah inti ^{19}F . Hal ini berkaitan dengan material yang diselidiki yaitu FeF_3 yang memiliki inti F. Secara umum, terdapat tiga tahap dalam eksperimen. Tahap pertama adalah persiapan sampel dan probe. Tahap kedua adalah pengaturan temperatur (pendinginan) sampel. Tahapan terakhir merupakan pengambilan data (perekaman dan pengolahan sinyal NMR).

Probe NMR merupakan bagian tempat terjadinya fenomena NMR. Probe dirancang untuk menjadi bagian pemberi dan penangkap sinyal pada sampel. Seperti terlihat pada gambar 2, probe merupakan tempat diletakkannya sampel yang akan diuji. Probe ini disambungkan dengan pembangkit sinyal sehingga sampel akan menerima sinyal RF. Selain itu, probe juga dihubungkan dengan *network analyzer* untuk mendeteksi sinyal hasil resonansinya. Sebagai pemberi sinyal gelombang RF, probe yang digunakan terdiri atas rangkaian induktor-kapasitor (LC) seperti gambar 2. Induktor terbuat dari kawat tembaga ($\phi = 1$ mm), jumlah lilitan sebanyak 5, diameter kumparan 5,05 mm dan panjang kumparan 5,7 mm. Untuk memperoleh nilai induktansi dari kumparan yang dibuat, digunakan persamaan 1 (Grover, 1973) :

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l} \quad (1)$$

L merupakan induktansi kumparan, μ permeabilitas listrik relatif terhadap inti kumparan, N jumlah lilitan, A luas penampang kumparan dan l merupakan panjang kumparan.

Perhitungan secara manual menunjukkan bahwa kumparan ini memiliki nilai induktansi sebesar 110,395 nH. Selain itu, terdapat dua buah kapasitor variabel dengan nilai kapasitansi sebesar 2 – 120 pF.

Bagian modulator akan memberikan pulsa sequence berupa spin echo ($90^\circ - \tau - 180^\circ$). Lebar pulsa 90° yang diberikan ditetapkan sebesar $2\mu\text{s}$ sepanjang proses pengukuran. Untuk pemberian sinyal RF, parameter pada modulator diatur dengan nilai yang tertera pada tabel 1. Pengaturan parameter ini berlaku untuk seluruh pengambilan data.

Frekuensi resonansi dari bahan FeF_3 belum diketahui, oleh karena itu dilakukan pencarian spektrum pada rentang frekuensi 60 - 90 MHz. Rentang ini merupakan rentang frekuensi resonansi NMR untuk inti ^{19}F . Untuk

mencapai pengukuran yang akurat, koil pada probe diatur secara teliti pada setiap frekuensi memanfaatkan *network analyzer*.

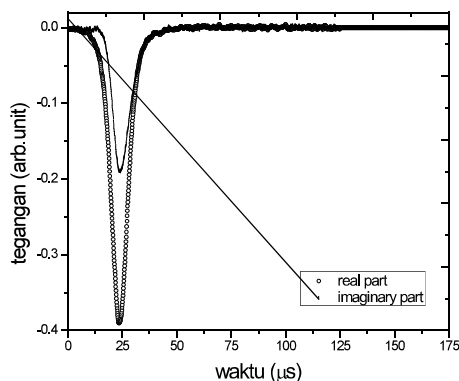
Tabel 1. Set parameter pada eksperimen.

Parameter	Nilai
Repetition time	50000 μ s
Pulse width	2 μ s
Echo time	100 μ s
Pre-echo time	20 μ s
T1	10 μ s
Dial	2

Sampel yang telah dipersiapkan dalam probe kemudian dimasukkan ke dalam cryostat dan diatur temperaturnya. Temperatur yang diberikan bervariasi dari 8,2 K hingga 220 K. Proses pendinginan dilakukan dengan memanfaatkan helium cair. Pengaturan temperatur dilakukan oleh alat kontrol temperatur yang terhubung dengan termokopel pada probe NMR. Untuk setiap nilai temperatur, proses pemberian dan perekaman sinyal NMR dilakukan sebanyak satu kali pengambilan data. Secara keseluruhan, terdapat 12 kali proses pengulangan pengambilan data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan langkah eksperimen yang telah dilakukan, diperoleh data mentah berupa nilai hasil *averaging* selama 300 kali dari osiloskop. Data ini merupakan sinyal echo yang terekam. Gambar di bawah ini adalah hasil sinyal pada temperatur sampel 20 K.

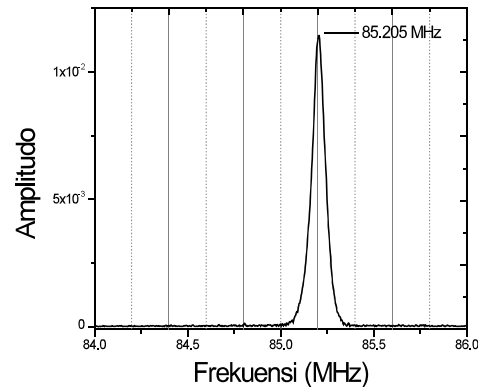


Gambar 3. Sinyal NMR hasil *average* pada temperatur sampel 20 K.

Pada Gambar 3, sumbu-x merupakan waktu (dalam mikro-sekon) dan sumbu-y me-

rupakan tegangan (dalam satuan acak). Besar nilai pada sumbu-y tidak terlalu penting karena besarnya tergantung pada parameter dial yang diatur, bukan dari sampel. Jadi nilainya bisa berubah tergantung parameter dial yang diberikan. Selain itu terlihat pula ada dua sinyal pada osiloskop, yaitu *real part* dan *imaginary part*. Kedua sinyal tersebut muncul sebagai akibat beda fasa pada sinyal output hasil demodulator. Jadi, data yang diolah menggunakan FFT hanya data bagian *real*.

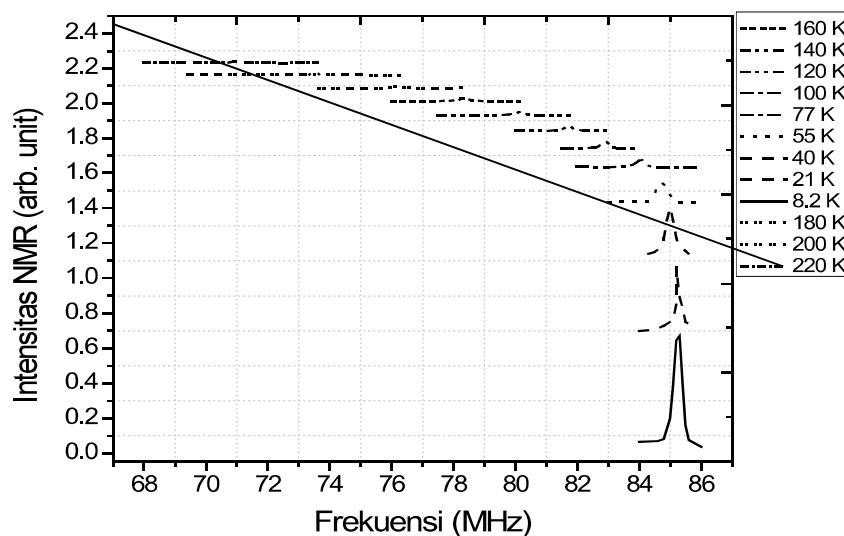
Untuk melihat spektrum NMR dan frekuensi resonansi dari kondisi ini, maka data di atas perlu diubah dari domain waktu ke domain frekuensi. Untuk memperoleh hal tersebut, dilakukan FFT (*Fast Fourier Transform*). Proses FFT ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *OriginPro 8.1*. Dengan melakukan FFT, diperoleh hasil seperti gambar 4.



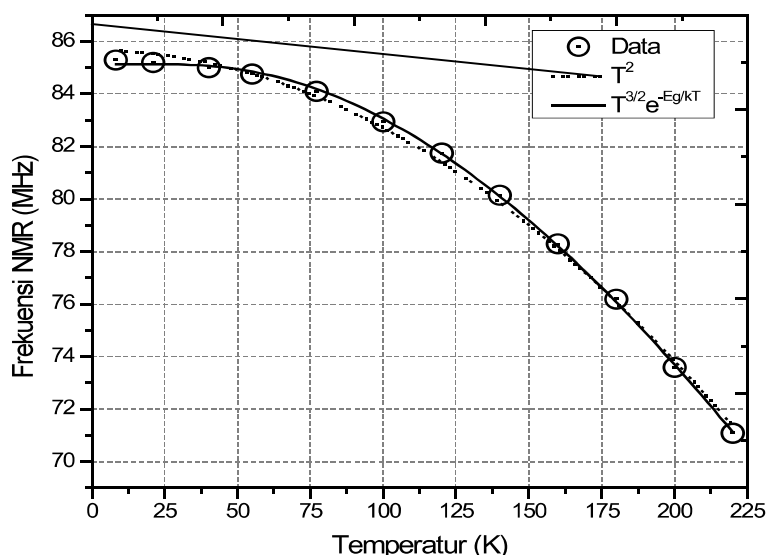
Gambar 4. Spektrum NMR pada temperatur sampel 20 K. Terlihat bahwa frekuensi resonansi pada temperatur ini 85,205 MHz.

Nilai frekuensi ini sesuai dengan perkiraan berdasarkan data bahwa frekuensi Larmor untuk atom F berada pada nilai sekitar 94,1 MHz pada medan magnet 2,35 T (Jacobson, 2007). Untuk nilai medan hyperfine pada atom ini diperkirakan antara 1 hingga 2 T. Maka nilai 85 MHz masuk dalam rentang frekuensi perkiraan.

Secara keseluruhan, data lainnya dari spektrum NMR yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5 tersebut, diperoleh bentuk gaussian untuk seluruh spektrum NMR yang diperoleh. Spektrum dengan intensitas tertinggi terdapat pada temperatur sampel yang terendah dan semakin mengecil seiring dengan peningkatan temperatur. Pada temperatur 220 K, spektrum NMR yang teramati sangat kecil dan ketika temperatur 240 K tidak tampak spektrum. Hal inilah yang



Gambar 5. Spektrum NMR dari sampel FeF_3 untuk berbagai temperatur sampel pada rentang 8.2 – 220 K.



Gambar 6. Hubungan antara frekuensi NMR sampel terhadap temperatur. Lingkaran hitam merupakan data eksperimen dari frekuensi resonansi NMR pada bahan FeF_3 .

menyebabkan data yang disajikan terbatas hingga 220 K. Selain itu, dapat pula dilihat bahwa terjadi pergeseran nilai frekuensi resonansi. Hal ini berkaitan dengan adanya energi termal yang meningkat seiring dengan temperatur yang meningkat. Oleh karena itu dapat ditinjau bahwa magnetisasi totalnya cenderung menurun dan mengakibatkan frekuensi resonansinya mengecil. Selain itu dapat ditinjau pula dari nilai medan hyperfine yang berkurang seiring dengan peningkatan temperatur. Kurva hubungan antara momen magnetik lokal dengan temperatur pada material FeF_3 ini dapat dilihat dari Gambar 6.

Hubungan antara frekuensi resonansi dengan medan magnet hyperfine terlihat se-

perti persamaan 2 (Jo, 2011) :

$$\nu = \frac{\gamma}{2\pi} (|A| \mu_T) = \frac{\gamma}{2\pi} (B_{hyp}) \quad (2)$$

Dengan mengingat bahwa medan hyperfine memiliki kebergantungan terhadap temperatur, maka frekuensi resonansi dari sampel akan sebanding dengan momen magnetik lokal pada sampel

$$\nu(T) \propto M(T) \quad (3)$$

Oleh karena itu, kurva pada gambar 4.8 dapat pula dilihat sebagai kurva antara momen magnetik (M) dengan

Tabel 2. Perbandingan hasil fitting.

Simbol	Persamaan fitting	Persamaan hasil fitting	R ²
.....	$y = y_0 - Ax^2$	$y = 85.66307 - (2.95523 \times 10^{-4})x^2$	0.99696
—	$y = y_0 - Bx^{1.5} e^{-C/x}$	$y = 85.41034 - 0.00785x^{1.5} e^{-132.87945/x}$	0.99952

temperatur (T). Hal ini pula yang dilakukan pada saat mendekati bentuk kurva melalui persamaan. Data di atas didekati dengan dua buah persamaan yang berasal dari *spin wave excitation fitting* :

$$M(0) - M(T) = aT^2 \tag{4}$$

Persamaan 3 tersebut merupakan persamaan untuk bahan antiferromagnetik. Pada persamaan tersebut, $M(0)$ merupakan magnetisasi lokal sampel pada saat temperatur 0 K dan $M(T)$ merupakan magnetisasi lokal sampel pada temperatur T , a merupakan sebuah konstanta acak dan T merupakan temperatur.

$$M(0) - M(T) = bT^{3/2} e^{-E_g/kT} \tag{5}$$

Persamaan 4 merupakan persamaan yang sesuai jika bahan yang digunakan antiferromagnetik dengan adanya suatu gap energi (E_g). Pada persamaan 5, b merupakan suatu konstanta acak dan k merupakan tetapan Boltzman. Jika hubungan ini yang terpenuhi, maka dapat pula ditentukan nilai energi exchange (E_E) dan anisotropi magnetik (E_A) dengan memanfaatkan persamaan :

$$E_g = (2E_A E_E)^{1/2} \tag{6}$$

Data yang diperoleh telah didekati dengan kedua persamaan di atas seperti terlihat pada gambar 6. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa bahan yang digunakan merupakan antiferromagnetik. Hal ini terlihat dari bentuk kurva antara frekuensi resonansi dengan temperatur sangat mendekati persamaan 4. Tabel 2 merupakan hasil fitting data pada persamaan 4 dan 5. Hasilnya menunjukkan persamaan 5 lebih memenuhi bentuk kurva. Hal ini dapat dilihat dari nilai koefisien korelasi R^2 fitting persamaan 5 yang sebesar 0,99952 lebih mendekati 1 dibandingkan dengan fitting persamaan 4 sebesar 0,99696.

Hasil fitting pada Tabel 1 dengan pendekatan persamaan 5 dapat digunakan untuk mengetahui beberapa besaran lain seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu gap energi (E_g), energi exchange (E_E) dan anisot-

ropi magnetik (E_A). Gap energi (E_g) yang diperoleh berdasarkan pendekatan persamaan 5 sebesar 11,466 meV yang sebanding dengan

energi termal ($E = k_B T$) pada 133,06 K.

Kemudian, energi exchange (E_E) yang merupakan energi ambang pada transisi antara antiferromagnetik dengan paramagnetik, diperoleh dengan mengambil nilai Temperatur Neel (T_N) yaitu 365 K atau $E_E = kT_N = 31,452$ meV. Dengan memanfaatkan persamaan 6, maka dapat diperoleh anisotropi magnetik (E_A) sebesar 1,045 meV atau sebanding dengan energi termal pada temperatur 12,13 K.

Gap energi yang muncul ini berkaitan dengan dispersi spin wave. Pada temperatur rendah, magnetisasi dari bahan ferromagnetik dan antiferromagnetik dipengaruhi oleh *long-wavelength spin wave*. Sebagai pembeda dengan bahan ferromagnetik, pada bahan antiferromagnetik terdapat gap energi. Gap energi ini berkaitan dengan nilai dari energi exchange dan energi anisotropi. Pada tinjauan kristal magnetik anisotropi, energi (yang biasanya berasal dari arus listrik) yang bekerja pada domain magnet, yang menyebabkan momen magnetik berubah arah dari posisi "easy" ke "hard" disebut sebagai energi anisotropi. Energi yang dibutuhkan untuk melakukan hal tersebut didefinisikan sebagai energi anisotropi. Berdasarkan hal ini, dapat diamati bahwa jika energi anisotropi dari bahan cukup besar, maka arah magnetisasi cukup sulit untuk berubah. Hal ini dapat pula terlihat dari kelandaian kurva antara frekuensi resonansi (yang dapat merepresentasikan magnetisasi lokal) dengan temperatur. Arti dari kelandaian kurva tersebut adalah dibutuhkan temperatur (energi termal) yang cukup besar untuk mengubah orientasi spin. Seperti kita tahu, dengan meningkatnya temperatur, maka energi termalnya dapat "merusak" konfigurasi spin antiferromagnetik yang ada. Dengan asumsi bahwa pada kondisi temperatur nol, spin berada pada keadaan dasar (*ground state*). Secara mikroskopik, hal ini berkaitan pula dengan eksitasi spin wave. Oleh karena itu, dalam pengolahan data di atas digunakan *spin wave excitation fitting*. Persamaan fitting

ini berasal dari konsep eksitasi termal pada *spin wave* (Kittel, 1979). Konsep ini berlaku pada temperatur rendah. Oleh karena itulah, temperatur yang digunakan lebih rapat pada nilai yang rendah dibandingkan nilai temperatur yang menuju temperatur Neel bahan. Nilai energi anisotropi yang lebih kecil dibandingkan dengan energi exchange menunjukkan bahwa pada transisi fase magnetik dari paramagnetik ke antiferromagnetik dan sebaliknya, terjadi *spin-flop phase transition*.

Dalam melihat pengaruh besar kecilnya besaran-besaran energi yang diperoleh, dapat dilihat nilai pada bahan lain sebagai pembanding. Sebagai contoh, bahan $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$ yang telah diteliti oleh Jo et al (Jo, 2011), dapat dilihat bahwa nilai energi-energinya memiliki perbedaan. Pertama dalam hal kurva antara magnetisasi lokal dengan temperatur, pada kurva bahan FeF_3 lengkungannya lebih landai dibandingkan dengan $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan FeF_3 lebih sulit untuk berubah orientasi spinnya terhadap temperatur dibandingkan $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$. Hal ini ternyata terlihat dari nilai energi gap untuk $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$ sebesar 1,82 meV yang lebih kecil dibandingkan FeF_3 sebesar 11,466 meV. Artinya butuh energi yang lebih kecil untuk spin wave terdispersi dan muncul orientasi berbentuk propagasi gelombang. Hal yang sama terlihat pula tentunya pada nilai energi anisotropinya yang sebesar 0,22 meV dibandingkan dengan FeF_3 sebesar 1,045 meV. Dan secara umum jelas terlihat dari temperatur Neel untuk $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$ yaitu 90 K jauh lebih rendah dibanding FeF_3 senilai 365 K.

Jelas bahwa energi termal yang dibutuhkan untuk mengacak konfigurasi spin untuk $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$ lebih kecil dibanding dengan FeF_3 .

SIMPULAN

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan telah diperoleh sinyal NMR dari sampel FeF_3 dengan metode *zero-field* NMR. Jadi, metode ini dapat dilakukan untuk mendeteksi kemagnetan pada bahan FeF_3 .

Frekuensi resonansi dari sampel FeF_3 menurun seiring dengan peningkatan temperatur. Kurva hubungan antara frekuensi resonansi ini dengan temperatur memenuhi persamaan spin wave excitation : $M \propto T^{3/2} e^{-E_g/kT}$ sehingga menunjukkan bahwa FeF_3 merupakan bahan antiferromagnetik dengan suatu gap energi yang berkaitan dengan dispersi spin wave.

Magnetisasi sublattice diperoleh secara kuantitatif sebagai fungsi temperatur menunjukkan gap energi sebesar of 11.466 meV yang berkaitan dengan dispersi spin wave dan energi anisotropi sebesar 1.0452 meV.

Medan efektif pada sampel FeF_3 berupa medan hyperfine yang bernilai 2.14 Tesla pada temperatur nol mutlak. Nilai medan hyperfine ini berkurang seiring peningkatan temperatur sampel.

Hasil eksperimen ini dapat dijadikan acuan awal untuk pengembangan bahan FeF_3 sebagai MRI contrast agent generasi terbaru, yaitu *contrast agent* berbasis antiferromagnetik. Dengan temperatur Neel yang berada dalam rentang suhu tubuh manusia, maka dapat dipastikan bahwa FeF_3 bersifat antiferromagnetik jika sedang bekerja sebagai *contrast agent*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Prof. S.C. Lee dan seluruh anggota *Magnetic Resonance and Magnetism Laboratory*, KAIST, Korea Selatan atas fasilitas penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Chlan, V., Stepankova, H., Reznicek, R., & Novak, P. (2011). Anisotropy of hyperfine interactions as a tool for interpretation of NMR spectra in magnetic materials. *Solid State Nuclear Magnetic Resonance*, 40, 27–30.
- Christman, J. R. (1988). *Fundamental of Solid State Physics*. USA : John Wiley & Sons.
- Coey, J. M. D. (2009). *Magnetism and Magnetic Material*. New York : Cambridge University Press.
- Ferey, G., Varret, F., & Coey, J. M. D. (1979). Amorphous FeF_3 : a non-crystalline magnet with antiferromagnetic interactions. *Journal of Physics C: Solid State Physics*, 12(13), 531-538.
- Gadian, D.G. (1995). *NMR and its application to living system*. New York : Oxford University Press Inc.
- Grover, F.W. (1973). *Inductance Calculations*. New York : Dover Publication Inc.
- Hepworth, M. A., Jack, K. H., Peacock, R. D., & Westland, G. J. (1957). The crystal structures of the trifluorides of iron, cobalt, ruthenium, rhodium, palladium and iridium. *Acta Crystallographica*, 10, 63-69.
- Jacobsen, N. E. (2007). *NMR Spectroscopy Explained : Simplified Theory, Applications and Examples for Organic Chemistry and Structural Biology*. New Jersey : John Wiley & Sons.
- Jo, E., Kim, C., & Lee, S.C. (2011). ^{55}Mn nuclear

- magnetic resonance for antiferromagnetic Mn_2O_3 . *New Journal of Physics*, 13, 013-018.
- Kittel, C. (1979). *Introduction to Solid State Physics 5th ed.* New Delhi : Willy Eastern Reprint.
- Li, R. F., Wu, S. Q., Yang, Y., & Zhu, Z. Z. (2010). Structural and Electronic Properties of Li-Ion Battery Cathode Material FeF_3 . *Journal of Physical Chemistry C*, 114, 16813–16817.
- Paulet, L. (2013). *Contrast Agent in MRI*, [Portable Document File]. Retrieved from http://epileptologie-bonn.de/cms/upload/homepage/lehnhertz/LPaulet_CA_MRI.pdf
- Poole Jr., C.J. (2004) *Encyclopedic Dictionary of Condensed Matter Physics Vol 1 and 2*. San Diego : Elsevier Inc.
- Riedi, P.C. (1973). Temperature Dependence of the Hyperfine Field and Hyperfine Coupling Constant of Iron. *Physical Review B*, 8, 5243-5246.
- Rosenthal, D. (1964). *Introduction to Properties of Materials*. New Jersey : D.Van Nostrand Company Inc.
- Scholz, G., & Stosser, R. (1999). Molecular structures, vibrational frequencies and isotropic hyperfine coupling constants of FeF_3 and MnF_2 : an ab initio molecular orbital study. *Journal of Molecular Structure : THEO-CHEM*, 488, 195–206.
- Shane, J.R. & Kestigian, M. (1968). Antiferromagnetic Resonance in Twinned Crystals of FeF_3 . *Journal of Applied Physics*, 39, 1027-1028.
- Sigma Aldrich. (2013). Product Specification of FeF_3 . Retrieved from <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/288659?lang=en®ion=ID>
- Sleator, T. (2008). *Pulsed Nuclear Magnetic Resonance and Spin Echo*. New York : New York University.
- Strijkers, G.J., Mulder, W.J.M., Tilborg, G.A.F.v., & Nicolay, K. (2007). MRI contrast agents: current status and future perspectives. *Anti-Cancer Agent in Medicinal Chemistry*, 7(3), 291-305.
- Suwandi, Galih R.F. (2014). Penggunaan Zero-field Nuclear Magnetic Resonance (NMR) untuk Studi Sifat Antiferromagnetik Material FeF_3 . (Unpublished Master Thesis). SPs ITB, Bandung.
- Tamine, M. (2002). Magnetic frustration in cubic antiferromagnet studied by means of the constraint function: Application to FeF_3 . *Computational Materials Science*, 25, 339–343.
- Thayer, A.M., & Pines, A. (1987). Zero-field NMR. *Account of Chemical Research*, 20 (2), 47–53.

THE DEVELOPMENT OF EARTH QUAKE TEACHING MATERIAL FOR JUNIOR HIGH SCHOOL BY FOUR STEP TEACHING MATERIALS DEVELOPMENT METHOD

PENGEMBANGAN BAHAN AJAR TEMA GEMPA BUMI MENGUNAKAN *FOUR STEP TEACHING MATERIALS DEVELOPMENT*

S. Hendri^{a)}, W. Setiawan^{b)}

^{a)}Program Studi Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam, Sekolah Pasca Sarjana Universitas Pendidikan
Indonesia

^{b)}Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Pendidikan Indonesia

Diterima: 12 Oktober 2015. Disetujui: 28 Desember 2015. Dipublikasikan: Januari 2016

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bahan ajar materi ilmu pengetahuan alam bagi siswa Sekolah Menengah Pertama. Bahan ajar ini mengangkat tema fenomena bencana gempa bumi sebagai pokok pembahasan utama yang mengintegrasikan ilmu kebumiharian, fisika, biologi dan teknologi. Penelitian ini merupakan bagian dari Research and Development, yaitu mengembangkan bahan ajar menggunakan metode Four Step Teaching Materials Development (4STMD). 4STMD memiliki empat tahapan pengembangan bahan ajar, yaitu proses seleksi, proses strukturisasi, proses karakterisasi, dan proses reduksi didaktis. Produk akhir dari pengolahan bahan ajar ini berjudul "Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi". Pengujian terhadap bahan ajar dilakukan dengan mengidentifikasi konsep sulit, menilai kelayakan bahan ajar, dan keterpahaman siswa terhadap bahan ajar. Hasil penelitian menunjukkan sebagian besar konsep-konsep materi yang terdapat pada bahan ajar tergolong konsep mudah, dengan persentase penulisan ide pokok benar diatas 75% dan kualifikasi pemahaman siswa terhadap bahan ajar dikategorikan baik. Hasil penilaian kelayakan bahan ajar dinyatakan bahwa bahan ajar ini layak untuk digunakan dalam pembelajaran.

ABSTRACT

The aim of this study is to developed a science teaching material for students on junior high school. The theme of this material are the earthquake phenomenon as the main subject are displayed integratedly into various concepts of science knowledge such as earth science, physics, biology and technology. This study is Research and Development study that developing teaching materials by using The Four Step Teaching Materials Development. The four steps on developing a teaching material which are selection, structurisation, characterization, and didactic reduction process. The final product of this steps is hand out wich titled "Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi (Learning Science through the earth quake phenomenon)". Then, the teaching materials is tested to get information about concepts indentification, eligibility, and student's understanding. This study showed that most of the concepts on this teaching material are quite easy with the correct written main ideas above 75% and the students understanding toward this hand out are falls on good category. Beside that, this hand out are validated in four aspects, which are content, material presentment, language & grammar, and grafis. The result stated that the hand out is feasible for use in learning.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: development, teaching materials, science in junior high school, 4STMD.

PENDAHULUAN

Menurut teori konstruktivisme, belajar adalah proses membangun pemahaman melalui interaksi bermakna dengan dunia, sehingga

merupakan penggabungan keterlibatan aktif siswa dengan materi pembelajaran dan lingkungan belajar (Antle, et al., 2011). Salah satu fungsi belajar adalah *self-evident* yaitu untuk menyimpan skema secara otomatis dalam memori jangka panjang (Sweller, 1994). Allwright mengkategorikan proses belajar sebagai interaksi antara tiga elemen, yaitu: guru, siswa dan

*Alamat Korespondensi:

Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154 Jawa Barat
E-mail: silvianahendri@gmail.com

bahan ajar (Hutchinson & Torres, 1994). Hasil interaksi dari ketiga elemen adalah kesempatan belajar.

Salah satu komponen penting dalam pembelajaran adalah bahan ajar sebagai sumber belajar bagi siswa. Dalam proses pembelajaran, siswa membutuhkan bahan ajar sebagai pengetahuan deklaratif, pengetahuan prosedural, dan keterampilan intelektual yang merupakan kerangka atau petunjuk dalam membantu mereka untuk mengorganisasikan apa yang mereka pelajari didalam dan diluar kelas selama pembelajaran, saat melakukan kegiatan atau latihan, belajar mandiri, mengerjakan tugas/pr dan mempersiapkan ujian (Yanti, et al., 2008). Bahan ajar memungkinkan siswa untuk belajar lebih baik (*better*), lebih cepat (*faster*), lebih jelas (*clearer*), lebih mudah (*easier*) dan lebih banyak (*more*).

Bahan ajar yang baik dapat menjadi alat yang sangat baik bagi perubahan perilaku siswa yang efektif dan tahan lama. Pembelajaran tanpa bahan ajar akan sulit dilakukan karena sulit mengakomodasi perubahan perilaku (pemahaman) pada siswa (Yanti, et al., 2008). Seperti yang diungkapkan Anwar (2014) bahwa tujuan utama dari proses pembelajaran adalah bagaimana guru menyampaikan bahan ajar kepada siswa sehingga siswa dapat mudah memahaminya.

Buku-buku ajar yang ada selama ini lebih menekankan kepada dimensi konten dan masih terdapat beberapa kelemahan yang menyangkut aspek pedagogis dari materi isi buku sekolah, serta ditemukan adanya konten materi yang tertinggal dari perkembangan ilmu pengetahuan terkini (Adisendjaja, 2010). Buku yang tidak sesuai dengan kurikulum di sekolah diistilahkan bahan ajar yang kurang efektif (*ineffective instructional materials*). Bahan ajar yang kurang efektif juga dapat menyebabkan hasil belajar siswa yang rendah (Syatriana, et al, 2013).

Sejak tahun 1995, Anwar mengembangkan gagasan tentang tahapan-tahapan dalam mengolah bahan ajar yang bertujuan menghasilkan bahan ajar efektif sesuai dengan kurikulum di sekolah. Tahapan pengolahan bahan ajar yang dikembangkan oleh Anwar dinamakan **Four Step Teaching Materials Development (4S-TMD)**. Tahapan-tahapan ini adalah: proses seleksi, strukturisasi, karakterisasi, dan reduksi disdaktis. Produk bahan ajar yang dihasilkan dalam empat tahapan ini adalah bahan ajar yang siap disajikan guru sebagai bahan mengajar atau dipelajari oleh siswa sebagai bahan ajar mandiri (Anwar, 2014).

Kelebihan dari *Four Step Teaching Materials Development (4STMD)* tidak hanya menyeleksi materi subjek dari sumber-sumber bahan ajar seperti buku teks atau buku referensi yang lain, tetapi juga dikembangkan nilai-nilai yang dapat digali oleh siswa saat mempelajari materi subjek tersebut. Tahapan 4S-TMD tidak berhenti pada proses seleksi, namun terdapat tiga tahapan lain yang digunakan untuk mengembangkan bahan ajar. Tiga tahapan tersebut masing-masing adalah: tahapan strukturisasi, tahapan karakterisasi dan tahapan reduksi yang tidak terdapat dalam cara mengolah bahan ajar lainnya. Ketiga tahapan ini merupakan tahapan lanjutan yang harus dilakukan guna mendapatkan bahan ajar yang sesuai dengan kebutuhan siswa dan tahapan perkembangan kognitif siswa. Dalam tiga tahapan lanjutan ini, melibatkan siswa untuk membangun struktur konsep dalam pikiran siswa, mengkarakterisasi konsep materi berdasarkan tingkat kesulitan menurut siswa, dan mengurangi tingkat kesulitan tersebut agar siswa dapat lebih paham dalam memahami konsep materi yang disajikan pada bahan ajar.

Melalui pembelajaran IPA, siswa diarahkan untuk dapat mendeskripsikan fenomena alam (Lamanauskas, 2010) dan keterkaitannya dengan dampak yang ditimbulkan dalam kehidupan sehari-hari (Liliawati, et al, 2013). Pembelajaran IPA dapat diintegrasikan dalam berbagai disiplin ilmu, seperti ilmu sosial ataupun teknologi, dan dapat juga diintegrasikan dengan keterampilan, sikap dan minat siswa dalam pembelajaran. Dengan mengintegrasikan konsep-konsep IPA, diharapkan siswa dapat memahami konsep secara lebih bermakna, kontekstual dan utuh (Bialek & Botstein, 2004; Wisudawati & Sulistyowati, 2014; Liliawati, et al., 2013).

Berdasarkan standar isi pada kajian IPA untuk SMP/MTs, dapat dikembangkan tema mengenai fenomena alam yang ada di bumi, seperti gempa bumi. Tema ini merupakan tema yang dikembangkan dari ruang lingkup Ilmu Kebumihan yang menginterasikan ilmu sains dasar lainnya seperti fisika, biologi, oseonografi, ilmu bumi, geografi dan teknologi. Konsep-konsep dalam tema bencana gempa bumi adalah struktur bumi (*earth science*), lempeng tektonik (*earth science*), gelombang (fisika), perpindahan kalor (fisika), karakteristik zat (kimia), bagaimana kehidupan makhluk hidup pada daerah ekstrim batas lempeng (biologi), fenomena dan mitigasi bencana gempa bumi (sosial). Dengan menyajikan konsep-konsep tersebut dalam bahan ajar, siswa dapat men-

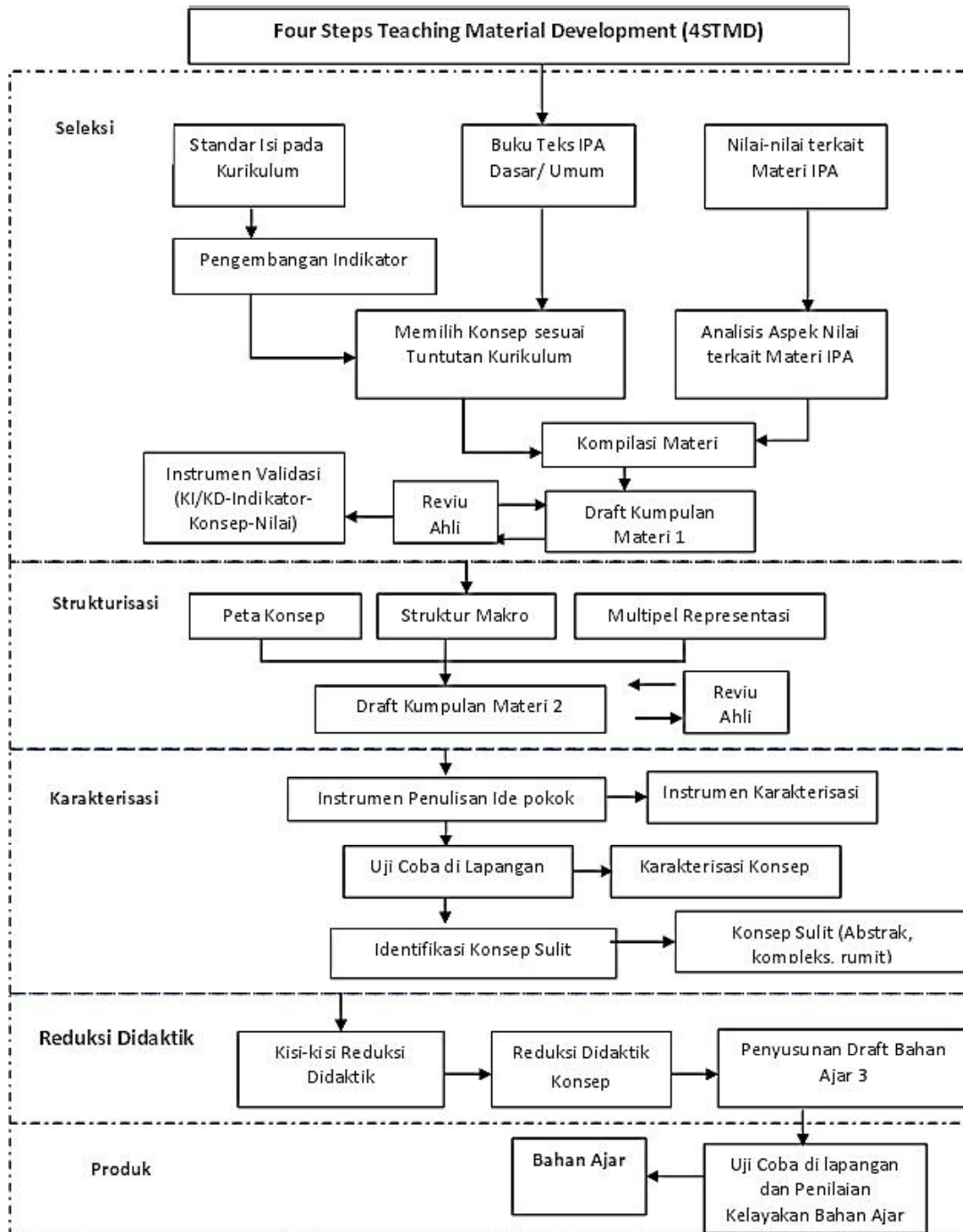
deskripsikan fenomena alam gempa bumi dan memahami cara mitigasi bencana gempa bumi.

Tujuan penelitian ini adalah (1) Mengembangkan bahan ajar IPA SMP pada setiap tahapan metode *Four Step Teaching Materials Development* (4STMD) tema Bencana Gempa Bumi. (2) Menganalisis kelayakan bahan ajar IPA SMP tema Bencana Gempa Bumi dengan metode *Four Step Teaching Materials Development* (4STMD) dan (3) Menganalisis keterpahaman bahan ajar IPA SMP tema Bencana

Gempa Bumi dengan metode *Four Step Teaching Materials*)

METODE

Salah satu tujuan dari penelitian adalah mengembangkan produk berupa bahan ajar IPA SMP tema Bencana Gempa Bumi. Penelitian ini merupakan bagian dari *Research and Development* (penelitian dan pengembangan) yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu berdasarkan pada hasil analisis ke-



Gambar 1. Alur Penelitian (diadopsi dari Pengembangan Bahan Ajar *Four Step Materials Teaching Development* (4S-MTD) menurut Sjaeful Anwar)

kurangan produk sebelumnya, dan kemudian menguji kelayakan produk baru tersebut (Sugiyono, 2006). Produk yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa bahan ajar IPA SMP dengan tema bencana Alam yang dikembangkan menggunakan metode *Four Steps Teaching Material Development* (4S-TMD). Pada akhir penelitian dilakukan pengujian kelayakan terhadap bahan ajar, yaitu melalui pemahaman siswa terhadap bahan ajar dan kelayakan bahan ajar. Dalam pengembangan bahan ajar, metode 4S-TMD terdiri dari empat tahapan yaitu: seleksi, strukturisasi, karakterisasi, dan reduksi didaktik, seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.

Proses seleksi merupakan studi literatur untuk mengumpulkan informasi berkaitan dengan studi dokumen, kurikulum, sumber bahan ajar dan lainnya dalam mengembangkan bahan ajar IPA SMP. Kegiatan yang dilakukan meliputi: 1) Analisis kurikulum Kurikulum 2013 pada jenjang SMP pada mata pelajaran IPA, berkaitan dengan Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar; 2) Analisis deskripsi untuk menurunkan kompetensi dasar menjadi tujuan pembelajaran yang akan dikembangkan dalam membuat bahan ajar; 3) Menganalisis nilai-nilai yang dapat disisipkan dan sesuai dengan lingkup kajian materi bahan ajar; 4) Mengumpulkan sumber bahan ajar dan mengkompilasi materi subjek yang diperoleh dari buku-buku teks dan sumber lain yang disesuaikan dengan kompetensi dasar menjadi sebuah draft kumpulan materi seleksi; dan 5) validasi oleh ahli guna menjamin keabsahan dan keakuratan konten keilmuan bahan ajar sebelum dikembangkan dalam tahapan berikutnya.

Pada proses strukturisasi, draft kumpulan materi seleksi distruktur secara didaktis sesuai dengan karakteristik struktur bahan ajar. Adapun prosedur tahap strukturisasi meliputi (1) membuat peta konsep dari konsep-konsep pada draft kumpulan materi seleksi; (2) membuat struktur makro dengan mengurutkan materi konsep pada draft kumpulan materi seleksi; dan (3) merangkumkan multipel representasi yang berupa representasi makroskopis, sub-mikroskopis dan simbolik dari draft kumpulan materi seleksi. (4) validasi ahli (peta konsep, struktur makro dan multiple representasi) untuk melihat kebenaran penyusunan struktur materi subjek.

Pada tahap karakterisasi, bahan ajar yang sudah distruktur secara didaktis kemudian diujicoba kepada siswa untuk mengidentifikasi konsep sulit menggunakan penulisan ide

pokok yang telah dikembangkan oleh Sjaeful Anwar. Instrumen penulisan ide pokok digunakan dengan pertimbangan bahwa untuk dapat memahami suatu teks perlu pemahaman yang utuh terhadap masing-masing paragraf pembentuk teks. Dengan kata lain melalui penulisan ide pokok dari teks pada bahan ajar, siswa akan melakukan tahapan berpikir dan menemukan gagasan yang tertuang dari sebuah teks.

Konsep-konsep yang sulit pada bahan ajar selanjutnya direduksi secara didaktis pada tahapan terakhir pada metode 4STMD atau tahap reduksi didaktis. Proses reduksi dapat dilakukan dengan membuat kisi-kisi reduksi didaktis kemudian melakukan reduksi didaktis dengan menggunakan simbol, sketsa, contoh atau analogi. Bahan ajar yang dihasilkan pada tahap reduksi kembali diuji coba pada siswa untuk membandingkan kriteria kesulitan konsep sebelum dan sesudah reduksi didaktis. Hasil akhir dari keempat proses pengembangan bahan ajar metode *Four Step Materials Teaching Development* berupa bahan ajar yang memiliki kriteria konsep mudah.

Pengujian terhadap bahan ajar dilakukan dalam dua tahap, yaitu pengujian keterpahaman bahan ajar dan kelayakan bahan ajar. Keterpahaman bahan ajar yang dimaksud adalah keterpahaman konsep bahan ajar yang diujikan melalui tes soal pemahaman konsep, untuk melihat kualifikasi pemahaman siswa terhadap konsep pada bahan ajar. Selain itu, dilakukan penilaian kelayakan bahan ajar oleh ahli dan guru dari aspek konten isi, penyajian materi, bahasa dan grafika.

Objek penelitian ini adalah bahan ajar berupa hand-out siswa untuk mata pelajaran IPA pada jenjang SMP tema bencana gempa bumi. Adapun, responden dalam penelitian adalah siswa kelas VIII yang belajar IPA dengan menerapkan Kurikulum 2013. Jangka waktu penelitian selama enam bulan dari bulan Februari hingga Juni 2015. Pelaksanaan uji identifikasi konsep sulit dan keterpahaman bahan ajar dilakukan di SMP Negeri 1 Arjawinangun.

Data yang diperoleh dari penelitian dan pengembangan ini terdiri atas data kuantitatif dan kualitatif. Data kualitatif berupa: 1) Hasil validasi Ahli pada Kumpulan Materi Seleksi; 2) Hasil validasi Ahli pada kumpulan materi strukturisasi; 3) Penilaian kelayakan bahan ajar. Data kuantitatif berupa: 1) Identifikasi Konsep Sulit; dan 2) Keterpahaman Bahan Ajar.

Draft materi seleksi dan strukturisasi yang telah disusun dikonsultasikan kepada ahli

untuk memberi keputusan apakah dapat digunakan pada tahapan selanjutnya atau masih perlu perbaikan. Tenaga ahli yang bertugas untuk memvalidasi draft materi seleksi adalah enam orang pakar yang terdiri dari tiga dosen ilmu kebumihan dan pendidikan UPI; dan tiga orang guru IPA SMP yang sedang menempuh pendidikan di UPI.

Perolehan data validasi ahli diakumulasi pada masing-masing butir penilaian kesesuaian draft materi. Hasil rvalidasi dihitung dengan menggunakan *Content Validity Ratio (CVR)* untuk mengambil keputusan apakah draft materi dapat diterima dan digunakan pada tahapan selanjutnya. Adapun nilai CVR diperoleh berdasarkan rumus berikut:

$$CVR = \frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}}$$

(Lawshe, 1975)

Keterangan CVR adalah rasio validasi konten, n_e adalah jumlah *reviewer* yang menyatakan “ya”, dan N adalah jumlah total *reviewer*. Pengambilan keputusan bahwa draft materi seleksi atau strukturisasi dapat diterima jika nilai CVR hitung lebih besar dari CVR tabel (N=6; $\alpha=0,1, two\ tailed$) yaitu 0,67 (Wilson, Pan, & Schumsky, 2012). Jika nilai CVR hitung lebih kecil dari CVR tabel, maka dilakukan revisi terhadap butir penilaian draft materi.

Penilaian Kelayakan Bahan Ajar

Penilaian kelayakan bahan ajar berupa angket penilaian yang diberikan oleh empat orang guru IPA dan satu orang dosen ahli . Data tersebut diperoleh dengan menghitung jawaban “ya” dari para penilai pada setiap aspek penilaian kelayakan bahan ajar. Hasil dari penilaian aspek tersebut, kemudian dihitung persentasenya untuk menilai kelayakan bahan ajar (disimbolkan dengan “x”), yang diklasifikasikan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Penilaian Kelayakan Bahan Ajar

Persentase Penilaian	Kriteria Kelayakan
90% < x ≤ 100%	Sangat Layak
75% < x ≤ 90%	Layak
60% < x ≤ 75%	Cukup Layak
≤ 60%	Kurang Layak

(diadaptasi dari Rubrik Penilaian Analisis Buku Kemendikbud (2013))

Untuk mengidentifikasi konsep sulit, dihitung jumlah siswa yang menuliskan ide pokok dengan benar pada tiap paragraf bacaan/teks. Kemudian menentukan persentase jumlah siswa yang menuliskan ide pokok dengan benar dengan rumus:

$$X = \frac{Y}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

X = persentase jumlah siswa yang menuliskan ide pokok dengan benar

Y = jumlah siswa yang menuliskan ide pokok dengan benar

N = Jumlah seluruh siswa

Persentase jumlah siswa yang menuliskan ide pokok dengan benar dapat diinterpretasikan sebagai data untuk mengidentifikasi konsep sulit (Tabel 2).

Tabel 2. Kriteria Tingkat Kesulitan Teks Bahan Ajar Berdasarkan Persentase Siswa yang Menuliskan Ide Pokok Dengan Benar

Persentase jumlah siswa yang menuliskan ide pokok dengan benar	Tingkat Kesulitan Teks Bahan Ajar
x ≥ 75%	Mudah
75% > x ≥ 30%	Sedang
30% > x	Sulit

(diadaptasi dari tingkat kesukaran Arikunto (2006))

Tabel 3. Rumus dan Kriteria Kualifikasi Pemahaman Konsep Bahan Ajar

Rumus Rentang Skor	Kriteria Kualifikasi Pemahaman Konsep Bahan Ajar
$x \leq Mi-1,5 Sdi$	Sangat Kurang
$Mi-0,5 SDi < x \leq Mi-1,5 Sdi$	Kurang
$Mi+0,5 SDi < x \leq Mi-0,5 Sdi$	Cukup
$Mi+1,5 SDi < x \leq Mi+0,5 Sdi$	Baik
$Mi+1,5 SDi \leq x$	Sangat Baik

(Arifin, 2012)

Keterpahaman bahan ajar siswa diukur melalui tes pemahaman konsep diberikan pada akhir pembelajaran, setelah bahan ajar

hasil reduksi diujicobakan. Perolehan data tes pemahaman konsep diolah melalui statistik deskriptif secara manual untuk memperoleh Distribusi Frekuensi Skor Tes Pemahaman Konsep Bahan Ajar dan Kualifikasi Skor Tes Pemahaman Konsep Bahan Ajar. Kualifikasi skor tes pemahaman konsep bahan ajar mengacu pada Penilaian Acuan Patokan (Arifin, 2012) Skala Lima, dengan rumus dan kriteria pada Tabel 3. Dimana M_i adalah rata-rata ideal skor tes dan SD_i adalah simpangan baku ideal skor tes.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan ajar yang dikembangkan melalui metode *Four Step Teaching Materials Development* (4STMD) berupa *hand out* siswa yang berjudul "Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi" yang mengintegrasikan fenomena bencana gempa bumi dengan konsep-konsep ilmu kebumihan (*earthscience*), fisika, biologi, sosial dan teknologi. Pada proses seleksi pengembangan bahan ajar 4STMD, hasil analisis kurikulum 2013 dipilih satu kompetensi dasar utama yaitu kompetensi dasar 3.12 (Kelas VIII) dan tiga KD pendukung atau prasyarat yaitu: Kelas VII (KD 3.7 dan KD 3.8) dan Kelas VIII (KD 3.10).

Kompetensi dasar utama (KD 3.12) membahas konsep-konsep materi ilmu kebumihan dan didukung oleh ilmu sosial dan teknologi. Konsep-konsep tersebut antara lain struktur bumi, teori tektonik lempeng, pergeseran pada batas lempeng, arus konveksi mantel, gempa, gelombang sesimik, seismograf (teknologi), magnitudo gempa bumi dan mitigasi gempa bumi. KD 3.8 pada kelas VII mengandung informasi pendukung mengenai cara makhluk hidup mempertahankan diri (biologi). KD 3.10 pada kelas VIII memuat konsep prasyarat materi fisika yaitu gelombang transversal dan gelombang longitudinal yang menjadi prasyarat untuk memahami konsep gelombang seismik.

Buku sumber yang digunakan adalah: a). Hewitt, P. L. (2013). *Conceptual Integrated Science 2nd Edition*. USA: Pearson; b). Borrero, F., Hess, F., Hsu, J., Kunze, G., Leslie, S., Letro, S., et al. (2008). *Earth Science: Geology, the Environment, and the Universe*. USA: Glencoe; dan c) Brainard, J. (2014). *CK-12 Physical Science For Middle School*. USA: Flexbook. Selain itu, untuk menambah informasi diperoleh dari sumber internet sebagian besar berupa gambar yang mengilustrasikan

teks bacaan.

Karakter yang disisipkan pada bahan ajar "Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi" adalah percaya diri, ketuhanan dan sosial. Karakter percaya diri disisipkan pada konsep mengenai cara makhluk hidup mempertahankan hidup di lingkungan ekstrim. Karakter ini dimunculkan agar siswa percaya pada dirinya dengan bagaimanapun keadaan kehidupannya sekarang tidak melunturkan semangat menggapai cita-citanya.

Karakter ketuhanan diangkat dari konsep tentang struktur bumi dan teori tektonik lempeng. Dimana Tuhan telah menciptakan bumi dengan segala keteraturan, keindahan, dan kekayaan alam. Siswa juga diajak untuk memikirkan bahwa ciptaan Tuhan terhadap alam memberikan dua sisi yang saling melengkapi, ada keburukan dan potensi kebaikan. Meskipun bumi diciptakan dengan resiko bencana yang besar pada batas-batas lempeng, namun pada daerah tersebut juga mengandung keindahan alam dan sumberdaya alam yang melimpah.

Pada konsep mengenai mitigasi bencana alam gempa bumi, disisipkan pula karakter sosial. Karakter ini menggali rasa kepedulian terhadap sesama dan tergerak untuk berpartisipasi membantu masyarakat korban bencana. Selain itu, pada konsep ini disisipkan rasa mawas diri terhadap daerah rawan bencana dan pengetahuan tentang upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi resiko bencana alam gempa.

Hasil validasi draft materi seleksi disimpulkan bahwa: a) pengembangan tujuan pembelajaran telah "sesuai" dengan kompetensi dasar, dengan beberapa perbaikan pada penggunaan kata kerja operasional tujuan pembelajaran; b) teks konsep yang dikembangkan "sesuai" dengan tujuan pembelajaran; dan c) nilai/ *value* yang disisipkan pada bahan ajar "sesuai" dengan teks konsep bahan ajar.

Tahapan kedua dari 4STMD adalah proses strukturisasi yang menghasilkan draft kumpulan materi strukturisasi berupa peta konsep, struktur makro, dan multipel representasi. Materi konsep tema bencana gempa bumi distruktur menjadi dua bab, yaitu bab 1 membahas mengenai bumi dan bab 2 membahas mengenai gempa bumi. Tiap bab dibagi lagi menjadi sub-bab yang lebih detail seperti pada Tabel 4.

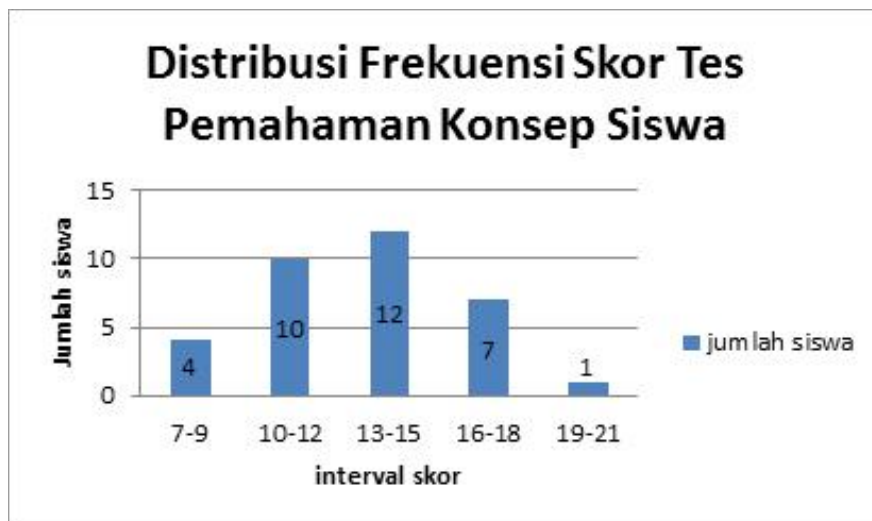
Keseluruhan validator menilai bahwa draft kumpulan materi strukturisasi telah sesuai dengan konsep-konsep pada bahan ajar tema

Tabel 4. Sub-bab Hasil Proses Strukturisasi Bahan Ajar 4STMD (Struktur Makro)

Bab 1 Bumi	Bab 2 Gempa Bumi
A. Bagaimanakah bumi kita? 1. Gempa Bumi di Indonesia 2. Struktur Bumi B. Mengapa permukaan Bumi dapat bergerak? 1. Teori Tektonik Lempeng 2. Pergeseran Batas Lempeng 3. Arus Konveksi Mantel	A. Apakah Gempa Bumi itu? 1. Gempa 2. Gelombang seismik 3. Seismograf 4. Magnitude dan Skala Gempa Bumi 5. Tsunami B. Bagaimana Mengurangi Resiko Bencana Gempa Bumi? 1. Daerah rawan gempa bumi 2. Mitigasi Bencana Gempa Bumi

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Validasi Draft Kumpulan Materi Strukturisasi

No	Tahap Strukturisasi	CVR	Ket
1	Peta Konsep	1	Diterima
2	Struktur Makro	1	Diterima
3	Multipel Representasi	1	Diterima



Gambar 2. Distribusi Frekuensi Skor Tes Pemahaman Konsep Bahan Ajar “Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi”

bencana gempa bumi. Hasil dari validasi disajikan pada Tabel 5.

Draft hasil proses karakterisasi berupa bahan Ajar yang berjudul “Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi”. Bahan Ajar ini terdiri dari dua bab yaitu Bab I Bumi dan Bab II Gempa Bumi, yang disusun sesuai dengan struktur makro konsep materi. Setiap bab terdiri dari sejumlah teks konsep yang dikarakterisasi; bab 1 terdiri dari 17 teks konsep dan bab 2 terdiri dari 15 teks konsep. Teks konsep yang dikarakterisasi diberi kode nomor romawi kecil dibagian kiri teks; kemudian di akhir sub-bab siswa diminta untuk menuliskan ide pokok dan penilaiannya terhadap keterpahaman teks pada bagian umpan balik. Rekapitulasi analisis

konsep sulit dengan menggunakan penulisan ide pokok teks konsep bahan ajar dapat dilihat pada Tabel 6.

Dari Tabel 6, secara umum materi konsep pada bab 1 Bumi dapat dikategorikan konsep mudah. Sedangkan, seluruh teks konsep pada bab 2 Gempa Bumi tergolong konsep mudah. Persentase jumlah siswa yang menuliskan ide pokok dengan benar pada seluruh konsep materi diatas 75%. Hal ini dapat diartikan bahan ajar “Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi” menyajikan konsep materi yang mudah.

Konsep-konsep materi dengan kategori “sedang” kemudian diberi perlakuan reduksi didaktik dan diuji kembali untuk mengidentifikasi kriteria konsep tersebut. Hasil identifikasi

Tabel 6. Persentase Penulisan Ide Pokok Pada Tahap Karakterisasi dan Reduksi Didaktis

Ide pokok Teks ke-	Persentase jumlah siswa yang menulis ide pokok dengan benar (%)	Kriteria Teks Konsep	Persentase jumlah siswa yang menulis ide pokok dengan benar (%)	Kriteria Teks Konsep
	Karakterisasi		Karakterisasi	
BAB I BUMI				
2	84,4	Mudah	82,4	Mudah
3	93,8	Mudah	94,1	Mudah
4	81,3	Mudah	91,2	Mudah
5	71,9*	Sedang*	100*	Mudah*
6	71,9*	Sedang*	85,3*	Mudah*
7	96,9	Mudah	91,2	Mudah
8	100	Mudah	94,1	Mudah
9	100	Mudah	97,1	Mudah
10	84,4	Mudah	100	Mudah
11	100	Mudah	100	Mudah
12	71,9*	Sedang*	76,47*	Mudah*
13	75	Mudah	79,41	Mudah
14	100	Mudah	91,18	Mudah
15	65,5*	Sedang*	85,3*	Mudah*
16	87,5	Mudah	97,1	Mudah
17	71,9*	Sedang*	79,4*	Mudah*
BAB II GEMPA BUMI				
1	96,88	Mudah	100	Mudah
2	81,25	Mudah	97,1	Mudah
3	90,63	Mudah	97,1	Mudah
4	87,5	Mudah	94,1	Mudah
5	87,5	Mudah	97,1	Mudah
6	84,38	Mudah	97,1	Mudah
7	96,88	Mudah	97,1	Mudah
8	96,88	Mudah	94,1	Mudah
9	96,88	Mudah	97,1	Mudah
10	93,75	Mudah	94,1	Mudah
11	90,63	Mudah	94,1	Mudah
12	93,75	Mudah	94,1	Mudah
13	93,75	Mudah	100	Mudah
14	87,5	Mudah	97,1	Mudah
15	90,63	Mudah	97,1	Mudah

konsep yang telah direduksi, konsep tersebut menjadi konsep dengan kriteria konsep mudah (Tabel 6, diberi tanda bintang).

Penilaian keterampilan siswa terhadap bahan ajar "Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi" dengan menggunakan soal tes pemahaman konsep. Tes ini disusun berdasarkan tujuan pembelajaran yang digunakan

dalam pengembangan bahan ajar. Soal tes pemahaman konsep terdiri dari 21 soal, yang terdiri dari 10 soal pada bab 1 dan 11 soal pada bab 2. Hasil perolehan skor siswa pada soal pemahaman konsep ditunjukkan pada Gambar 2. Rentang skor 13-15 paling banyak diperoleh siswa yaitu dua belas orang siswa. Sedangkan, rentang skor teratas 19-21 hanya terdapat

satu orang siswa saja, dan rentang skor terendah 7-9 terdapat empat orang siswa. Rata-rata perolehan skor tes pemahaman konsep bahan ajar adalah 13,15.

Kriteria kualifikasi pemahaman konsep diperoleh dengan menggunakan perhitungan nilai rata-rata ideal dan simpangan baku ideal. Sementara itu, Tabel 7 menyajikan rentang skor dan kriteria kualifikasi pemahaman konsep.

Tabel 7. Rentang Skor dan Kualifikasi Pemahaman Konsep

Rentang Skor	Kualifikasi Pemahaman Konsep
$x \leq 5$	Sangat Kurang
$5 < x \leq 9$	Kurang
$9 < x \leq 12$	Cukup
$12 < x \leq 16$	Baik
$16 \leq x$	Sangat baik

Berdasarkan Tabel 7, pemahaman konsep siswa dikategorikan sangat baik jika siswa memperoleh skor diatas 16 butir soal pemahaman konsep. Sementara, jika rentang skor yang diperoleh siswa berada pada 12-16, maka pemahaman konsep siswa tergolong pada kriteria baik. Kriteria pemahaman konsep cukup, jika siswa memiliki rentang skor 9-12. Jika rentang skor berada 5-9, kriteria pemahaman konsep siswa berada pada taraf kurang. Pemahaman konsep pada level sangat kurang dipenuhi jika nilai skor siswa berada dibawah 5. Kualifikasi pemahaman konsep siswa dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada

Gambar 3.

Dari Gambar 3, sebagian besar siswa memiliki pemahaman konsep bahan ajar “Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi” pada level kualifikasi baik.

Pengujian kelayakan bahan ajar “Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi” dilakukan oleh lima orang penilai, yaitu satu orang dosen ilmu kebumian dan empat orang guru IPA SMP. Penilaian kelayakan bahan ajar terdiri dari empat aspek pengujian: 1. Aspek konten isi; 2. Aspek Penyajian materi; 3. Aspek kebahasaan; dan 4. Aspek grafika. Tabel 8 menyajikan hasil data penilaian kelayakan bahan ajar yang diberikan oleh empat orang guru IPA dan satu dosen Pendidikan Ilmu Kebumian.

Hasil dari penilaian kelayakan bahan ajar yang terdapat pada tabel 8 menunjukkan bahwa seluruh penilai memberikan jawaban “ya” untuk setiap butir penilaian. Sehingga, dalam setiap aspek penilaian mencapai persentase kelayakan bahan ajar sejumlah 100 persen. Hal ini memberikan sebuah kesimpulan bahwa bahan ajar “Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi” yang diolah dengan metode *Four Step Teaching Materials Development* (4STMD) memenuhi kelayakan untuk digunakan dalam pembelajaran dari aspek konten isi, penyajian materi, kebahasaan dan grafika.

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa bahan ajar berupa *handout* dengan judul “Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi” yang diolah dengan metode *Four Step Teaching Materials Develop-*



Gambar 3. Kualifikasi Pemahaman Konsep Siswa pada Bahan Ajar “Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi”

Tabel 8. Penilaian Kelayakan Bahan Ajar

No	Butir Penilaian	Jumlah Penilai Menjawab		Persentase Kelayakan Bahan Ajar (%)
		Ya	Tidak	
I Aspek Konten Isi				100
1.	Kesesuaian uraian materi dengan KI dan KD	5		
2.	Keakuratan Kebenaran Konsep	5		
3.	Keakuratan peristiwa/fenomena/kasus/fakta dan contoh	5		
4.	Keakuratan Gambar	5		
5.	Keakuratan simbol	5		
6.	Mendorong keingintahuan siswa	5		
7.	Kesesuaian uraian, ilustrasi, dan fakta	5		
II Aspek Penyajian Materi				100
8.	Urutan dan Sistematika Sajian Konsep	5		
9.	Merangsang keterlibatan dan partisipasi siswa untuk belajar mandiri	5		
10.	Keterkaitan antar bab/ sub-bab/ paragraf	5		
III Aspek Kebahasaan				100
11.	Ketepatan tata bahasa	5		
12.	Ketepatan ejaan	5		
13.	Kebakuan istilah	5		
14.	Konsistensi penggunaan istilah dan simbol	5		
15.	Keefektifan kalimat	5		
16.	Infomasi mudah dipahami	5		
17.	Kesesuaian bahasa dengan tingkat perkembangan emosional siswa	5		
IV Aspek Grafika				100
18.	Gambar dan ukuran huruf judul bahan ajar lebih dominan dan proporsional dibandingkan dengan ukuran nama pengarang	5		
19.	Warna judul dan gambar bahan ajar kontras dengan warna latar belakang	5		
20.	Ilustrasi kulit bahan ajar menggambarkan isi atau konten bahan ajar dan mengungkapkan karakter objek	5		
21.	Penempatan unsur tata letak konsisten berdasarkan pola	5		
22.	Pemisahan antar paragraf jelas	5		
23.	Ilustrasi dan keterangan gambar	5		
24.	Penggunaan variasi huruf (<i>bold, italic, all capital, small capital</i>) tidak berlebihan	5		

ment (4STMD) diperuntukkan bagi siswa Sekolah Menengah Pertama. Dalam proses pembuatan bahan ajar ini dilakukan empat tahapan yaitu: proses seleksi, proses strukturisasi, pro-

ses karakterisasi dan proses reduksi didaktis.

Penilaian yang dilakukan oleh beberapa ahli mencakup penilaian kesesuaian pengembangan tujuan pembelajaran dari kompetensi

dasar, kesesuaian teks konsep materi dengan tujuan pembelajaran, dan kesesuaian karakter yang disisipkan pada bahan ajar, menunjukkan bahwa semua aspek telah disusun berdasarkan kurikulum dan benar secara konsep keilmuan, serta telah disusun secara didaktis. Selain itu, bahan ajar ini memuat konsep-konsep dengan kriteria mudah, yang artinya siswa dapat memahami konsep-konsep tersebut dengan mudah. Hal ini sesuai dengan hasil kualifikasi pemahaman siswa terhadap bahan ajar tergolong pada level baik. Demikian pula dengan pengujian kelayakan bahan ajar "Belajar Sains Melalui Fenomena Gempa Bumi" pada Aspek konten isi, penyajian materi; kebahasaan; dan grafika, dapat disimpulkan bahwa bahan ajar ini layak untuk digunakan dalam pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisendjaja, Y. (2010). *Analisis Buku Ajar Biologi SMA Kelas X di Kota Bandung Berdasarkan Literasi Sains*. Dipetik Desember 11, 2014, dari Direktori File UPI: http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR._PEND._BIOLOGI/195512191980021-YUSUF_HILMI_ADISENDJAJA/analisis_buku_ajar_berdasarkan_literasi_sains_HSL_LIT_.pdf
- Ali, M. (2011). *Memahami Riset Perilaku dan Sosial*. Bandung: Pustaka Cendekia Utama.
- Allwright, R. (1981). What do We Want Teaching Materials for? *ELT Journal*, Vol. 36 (1):5.
- Antle, A., Wise, A., & Nielsen, K. (2011). Towards Utopia: Designing Tangibles for Learning. *IDC*, 11-20.
- Anwar, S. (2014). *Pengolahan Bahan Ajar. Bahan Perkuliahan Pengolahan Bahan Ajar SPS UPI*. Bandung: Tidak Diterbitkan.
- Arifin. (2015). *Pengembangan Bahan Ajar IPA Terpadu Pada Tema Udara Berbasis Nilai Religius Menggunakan 4 Steps Teaching Material Development*. Bandung: Tesis Sekolah Pasca Sarjana UPI (Tidak diterbitkan).
- Arifin, Z. (2012). *Evaluasi Pembelajaran*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Islam Kementerian RI.
- Arikunto, S. (2006). *Prosedur Penilaian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Bialek, W., & Botstein, D. (2004). Introductory Science and Mathematics Education for 21st-Century Biologist. *Science*, Vol. 303: 789.
- BNPB. (2007). *Badan Nasional Penanggulangan Bencana*. Dipetik Maret 31, 2015, dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana: www.bnpb.go.id/uploads/migration/pubs/1.pdf
- Borrero, F., Hess, F., Hsu, J., Kunze, G., Leslie, S., Letro, S., et al. (2008). *Earth Science: Geology, the Environment, and the Universe*. USA: Glencoe.
- Chiappetta, E., Fillman, D., & Sethna, G. (1993). Do Middle School Life Science Textbooks Provide a Balance of Scientific Literacy Themes? *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 28 (7): 787.
- Dahar, R. (2011). *Teori-Teori Belajar & Pembelajaran*. Jakarta: Erlangga.
- Depdiknas. (2010). *Juknis Pengembangan Bahan Ajar SMA*. Jakarta: Direktorat Pembinaan SMA.
- Harrel, P. (2010). Teaching an Integrated Science Curriculum: Linking Teacher Knowledge and Teaching Assignments. *Issues in Teacher Education, Spring*, Vol. 19(1):146.
- Hewitt, P. L. (2013). *Conceptual Integrated Science 2nd Edition*. USA: Pearson.
- Hutchinson, T., & Torres, E. (1994). The Textbook as Agent of Change. *ELT Journal*, Vol. 48: 315-323.
- Johnstone, R., & Jounin, G. (1997). *Designing Print Materials for Flexible Teaching and Learning in Law*. Sydney: Cavendish Publishing (Australia) Pty Limited. hal. 2-34.
- Kemendikbud. (2013). *Pedoman Kegiatan Pendampingan Implementasi Kurikulum 2013 Bagi Pengawas Sekolah, Kepala Sekolah dan Guru Inti*. Jakarta: Pusbang Tendik.
- Lamanauskas, V. (2010). Integrated Science Education in The Context of The Constructivism Theory: Some Important Issues. *Problem of Education in The 21st Century*, Vol. 25: 5-9.
- Lawshe, C. (1975). A Quantitative Approach to Content Validity. *Personnel Psychology*, 567.
- Liliawati, W., Rustaman, N., Herdiwijaya, D., & Rusdiana, D. (2013). Efektivitas Perkuliahan IPBA Terintegrasi Berbasis Kecerdasan Majemuk untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep dan Menanamkan Karakter Diri Mahasiswa Calon Guru SMP pada Tema Tata Surya. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 63-71.
- Littejohn, A. (2011). *The Analysis of Language Teaching Materials: Inside the Trojan Horse*. Cambridge: Cambridge University Press. hal. 179-211.
- Liu, E., Cheng, S., & Lin, C. (2008). The Development of Evaluation Indicators for LEGO Multimedia Instructional Material. *WSEAS Transaction on Computers*, Vol. 7: 1783.
- Mulyono, P. (2007, Januari). Kegiatan Penilaian Buku Teks Pelajaran Pendidikan Dasar dan Menengah. *Buletin BSNP*, Vol. II (1):21.
- Nurul, G. (2013). *Edukasi Kompasiana*. Dipetik Desember 1, 2014, dari Menyiapkan Bahan Ajar Sesuai Dengan Tingkat Berpikir Siswa: <http://edukasi.kompasiana.com/2013/01/14/menyiapkan-bahan-ajar-sesuai-dengan-tingkat-berpikir-siswa-519134.html>
- Ranjit, S. (2007). *Asia-Pacific Cultural Center for UNESCO*. Dipetik September 30, 30, dari How to Develop and Produce Simple Learning Materials with Limited Resources at Community Level: <http://www.accu.or.jp/litdbase/>

- pub/dlperson/pdf0106/rpp25.pdf
- Reiser, B., Krajick, J., Moje, E., & Marx, R. (2003). Design Strategies for Developing Science Instructional Materials. *Annual Meeting of the National Association of Research in Science Teaching*, 1-20.
- Sugiyono. (2006). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suparno, P. (2001). *Teori Perkembangan Kognitif Jean Piaget*. Yogyakarta: Kanisius.
- Sweller, J. (1994). Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, and Instructional Design. *Learning and Instruction*, Vol. 4: 295-312.
- Syatriana, E., Husain, D., Haryanto, & Jabu, B. (2013). A Model of Creating Instructional Materials Based on School Curriculum for Indonesian Secondary Schools. *Journal of Education and Practice*, Vol. 4(2): 10-16.
- Taylor, J., Scotter, P., & Coulson, D. (2007). Bridging Research on Learning and Student Achievement: The Role of Instructional Materials. *Science Educator*, Vol. 16: 44-50.
- Wiguna, F. (2014). *Kajian Teoritik Tahap Strukturisasi Pengolahan Bahan Ajar 4S-TMD Dilihat dari Aspek Filosofis, Aspek Psikologis, Aspek Didaktis dan Aplikasinya Pada Pokok Bahasan Larutan Asam Basa*. Bandung: Tesis Sekolah Pasca Sarjana UPI (Tidak diterbitkan).
- Wilson, F., Pan, W., & Schumsky, D. (2012). Recalculation of the Critical Values for Lawshe's Content Validity. *Measurement and Evaluation in Counseling and Development*, XX(X):10.
- Wisudawati, A., & Sulistyowati, E. (2014). *Metodologi Pembelajaran IPA*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Yanti, H., Rustaman, N., & Setiawan, W. (2008). Strategi Baru dalam Pengolahan Bahan Ajar Ilmu Pengetahuan Alam (Hasil Kajian Terhadap Teori Reduksi Didaktik dan Pedagogi Materi Subyek). *Edusains*, Vol. 1(1): 26-38.

STUDENTS' UNDERSTANDING OF FUNDAMENTAL CONCEPTS OF MECHANICAL WAVE

PEMAHAMAN MAHASISWA TENTANG KONSEP-KONSEP DASAR GELOMBANG MEKANIK

Sutopo

Jurusan Fisika Universitas Negeri Malang, Indonesia

Diterima: 12 Oktober 2015. Disetujui: 28 Desember 2015. Dipublikasikan: Januari 2016

ABSTRAK

Kontras dengan topik gaya dan gerak, kesulitan siswa terkait konsep-konsep yang melandasi fenomena perambatan gelombang masih kurang mendapatkan perhatian para peneliti pendidikan fisika. Artikel ini mengangkat kesulitan umum yang dialami mahasiswa dalam memecahkan masalah konseptual terkait fenomena perambatan gelombang. Subjek penelitian terdiri atas 128 mahasiswa tahun pertama jurusan fisika UM yang mengikuti perkuliahan Fisika Dasar II tahun akademik 2013/2014. Analisis dilakukan berdasarkan jawaban mahasiswa terhadap soal pilihan ganda dan tingkat keyakinan mahasiswa terhadap ketepatan jawabannya. Penelitian menyimpulkan bahwa konsep-konsep fundamental yang meliputi representasi matematis tentang karakteristik umum gelombang berjalan, gerakan partikel medium saat dilewati gelombang, dan hubungan $v = \lambda f$, belum dipahami dengan baik oleh sebagian besar mahasiswa; bahkan banyak mahasiswa yang terindikasi mengalami miskonsepsi. Disarankan untuk dilakukan penelitian lanjutan untuk mengeksplorasi lebih dalam dan lebih outentik penyebab kesulitan tersebut, misalnya menggunakan teknik *think aloud* atau interview klinis.

ABSTRACT

Contrast to force and motion concepts, students' difficulties related to physics concepts underlying mechanical wave propagation has getting less attention in physics education research. This study exposed common students' difficulties in solving conceptual problems related to mechanical wave propagation. Subject consisted of 128 first-year students in physics department of UM, enrolling the Introductory Physics II in 2013/2014 academic year. Data was gathered using two-tier, multiple choices test with Confidence Scale Rating. The study concluded that some fundamental concepts of wave such as general mathematical representation of wave propagation, motion of medium particles, and the relationship of $v = \lambda f$, were not well understood by most students; even many students hold misconceptions. The study suggested further research to explore the causes of student's difficulties more authentically, for example, using think aloud or clinical interview methods.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: misconception, conceptual understanding, mechanical wave propagation.

PENDAHULUAN

Salah satu tujuan penting pembelajaran fisika adalah mengantarkan siswa memahami secara mendalam konsep-konsep dasar dalam fisika sehingga mampu menerapkannya untuk

memecahkan masalah. Oleh karena itu, selama beberapa dekade terakhir banyak peneliti pendidikan fisika yang mecurahkan perhatiannya pada upaya tersebut. Secara umum, penelitian dalam bidang ini dikelompokkan menjadi tiga topik besar, yaitu mengidentifikasi miskonsepsi yang sering terjadi di kalangan siswa, mengembangkan dan mengevaluasi pembelajaran untuk mengatasi miskonsepsi,

*Alamat Korespondensi:
Jl. Semarang No 5 Malang
E-mail: sutopo.fisika@um.ac.id

dan menjelaskan struktur pengetahuan dalam memori siswa (Docktor & Mestre, 2014). Di antara ketiga topik tersebut, penelitian tentang miskonsepsi, atau pemahaman konseptual siswa secara umum, merupakan yang paling banyak dilakukan. Namun demikian, sebagian besar penelitian pada area ini difokuskan dalam bidang mekanika Newtonan. Sebagian peneliti mengungkap kesulitan siswa tentang kinematika (Trowbridge & McDermott, 1980, 1981; McDermott et al., 1987, Sutopo et al., 2012) atau mekanika (Halloun & Hestenes, 1985, 1985a, Rosenblatt & Heckler, 2011), sebagian lainnya mengembangkan instrumen untuk mengungkap pemahaman siswa, seperti *Force Concept Inventory* (Hestenes et al., 1992), *Mechanics Baseline Test* (Hestenes & Wells, 1992), dan *Force and Motion Conceptual Evaluation* (Sokoloff & Thornton, 1998).

Besarnya perhatian para peneliti pada bidang mekanika Newtonan didasari oleh pemikiran bahwa mekanika Newtonan merupakan cabang fisika yang sangat esensial sekaligus sebagai dasar mempelajari cabang fisika lainnya. Dalam konteks ini, Hestenes & Well (1992) mengklaim jika siswa telah menguasai mekanika Newtonan dengan baik maka mereka akan mudah mempelajari cabang fisika lainnya; sebaliknya siswa yang banyak mengalami miskonsepsi tentang mekanika Newtonan hampir dipastikan akan mengalami kesulitan dalam mempelajari topik-topik fisika lanjut.

Kontras dengan penelitian pada topik mekanika Newtonan, penelitian pada topik gelombang masih kurang menjadi perhatian peneliti. Barangkali belum banyak yang menyadari bahwa kokohnya pemahaman siswa tentang konsep-konsep gelombang sama pentingnya dengan pemahaman siswa dalam bidang mekanika. Penguasaan yang baik atas konsep-konsep gelombang sangat diperlukan untuk mempelajari topik-topik fisika lainnya seperti bunyi, cahaya, listrik-magnet, dan mekanika kuantum. Bahkan konsep-konsep gelombang juga diperlukan untuk mempelajari spektroskopi dan seismologi. Oleh karena itu, penguasaan siswa terhadap konsep-konsep gelombang perlu mendapatkan perhatian para pendidik dan peneliti sebagaimana terhadap konsep-konsep dalam mekanika.

Meskipun penelitian terkait topik gelombang mekanik belum banyak dilakukan, beberapa penelitian di bidang ini telah menghasilkan sumbangan pengetahuan penting antara lain sebagai berikut. Wittmann et al. (1999)

mengungkap kesulitan siswa dalam menentukan besaran apa yang nilainya bergantung pada cara suatu gelombang dibangkitkan dan besaran apa yang nilainya bergantung pada karakteristik medium di mana gelombang merambat. Caleon dan Subramaniam (2010) mengembangkan tes diagnostik untuk mengungkap pemahaman siswa tentang karakteristik gelombang berjalan. Tongchai et al. (2009, 2011) mengembangkan instrumen *Mechanical Waves Conceptual Survey* untuk mengungkap pemahaman siswa sekaligus miskonsepsi yang umum dialami siswa terkait gelombang mekanik. Kryjevskaja et al. (2011, 2012) menyelidiki pemahaman siswa tentang perilaku gelombang ketika menjumpai permukaan batas antara dua medium yang berbeda, termasuk hubungan antara frekuensi, panjang gelombang, dan cepat rambat gelombang. Peneliti tersebut juga menyelidiki bagaimana siswa menerapkan hubungan $v = \lambda f$ untuk memecahkan persoalan interferensi gelombang, baik pada interferensi dari dua sumber gelombang maupun interferensi pada lapisan tipis (Kryjevskaja et al., 2013). Terkait pembelajaran gelombang, Fazio et al. (2008) merancang dan mengevaluasi pembelajaran perambatan gelombang mekanik dan peranan medium dalam perambatan gelombang; Zeng et al. (2014) mengembangkan bahan ajar yang dilengkapi ilustrasi gerakan partikel udara untuk membantu siswa memahami fenomena gelombang diam di dalam pipa.

Berdasarkan paparan di depan, pemahaman siswa tentang hubungan $v = \lambda f$ merupakan isu yang banyak diperhatikan para peneliti. Ini mengindikasikan bahwa hubungan tersebut sangat penting untuk dipahami dengan baik oleh siswa. Namun, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa hubungan tersebut sering dipahami secara salah oleh sebagian besar siswa. Dalam konteks Indonesia, hal itu selaras dengan pengalaman penulis selama mengampu matakuliah fisika dasar serta berinteraksi dengan para guru. Pada umumnya, siswa maupun guru dapat menyebutkan rumusan tersebut dengan cepat dan benar. Namun, setelah diajukan pertanyaan lanjutan, pada umumnya siswa/guru kurang memahami rumusan tersebut dengan baik. Mereka belum memiliki pemahaman yang benar bahwa frekuensi gelombang ditentukan oleh cara gelombang dibangkitkan (besarnya sama dengan frekuensi getaran sumber gelombang), cepat rambat gelombang hanya ditentukan oleh ka-

rakteristik medium, dan panjang gelombang ditentukan oleh keduanya sehingga memenuhi hubungan $v = \lambda f$. Salah satu tujuan artikel ini adalah untuk mendeskripsikan pemahaman siswa tentang hubungan itu.

Selain hubungan $v = \lambda f$, artikel ini juga akan mengungkapkan pemahaman siswa tentang bentuk umum representasi matematis gelombang berjalan, yaitu: jika bentuk gelombang pada $t = 0$ dapat dinyatakan dengan fungsi $f(x)$, maka bentuk gelombang pada sebarang $t > 0$ adalah $y(x, t) = f(x \mp vt)$ dengan v menyatakan cepat rambat gelombang dan tanda $(-/+)$ digunakan jika gelombang merambat ke (kanan/kiri) (Serway & Jewett, 2010). Sejauh ini pemahaman siswa tentang representasi tersebut belum mendapatkan perhatian para peneliti. Di pihak lain, representasi tersebut penting dipahami siswa agar dapat memahami konsep gelombang secara lengkap sehingga dapat membedakan gelombang berjalan dengan gelombang stasioner, misalnya.

Pemahaman siswa tentang gerakan partikel medium juga belum banyak menjadi perhatian peneliti sebelumnya. Sebagaimana diketahui, ada dua macam gerak (berarti juga dua macam kecepatan) dalam perambatan gelombang mekanik, yaitu kecepatan rambatan gelombang dan kecepatan gerakan partikel medium saat dilalui gelombang. Oleh sebab itu, penting mengetahui sejauh mana mahasiswa memahami kedua macam kecepatan tersebut.

Isu lain yang belum mendapat perhatian peneliti sebelumnya adalah kemampuan siswa menggunakan multi representasi untuk mendeskripsikan perambatan gelombang. Kemampuan menggunakan multi representasi dipandang sebagai kunci dalam memahami konsep fisika (Kohl et al., 2007). Beberapa peneliti mengklaim bahwa pemahaman siswa tentang suatu konsep atau prinsip hanya dapat dikatakan kuat jika siswa mampu memahami berbagai representasi tentang konsep/prinsip tersebut, mampu mengubah satu bentuk representasi ke bentuk representasi lainnya, serta mampu menggunakan multi representasi secara koordinatif (Hubber et al., 2010; Prain et al., 2009; Sutopo & Waldrip, 2014). Kemampuan representasi siswa dapat diungkap dengan menggunakan soal-soal yang dikemas dalam format representasi yang berbeda.

Artikel ini dimaksudkan untuk mengungkapkan pemahaman mahasiswa tentang konsep-konsep fundamental pada topik gelombang mekanik sebagaimana telah disinggung di depan, meliputi bentuk umum representasi matematis gelombang berjalan, gerakan partikel medium saat dilewati gelombang, dan hu-

ubungan $v = \lambda f$. Khusus tentang hubungan $v = \lambda f$, pemahaman mahasiswa diungkap dengan menggunakan soal yang disajikan dalam beberapa konteks dan format representasi yang berbeda-beda.

METODE

Subjek penelitian ini adalah mahasiswa S-1 tahun pertama Jurusan Fisika FMIPA UM yang sedang menempuh matakuliah Fisika Dasar II pada tahun akademik 2013/2014. Salah satu topik yang dibahas pada perkuliahan ini adalah gelombang mekanik. Sesuai kurikulum yang berlaku di Jurusan Fisika UM, pembahasan topik gelombang pada matakuliah Fisika Dasar II ditekankan pada aspek kualitatif di mana matematika digunakan lebih sebagai alat bantu untuk merepresentasikan hasil pengamatan atau penalaran mahasiswa tentang fenomena gelombang dalam bentuk persamaan matematis; bukan untuk menurunkan persamaan gelombang dengan pendekatan formal-matematis, misalnya dengan menggunakan kalkulus (persamaan diferensial). Pendekatan formal-matematis tersebut diterapkan pada matakuliah lanjut yang khusus mendalami gelombang, yaitu matakuliah Gelombang dan Optik.

Jumlah responden sebanyak 128 mahasiswa yang terdiri atas 64 mahasiswa program studi fisika dan 64 mahasiswa program studi pendidikan fisika. Mereka tersebar dalam empat kelas perkuliahan yang dibina oleh tiga dosen berbeda. Ketiga dosen tersebut menggunakan buku Serway & Jewett (2010) sebagai acuan utama namun dengan strategi mengajar yang tidak harus sama, sesuai gaya mengajarnya masing-masing. Ada dosen yang menggunakan PheT (<https://phet.colorado.edu>) dan animasi grafik dengan bantuan Excel dalam menjelaskan perilaku gelombang. Selain melalui perkuliahan di kelas, mahasiswa juga mempelajari topik gelombang melalui kegiatan praktikum di laboratorium. Salah satu topik praktikumnya adalah percobaan Melde.

Data yang dibahas pada artikel ini diperoleh melalui ujian dalam semester yang dilakukan setelah semua kelas selesai membahas topik gelombang dan bunyi. Soal ujian terdiri atas 15 pertanyaan bentuk pilihan ganda dan empat pertanyaan bentuk esay. Namun demikian, artikel ini hanya membahas jawaban mahasiswa terhadap pertanyaan-pertanyaan yang sesuai dengan fokus penelitian ini sebagaimana telah disebutkan di depan. Butir-butir soal yang dimaksud dipaparkan pada bagian selanjutnya.

Tabel 1. Rubrik tingkat pemahaman siswa berdasarkan ketepatan jawaban dan tingkat keyakinan

Ketepatan jawaban	Tingkat pemahaman berdasarkan skor keyakinan			
	3	2	1	0
Benar	Sangat baik	cukup	lemah	lemah
Salah	miskonsepsi	lemah	lemah	lemah

(diadaptasi dari Potgieter et al. (2010))

Dalam menjawab pertanyaan pilihan ganda, mahasiswa juga diminta memberikan skor tingkat keyakinan akan ketepatan jawaban yang diberikan dengan menggunakan skala Likert 0 sampai 3. Skor 0 menyatakan sangat tidak yakin (sekedar menebak), sedangkan skor 3 menyatakan sangat yakin akan ketepatan jawabannya. Skor 1 dan 2 menyatakan tingkat keyakinan di antara dua ekstrim tersebut. Kombinasi antara ketepatan jawaban dan tingkat keyakinan atas ketepatan jawaban tersebut selanjutnya digunakan untuk menyatakan tingkat pemahaman mahasiswa terhadap konsep-konsep yang melandasi suatu pertanyaan (lihat Tabel 1). Sebagai contoh, mahasiswa yang menjawab benar dengan skor keyakinan 3 dimaknai telah memahami dengan baik konsep yang mendasari pertanyaan tersebut. Sebaliknya mahasiswa yang menjawab salah tetapi memberikan skor 3 (sangat yakin) akan ketepatan jawabannya dimaknai terindikasi mengalami miskonsepsi. Metode *two-tier* seperti itu telah digunakan oleh beberapa peneliti sebelumnya untuk mengungkap pemahaman konseptual siswa; misalnya Chang et al. (2007) dan Potgieter et al. (2010).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemahaman Mahasiswa tentang Bentuk Umum Representasi Matematis Gelombang Berjalan

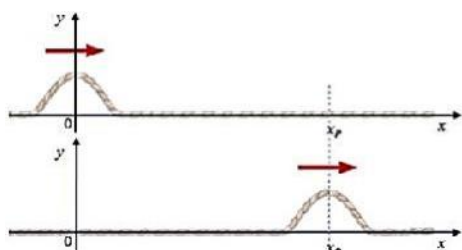
Butir soal untuk mengungkap pemahaman mahasiswa tentang bentuk umum representasi matematis gelombang berjalan disajikan pada Gambar 1. Distribusi jawaban mahasiswa beserta tingkat pemahamannya disajikan pada Tabel 2. Jawaban yang tepat atas pertanyaan ini adalah pilihan C. Berdasarkan data tersebut, hanya 1,6% mahasiswa yang memiliki pemahaman sangat baik tentang bentuk umum representasi matematis gelombang berjalan. Sebagian besar pemahaman mahasiswa dalam kategori lemah (81%), bahkan 14% mahasiswa terindikasi mengalami miskonsepsi.

Untuk dapat menjawab dengan benar pertanyaan tersebut, mahasiswa dituntut (1) mampu mengaktifasi pengetahuan mereka tentang definisi kecepatan dan mengguna-

kannya untuk menentukan cepat rambat gelombang berdasarkan grafik yang diberikan, yaitu $v = x_p/t'$ ke kanan; (2) mampu mengaktifasi pengetahuan tentang bentuk umum representasi matematis gelombang berjalan, yaitu $y(x,t) = y(x \mp vt, 0)$ dengan tanda (-) dan (+) masing-masing harus digunakan untuk gelombang yang merambat ke kanan dan ke kiri. Seperti ditunjukkan pada Tabel 2, hanya sekitar 19% mahasiswa yang jawabannya benar; itupun hanya 1,6% mahasiswa yang yakin atas ketepatan jawabannya.

Mahasiswa yang memilih A berarti tidak menggunakan kedua pengetahuan prasarat sebagaimana dikemukakan di depan. Merujuk pada teori *resource* (Docktor & Mestre, 2014; Hammer, 2000), ada beberapa kemungkinan penyebabnya. Pertama, mereka mengetahui bahwa soal yang dihadapinya terkait dengan gelombang berjalan, tetapi gagal mengaktifasi pengetahuannya tentang bentuk umum representasi matematis gelombang berjalan dari memori jangka panjangnya. Kedua, mereka telah berhasil mengaktifasi pengetahuan itu namun tidak dapat menerapkannya. Kedua kemungkinan tersebut menyebabkan mereka ragu akan kebenaran jawabannya. Sebab ketiga, alih-alih mengaktifasi bentuk umum representasi matematis, mereka mengaktifasi pengetahuan lain yang dia yakini cocok dengan persoalan ini. Mereka hanya mengganti x pada fungsi $y(x,0) = Ae^{-\alpha x^2}$ dengan x_p . Karena pemikiran itu menghasilkan jawaban yang tersedia di pilihan, mereka yakin bahwa cara tersebut tepat untuk memecahkan persoalan ini.

Mahasiswa yang memilih D dan E telah berhasil mengaktifasi bentuk umum representasi matematis gelombang berjalan, namun tidak dapat menerapkannya dengan benar, khususnya dalam menentukan besarnya cepat rambat pulsa. Khusus yang memilih D berarti juga salah dalam menggunakan tanda kecepatan (+/-). Mahasiswa yang menjawab B berarti sudah dapat mengaktifasi pengetahuan yang diperlukan dan telah mampu menentukan kecepatan rambatan pulsa, namun salah dalam menentukan tanda kecepatan. Diduga kuat bahwa mahasiswa yang salah dalam



Gambar di samping menunjukkan gerakan pulsa pada seutas tali yang dibentangkan.

Atas: bentuk tali pada saat pengamatan dimulai ($t = 0$ s).

Bawah: bentuk tali beberapa saat kemudian (pada $t = t'$ s), yaitu ketika puncak pulsa tepat sampai di x_p .

Jika pada $t = 0$ s bentuk pulsa dinyatakan sebagai fungsi $y(x, 0) = Ae^{-\alpha x^2}$ dengan A dan α suatu tetapan positif, maka bentuk pulsa pada $t = t'$ s dinyatakan sebagai fungsi

- A. $y(x, t') = Ae^{-\alpha(x+x_p)^2}$ B. $y(x, t') = Ae^{-\alpha(x-x_p)^2}$ C. $y(x, t') = Ae^{-\alpha(x-vt')^2}$
 D. $y(x, t') = Ae^{-\alpha(x+vt')^2}$, dengan v belum bisa ditentukan berdasarkan informasi yang tersedia
 E. $y(x, t') = Ae^{-\alpha(x-vt')^2}$, dengan v belum bisa ditentukan berdasarkan informasi yang tersedia
 F. Bukan yang disebut di pilihan A sampai E

Gambar 1. Butir soal untuk mengungkap pemahaman mahasiswa tentang representasi matematis gelombang berjalan

Tabel 2. Distribusi jawaban dan tingkat pemahaman mahasiswa terkait pertanyaan pada Gambar 1

Pilihan	Distribusi jawaban		Mahasiswa yang miskonsepsi (N)	Distribusi tingkat pemahaman		
	Keseluruhan mahasiswa N	Mahasiswa yang % miskonsepsi (N)		Tingkat pemahaman	N	(%)
A	14	10,9	3	bagus	2	1,6
B	24	18,8	4	cukup	4	3,1
C*	23	18,0	-	lemah	104	81,2
D	21	16,4	2	miskonsepsi	18	14,1
E	37	28,9	9			
F	6	4,7				
kosong	3	2,3				
Total	128	100	18		128	100

*Kunci jawaban

menentukan tanda kecepatan tersebut akibat telah mendalamnya pengetahuan mereka tentang tanda kecepatan dalam kinematika partikel, yaitu (+) menyatakan ke kanan dan (-) menyatakan ke kiri. Seperti terlihat pada Tabel 2, sebagian siswa yang memilih B, D, maupun E merasa yakin atas ketepatan pemikirannya.

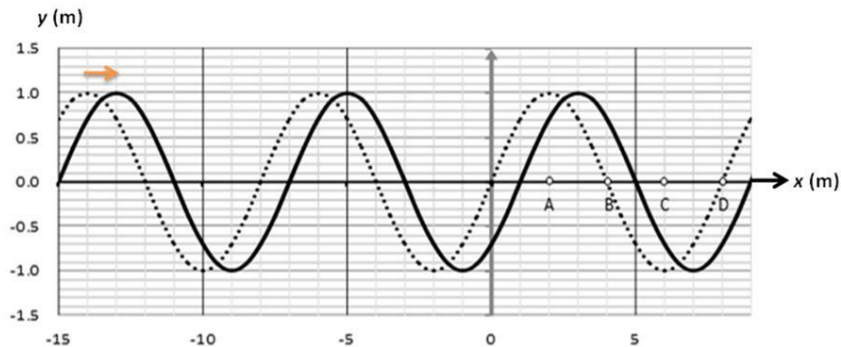
Pemahaman Mahasiswa tentang Gerakan Partikel Medium

Pertanyaan untuk mengungkap pemahaman mahasiswa tentang gerakan partikel medium saat dilalui gelombang transversal disajikan pada Gambar 2. Distribusi jawaban mahasiswa beserta tingkat pemahamannya disajikan pada Tabel 3. Jawaban yang tepat atas pertanyaan ini adalah pilihan B. Berdasarkan data tersebut tampak bahwa hanya sekitar 6% mahasiswa yang memiliki pemahaman sangat baik tentang gerakan partikel medium. Sebagian besar pemahaman mahasiswa dalam kategori lemah ($\approx 51\%$), bahkan

35% mahasiswa terindikasi mengalami miskonsepsi.

Untuk dapat menjawab dengan benar pertanyaan tersebut, mahasiswa dituntut mampu (1) mengaktivasi pengetahuan mereka tentang hakekat gelombang mekanik, yaitu perpindahan energi mekanik melalui suatu medium tanpa diikuti perpindahan partikel-partikel medium, (2) mengaktivasi pengetahuan bahwa dalam perambatan gelombang mekanik ada dua macam kecepatan, yaitu kecepatan perambatan gelombang dan kecepatan gerakan partikel medium, (3) mengaktivasi dan menerapkan konsep kecepatan sebagai perubahan posisi, atau mengaktivasi pengetahuan empirik tentang gerakan partikel medium, dan (4) membaca representasi grafik gelombang berjalan. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3, hanya sekitar 19% mahasiswa yang pilihannya benar, itupun hanya sekitar 1/3-nya yang yakin atas jawabannya. Bahkan, sebagian besar mahasiswa (35%) terindikasi mengalami miskonsepsi, dengan jawaban yang tersebar di semua pilihan yang salah.

Gambar di bawah menyatakan foto sesaat, masing-masing pada $t = 0$ s (kurva titik-titik) dan $t = 0,5$ s (kurva tebal), keadaan tali yang dilewati gelombang transversal berjalan ke kanan.



Di antara empat titik pada tali yang ditandai dengan A, B, C, dan D, titik manakah yang pada $t = 0$ s sedang bergerak ke atas dengan kelajuan paling besar?

A. A B. B C. C D. D E. tidak ada, semuanya bergerak ke kanan dengan laju yang sama

Gambar 2. Butir soal untuk mengungkap pemahaman mahasiswa tentang gerakan partikel medium

Tabel 3. Distribusi jawaban dan tingkat pemahaman mahasiswa terkait pertanyaan pada Gambar 2

Pilihan	Distribusi jawaban			Distribusi tingkat pemahaman		
	Keseluruhan mahasiswa		Mahasiswa yang miskonsepsi (N)	Tingkat pemahaman	N	(%)
	N	%				
A	19	14,8	3	Bagus	8	6,3
B*	24	18,8	-	Cukup	9	7,0
C	20	15,6	12	Lemah	66	51,5
D	31	24,2	17	miskonsepsi	45	35,3
E	33	25,8	13			
kosong	1	0,8				
Total	128	100	45	Total	128	100

*Kunci jawaban

Pilihan jawaban salah E paling banyak dipilih mahasiswa (33 dari 128 mahasiswa, atau sekitar 26%); bahkan 13 di antaranya sangat yakin dengan jawabannya. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa berfikir semua partikel medium bergerak bersama-sama dengan arah dan besar kecepatan yang sama dengan perambatan gelombang. Dengan kata lain, mereka gagal mengaktifkan pengetahuan mereka bahwa gelombang merupakan fenomena perambatan energi yang tidak disertai dengan perpindahan medium, atau bahkan mengalami miskonsepsi bahwa semua partikel dalam medium akan bergerak mengikuti gerakan gelombang.

Porsi jawaban salah terbanyak kedua adalah pilihan salah D, yaitu 31 dari 128 mahasiswa (sekitar 24%); bahkan 17 (sekitar 55%) di antaranya sangat yakin dengan jawabannya. Ada beberapa kemungkinan penyebabnya. Pertama, mereka menerapkan

konsep kecepatan sebagai gradien kurva dalam konteks yang salah. Berdasarkan grafik yang diberikan, gradien kurva di titik D memang bertanda positif dengan nilai paling besar. Namun, mahasiswa gagal mengaktifkan pengetahuan tentang kapan definisi operasional kecepatan tersebut diberlakukan, yaitu pada grafik posisi terhadap waktu. Kemungkinan kedua, perhatian mahasiswa tertuju pada titik-titik di kanan D dan mendapati bahwa titik-titik tersebut berada di atas titik D. Karena mereka berfikir bahwa gelombang bergerak ke kanan, maka partikel di titik D akan naik. Jika pemikiran ini yang digunakan, berarti mahasiswa tersebut berpikir bahwa partikel-partikel medium bergerak mengikuti arah gerakan gelombang, bukan naik-turun di sekitar posisinya. Kemungkinan ketiga, mereka telah mengaktifkan pengetahuan bahwa partikel-partikel medium berosilasi naik-turun di sekitar posisi setimbangnya, serta mengetahui bahwa titik D

berada di posisi setimbang; karena itu kecepatannya paling besar sebagaimana yang terjadi pada gerak osilasi. Namun, mahasiswa tersebut ragu ke arah mana gerakan titik D saat itu, sedang naik atau turun.

Jawaban salah yang dipilih mahasiswa dengan porsi terbesar berikutnya adalah C. Mahasiswa yang memilih jawaban ini diduga kuat telah menggunakan intuisi yang salah bahwa titik-titik yang berada di puncak/lembah gelombang memiliki kecepatan paling besar karena posisinya paling jauh dari titik setimbangnya. Mereka berpikir bahwa semakin jauh posisi partikel dari titik setimbangnya, semakin keras usahanya untuk dapat kembali ke posisi setimbangnya dengan segera. Dugaan ini diperkuat oleh data bahwa 12 dari 20 mahasiswa yang memilih jawaban C sangat yakin dengan jawabannya. Pemikiran mahasiswa yang memilih jawaban A kurang lebih juga serupa. Bedanya, mahasiswa yang memilih D berfikir bahwa titik D berada posisi teratas, berarti saat itu baru saja bergerak ke atas dengan kecepatan paling besar.

Berdasarkan paparan tersebut disimpulkan bahwa pemahaman mahasiswa tentang gerakan partikel medium masih sangat lemah. Terutama jika persoalan tersebut dihadirkan dalam format representasi grafik seperti yang digunakan pada penelitian ini.

Pemahaman Mahasiswa tentang $v = \lambda f$

Ada tiga butir soal untuk mengungkap pemahaman mahasiswa tentang hubungan antara frekuensi, panjang gelombang, dan kecepatan rambat gelombang. Butir pertama diberikan dalam konteks perambatan gelombang bunyi dari udara ke air dan dikemas dalam format representasi verbal (Gambar 3). berbeda yang disambung, satu butir soal dikemas dalam format representasi gambar-

verbal (Gambar 4) dan lainnya dalam format representasi gambar-matematis (Gambar 5). Dua butir lainnya diberikan dalam konteks perambatan gelombang melalui dua utas tali

Agar dapat menjawab dengan benar ketiga butir soal tersebut, mahasiswa perlu memiliki pengetahuan-pengetahuan berikut, mampu mengaktivasinya, dan mampu menggunakannya secara tepat. Pengetahuan yang dimaksud adalah (1) frekuensi f , panjang gelombang λ , dan kecepatan rambat gelombang v memenuhi hubungan $\lambda f = v$; (2) frekuensi gelombang ditentukan oleh frekuensi sumber, kecepatan rambat gelombang ditentukan oleh medium, dan panjang gelombang ditentukan oleh frekuensi dan kecepatan rambat gelombang menurut hubungan $\lambda f = v$; (3) kecepatan rambat gelombang mekanik di air lebih besar daripada di udara; dan (4) secara grafik, panjang gelombang merupakan periode spasial, yaitu periode fungsi simpangan y terhadap posisi partikel x ; sedangkan periode temporal, atau biasa disebut periode gelombang, merupakan periode pada grafik simpangan terhadap waktu yang diasosiasikan dengan gerakan partikel medium di suatu titik. Berikut dipaparkan respon mahasiswa terhadap masing-masing butir soal tersebut.

Perambatan bunyi dari udara ke air

Butir soal untuk mengungkap pemahaman mahasiswa tentang besaran-besaran gelombang apa yang berubah atau tetap ketika gelombang bunyi mengalami pembiasan dari udara ke air disajikan pada Gambar 3. Distribusi jawaban dan tingkat pemahaman mahasiswa disajikan pada Tabel 4. Jawaban yang tepat atas pertanyaan ini adalah pilihan B.

Manakah pernyataan berikut yang benar ketika gelombang bunyi merambat dari udara ke air?

- A. Frekuensinya berkurang dan panjang gelombangnya bertambah panjang.
- B. Frekuensinya tetap dan panjang gelombangnya bertambah panjang.
- C. Frekuensinya tetap dan panjang gelombangnya menjadi lebih pendek.
- D. Freuensinya bertambah dan panjang gelombangnya berkurang.
- E. Frekuensi dan panjang gelombangnya bertambah besar.
- F. Frekuensinya berkurang dan panjang gelombangnya tetap.

Gambar 3. Butir soal untuk mengungkap pemahaman mahasiswa tentang hubungan dalam konteks perambatan bunyi dari udara ke air

Tabel 4. Distribusi jawaban dan tingkat pemahaman mahasiswa terkait pertanyaan pada Gambar 3

Pilihan	Distribusi jawaban			Distribusi tingkat pemahaman		
	Keseluruhan mahasiswa		Mahasiswa yang miskonsepsi (N)	Tingkat pemahaman	N	(%)
	N	%				
A	42	32,8	17	Bagus	2	1,6
B*	10	7,8	-	Cukup	4	3,1
C	35	27,3	18	Lemah	78	60,9
D	19	14,8	5	miskonsepsi	44	34,4
E	3	2,3	1			
F	15	11,7	3			
kosong	4	3,1	-			
Total	128	100	44		128	100

*Kunci jawaban

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4, hanya 7,8% mahasiswa yang jawabannya benar, itu pun hanya 1,6% yang yakin dengan jawabannya. Lebih dari 60% mahasiswa menunjukkan pemahaman yang lemah, bahkan 44 mahasiswa (sekitar 34%) terindikasi mengalami miskonsepsi. Di antara 44 mahasiswa yang terindikasi mengalami miskonsepsi tersebut, 18 mahasiswa memilih C, 17 mahasiswa memilih A, dan 5 mahasiswa memilih D.

Hanya 45 mahasiswa (sekitar 35%) yang berpendapat bahwa frekuensi gelombang tidak mengalami perubahan pada fenomena tersebut. Itu pun hanya 10 mahasiswa yang menggunakan pengetahuan bahwa panjang gelombang bunyi bertambah besar karena kecepatan rambat bunyi di air lebih besar daripada di udara. Lebih lanjut, hanya dua mahasiswa yang yakin dengan kevalidan argumentasi tersebut. Selain itu, dari 45 mahasiswa yang berpendapat frekuensi gelombang tidak mengalami perubahan, 35 mahasiswa (yang memilih C) berpendapat bahwa kecepatan rambat bunyi di udara lebih besar daripada di air, bahkan lebih dari separohnya (18 mahasiswa) yakin atas kebenaran pengetahuannya tersebut. Dapat diduga bahwa ke-35 mahasiswa tersebut telah melakukan *over-generalization* (Sutopo, 2013), atau salah menerapkan prinsip serupa yang berlaku pada perambatan cahaya, yaitu kecepatan cahaya akan berkurang jika merambat dari udara ke air.

Sebanyak 61 mahasiswa (sekitar 48%), yaitu mahasiswa yang memilih A atau D, berpendapat bahwa kecepatan rambat bunyi tidak mengalami perubahan ketika merambat dari udara ke air. Di antara 61 mahasiswa tersebut, 22 mahasiswa sangat yakin atas pandangan ini. Lebih lanjut, di antara 22 mahasiswa tersebut, 17 mahasiswa sangat yakin bahwa frekuensi gelombang berkurang dan

panjang gelombangnya bertambah; sedangkan 5 mahasiswa lainnya berpandangan sebaliknya, yaitu frekuensinya bertambah dan panjang gelombangnya berkurang.

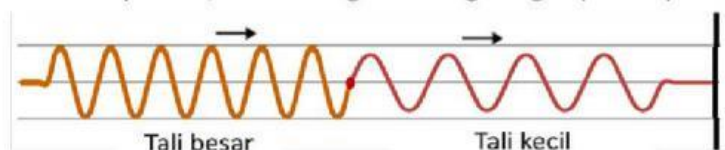
Berdasarkan paparan tersebut disimpulkan bahwa hubungan $\lambda f = v$ belum dipahami dengan baik oleh hampir semua mahasiswa yang terlibat dalam penelitian ini. Sekitar 64% mahasiswa memiliki pemahaman yang sangat lemah, bahkan banyak mahasiswa yang terindikasi mengalami miskonsepsi (34,4%).

Perambatan gelombang melalui dua utas tali yang disambung

Dalam penelitian ini, pemahaman mahasiswa tentang hubungan $\lambda f = v$ juga diungkap melalui butir soal yang dikemas dalam konteks perambatan gelombang melalui dua utas tali berbeda yang disambung (Gambar 4). Kunci jawaban soal ini adalah pilihan B. Distribusi jawaban dan tingkat pemahaman mahasiswa disajikan pada Tabel 5.

Untuk menjawab butir soal ini dengan benar, selain harus memahami dengan baik hubungan $\lambda f = v$, mahasiswa juga harus memahami prinsip-prinsip berikut. (1) Ketika menjumpai medium yang berbeda, gelombang mekanik mengalami pemantulan sebagian, yaitu sebagian dipantulkan dan sebagian diteruskan. (2) Pada peristiwa tersebut, energi yang dibawa gelombang datang harus sama dengan jumlah energi yang dibawa oleh gelombang pantul dan gelombang yang diteruskan. Sebagai konsekuensinya, gelombang yang diteruskan memiliki amplitudo lebih kecil daripada gelombang datang. Selain itu, mahasiswa harus memahami ciri-ciri gelombang teredam dan mampu mengambil informasi dari representasi grafik gelombang berjalan.

Dua utas tali yang berbeda massa jenisnya disambung kemudian dibentangkan dengan tegangan tertentu. Setelah ujung bebas tali besar digetarkan secara sinusoidal beberapa saat, terbentuk gelombang dengan pola seperti pada gambar.



Jika tegangan kedua tali sama besar, manakah pernyataan berikut yang paling sesuai dengan fenomena tersebut?

- Frekuensi gelombang pada tali besar lebih tinggi daripada pada tali kecil.
- Cepat rambat gelombang di tali besar lebih cepat daripada di tali kecil.
- Gelombang mengalami redaman ketika melalui tali kecil.
- Semua pernyataan A, B, dan C benar.
- Pernyataan A dan B benar, sedangkan C salah.
- Pernyataan A dan C benar, sedangkan B salah.

Gambar 4. Butir soal tentang perambatan gelombang melalui dua utas tali yang disambung

Tabel 5. Distribusi jawaban dan tingkat pemahaman mahasiswa terkait pertanyaan pada Gambar 4

Pilihan	Distribusi jawaban			Distribusi tingkat pemahaman		
	Seluruh mahasiswa N	%	Mahasiswa yang miskonsepsi (N)	Tingkat pemahaman	N	(%)
A	18	14,1	4	Bagus	12	9,4
B*	24	18,8	-	Cukup	11	8,6
C	18	14,1	1	Lemah	74	57,8
D	13	10,2	6	miskonsepsi	31	24,2
E	26	20,3	9			
F	26	20,3	11			
kosong	3	2,3	-			
Total	128	100	31	Total	128	100

*Kunci jawaban

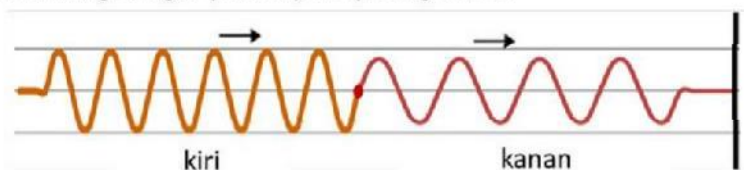
Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5, hanya 24 mahasiswa (sekitar 19%) yang memilih jawaban benar; itu pun hanya separohnya yang yakin dengan ketepatan jawabannya. Sebanyak 31 mahasiswa (sekitar 24%) terindikasi mengalami miskonsepsi tentang konsep-konsep fisika yang melatarbelakangi persoalan yang disajikan.

Delapan puluh tiga mahasiswa (sekitar 65%), yaitu jumlah mahasiswa yang memilih A, D, E atau F, berpendapat bahwa frekuensi gelombang berubah ketika melalui tali yang berbeda, yaitu frekuensi di tali besar lebih tinggi daripada frekuensi di tali kecil. Angka tersebut konsisten dengan jumlah mahasiswa yang menerapkan pemikiran serupa ketika menjawab pertanyaan sebelumnya (Gambar 3), lihat Tabel 4. Di antara ke-83 mahasiswa tersebut, 30 mahasiswa sangat yakin dengan pemikirannya. Selain memiliki pemahaman yang salah bahwa frekuensi gelombang

bergantung medium, mahasiswa tersebut diduga juga salah dalam menafsirkan gambar yang diberikan. Lebih rapatnya rentetan gelombang pada tali besar dibandingkan pada tali kecil dimaknai bahwa gelombang di tali besar memiliki frekuensi lebih tinggi daripada di tali kecil. Mereka lupa, atau tidak memahami, bahwa gambar tersebut merupakan grafik simpangan terhadap posisi, sehingga harus dimaknai bahwa panjang gelombang di tali besar lebih pendek daripada di tali kecil.

Hal lain yang terungkap melalui soal ini adalah adanya sejumlah mahasiswa yang memiliki pemahaman salah tentang pengertian gelombang teredam. Sebanyak 44 mahasiswa (18 memilih C dan 26 memilih F), atau sekitar 34%, memaknai berkurangnya amplitudo gelombang ketika melalui tali kecil menandakan bahwa gelombang mengalami peredaman. Bahkan, 12 dari 44 mahasiswa tersebut sangat yakin dengan pemikirannya itu (Lihat Tabel 5).

Dua utas tali yang berbeda disambung kemudian dibentangkan dengan tegangan tertentu. Ujung bebas tali kiri kemudian digetarkan secara sinusoidal sehingga terjadi gelombang dengan pola seperti pada gambar.



Jika tali kiri diganti dengan tali lain dan percobaan diulang dengan cara yang sama, panjang gelombang baru di tali kiri berubah menjadi 1,5 kali semula. Bagaimana panjang gelombang di tali kanan pada percobaan baru tersebut?

- A. 1,5 kali semula
 B. 2/3 kali semula
 C. Tetap seperti semula
 D. Tidak bisa dipastikan

Gambar 5. Butir soal untuk mengungkap pemahaman mahasiswa tentang hubungan dalam konteks perambatan gelombang melalui dua tali yang disambung

Tabel 6. Distribusi jawaban dan tingkat pemahaman mahasiswa terkait pertanyaan pada Gambar 5

Pilihan	Distribusi jawaban			Distribusi tingkat pemahaman	
	Keseluruhan mahasiswa N	%	Mahasiswa yang miskonsepsi (N)	Tingkat pemahaman	N (%)
A	37	28,9	6	bagus	4 3,1
B	51	39,8	13	cukup	10 7,8
C*	23	18,0	-	lemah	92 71,9
D	10	7,8	3	miskonsepsi	22 17,2
kosong	7	5,5	-		
Total	128	100	22		128 100

*Kunci jawaban

Ada dua hal yang mungkin menyebabkan mahasiswa berpikir seperti itu. Pertama, mereka lupa, atau tidak memiliki pengetahuan, bahwa suatu gelombang dikatakan teredam jika amplitudonya semakin lama (atau semakin jauh merambat) semakin berkurang; bukan seperti yang ditunjukkan pada soal ini. Kedua, mereka lupa, atau tidak memiliki pengetahuan, bahwa berkurangnya amplitudo ketika gelombang berpindah ke tali kecil merupakan konsekuensi dari prinsip kekekalan energy.

Berdasarkan paparan di depan dapat disimpulkan bahwa sebagian besar mahasiswa (sekitar 65%) belum memiliki pemahaman yang baik tentang hubungan $\lambda f = v$. Temuan ini konsisten dengan respon mahasiswa ketika menjawab persoalan serupa yang disajikan dalam konteks pembiasan gelombang bunyi dari udara ke air, sebagaimana telah dipaparkan pada bagian sebelumnya.

Butir soal kedua terkait konteks perambatan gelombang melalui dua tali yang disam-

bung disajikan pada Gambar 5. Kunci jawaban soal tersebut adalah pilihan C. Distribusi jawaban dan tingkat pemahaman mahasiswa disajikan pada Tabel 6. Seperti pada kedua soal sebelumnya, agar dapat menjawab pertanyaan ini dengan benar, mahasiswa harus memahami dengan baik hubungan $\lambda f = v$ serta menyadari bahwa kedua percobaan dilakukan dengan frekuensi yang sama dan keadaan tali kanan tidak mengalami perubahan apapun selama percobaan.

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6, hanya 23 mahasiswa (18%) yang memberikan jawaban benar, itu pun hanya 4 mahasiswa yang yakin dengan jawabannya. Banyaknya mahasiswa yang menjawab benar hampir sama dengan pada soal sebelumnya (Tabel 5). Lebih dari 80% mahasiswa menunjukkan pemahaman yang kurang baik, sedangkan 17,2% mahasiswa terindikasi mengalami miskonsepsi.

Sebanyak 88 mahasiswa (68,8%) berpendapat bahwa panjang gelombang di tali kanan akan berubah jika tali kiri diganti dengan tali lain. Di antara 88 mahasiswa tersebut, 19 mahasiswa sangat yakin dengan pendapatnya. Tiga puluh tujuh mahasiswa (sekitar 29%) berpendapat bahwa panjang gelombang di tali kanan ikut bertambah sesuai dengan pertambahan panjang gelombang di tali kiri. Tampaknya mahasiswa tersebut berpendapat bahwa kecepatan rambat gelombang di tali kanan harus selalu sama dengan kecepatan di tali kiri. Mereka lupa, atau tidak memahami, bahwa kecepatan rambat gelombang pada suatu medium hanya ditentukan oleh karakteristik medium itu sendiri; jika karakteristiknya tidak berubah maka kecepatan rambat gelombang di dalamnya juga tidak berubah. Di pihak lain, 51 mahasiswa (39,8%) berpendapat sebaliknya, yaitu panjang gelombang di tali kanan harus berkurang untuk mengimbangi pertambahan panjang gelombang di tali kiri. Mereka berpikir bahwa karena percobaan dilakukan dengan cara yang sama maka kecepatan rambat gelombang melalui kedua tali tersebut harus sama pada kedua percobaan tersebut. Konsekuensinya, jika panjang gelombang di tali kiri berubah menjadi $3/2$ kali semula (berarti kecepatannya bertambah menjadi $3/2$ kali semula), panjang gelombang di tali kanan harus berkurang menjadi $2/3$ dari semula sehingga kecepatannya berkurang menjadi $2/3$ semula.

Berdasarkan analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa sebagian besar mahasiswa kurang memahami hubungan $\lambda f = v$ bahkan banyak yang terindikasi mengalami miskonsepsi, sehingga kesulitan dalam menerapkan konsep tersebut untuk memecahkan persoalan. Kesulitan mahasiswa juga bergantung pada konteks persoalan dan format representasi yang digunakan. Soal dengan konteks perambatan bunyi dari udara ke air dan disajikan dalam representasi verbal tampaknya lebih sulit bagi mahasiswa daripada soal dengan konteks perambatan gelombang melalui dua tali yang disambung dan disajikan dalam representasi gambar. Pada tipe soal yang disebut pertama, hanya 10 dari 128 mahasiswa yang menjawab benar, itupun hanya dua mahasiswa yang yakin dengan jawabannya. Di pihak lain, pada tipe soal kedua ada 23-24 mahasiswa yang menjawab benar dengan 4-12 mahasiswa yakin dengan jawabannya.

PENUTUP

Berdasarkan paparan hasil dan pembahasan sebagaimana diuraikan di depan, dapat disimpulkan bahwa konsep-konsep fundamental terkait fenomena perambatan gelombang, meliputi representasi matematis tentang karakteristik umum gelombang berjalan, gerakan partikel medium saat dilewati gelombang, dan hubungan $\lambda f = v$ merupakan konsep-konsep yang sulit dipahami oleh mahasiswa. Meskipun mereka telah mempelajari konsep-konsep tersebut sejak SMP, terutama tentang gerakan partikel medium dan hubungan $\lambda f = v$, juga telah membahasnya kembali melalui perkuliahan fisika dasar di universitas, sebagian besar mahasiswa masih mengalami kesulitan dalam memecahkan persoalan yang dilandasi konsep-konsep tersebut.

Ada beberapa kemungkinan penyebab kegagalan siswa dalam memecahkan persoalan konseptual seperti yang digunakan pada penelitian ini. Pertama, mereka mengalami miskonsepsi dalam arti memahami suatu konsep secara salah namun yakin bahwa konsepsinya (yang salah) tersebut benar. Kedua, mereka telah memiliki semua konsep sains yang berkaitan dengan persoalan yang dipecahkan, namun saat mencoba memecahkan persoalan tersebut mereka gagal mengaktivasi pengetahuan sains yang paling relevan ke dalam *working memory*-nya. Ketiga, mereka berhasil mengaktivasi potongan-potongan pengetahuan sains ke dalam *working memory* namun gagal memilih pengetahuan yang paling relevan dengan persoalan, atau gagal menggunakan pengetahuan-pengetahuan tersebut untuk membuat kesimpulan yang tepat. Keempat, mereka tidak memiliki pengetahuan sains yang relevan sehingga hanya mengandalkan intuisi naifnya.

Pada penelitian ini, analisis terhadap kesulitan mahasiswa dalam memecahkan masalah dilakukan berdasarkan skor tingkat keyakinan mahasiswa terhadap kebenaran jawabannya kemudian dikombinasikan dengan pemikiran hipotetik peneliti saat menyusun pilihan (pengecoh). Oleh karena itu, perlu eksplorasi lebih mendalam dan lebih pasti penyebab kesulitan tersebut. Metode *think aloud* (Hull et al., 2013; Kustusich et al., 2014) atau interview klinis (diSessa, 2007; Russ et al., 2012) mungkin cocok untuk keperluan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Caleon, I. & Subramaniam, R. (2010). Development and application of a three-tier diagnostic test to assess secondary students' understanding of waves. *International Journal of Science Education*, 32 (7), 939–961.
- Chang, H., Chen, J., Guo, C., Chen, C., Chang, C., Lin, S., Su, W., Lain, K., Hsu, S., Lin, J., Chen, C., Cheng, Y., Wang, L., & Tseng, Y. (2007). Investigating primary and secondary students' learning of physics concepts in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29 (4), 465–482.
- diSessa, A. A. (2007). An interactional analysis of clinical interviewing. *Cognition and Instruction*, 25 (4), 523-565
- Docktor, J. L. & Mestre, J. P. (2014). Synthesis of discipline-based education research in physics. *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 10, 020119
- Fazio, C., Guastella, I., Sperandeo-Mineo, R. M., & Tarantino, G. (2008). Modelling mechanical wave propagation: Guidelines and experimentation of a teaching-learning sequence. *International Journal of Science Education*, 30 (11), 1491–1530
- Halloun, I. B. & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53 (11), 1056-1065.
- Halloun, I. B. & Hestenes, D. (1985a). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53 (11), 1043–1055.
- Hammer, D. (2000). Students resource for learning introductory physics. *American Journal of Physics*, *Physics Education Research Supplement*, 68 (S1), S52–S59.
- Hestenes, D. & Wells, M. (1992). A mechanics baseline test. *The Physics Teacher*, 30 (3), 159–166.
- Hestenes, D., Wells, M. & Schwackhammer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30 (3), 141–158.
- Hubber, P., Tytler, R. & Haslam, F. (2010). Teaching and learning about force with a representational focus: Pedagogy and teacher change. *Research in Science Education*, 40, 5–28.
- Hull, M. M., Kuo, E., Gupta, A. & Elby, A. (2013). Problem-solving rubrics revisited: Attending to the blending of informal conceptual and formal mathematical reasoning. *Physics Review Special Topics Physics Education Research*, 9, 010105.
- Kohl, P. B., Rosengrant, D., and Finkelstein, N. D. (2007). Strongly and weakly directed approaches to teaching multiple representation use in physics. *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 3, 010108.
- Kryjevskaja, M., Stetzer, M. R., & Heron, P. R. L. (2011). Student understanding of wave behavior at a boundary: The limiting case of reflection at fixed and free ends. *American Journal of Physics*, 75 (9), 508–516.
- Kryjevskaja, M., Stetzer, M. R., & Heron, P. R. L. (2012). Student understanding of wave behavior at a boundary: The relationships among wavelength, propagation speed, and frequency. *American Journal of Physics*, 80 (4), 339–347.
- Kryjevskaja, M., Stetzer, M. R., & Heron, P. R. L. (2013). Student difficulties measuring distances in terms of wavelength: Lack of basic skills or failure to transfer? *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 9, 010106.
- Kustus, M. B., Roundy, D., Dray, T., & Manogue, C. A. (2014). Partial derivative games in thermodynamics: A cognitive task analysis. *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 10, 010101.
- McDermott, L. C., Rosenquist, M. L. & van Zee, E.H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55, 503–513.
- Potgieter, M., Malatje, E., Gaigher, E., & Venter, E. (2010). Confidence versus performance as an indicator of the presence of alternative conceptions and inadequate problem-solving skills in Mechanics. *International Journal of Science Education*, 32 (11), 1407–1429.
- Prain, V., Tytler, R. & Peterson, S. (2009). Multiple representation in learning about evaporation. *International Journal of Science Education*, 31 (6), 787–808.
- Rosenblatt, R. & Heckler, A. F. (2011). Systematic study of student understanding of the relationships between the directions of force, velocity, and acceleration in one dimension. *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 7, 20112.
- Russ, R. S., Lee, V. R., & Sherin, B. L. (2012). Framing in cognitive clinical interviews about intuitive science knowledge: Dynamic student understandings of the discourse interaction. *Science Education*, 96 (4), 537-599.
- Serway, R. A. & Jewett, J. W. (2010). *Physics for scientists and engineers with modern physics* (8th edition). Brooks and Cole.
- Sokoloff, D. R. & Thornton, R. K. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics*, 66 (4), 338–352.

- Sutopo & Waldrip, B. (2014). Impact of representational approach on students' reason and conceptual understanding in learning mechanics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12 (4), 741–765.
- Sutopo (2013). *Kecenderungan over-generalize penggunaan prinsip kolom udara/pipa organa dalam analisis frekuensi sumber bunyi*. Prosiding Seminar Nasional MIPA dan Pembelajarannya, FMIPA UM, 13 Oktober 2013. ISBN: 978-602-97895-6-0, hal. 824-831.
- Sutopo, Liliyasi, Waldrip, B., & Rusdiana, D. (2012). Impact of representational approach on the improvement of students' understanding of acceleration. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 8(2), 161-173.
- Tongchai, A., Sharma, M. M., Johnston, I. D., Arayathanikul, K., Soankwan, C. (2009). Developing, evaluating and demonstrating the use of a conceptual survey in mechanical waves. *International Journal of Science Education*, 31 (18), 2437–2457.
- Tongchai, A., Sharma, M.M., Johnston, I. D., Arayathanikul, K., Soankwan, C. (2011). Consistency of students' conceptions of wave propagation: Findings from a conceptual survey in mechanical waves. *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 7, 020101.
- Trowbridge, D. E. & McDermott, L. C. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48 (12), 1020–1028.
- Trowbridge, D. E. & McDermott, L. C. (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of Physics*, 49 (3), 242–253.
- Wittmann, M. C., Steinberg, R. N. & Redish, E. F. (1999). Making sense of how students make sense of mechanical waves. *Physics Teacher*, 37 (1), 15–21.
- Zeng, L., Smith, C., Poelzer, G. H., Rodriguez, J., Corpuz, E., & Yanev, G. (2014). Illustrations and supporting texts for sound standing waves of air columns in pipes in introductory physics textbooks. *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 10, 020110

THE EFFECT OF INQUIRY BASED LEARNING ON THE REASONING ABILITY OF GRADE VII STUDENTS ABOUT HEAT CONCEPT

PENGARUH INQUIRY BASED LEARNING TERHADAP KEMAMPUAN PENALARAN SISWA KELAS VII PADA MATERI KALOR

N. A. C. Damawati, E. A. Juanda

Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

Diterima: 12 Oktober 2015. Disetujui: 28 Desember 2015. Dipublikasikan: Januari 2016

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh Inquiry Based Learning terhadap kemampuan penalaran siswa kelas VII pada materi Kalor. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen semu dengan rancangan non-equivalent post-test only control group design. Dua kelompok siswa kelas VII dilibatkan sebagai sampel penelitian, dimana kelas eksperimen menerima perlakuan Inquiry Based Learning sementara kelompok lainnya bertindak sebagai kelas kontrol yang menerima proses pembelajaran sesuai dengan ketentuan kurikulum yang berlaku di sekolah tempat penelitian dilaksanakan. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah kemampuan penalaran siswa yang diperoleh dari hasil tes kemampuan penalaran. Data dianalisis dengan menggunakan statistik deskriptif dan statistik parametrik Independent t-test. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kemampuan penalaran yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kelas eksperimen menunjukkan kemampuan penalaran yang lebih baik dibandingkan dengan kelas kontrol.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the effect of Inquiry Based Learning on the reasoning ability of grade 7 students about heat concept. This study is a quasi-experimental research design with non-equivalent post-test only controls group design. Two groups of seventh grade students were included as samples, which receive the experimental class of Inquiry Based Learning treatment while the other group acted as a control group who received the learning process in accordance with the applicable provisions of the curriculum. The data collected in this study is the students reasoning ability which obtained from the test of reasoning ability. Data were analyzed using descriptive statistics and statistical parametric t-test. Results of independent research shows that there are significant differences in reasoning abilities between the experimental class and control class. In this research, the experiment class perform more better reasoning skills than the control class.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: Inquiry Based Learning, reasoning ability, heat.

INTRODUCTION

Mastery and understanding of the importance of science encourage their adjustment in the paradigm of learning science; where scientific literacy is the ultimate goal of science edu-

cation to prepare human resources to compete in the 21st century (Dani, 2009). Scientific literacy is currently considered as the main objectives and learning outcomes that are important in science education standards in various countries, including Indonesia. Lawson (2009) argues scientific literacy as instructional objectives typically include students' understanding of NOS (Nature of Science) and reasoning (reasoning).

***Alamat Korespondensi:**

Jl. Dr. Setia Budhi – Bandung, Jawa Barat (40153)
E-mail: cay.sdm@gmail.com

Reasoning is one aspect of the intelligence of human beings (human intelligence). According to Bruner (Lohman & Lakin, 2009) reasoning is the process of making conclusions or inferences based on available information. Reasoning is a thought process that is important in learning, because reasoning is connecting with all the thought process that made learning such as problem solving and decision making. Improving the ability of reasoning (reasoning ability) of the learners, especially in science learning is one way that can be taken to improve thinking skills level (high order thinking) as well as the skills of the 21st century which are expected to be achieved through education. So the reasoning ability of learners is one of the important points to be improved during the learning process to be able to help them achieve their defined goals.

Reasoning involves cognitive processes, in which cognitive processes are influenced by two important mechanisms: cognitive and metacognitive factors (encoding and acquisitions or electoral strategy). Encoding involves attention to relevant information that is the basis of all reasoning. The strategy used involves the approach used to search for new knowledge and synthesize existing knowledge (Morris et al., 2012). Many things can be done in order to improve students' reasoning ability; one of them is through the implementation process of learning. Learning process gives students the opportunity to dominate the role of students in the learning process will be able to support students in developing their cognitive structures and also understand the process of acquiring their cognition. This is the basis for developing students' reasoning ability. One model of learning that can be used is Inquiry Based Learning (IBL).

National Science Education Standards (NSES) states that there are two important aspects of the inquiry into the teaching of science, namely; a) scientific inquiry refers to the way in which scientists study nature and provide explanations based on evidence that they derive from work (research) them; and b) the activities of students in which they develop their knowledge and understanding of scientific ideas and also an understanding of how scientists study nature (Bell, 2010). Engaging students in the inquiry process is very important because it helps students develop scientific literacy and science process skills. Thus, learning by inquiry has a great potential to develop students' reasoning ability (reasoning ability).

This study was conducted to determine whether the Inquiry Based Learning can really have an impact on students' reasoning ability on the material of heat.

METHODS

This study is quasi-experimental researches by using non-equivalent post-test only control group design. Quasi-experimental was used because not all the variables and experimental conditions can be set and strictly controlled, such as randomization cannot be done to the students who will be used as samples. Thus, the selection of the sample will be done with the class randomizes, in other words it is impossible to manipulate all relevant variables (Cohen et al., 2000). Design post test only (not using data pre-test) was chosen for this study was aimed to observe the effect on the ability of reasoning IBL students between the experimental class and control class after the treatment was given, and not to analyze the improvement of students' reasoning abilities after a given treatment.

The population of this study is a private junior high school student of grade 7 in Denpasar, with a total sample of 66 students. The sample was divided into two groups, namely experimental and control group. Experimental group consisted of 32 students, while the control group consisted of 34 students. Experimental group received an IBL treatment IBL, while the control group received the traditional learning program. IBL treatment was also accompanied by the provision IBL worksheet which is then used by the students in doing laboratory activities. The worksheet is designed so that students are required to be able to know what they needed to do experiments and to determine how to perform these activities. Thus, students can use it to learn independently in discovering and building knowledge.

At the end of learning program, all students were given a test of reasoning ability (as a post test) to measure the students' reasoning ability. The test consists of 10 items essay, which has been validated by the three evaluators. Previously, test of reasoning ability was tested by involving 86 respondents. Based on the results of the tests performed, it is known that test reasoning ability is reliable with a reliability test score of 0.881. Data collected through this reasoning ability tests were analyzed descriptively. As

for the research hypothesis testing, parametric statistical of independent sample t-test were used. Independent t-test was chosen because the data analyzed consisted of two groups of samples in which between one group and another unrelated (independent sample).

RESULTS AND DISCUSSION

In order to answer the research problem, the data were analyzed descriptively and then be tested stastically using independent t-test. Description of students' reasoning were consists of frequency distribution, the description of the average value (M), and standard deviation (SD) of in each group.

Based on test results data of reasoning ability, students' reasoning scores of the experimental group ranges are in between 22-44 from a maximum score of 50. The reasoning score of control group ranges in between 19-38, with a maximum score of 50. The graph of frequency distribution reasoning ability of experimental group is presented in Figure 1 and in Figure 2 for control classes are presented.

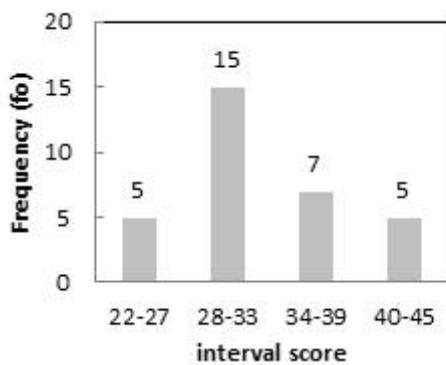


Figure 1. Graph of frequency distribution of the experimental group score of reasoning ability

Based on the graph in Figure 1, it is known that most of students' reasoning ability scores in the experimental group is in the interval of 28-33, with a percentage of 47%; students who's score are in the interval score 22-27 and 40-45 have the same percentage of 16%, while students who's score are in the 34-39 interval score is 22%. Based on the graph shown in Figure 2, the students' score of reasoning ability of the control group at the interval score of 25-30 has a percentage of 47%. Students who's score are in interval of 19-24 score has percentage of 21%, and the students who were in the range 31-36 score has a percentage of 32%.

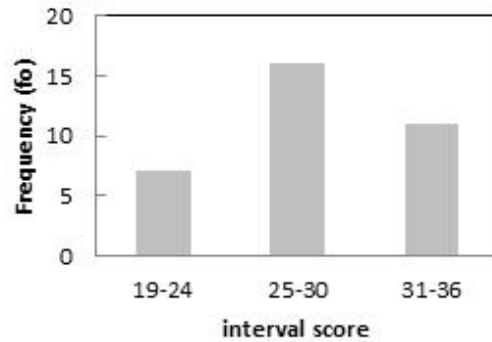


Figure 2. Graph of the frequency distribution of control group score of reasoning ability

The average score (M) and standard deviation (SD) reasoning ability of students in each group are presented in Table 1.

Table 1. The mean scores and standard deviations data of reasoning ability

Group	M	SD
Experiment	32,31	5,637
Control	28,26	5,017

Table 2 and Table 3 below show a distribution frequency and percentage of experimental and control group ability based on the result of the conversion to Benchmark Reference Rate, which aims to determine qualification of students reasoning abilities.

Table 2. Distribution frequency and percentage of reasoning ability of experimental group

Score	Qualification	f _o	percentage
$x \geq 40$	very good	5	16%
$40 > x \geq 34$	good	7	22%
$34 > x \geq 27$	fair	16	50%
$27 > x \geq 20$	poor	4	13%
$x < 20$	very poor	0	0%
total		32	100%

Judging from the average score of reasoning abilities experimental group reaches 32.31 (Table 1) it appears that 47% of the total number of students in the experimental group have the reasoning ability scores around the average score, 38% of the number of students who have the ability scores reasoning above average, and the number of students who sco-

re below the reasoning ability on average by 16%. In the control group, the average score was at 28.26 reasoning ability (Table 1), where 47% of the number of students in the control class has the reasoning ability scores around the average score, 32% of the number of students who have the ability scores reasoning above average, and the number of students who score at the reasoning ability is below average at 21%.

Table 3. Distribution frequency and percentage of reasoning ability of control group

Score	Qualification	f_o	percentage
$x \geq 40$	very good	0	0%
$40 > x \geq 34$	good	5	15%
$34 > x \geq 27$	fair	18	53%
$27 > x \geq 20$	poor	10	29%
$x < 20$	very poor	1	3%
total		35	100%

Based on these results the percentage of students who score reasoning abilities around the average score in the second class are equal, i.e. by 47%. However, there are differences in the percentage of students who have the reasoning ability is above average between experimental and control group, where the number of students of experimental group with reasoning ability above of average score is more than the control group, while the number of students of control group who have reasoning ability below the average the control class more than the experimental group.

Based on the frequency distribution in Table 2 and Table 3, it appears that no student who has the reasoning ability of qualified very

less, half of the students have reasoning skills with qualified fair, nearly a quarter of the number of students who have a good qualification, students who have qualified very good reasoning ability were 16%, and 13% poor qualified. Table 3 shows the distribution of reasoning ability of control group, where 3% of the number of students qualified reasoning ability is very poor, 29% qualified poor, more than half of which have fair qualification, 15% qualified good, and no student has the reasoning ability with qualification of very good.

Based on the comparison of the average score reasoning ability between the experimental and control group, it is seen that the average score of the experimental group is higher than the control group. Besides the number of students who score reasoning ability is above average in the experimental group is also more when compared with the control group, and students who have the reasoning ability with good and very good qualifications in the experimental group is also more than the control group. This shows that the experimental group descriptively following study the IBL has better reasoning skills than students in the control group.

To determine whether differences in reasoning ability scores between the experimental and control group really statistically significant, it is necessary to test statistics using Independent t-test. Results of statistical tests will then be used to answer the hypothesis proposed in this study. Proceeding the independent t-test, requirements analysis were done. Test requirements analysis consists of two things, namely test for normality of data on the entire unit of analysis and test the homogeneity of variance between groups (the experimental group and

Table 4. Summary of normality test results

Group	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	statistic	df	Sig.	statistic	df	Sig.
Score Exp	.116	32	.200*	.961	32	.301
Score Con	.103	34	.200*	.966	34	.366

Table 5. Summary of homogeneity test results

Score	Levene statistic	df1	df2	Sig.
Based on Mean	.431	1	64	.514
Based on Median	.321	1	64	.573
Based on Median and with adjust df	.321	1	62,656	.573
Based on trimmed mean	.405	1	64	.527

Table 6. Summary of t-test results

	T	df	Sig (2-tailed)
Equal variances assumed	3,086	64	0,003
Equal variances not assumed	3,025	62,055	0,003

control group). Summary of normality and homogeneity test results are presented in Table 4 and Table 5.

Based on Table 4, it appears that data on the experimental group and control group normally distributed with statistical values of Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk showed figures with a significance level greater than 0.05. So, overall the data of both of group are normally distributed.

Based on Table 5, it appears that all the statistical Levene value showed the significance of above 0.05. This means that the variance between the groups are homogeneous, meaning that differences mean that occur in hypothesis testing really comes from the difference in treatment on the group.

Because the data has been qualified analysis, it can be followed by testing hypothesis using Independent t-test. Summary t-test results are presented in Table 6.

According to data about the influence of independent variables (IBL) on the dependent variable (reasoning), then the statistic values obtained $t = 3.086$ with 0.003 significance numbers. Making decision to reject or except H_0 can be done by comparing the sig. with $\frac{1}{2} \alpha$ (0,025). Significant number generated after testing is of 0,003, where the number is smaller than $\frac{1}{2} \alpha$ ($0.003 < 0.025$). Thus it can be determined that H_0 is rejected. In other words, there is a difference between the reasoning ability between experimental and control group. Based on the results of the hypothesis testing, there are significant differences between the reasoning ability of students who learn by using IBL and students who study without using IBL. Thus, the difference in the ability of reasoning was significantly ($p < 0.025$) influenced by the learning model used in the learning process.

Based on the mean in each group, it appears that the average score of students who use the IBL strategy have the reasoning ability greater than that of students who did not use IBL strategy. The results of this study have shown that there are differences between the reasoning ability of students to learn using the IBL and IBL students who do not use the views from the mean in each group.

Based on the test results of the t-test, it is seen that the influence of the learning model

reasoning skills students have statistical value $t = 3.086$ with a significance value of 0.003. Significant number obtained is smaller than the significance level $\frac{1}{2}\alpha$ (0,025). Thus, it can be concluded that there are significant differences between students who learning using IBL and without using IBL. Group of students who learning by using IBL has an average of reasoning ability higher than group of students who learn without using IBL. This means that the reasoning ability of students to learn by using IBL demonstrate reasoning ability better than any group of students who are studying without using IBL. It can be concluded that the IBL is significantly influence to the improvement of students' reasoning ability, compared with the learning model which is applied to the control group.

The difference occurs because of the difference in treatment which was used in each class. Reasoning ability as has been described in the literature review is a process of making conclusions or inferences based on available information, reasoning involves the cognition of a complex that includes organizing step of a strategy that is planned such that, the set goals can be achieved (Süß, et al., 2002). Theory of cognitive development illustrates that the development of reasoning ability is stable, and has a definite stages. This led researchers in the field of taxonomy formulate cognition process skills, developing the ability of the more concrete (observe, classify, and measure) to the ability of a more abstract (making hypotheses, designing experiments, and critical of the theory) (Hammer, 2004). So, to help the development of reasoning ability of students, then students should be engaged in learning activities that support the development of reasoning ability. Given the general level of development is considered valid and then it can be used as consideration in the preparation of the curriculum in order to develop students' reasoning abilities. One way that can be used to optimize the development of reasoning ability is to use IBL in learning. In essence IBL is a teaching approach that aims to optimize learning by involving students in the process or activity that is usually done in scientific research. Activity or process shall include; observing, hypothesizing, define issues, propose, design and conduct experiments,

and communicate the results and conclusions based on the evidence obtained. An involvement activity as mentioned previously requires students play a dominant role in the learning process. Through IBL students will be taught to make inquiries, make decisions, designing or making a plan, carrying out experiments, discuss and submit its findings and can provide answers and explanations when engaged in inquiry activity. So, through the refraction of the students can not only train their independence in building knowledge, but also be able to develop their skills both thinking skills (reasoning, problem solving, and creative thinking) as well as process skills.

Knowledge is constructed through a process of inquiry will have a deeper significance than just a transfer of knowledge from teacher to student. Significance of this will make the knowledge obtained by the students during the learning process longer stored in the student's head, so that when students need it, such knowledge can easily be recalled. Of course it will affect the students' reasoning ability, where the knowledge of the students will be useful when students perform reasoning in the learning process. As stated by Gobet & Waters (2003), that increased knowledge is the basis of improving the quality of reasoning that we do. So, with a good basic knowledge students will also be able to do reasoning well and vice versa with good reasoning, students will be able to do a better knowledge acquisition.

Meaningfulness of concepts learned, leads to a positive attitude of students towards science subjects itself. This positive attitude will (1) growing a high motivation to students to follow the science, because students are actively involved in the learning process; (2) the students have the motivation and the ability to understand the concepts presented by the teacher, so that it will help students to improve their reasoning ability.

The use of the 5E model of inquiry in this research is also contributing to differences in reasoning ability between the experimental class and control class, the experimental class in which students learn by using IBL model 5E inquiry. 5E inquiry which the model can adapt the five essential components of the inquiry according to NSES (National Science Education Standards) which includes; 1) students are involved with the inquiry-oriented science (scientific), 2) students give priority to evidence, which gives them the opportunity to develop and evaluate explanations to answer

scientific (scientific), 3) Students make an explanation of the evidence to answer the question of scientific, 4) Students evaluate their explanations to make alternative explanations, particularly for explanations reflect scientific understanding, 5) Students communicate and justify their explanations (Wilson, et al., 2010). For each phase of the 5E model (engagement, exploration, explanation, elaboration, and evaluation), in which each stage in the implementation of the model students will perform reasoning taking into account the information and knowledge that he has had. Teachers no longer serve as a source of knowledge, but rather act as a motivator and facilitator of student learning. So that it will contribute to the improvement of students' reasoning abilities. Control class received a scientific approach to learning, where learning approach used in accordance with the mandate of the 2013 curriculum implemented in schools where research is conducted. The scientific approach used in the control class focuses on the process of 5-steps (observe, to question, to reason, to try and make networking) is a learning approach that should be applied to all subjects, especially in science lessons. The approach used in canoes to help students to develop not only skills but also skills thinking process. When viewed in theory there is nothing wrong with a scientific approach that was carried in the curriculum in 2013, but in fact the implementation of learning approaches are not performed optimally. Although using a scientific approach, the learning process is done in the classroom tend to teacher-oriented center, which is still the dominant role of the teacher in the learning process or it can be said teachers act as the main source of knowledge during the learning process. This might occur because the teachers are still not accustomed to using a scientific approach to learning and also because not all of the activities 5-steps must be done in a study session. So it only encourages teachers to use in part 5-steps in learning activities, where it contributes to the dominant role of the teacher in learning. The dominance of the teacher as a source of knowledge in the learning process to make the process led a unidirectional flow of information from the teacher to the student. So, the students the opportunities to further explore their knowledge to be more limited. Students become passive learning, because learning focuses on the activities of teachers in presenting the material. This makes students tend to memorize concepts or formulas are gi-

ven, without further understand and review of concepts given. Less students understanding to the assigned material will affect the ability of the student's own reasoning. Students, who have less understanding of the concepts being taught, will have difficulty in deciding what he should do with learning. These things will lead to the achievement of reasoning ability of students to less than optimal.

The results obtained in this study are also consistent with the results of research conducted by Gillies et al., 2013 where it is known that the use of inquiry-based learning can improve students' reasoning ability. When students are taught explicitly how to make scientific questions that can guide them in the process of investigation, make hypotheses, and make conclusions related to the topic being investigated in the process of inquiry, students will involve in the discussion process class or group to justify the explanation that they made to the topic which is being investigated, so it will help students to develop reasoning abilities and in making the analogy that represents their understanding of a concept.

CONCLUSION

Based on the above explanation, it is evident that the IBL very influence the experiment group in terms of students' achievement reasoning ability. Although the IBL has a positive influence on students' reasoning ability by differences in the average score reasoning ability, but these differences cannot implemented optimally. Considering half of the total number of students in the experimental class scores that were around the average score, where students who have the reasoning ability scores around the average score qualified as fair. On the other hand, the percentage of students who qualified as fair of reasoning ability in the experimental group is almost equal to the total percentage of the control group. Students are seemingly unfamiliar with given IBL worksheet. The worksheet used primarily practicum, presenting all the steps that must be done in detail, such as what to use and how to perform a procedure. So that students will tend to follow the steps in the worksheet. The worksheet used in IBL for trial activity requires them to understand the problem with finding information known and to be known from a given problem. Furthermore, students are also required to be able to design measures that will be used to apply the concepts that have been studied

to provide an explanation or make conclusions. Then students must also undertake the elaboration by seeking alternative explanations as well as to evaluate the implementation process of inquiry which is carried out, so that students can build their knowledge through the process of inquiry to the topics investigated in the learning process.

REFERENCES

- Bell, R., Maeng, J. L., & Peters, E. E. (2010). Teaching about scientific *inquiry* and the nature of science. Retrieved from http://www.vamsc.org/projects/VMSC_Inquiry_and_NOS_White_Paper_5_11_10.doc (10-12-2014)
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2000). *Research method in education*. London: Routledge Falmer.
- Dani, D. (2009). Scientific literacy and purposes for teaching science: A case study of Libanesse school teacher. *International Journal of Environmental and Science Education*. 4 (3), 289-299.
- Gillies, R.M., Nichols, K., Burgh, G. Haynes, M. (2013). Primary students' scientific reasoning and discourse during cooperative *inquiry*-based science activities. *International Journal of Educational Research*, 63, 127-140.
- Gobet, F., & Waters, A. J. (2003). The role of constraints in expert memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*. 29, 1082-1094.
- Hammer, D. (2004). The variability of student reasoning, Lecture 3: Manifold cognitive resource. Retrieved from <http://www.citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.475.8778&rep=rep1&type=pdf>. (14-12-2014)
- Lawson, A. E. (2009). Basic inference of scientific reasoning, argumentation, and discovery. *Science Education*. 336-364. doi:10.1002/sce20357.
- Lohman, D.F., & Lakin, J.M. (2009). Reasoning and Intelligence. Terdapat pada http://www.faculty.education.uioa.edu/docs/dlohman/Reasoning-and-intell_Lohman-Lakin-102709.pdf. Diakses pada tanggal 14 Desember
- Morris, B.J., Crocker, S., Masnick, A. M., Zimmerman, C. (2012). The emergence of scientific reasoning. Intech. doi.org/10.5772/53885.
- Süß, H-M., Oberauer, K., Wittman, W.W., Wilhelm, O., & Schulze, R. (2002). Working-memory capacity explains reasoning ability—and a little bit more. *Intelligence*. (30), 261-288.
- Wilson, C. D., Taylor, J. A., Kowalski, S. M., & Carlson, J. (2010). The relative effects and equity of *inquiry*-based and commonplace science teaching on students' knowledge, reasoning, and argumentation. *Journal of Research In Science Teaching*. 47 (3), 276–301.

THE EFFECTIVENESS OF E-LAB TO IMPROVE GENERIC SCIENCE SKILLS AND UNDERSTANDING THE CONCEPT OF PHYSICS

KEEFEKTIFAN E-LAB UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN GENERIK SAINS DAN PEMAHAMAN KONSEP FISIKA

J. Siswanto^{1*}, J. Saefan¹, Suparmi², Cari²

¹Program Studi Pendidikan Fisika Universitas PGRI Semarang, Indonesia

²Jurusan Fisika Universitas Sebelas Maret Surakarta, Indonesia

Diterima: 12 Oktober 2015. Disetujui: 28 Desember 2015. Dipublikasikan: Januari 2016

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini yaitu: (1) menyelidiki efektifitas E-Lab untuk meningkatkan keterampilan generik sains dan pemahaman konsep mahasiswa; dan (2) menyelidiki pengaruh keterampilan generik sains terhadap pemahaman konsep mahasiswa setelah dilakukan pembelajaran dengan menggunakan E-Lab. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pre-experimental dengan desain one group pretest-posttest. Subjek penelitian adalah mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika Universitas PGRI Semarang, dengan metode pengambilan sampel penelitian secara random. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) pembelajaran menggunakan E-Lab efektif untuk meningkatkan keterampilan generik sains mahasiswa; dan (2) Keterampilan generik sains berpengaruh positif terhadap pemahaman konsep mahasiswa pada materi efek fotolistrik, efek Compton, dan difraksi elektron.

ABSTRACT

The aimed of this study are: (1) investigate the effectiveness of E-Lab to improve generic science skills and understanding the concepts of physics; and (2) investigate the effect of generic science skills towards understanding the concept of students after learning by using the E-Lab. The method used in this study is a pre-experimental design with one group pretest-posttest. Subjects were students of Physics Education in University PGRI Semarang with method random sampling. The results showed that: (1) learning to use E-Lab effective to increase generic science skills of students; and (2) Generic science skills give positive effect on student conceptual understanding on the material of the photoelectric effect, Compton effect, and electron diffraction.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: laboratorium elektronik (E-Lab), generic science skills, concept understanding.

PENDAHULUAN

Proses pembelajaran Fisika di perguruan tinggi akan menjadi efektif jika menekankan proses. Kualitas proses yang baik, akan menentukan hasil belajar. Dalam rangka meningkatkan kualitas proses pembelajaran fisika,

upaya yang dapat dilakukan adalah pembelajaran dengan menggunakan laboratorium. Sesuai dengan pernyataan Samsudin, dkk., (2012) bahwa melalui kegiatan laboratorium dapat melatih sikap ilmiah peserta didik dalam memahami konsep pelajaran.

Praktikum menjadi sangat penting dalam rangka mendukung pembelajaran dan memberikan penekanan pada aspek proses. Hal ini didasarkan pada tujuan pembelajaran sebagai

*Alamat Korespondensi:

Jl. Sidodadi Timur Nomor 24 - Dr. Cipto Semarang
E-mail: jokosispgri@gmail.com

proses yaitu meningkatkan kemampuan berpikir. Selain itu juga dalam pembelajaran fisika penting untuk meningkatkan keterampilan generik sains. Keterampilan generik yang dapat dimunculkan melalui pembelajaran fisika yaitu pengamatan langsung, pengamatan tidak langsung, kesadaran akan skala besaran, kemampuan menggunakan bahasa simbolik, kemampuan berpikir dalam kerangka taat azas, kemampuan inferensi logika, kemampuan memahami hukum sebab akibat, kemampuan membuat model matematik, dan kemampuan membangun konsep abstrak. (Brotosiswoyo, 2001).

Melalui keterampilan generik sains, mahasiswa akan terbiasa berpikir ilmiah yang menunjang pemahaman konsep. Pemahaman konsep sangat penting bagi setiap orang. Menurut Ibrahim (2012), bahwa betapa pentingnya memahami konsep yang dapat dilihat dari dicantulkannya pemahaman konsep pada kurikulum setiap jenjang pendidikan. Menurut Bloom dalam Anderson, *et al.*, (2001) ada tujuh indikator yang dapat dikembangkan dalam tingkatan proses koqnitif pemahaman. Indikator tersebut antara lain interpretasi, mencontohkan, mengklasifikasikan, menggeneralisasikan, inferensi, membandingkan dan menjelaskan.

Kondisi yang berbeda akan dijumpai apabila sarana laboratorium penunjang pembelajaran fisika belum memadai. Konsekuensinya perkuliahan menjadi terkendala, karena salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan kegiatan laboratorium yaitu kelengkapan alat dan bahan praktikum, ruang dan tenaga teknis.

Selain sarana laboratorium, karakteristik materi ajar juga mempengaruhi keberhasilan proses pembelajaran. Konsep-konsep yang abstrak juga memerlukan alternatif agar kegiatan praktikum tetap dapat dilakukan. Seperti

perkuliahan fisika modern, sebagian besar materinya bersifat abstrak dan banyak perhitungan matematika.

Salah satu solusi yang diambil adalah dengan mengembangkan media pembelajaran. Menurut Santyasa (2007) media pembelajaran adalah segala sesuatu yang dapat digunakan untuk menyalurkan pesan (bahan pembelajaran), sehingga dapat merangsang perhatian, minat, pikiran, dan perasaan siswa dalam kegiatan belajar untuk mencapai tujuan belajar. Dalam proses pembelajaran, media memiliki fungsi sebagai pembawa informasi dari sumber menuju penerima. Media pembelajaran dapat berupa *hardware* maupun *software* yang digunakan untuk membantu proses pembelajaran.

Media pembelajaran yang sesuai dengan penjelasan di atas adalah *virtual laboratory*. Mahanta dan Sarma (2012) menyatakan bahwa laboratorium virtual memanfaatkan komputer untuk memvisualisasikan sesuatu yang rumit, perangkat percobaan yang mahal atau mengganti percobaan di lingkungan berbahaya. Menurut Cengiz (2010) laboratorium virtual dapat menyelesaikan masalah yang dihadapi terkait peralatan laboratorium yang kurang memadai dan memberikan kontribusi dalam mencapai tujuan pembelajaran.

Berdasarkan di atas, telah dikembangkan Elektronik Laboratorium (E-Lab) (Siswanto dkk., 2014). Desain E-Lab dinyatakan dalam Gambar 1.

E-Lab memiliki menu praktikum yang didalamnya terdiri dari dasar teori, petunjuk praktikum, dan *virtual lab*. Melalui *virtual lab*, dapat dilakukan praktikum secara *on-line*. Data hasil praktikum yang didapatkan secara otomatis dapat terekam, yang selanjutnya dapat dianalisis dan dibuat grafiknya, dan kemudian dicetak sebagai laporan hasil praktikum.

Penggunaan E-Lab berbasis data ma-



Gambar 1. Desain E-Lab



Gambar 2. Halaman awal



Gambar 3. Halaman on-line laboratory (virtual lab)

hasiswa. Mahasiswa dapat menggunakan E-Lab jika mahasiswa terdaftar sebagai peserta mata kuliah (menggunakan nomor induk mahasiswa). Contoh tampilan halaman E-Lab dapat dilihat pada Gambar 2, 3, dan 4.

Pada penelitian ini, E-Lab diimplementasikan pada perkuliahan Fisika Modern pada materi efek fotolistrik, efek Compton, dan difraksi elektron. Materi tersebut dipilih karena untuk membantu mahasiswa dapat memahami konsep-konsep yang abstrak. Dengan mengimplementasikan E-Lab, ada beberapa tujuan yang akan dicapai. Tujuan penelitian ini yaitu:

(1) mengkaji efektifitas E-Lab untuk meningkatkan keterampilan generik sains dan pemahaman konsep mahasiswa; dan (2) mengkaji pengaruh keterampilan generik sains terhadap pemahaman konsep mahasiswa setelah dilakukan pembelajaran dengan menggunakan E-Lab.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *pre-experimental* dengan desain *one group pretest-posttest* (Cres-

Menu mahasiswa

EFEK FOTOLISTRIK (EFL)

- Pendahuluan
- Dasar Teori
- Virtual Lab
- [Input Data]
- [cetak laporan]
- [grafik EFL]
- [ubah password]

DIFRAKSI ELEKTRON

- Pendahuluan
- Dasar Teori
- Virtual Lab

Efek Compton

- Pendahuluan
- Dasar Teori
- Virtual Lab
- [input data]
- [cetak laporan]
- [grafik compton]
- [ubah password]

Kumpulan Artikel

RADIASI BENDA HITAM
19-08-14 09:21:31 dilihat: 26 kali
Fenomena efek Fotolistrik
19-08-14 09:17:56 dilihat: 13 kali

E-lab Pendidikan Fisika

Tabel data pengamatan praktikum NPM 11330001

masukkan data hasil pengamatan praktikum pada kolom dibawah ini!

Nama Logam :

Fungsi Kerja (eV) :

No	Frekuensi (Hz)	Energi Kinetik (J)	h (J.s)
1			
2			
3			
4			
5			

catatan : Form data tidak boleh kosong, tanda koma (,) desimal diinput dengan titik (.)

Data yang Pernah Diambil NPM 11330001

NO	TANGGAL KIRIM	WAKTU KIRIM	JENIS LOGAM	FUNGSI KERJA LOGAM	FREKUENSI CAHAYA	ENERGI KINETIK	PLANCK
1	22-06-15	14:02:06	Kalium	2.2 eV	323 (Hz)	323 J	433 J.s
2	22-06-15	14:02:06	Kalium	2.2 eV	343 (Hz)	432 J	323 J.s
3	22-06-15	14:02:06	Kalium	2.2 eV	323 (Hz)	323 J	323 J.s
4	22-06-15	14:02:06	Kalium	2.2 eV	213 (Hz)	2323 J	323 J.s

Gambar 4. Halaman analisis dan cetak data

well, 2009), seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Desain Penelitian

Pretest	Treatment	Posttest
O	X1	O

Keterangan:

O : tes keterampilan generik sains dan pemahaman konsep

X1 : Pembelajaran menggunakan E-Lab

Subjek penelitian dalam penelitian ini adalah mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika Universitas PGRI Semarang semester IV tahun akademik 2014/2015. Subjek penelitian dipilih secara acak berjumlah 36 mahasiswa. Treatment yang diberikan kepada subyek adalah pembelajaran menggunakan E-Lab pada materi efek fotolistrik, efek Compton, dan difraksi elektron.

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan tes. Sebelum dilaksanakan pembelajaran menggunakan E-Lab, mahasiswa diberikan tes keterampilan generik sains dan pemahaman konsep, begitu juga setelah dilakukan pembelajaran. Instrumen tes keterampilan generik sains dibuat untuk indikator pengamatan tak langsung, kesadaran skala besar, bahasa simbolik, inferensi logika, hukum sebab akibat, pemodelan matematika, dan membangun konsep. Instrumen tes pemahaman konsep dibuat untuk indikator interpretasi, mencontohkan, mengklasifikasi, menggeneralisasi, inferensi, membandingkan, dan menjelaskan.

Analisis data kuantitatif untuk peningkatan keterampilan generik sains dan pemahaman konsep sebelum dan sesudah pembelajaran dihitung dengan gain score:

Hasil perhitungan selanjutnya dibuat kategori, sebagai berikut :

Tinggi : 0,7

Sedang :

Rendah : (Hake, 1999).

Data yang diperoleh dari penilaian keterampilan generik sains dan pemahaman konsep, selanjutnya dilakukan analisis korelasional. Analisis ini digunakan untuk mengetahui apakah peningkatan keterampilan generik sains berkorelasi terhadap peningkatan pemahaman konsep mahasiswa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembelajaran fisika menggunakan E-Lab pada penelitian ini memiliki tahapan: 1) orientasi penggunaan E-Lab; 2) pemberian tugas; 3) presentasi dan diskusi; dan 4) refleksi. Pada tahap orientasi penggunaan E-Lab, mahasiswa dikenalkan dengan E-Lab dan diajarkan cara penggunaannya. Setelah itu, mahasiswa diorientasikan untuk menggunakan E-Lab dalam mengawali perkuliahan untuk mendapatkan pengalaman awal terhadap prosedur dan konsep yang akan dipelajari. Pada tahap berikutnya yaitu memberikan tugas melalui praktikum untuk mendapatkan data dan membuat laporan. Hasil praktikum selanjutnya dipresentasikan dan didiskusikan di kelas den-

gan dibimbing oleh dosen pada tahap presentasi dan diskusi. Pada tahap refleksi mahasiswa dengan bimbingan dosen merefleksikan tugas yang telah dilakukan dan hasil diskusi untuk mendapatkan pemahaman.

Tes keterampilan generik sains dan pemahaman konsep dilakukan sebelum dan sesudah pembelajaran dengan menggunakan E-Lab. Hasil tes tersebut dinyatakan dalam tabel 2, 3, 4, dan 5.

Setiap indikator keterampilan generik sains mengalami peningkatan, namun den-

gan kategori yang berbeda yaitu rendah dan sedang. Peningkatan dengan kategori rendah pada indikator pengamatan tak langsung dan kesadaran skala besaran. Sedangkan peningkatan dengan kategori sedang pada indikator bahasa simbolik, inferensi logika, hukum sebab akibat, pemodelan matematika, dan membangun konsep.

Pada pembelajaran fisika menggunakan E-Lab, diawali dengan pengenalan E-Lab dan diajarkan cara penggunaannya, dan diberikan tugas praktikum. Inilah yang menyebabkan pe-

Tabel 2. Rerata Skor <g> Keterampilan Generik Sains Mahasiswa

Indikator	Sebelum	Sesudah	<g>	Kategori
Pengamatan tak langsung	55,56	64,81	0,21	Rendah
Kesadaran skala besaran	63,89	70,37	0,18	Rendah
Bahasa simbolik	68,52	79,63	0,35	Sedang
Inferensi logika	48,15	67,59	0,38	Sedang
Hukum sebab akibat	58,33	78,70	0,49	Sedang
Pemodelan matematik	49,07	68,52	0,38	Sedang
Membangun konsep	51,85	69,44	0,37	Sedang
Rerata	56,48	71,30	0,34	Sedang

Tabel 3. Kategori Keterampilan Generik Sains Mahasiswa

Keterampilan Generik sains		
Kategori	Sebelum	Sesudah
Rendah	52,78%	27,78%
Sedang	47,22%	66,67%
Tinggi	0%	5,56%

Tabel 4. Rerata Skor <g> Pemahaman Konsep Mahasiswa

Indikator	Sebelum	Sesudah	<g>	Kategori
Interpretasi	42,86	58,33	0,27	Rendah
mencontohkan	38,00	48,15	0,16	Rendah
Mengklasifikasi	67,86	83,33	0,48	Sedang
Menggeneralisasikan	56,25	77,59	0,49	Sedang
Inferensi	61,76	62,96	0,03	Rendah
Membandingkan	52,00	65,00	0,27	Rendah
Menjelaskan	50,00	56,25	0,13	Rendah
Rerata	52,68	64,52	0,26	Rendah

Tabel 5. Kategori Pemahaman Konsep Mahasiswa

Pemahaman Konsep		
Kategori	Sebelum	Sesudah
Rendah	19,44%	8,33%
Sedang	66,67%	69,44%
Tinggi	13,89%	22,22%

ningkatan setiap indikator keterampilan generik sains. Pengamatan tak langsung merupakan pengamatan menggunakan alat bantu dan kesadaran skala merupakan kesadaran besaran fisika baik makro maupun mikro. Kedua indikator ini mengalami peningkatan dengan kategori rendah dikarenakan praktikum dilakukan secara virtual dan skala besaran yang sudah tersedia. Pada praktikum, mahasiswa menggunakan alat bantu virtual. Mahasiswa tidak melakukan konversi besaran hasil pengamatan karena sudah tersedia, sehingga kurang melatih mahasiswa dalam pengamatan tak langsung dan pengetahuan terkait dengan kesadaran skala besaran.

Pada tahapan pembelajaran selanjutnya yaitu presentasi dan diskusi hasil praktikum, kemudian dilanjutkan refleksi. Tahapan-tahapan ini dapat meningkatkan indikator bahasa simbolik, inferensi logika, hukum sebab-akibat, pemodelan matematika, dan membangun konsep. Peningkatan indikator bahasa simbolik karena mahasiswa akan belajar menyebutkan simbol-simbol yang digunakan pada materi pada saat presentasi dan diskusi. Mahasiswa juga menginferensi logika hasil pemikirannya yang dituangkan dalam laporan praktikum, membuat hubungan sebab-akibat antar variabel, dan membuat pemodelan matematika dan menyampaikannya pada sesi presentasi dan diskusi. Tahap refleksi menjadi tahap untuk membangun pemahaman atas materi yang telah dipelajari melalui tugas praktikum dan diskusi dalam kelas yang dibimbing oleh dosen.

Secara rerata keterampilan generik sains mahasiswa meningkat dari 56,48 menjadi 71,30 setelah dilakukan pembelajaran dengan menggunakan E-Lab. Perhitungan dengan *gain score* menunjukkan peningkatan tersebut sebesar 0,34 dengan kategori rendah.

Dengan melihat hasil tersebut di atas, E-Lab memberikan pengaruh terhadap peningkatan keterampilan generik sains mahasiswa. Hal ini dikarenakan pembelajaran dengan E-Lab memfasilitasi mahasiswa untuk melakukan praktikum dengan kegiatan yang melibatkan pengamatan tak langsung, menggunakan skala besaran, bahasa simbolik, inferensi logika, hukum sebab akibat, pemodelan matematika, dan memfasilitasi membangun konsep. Ini menunjukkan bahwa kompetensi generik diturunkan dari keterampilan proses melalui praktikum dengan cara memadukan keterampilan tersebut dengan komponen-komponen konsep atau prinsip pada materi yang dipelajari. Selain itu, hasil penelitian ini juga memberikan penjela-

san bahwa keterampilan generik mudah dipahami dan dilaksanakan. Artinya bahwa, kegiatan praktikum *on-line* menunjang keterampilan generik sains mahasiswa. Menurut Martinez, *et al.*, (2011) laboratorium virtual memberikan kemungkinan siswa memvisualisasikan dan berinteraksi dengan fenomena yang akan mereka alami jika melakukan percobaan di laboratorium nyata. Didukung juga oleh Dobrzanski dan Honysz (2011); Tatli dan Ayas, (2012) bahwa laboratorium virtual sebagai faktor pendukung untuk memperkaya pengalaman dan memotivasi siswa untuk melakukan percobaan secara interaktif dan mengembangkan aktivitas keterampilan bereksperimen. Keterampilan bereksperimen inilah yang juga menunjang keterampilan generik sains.

Hasil tes pemahaman konsep mahasiswa untuk materi efek fotolistrik, efek Compton dan difraksi elektron juga mengalami peningkatan. Secara rerata pemahaman konsep mahasiswa meningkat dari 52,68 menjadi 64,52. Berdasarkan perhitungan dengan *gain score*, peningkatan tersebut sebesar 0,26 dengan kategori rendah. Pada tabel 4, dapat diketahui bahwa setiap indikator pemahaman konsep mengalami peningkatan dengan kategori rendah dan sedang. Hasil tes menunjukkan bahwa peningkatan pemahaman konsep mahasiswa setelah dilakukan pembelajaran dengan menggunakan E-lab tertinggi pada indikator mengklasifikasi dan menggeneralisasikan.

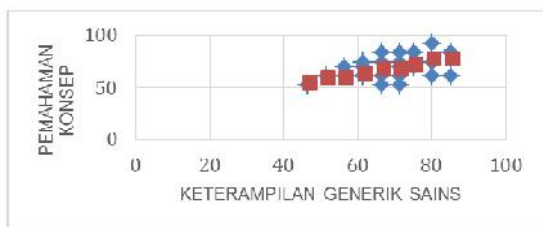
Peningkatan pemahaman konsep melalui penggunaan media komputer dalam penelitian ini senada dengan hasil penelitian Dorneles *et al.*, (2010), tentang pembelajaran rangkaian listrik sederhana pada siswa yang bekerja dengan pemodelan komputer dan simulasi, yang hasilnya menyimpulkan bahwa pembelajaran dengan pemodelan komputer dan simulasi berkontribusi pada kinerja yang baik dan pembelajaran yang bermakna bagi siswa. Didukung juga hasil penelitian Tolga (2011) tentang efektivitas simulasi komputer pada pembelajaran mahasiswa pendidikan fisika, yang menyimpulkan bahwa simulasi komputer memberikan efek yang positif terhadap pemahaman konsep fisika mahasiswa. Senada dengan hasil penelitian Sarabando *et al.*, (2014), bahwa penggunaan simulasi komputer memiliki keuntungan pada pemahaman konsep namun tergantung pedagogi guru, dan penelitian Pfefferova (2015), yang menyimpulkan bahwa penggunaan simulasi komputer membantu pemahaman siswa menjadi lebih baik pada materi gerak osiasi. Ini semakin memperkuat

bahwa media komputer yang dalam penelitian ini adalah E-Lab efektif untuk meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa.

Hasil tes keterampilan generik sains dan pemahaman konsep, selanjutnya dilakukan analisis regresi untuk mengetahui apakah keterampilan generik berpengaruh terhadap pemahaman konsep mahasiswa. Rekap hasil analisis dinyatakan dalam Tabel 5 dan Gambar 6.

Tabel 6. Analisis Regresi dengan $\alpha = 5\%$

	Coeff	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	26,968	12,147	2,220	0,033
Keterampilan generik sains	0,599	0,168	3,548	0,001



Gambar 6. Grafik regresi

Hasil analisis regresi dengan menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 5\%$ pada tabel 6, didapatkan bahwa $p\text{-value} \leq 0,05$. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa ada pengaruh positif yang signifikan keterampilan generik sains terhadap pemahaman konsep mahasiswa. Maka, ini dapat menjadi temuan bahwa untuk meningkatkan pemahaman konsep dapat dimulai dari peningkatan keterampilan generik sains.

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa: 1) Pembelajaran menggunakan E-Lab efektif untuk meningkatkan keterampilan generik sains mahasiswa; 2) Keterampilan generik sains berpengaruh positif terhadap pemahaman konsep mahasiswa pada materi efek fotolistrik, efek Compton, dan difraksi elektron.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, L.W., & Krathwohl, D.R., (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: a Revision of Bloom's Taxonomy*. New York: Longman Publishing.
 Brotoswoyo, B.S. (2001). *Hakekat Pembelajaran*

MIPA di Perguruan Tinggi. Jakarta: PAU-PPAI Dirjen Dikti Depdiknas.
 Cengiz, T. (2010). The Effect of the Virtual Laboratory on Students' Achievement and Attitude in Chemistry. *International Online Journal of Educational Sciences*, 2 (1): 37–53.
 Creswell, J.W. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches-3rd ed.* Los Angeles : SAGE Publications, Inc.
 Dobrzanski, L. A., & Honysz, R. (2011). Virtual examinations Of alloying elements influence on alloy structural steels mechanical properties. *Journal of Achievements in Mechanical and Materials Engineering*, 49 (2), 251–258.
 Dorneles, P.F.T., Veit, E. A., & Moreira, M. A.. (2010). A study about the learning of students who worked with computational modeling and simulation in the study of simple electric circuits. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 569-595
 Hake R. R. (1999). Analyzing Change/Gain Score. American Educational Research Association's Division Measurement and Research Methodology. <http://Lists.Asu.Edu/Egi-Bin> (12 Januari 2012)
 Ibrahim, M. (2012). *Konsep, Miskonsepsi dan cara Pembelajarannya*. Surabaya: Unesa University Press
 Kutluca, T. (2010). Investigation of Teachers' Computer Usage Profiles and Attitudes toward Computers. *International Online Journal of Educational Sciences*, 2 (1), 81-97.
 Mahanta, A., & Sarma, K.K. (2012). Online Resource and ICT-Aided Virtual Laboratory Setup. *International Journal of Computer Applications*, 52 (6), 44-48.
 Martinez, G., Francisco, L., Naranjo, Angel, L., Perez, Suero, M. I., & Pardo, P. J. (2011). Comparative study of the effectiveness of three learning environments: Hyper-realistic virtual simulations, traditional schematic simulations and traditional laboratory. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 7 (2): 1-12.
 Pfefferova, M. S., (2015). Computer Simulations and their Influence on Students' Understanding of Oscillatory Motion. *Informatics in Education*, 14 (2), 279–289
 Samsudin, A., Suhendi, E., Efendi, R., & Suhandi, A. (2012). Pengembangan “Cels” dalam Eksperimen Fisika Dasar untuk Mengembangkan Performance Skills dan Meningkatkan Motivasi Belajar Mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 8 (1), 15-25.
 Santyasa, I. W. (2007). Landasan Konseptual Media Pembelajaran. *Makalah Workshop Media Pembelajaran bagi Guru-Guru SMA Negeri Banjar Angkan*. Tanggal 10 Januari 2007 di Banjar Angkan Klungkung
 Sarabando C., Cravino J. P., & Soares, A. A. (2014). Contribution of a computer simulation to

- students' learning of the physics concepts of weight and mass . *Procedia Technology*. 13,112–21
- Siswanto, J., Saefan, J., Suparmi, Cari. (2014) *Pengembangan E-Lab Teori Kuantum Radiasi Elektromagnetik untuk Meningkatkan Keterampilan Generik Sains dan Pemahaman Konsep Mahasiswa*. (Unpublished Research Report). Universitas PGRI Semarang, Semarang.
- Tatli, Z., & Ayas, A. (2012). Virtual Chemistry Laboratory: Effect of Constructivist Learning Environment. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 13 (1), 183–199.
- Tolga GOK. (2011). The Effects of the Computer Simulations on Students' learning In physics education. *International Journal on New Trends in Education and Their Implications*. 2 (2), 104-116
- Wijaya, A.F.C., & Ramalis, T.R. (2012). Collaborative Ranking Tasks (CRT) berbantuan E-learning untuk meningkatkan keterampilan Generik sains mahasiswa calon guru Fisika. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 8 (2), 144-151

INFLUENCE OF CONCENTRATION OF RIND EXTRACT OF RED DRAGON FRUIT (HYLOCEREUS COSTARICENSIS) AGAINST THE DSSC EFFICIENCY

PENGARUH KONSENTRASI EKSTRAK KULIT BUAH NAGA MERAH (HYLOCEREUS COSTARICENSIS) TERHADAP EFISIENSI DSSC

A. Setiawan*, I. Fatayati, H. Aliah

Physics Program, Faculty of Mathematics and Science Education Indonesia University of Education (UPI), Indonesia

Diterima: 12 Oktober 2015. Disetujui: 28 Desember 2015. Dipublikasikan: Januari 2016

ABSTRAK

Penelitian mengenai pemanfaatan ekstrak kulit buah naga merah (*hylocereus costaricensis*) sebagai penyensitif pada dye sensitized solar cell (DSSC) telah dilakukan dengan meninjau pengaruh konsentrasi ekstrak terhadap efisiensi DSSC. Terhadap dye berupa ekstrak kulit H. *Costaricensis* dilakukan pengujian serapan optik pada berbagai konsentrasi dan identifikasi gugus fungsi, masing-masing menggunakan spektrometer UV-Vis dan fourier transform infra red (FTIR). Hasil pengujian dye pada konsentrasi 100 %, 50 %, 33,33 %, 25%, dan 20% menunjukkan serapan optik yang terjadi pada panjang gelombang 320-760 nm, memiliki puncak yang cenderung semakin tinggi seiring dengan peningkatan konsentrasi. Dye yang berasal dari ekstrak kulit H. *Costaricensis* ini mampu berperan sebagai sunlight absorber. Sementara itu, spektrum serapan infra red yang diperoleh dari hasil FTIR mengindikasikan adanya gugus fungsi O-H, C=O, C=C, C-O, dan C-H aromatik. Hasil karakterisasi arus-tegangan dari DSSC menunjukkan adanya peningkatan nilai daya maksimum dan efisiensi seiring peningkatan konsentrasi.

ABSTRACT

Research on utilization of rind extracts of red dragon fruit (*hylocereus costaricensis*) as sensitizer for dye sensitized solar cell (DSSC) has been conducted by reviewing influence of the concentration against the DSSC efficiency. Characterization on optical absorption at various concentrations and identification of functional groups, each using an UV-Vis spectrometer and Fourier transform infra red (FTIR), have done to the dye in the form of the extracts. The dye characterization result on optical absorption at various concentration shows that the optical absorption at range of wavelength 320-760 nm has the peak of absorbance tend to increase with increasing the concentration. Therefore the dye is capable to role as a sunlight absorber. Meanwhile, infra red absorption spectrum obtained from FTIR results indicate the presence of functional groups O-H, C=O, C=C, C-O, and C-H aromatic. Results of current-voltage characterization of DSSC show an increase in maximum power and efficiency with increasing concentration.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: absorbance, DSSC efficiency, dye concentration, rind of red dragon fruit (*H. Costaricensis*).

INTRODUCTION

The conversion of solar energy into electrical energy can be done by using solar

cells. Electronic semiconductor technology development is very rapid, among other produce solar cells based on silicon technology which is still widely used today. In the development of solar cell research, has now present solar cells using organic materials which include dye-sensitized solar cell (DSSC). DSSC is one

*Alamat Korespondensi:

Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154
E-mail: andhys@upi.edu / fax: +6222004548

of the potential candidates of future generation solar cell, this is because it is environmentally friendly, cheap to produced, dye available in large quantities, easy to extract and easily decompose in the environment but is not required process further purification (Zhou et al., 2011; Singh et al., 2013).

DSSC introduced by Prof. Grätzel (O'Regan, and Grätzel, 1991) which generally consists of three parts, i.e. a transparent photoanode (working electrode), an electrolyte solution, and a counter electrode. In contrast with conventional solar cells in which all processes involves silicon material, light absorption and separation of electrical charge on DSSC occur in a separate process. Absorption of light is carried by the dye molecules and separation of charge by inorganic semiconductor nanocrystal that having a wide band gap. The conversion of sunlight into electrical energy in DSSC is very dependent on the dye as a photosensitizer (Alhamed et al., 2012).

One of the semiconductor has a wide band gap is Titanium dioxide (TiO_2). Usually, researchers using TiO_2 because of a number of advantages including; stable used as electrodes in photoelectrochemical system that works in extreme conditions (high temperature), cheap, non-toxic, and has good optical characteristics thus supporting electron injection from the excited dye to the semiconductor (Narayan, 2012).

Dye used in DSSC can be sourced from synthetic organic materials of *ruthenium complex* type, and can also be derived from natural organic materials obtained from extraction result of the plant parts such as leaves, flowers, fruit or rind. Although it can generate good efficiency, *ruthenium complex* has its limitations such as the expensive production costs, complexity in the synthesis, is not environmentally friendly and prone to degradation when interacting with water (Yusoff et al., 2014). This led to the thrive research the use of natural organic matter as sensitizer on DSSC, because of low production cost in addition insulation process that much easier.

Natural organic matter used as sensitizer in DSSC must have the ability to absorb a wide spectrum of light and match the energy bands of inorganic semiconductors, in this case is TiO_2 . In this study, be chosen rind of red dragon fruit (*hylocereus costaricensis* or written as *H. Costaricensis*) as a source of dye, which from its color is predicted to have appropriate optical absorption.

Utilization the rind of *H. costaricensis* as a source of dye in this study, in addition to its potential in optical absorption, also taking into environmental aspects, i.e. the usage of organic waste in an effort to reduce waste production. To obtain the dye, rind of *H. Costaricensis* be destroyed, and then extracted by maceration.

In this article is presented the results of research on the effect of the rind extract concentration of *H. Costaricensis* against the efficiency of DSSC. In the discussion described the optical absorption (absorbance) at various rind extract concentrations of *H. Costaricensis* in order to examine the consistency of the optical absorption of the dye extracted, including absorbance at TiO_2 before and after immersion in the dye. In addition, it is discussed the identification result on functional groups, as well as the tendency both of values of the maximum output power and the DSSC efficiency associated with the rind extract concentration of *H. Costaricensis* which is used, based on the characterization results of the current-voltage (I-V).

METHODS

Extraction rind of *H. Costaricensis* was done by maceration process. Rind have been separated from the meat, sliced up into small pieces, then crushed using a blender machine. Rind that has been smoothed weighed as much as 20 grams, then soaked in a solution (which is a mixture of 25 ml of distilled water, 24 ml of ethanol and 4 ml of acetic acid), stored in a container covered aluminum foil. After being stored for 24 hours in the dark condition, the extraction result is filtered using flannel.

Preparation of the working electrode is conducted by adding 1.18 grams of technical TiO_2 into 5 ml of ethanol. This mixture is stirred using a magnetic stirrer for 1 hour to form a paste. Afterwards, the pasta TiO_2 superimposed into glass coated-FTO (Fluorine doped Tin Oxide), before heated at temperature of 450 °C.

TiO_2 layers soaked in dye rind extract of *H. Costaricensis* for 24 hours. TiO_2 layers soaked in dye at concentrations vary, i.e. 100%, 50%, 33.33%, 25% and 20%. The dye with varying concentrations obtained through the process of dilution. This concentration value is the ratio of the volume of dye as result of rind extraction against the total volume in the same solvent that used in the process of maceration.

Pairing redox of iodide/triiodide is used as electrolyte. Synthesis of electrolytes is done

by mixing 0.8 grams of KI 0.5 M (Potassium Iodide) with 10 ml of acetonitrile, then stirred until evenly, followed by the addition of 0.127 grams of I₂ (Iodine) into the mixture.

Counter electrode prepared from glass coated-FTO that given layer of graphite. Graphite layer is made by shading the glass coated-FTO using a pencil 6B.

Both electrodes are stacked with give an offset of about 0.5 cm, and clamped using a paperclip. Electrolyte solution which has been prepared dripped on the both ends of the electrodes on the offset.

Characterization of optical absorption of the dye at each concentration was performed using a UV-Vis spectrometer Hewlett Packard 8453 Agilent Technologies. Besides, characterization of TiO₂ layers that have been soaked for 24 hours in the rind extract of *H. Costaricensis* also be done. From this characterization was obtained pattern of absorbance in the wavelength range of 300 nm to 800 nm.

Identification of functional groups using Fourier Transform Infrared (FTIR) performed on rind extract of *H. Costaricensis*, and the TiO₂ layer before and after soaked in dye. Characterization carried out on the wave number range of 500 cm⁻¹ to 4500 cm⁻¹. Analysis is performed by looking at the shape of the spectrum and the specific peaks that show the bonding of the functional groups contained in the extract.

Testing of DSSC conducted through the current-voltage characterization (*I-V*) at five different prototypes has been made by varying the concentration of dye. The equipment used is a multi meter for measure both of voltage and current, as well as external potentiometers are used as resistor (external load) during the current and voltage measurements. The solar cell be connected to the multi meter to the positive pole on the counter electrode, while the negative pole at the working electrode. Measurements were made using a source of sunlight. Light intensity during the test was measured using a light meter.

RESULTS AND DISCUSSION

The effectiveness of the dye to absorb sunlight spectrum is one of the things that greatly affect the efficiency of DSSC. Results of characterization absorbance (at the wavelength range of 300-800 nm) of the rind extract of *H. Costaricensis* at various concentrations can be seen in Figure 1.

Spectrum in Figure 1 shows that the dye from the rind extract of *H. Costaricensis* can

absorb light, in the range between 320 nm to 760 nm (visible light) and high light absorption at a wavelength of 420-580 nm. Absorption peaks in these wavelength range indicates that there are anthocyanin content in the dye, which is usually identified in the wavelength range of 500-600 nm (Hao et al., 2006; Hemalata et al., 2012; Yusoff et al., 2014).

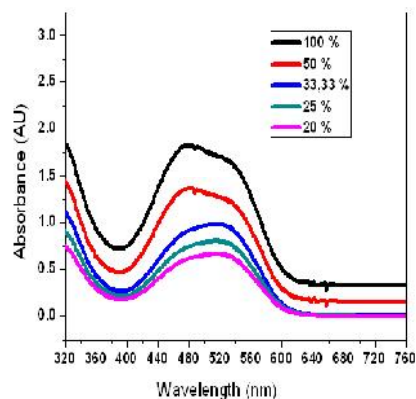


Figure 1. The pattern of the absorbance of the rind extract of red dragon fruit (*H. costaricensis*) to the wavelength at various concentrations.

Optical absorptions are consistently declines with a reduction in the concentration of dye. The lower the concentration, the smaller the pigment compound contained in the dye, and therefore the optical absorption peak is decreases. Thus the dye derived from the rind extract of *H. Costaricensis* is capable of acting as a sunlight absorber. This suggests chance or opportunity for using this dye as sensitizer in DSSC.

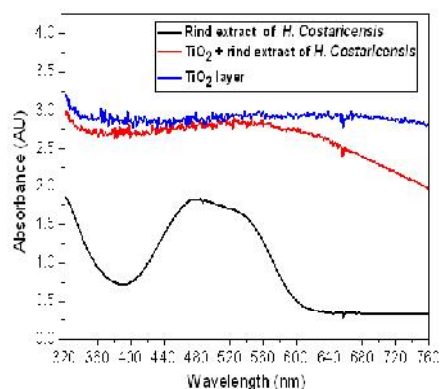


Figure 2. The both absorbance pattern of rind extract of *H. Costaricensis* and TiO₂ layer before and after immersion.

Figure 2 shows the absorbance pattern of the rind extract of *H. Costaricensis* and TiO₂ layer before and after immersion. On this picture

re it appears that in the wavelength range 320-760 nm occur optical absorption by the TiO_2 . Absorbance of TiO_2 that has been soaked is similar in pattern with the absorbance of TiO_2 that has not been soaked. Dye effect is not so apparent in the absorbance pattern. This is because the compounds contained in the pigment dye very less than TiO_2 .

After immersion, we can observe that there is a color change of the dye that absorbs in the TiO_2 layer. This color change can occur as a result of the formation of the bond between the chromophore of the dye anthocyanin with Ti (IV) of TiO_2 . An ion OH^- from pasta of TiO_2 can bind to an ion H^+ from anthocyanin of dye to form one molecule of H_2O . Absorption of light on the surface of the TiO_2 form a quinoidal that causes the surface of TiO_2 looks to be purple and a little contains flavilium form (as a cause red) (Maddu et al., 2007).

The characterization results of infrared (IR) absorption spectra using FTIR is shown in Figure 3. Absorption peaks in the infrared spectrum shows absorption associated with functional groups contained in the dye. Based on Figure 3 we can identify the presence of anthocyanin content in the dye indicated by the absorbance at the wave number range of 3200-3500 cm^{-1} . Functional groups of -OH identified in wave numbers of 3421, 3381 and 3346 cm^{-1} . Infrared absorption spectra at wave numbers of 1629 and 1598 cm^{-1} corresponding to the functional groups of C=O. Functional groups of C=C identified by their absorption at wave number of 1408 cm^{-1} . Meanwhile, the absorption spectrum at wave numbers of 1101.35, 1078.21, 1049.28 cm^{-1} corresponds with the functional groups of C-O, and the absorption spectrum at wave numbers of 773.46, 705.95, 640.37 cm^{-1} corresponds to functional groups of CH aromatic.

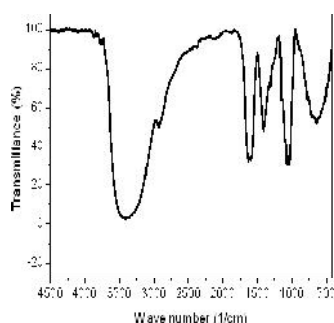


Figure 3. The transmittance pattern against wave number FTIR characterization results of the rind extract of *H. Costaricensis*.

Functional groups of -OH are a hydroxyl group making up the structure of anthocyanin. The hydroxyl group is useful as an adhesive between the layers of TiO_2 pigment compounds on the FTO (Wongcharee, K et.al., 2007)

Based on the infra red absorption spectrum of TiO_2 that has been soaked in dye, the functional groups of -OH *stretching vibration* is identified from absorption peak at the wave number of 3348.72 cm^{-1} , functional groups of -OH *bending vibration* at wave number of 1633.72 cm^{-1} , and functional groups of Ti=O at wave number of 687 cm^{-1} .

The performance of DSSC is affected by many factors. One of the important factors that affect DSSC performance is the dye structure must possess several *carbonyl* (C=O) or *hydroxyl* (-OH) (Khalil, 2012). Thus, the rind extract of *H. Costaricensis* can be use as a good sensitizer in DSSC.

Table 1. Influence of dye concentration C against the maximum current I_m , and maximum voltage V_m .

C (%)	I_m (mA)	V_m (mV)
100	0,6	12,2
50	0,051	29,5
33,3	0,05	19,6
25	0,047	18,2
20	0,03	26,2

The influence of the dye concentration against the maximum current and voltage (I_m and V_m) generated by prototype of DSSC can be seen in Table 1. The maximum current is generated by DSSC tend to increase with increasing dye concentration. Thus the maximum power generated is also dependent on the concentration.

The influence of the dye concentration against the each values of short circuit current I_{sc} and open circuit voltage V_{oc} as well as efficiency of solar cells η can be seen in Table 2. Based on this table it can be seen that the open-circuit currents and the efficiency of solar cells is influenced by the dye concentration. Plot a graph of the dye concentration against the efficiency of the solar cell is shown in Figure 4.

The greater the concentration value, the higher the chances of the bond formation between both molecules of dye and TiO_2 . The amount of the bond that is formed affects the efficiency of solar cells (Al-Alwani et al., 2014). Thus, there is influence of the dye concentrati-

on on the efficiency of DSSC.

Table 2. Influence of dye concentration C against short circuit current I_{sc} , open circuit voltage V_{oc} , and efficiency η of DSSC.

C (%)	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)	η (%)
100	1,1	22,6	$1,03 \times 10^{-3}$
50	0,09	50,5	$2,75 \times 10^{-4}$
33,3	0,08	31,8	$1,28 \times 10^{-4}$
25	0,08	37,2	$9,78 \times 10^{-5}$
20	0,06	47,9	$7,5 \times 10^{-5}$

Energy of incident photon (sunlight) absorbed by the dye molecules resulting in excitation of the electrons. If the excitation energy level of electron is higher than the conduction band of TiO_2 , there will be an injection of electrons to the conduction band accompanied the formation of positive ions of dye molecules. This injection process is influenced by amount of bonds between molecules of dye and TiO_2 , so it will affect the performance of solar cells.

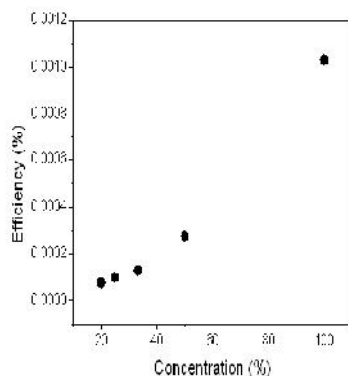


Figure 4. Concentration of the rind extract of *H. Costaricensis* against the DSSC efficiency.

The dye molecules that ionized into positive ions will capture electrons from iodide derived from the electrolyte, so that electrons that injected in the conduction band of TiO_2 will not undergo recombination. This recombination process must be prevented so the DSSC efficiency does not decrease. Injected electron in the conduction band of TiO_2 will be reach to FTO. These electrons will reach to the counter electrode through the external circuit. Graphite that superimposed on the counter electrode, acts as a catalyst to facilitate these electrons to react with tri-iodide of electrolyte to form iodide. This iodide would be a deterrent for recombination of subsequent injected electron, so cycle of electron transport can take place.

The results show the consistency of op-

tical absorption of the dye, the maximum power and efficiency of DSSC. This is indicated by dependences of the efficiency on the dye concentration as shown in Figure 4. The emergence of currents in the circuit shows that electron injection from the dye skin extract of *H. Costaricensis* to the conduction band of TiO_2 is presence. Thus, the rind extract of *H. Ccostaricensis*, in principle, can be used as a sensitizer for DSSC.

Injection of electrons excited into the conduction band of TiO_2 can occur if energy conduction band of TiO_2 is slightly lower than the energy level of lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) of the dye material. In order to support the regeneration of the oxidized dye, the energy level of highest occupied molecular orbital (HOMO) of the dye material should be lower than the redox potential energy of iodide/triiodide.

The DSSC efficiency not only influenced by the dye material, but also influenced by inorganic semiconductor material on the work electrode, electrolyte, and catalyst at the counter electrode. Technically, the factors that can affect the performance DSSC is the design and drafting process, such as how to superimposing TiO_2 , merging the two electrodes form a sandwich, electrolyte injection process, as well as problems of electrolyte leakage and permeation after injected.

The efficiency of DSSC with dye from the rind extract of *H. Costaricensis* can be improved among others by taking into account the size of the particles and the thickness of the layer of TiO_2 , the immersion time in the dye, usage a liquid electrolyte, and material selection of the catalyst. The particle size and immersion time are related to the absorption of the dye. Layer thickness affects to the internal resistance (and the mobility of the charge passing through the cell). Electrolyte and catalyst effect on electron transport cycle. Thus, the research on the utilization rind extracts of *H. Costaricensis* to be exciting and challenging research to be continued, especially in increasing the performance.

CONCLUSION

Rind extract of red dragon fruit (*H. costaricensis*) absorbs sunlight spectrum in the range of visible light, with a high absorption in the range 420-580 nm. Consistently, the higher the rind extract concentration, the higher the absorbance. Concentration of dye used in DSSC affect the maximum current (maximum

power) is generated and the efficiency of solar cells. In principle, the rind extract of red dragon fruit allow to be used as a sensitizer for DSSC. Thus, there are opportunities to do further research in an effort to improve the efficiency of DSSC that uses dye from the rind extract of red dragon fruit.

REFERENCES

- Alhamed, M., Issa, A. S., & Doubal, A. W.. (2012), Studying of natural dyes properties as photo-sensitizer for dye sensitized solar cells (DSSC), *Journal of Electron Devices*, 16, 1370-1383.
- Al-Alwani, M. A., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A., & Ludin, N. A., (2014), Effect of solvents on the extraction of natural pigments and adsorption onto TiO₂ for dye-sensitized solar cell application, *Elsevier Journal of Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 138, 130-137
- Hao, S., Wu, J., Huang, Y., and Lin, J.. (2006). Natural dyes as photosensitizer for dye-sensitized solar cell. *Elsevier Journal of Solar energi*, 80, 209-214.
- Hemalatha, K., Karthick, S., Raj, C. J., Hong, N. Y., Kim, S. K., and Kim, H.J., (2012). Performance of kerria japonica and rosa chinensis flower dyes as sensitizers for dye-sensitized solar cells. *Elsevier Journal of Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 96, 305-309.
- Khalil, E.J., (2012), Natural Dye-Sensitized Solar Cell Based on Nanocrystalline TiO₂, *Sains Malaysiana* 41(8)(2012): 1011–1016
- Maddu, A., Zuhri, M., & Irmansyah. (2007), Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye, *MAKARA Teknologi*, 11(2), 78-84.
- Narayan, M. R., (2012). Review: dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 208-215
- O'Regan, B., and Grätzel, M. M., (1991), A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films, *Nature*, 353, 737-740.
- Singh, L. K., Karlo, T., & Pandey, A., (2013). Performance of fruit extract of melastoma malabathricum L. As sensitizer in DSSC. *Elsevier Journal of Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 118, 938-943.
- Wongcharee, K., Meeyoo, V., & Chavadej, S.. (2007). Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers. *Elsevier, Solar Energi Materials & Solar Cells*, 91, 566 – 571
- Yusoff, A., Kumara, N.T.R.N., Lim, A., Ekanayake, P., & Tennakoon, K. U.. (2014). Impacts of temperature on the stability of tropical plant pigments as sensitizers for dye sensitized solar cells. *Journal of Biophysics, Hindawi Publishing Corporation*, 2014, 1-8
- Zhou, H., Wu, L., Gao, Y., & Ma, T., (2011), Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 219, 188–194

LEARNING STRATEGY IMPLEMENTATION OF GENERATIVE LEARNING ASSISTED SCIENTIST'S CARD TO IMPROVE SELF EFFICACY OF JUNIOR HIGH SCHOOL STUDENT IN CLASS VIII

PENERAPAN STRATEGI PEMBELAJARAN GENERATIVE LEARNING BERBANTUAN SCIENTIST'S CARD UNTUK MENINGKATKAN SELF EFFICACY SISWA KELAS VIII SMP

R. Yuliarti , S. Khanafiyah*, N. M. D. Putra

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Diterima: 12 Oktober 2015. Disetujui: 28 Desember 2015. Dipublikasikan: Januari 2016

ABSTRAK

Pada umumnya, self efficacy yang dimiliki siswa masih rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penerapan strategi pembelajaran generative learning berbantuan scientist's card dalam meningkatkan self efficacy dan hasil belajar kognitif siswa. Desain penelitian berbentuk One Group Pretest-Posttest Design. Peningkatan self efficacy dapat diketahui dari perubahan skor angket sebelum dan sesudah pembelajaran dan hasil observasi selama pembelajaran. Hasil belajar kognitif diketahui dari skor pretest dan posttest. Untuk mengetahui peningkatannya, data yang diperoleh dianalisis menggunakan uji gain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan self efficacy berkategori rendah dan peningkatan hasil belajar kognitif berkategori sedang. Berdasarkan hasil observasi, self efficacy siswa setiap pertemuan meningkat. Hasil belajar ranah kognitif juga mencapai ketuntasan belajar. Jadi dapat disimpulkan bahwa strategi pembelajaran generative learning berbantuan scientist's card dapat meningkatkan self efficacy dan hasil belajar ranah kognitif siswa.

ABSTRACT

In general, self-efficacy of the students is still low. This study aims to determine the learning strategies implementation of generative learning assisted scientist's card in improving self-efficacy and cognitive learning outcomes of the students. The study designed form One Group Pretest-Posttest Design. The improvement of self-efficacy can be determined from the change in the questionnaire score before and after the learning and observations during the learning process. Cognitive learning outcomes are known from pretest and posttest scores. To determine the improvement, the data were analyzed by using the gain test. The results showed that N-gain of self-efficacy is 0.13 (low) and N-gain of cognitive learning is 0.60 (medium). Based on the observation, students' self-efficacy has increased each meeting. Cognitive learning results also achieved mastery learning as big as 72.88%. It could be concluded that the learning strategy of generative learning assisted scientist's card can improve self efficacy and cognitive learning outcomes of the students.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: Generative learning, self efficacy, scientist's card.

PENDAHULUAN

Pendidikan merupakan salah satu faktor yang membekali pengetahuan dan membentuk

kepribadian seseorang. Pendidikan harus diselenggarakan sesuai dengan hakikatnya yang tercantum dalam GBHN Tahun 1973, yang menyebutkan bahwa pendidikan adalah usaha sadar untuk mengembangkan kepribadian dan kemampuan siswa di dalam dan di luar sekolah dan berlangsung seumur hidup. Hasil pengamatan yang dilakukan oleh Wiyanto et

*Alamat Korespondensi:
Kampus Sekaran Universitas Negeri Semarang
E-mail: sitikhanafiyah@yahoo.com

al. (2007), menunjukkan bahwa aktivitas yang biasa dilakukan guru dalam pembelajaran adalah berceramah atau menjelaskan, bertanya, memberi tugas atau perintah. Sedangkan aktivitas siswa adalah mendengar, mencatat, menjawab pertanyaan, bertanya dan mengerjakan tugas. Siswa tidak diajak untuk *doing science* atau kerja ilmiah dan membangun sendiri pengetahuannya melalui proses penemuan.

Pada mata pelajaran IPA diperlukan bentuk pembelajaran yang tepat agar kegiatan pembelajaran efektif dalam memberikan pemahaman kepada siswa. Berdasarkan Permendiknas Nomor 22 Tahun 2006, pelajaran IPA berkaitan dengan cara mencari tahu tentang alam secara sistematis, sehingga IPA bukan hanya penguasaan kumpulan pengetahuan yang berupa fakta-fakta, konsep-konsep atau prinsip-prinsip saja tetapi juga merupakan suatu proses penemuan. Jadi dapat dikatakan bahwa pembelajaran IPA akan efektif, apabila selama pembelajaran siswa aktif, guru mengajak siswa untuk mendapatkan pengalaman langsung melalui percobaan-percobaan dan diskusi dalam memecahkan suatu masalah.

Menurut Sukarno *et al.* (1981), pendekatan utama yang digunakan dalam pendidikan sains adalah pendekatan yang dimulai dari adanya suatu masalah, menimbulkan suatu hipotesis, melakukan penyelidikan (observasi maupun percobaan) dan akhirnya membuat kesimpulan. Salah satu strategi pembelajaran yang sesuai dengan pendekatan ini adalah *generative learning*.

Keberhasilan pelaksanaan suatu pembelajaran juga dipengaruhi oleh diri siswa sendiri. Setiap tahapan pembelajaran memiliki tantangan yang harus dihadapi siswa. Oleh sebab itu, diperlukan keyakinan yang kuat dalam diri siswa untuk menyelesaikan tantangan-tantangan tersebut. Keyakinan yang dimiliki seseorang bahwa dia mampu melakukan sesuatu untuk mencapai sebuah tujuan dan mampu menghadapi tantangan dikenal dengan istilah *self efficacy*.

Generative learning adalah strategi pembelajaran yang menuntut peran aktif siswa dalam membangun sendiri pengetahuannya. Proses pembelajaran *generative learning* berusaha untuk mengintegrasikan pengetahuan baru dengan pengetahuan yang telah dimiliki oleh siswa (Huda, 2013). Tahapan pembelajarannya meliputi tahap eksplorasi (menyampaikan hipotesis terhadap suatu masalah), tahap pemfokusan (menguji hipotesis melalui suatu percobaan), tahap tantangan (menyampaikan

hasil observasi percobaan dan merumuskan konsep baru) dan tahap penerapan (menerapkan konsep baru ke dalam situasi yang berbeda) (Wena, 2009). Hasil penelitian Wulansari (2014), menunjukkan bahwa strategi *generative learning* dapat meningkatkan pemahaman dan hasil belajar siswa.

Self efficacy adalah besarnya keyakinan seseorang atas kapasitas yang dimiliki untuk bisa menjalankan tugas atau menangani persoalan dengan hasil yang bagus (Atma, 2013). Menurut Bandura (1995), siswa yang memiliki *self efficacy* tinggi akan tekun, berusaha, gigih, mencari tahu lebih banyak mengenai tugas dalam pembelajaran, rasa cemas yang rendah, dan memiliki prestasi di sekolah.

Hasil penelitian Warsito (2009) menunjukkan bahwa prestasi akademik berhubungan dengan tingkat *self efficacy* dalam diri siswa. Semakin tinggi *self efficacy* yang dimiliki, semakin besar keuletan siswa dalam menyelesaikan permasalahan. Sedangkan siswa dengan *self efficacy* rendah akan merasa cemas dan menghindari permasalahan yang sulit untuk dipecahkan. Menurut Bandura (1995), *self efficacy* dapat dikembangkan dengan *mastery experience*, *vicarious experience*, *social persuasion*, dan *physiological and emotional states*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui peningkatan *self efficacy* dan hasil belajar ranah kognitif siswa setelah diterapkannya strategi pembelajaran *generative learning* berbantuan *scientist's card*.

METODE

Penelitian dilaksanakan di SMP Kartika III-1 Semarang dengan populasi penelitian adalah siswa kelas VIII tahun ajaran 2014/2015 dan sampel penelitiannya adalah kelas VIII C dan VIII D. Penelitian ini mengukur peningkatan *self efficacy* dan hasil belajar ranah kognitif siswa setelah diterapkannya strategi pembelajaran *generative learning* berbantuan *scientist's card*. Desain penelitian yang digunakan adalah *one group pretest dan posttest*.

Prosedur penelitian meliputi tahap persiapan, yaitu : menentukan populasi dan sampel, mengumpulkan data awal terkait sampel, menyiapkan perangkat pembelajaran dan instrumen penelitian, melakukan uji coba instrumen, menganalisis dan memperbaiki instrumen penelitian. Tahap pelaksanaan meliputi : melakukan *pretest* dan mengambil data awal tentang *self efficacy* siswa dengan angket,, pemberian perlakuan, melakukan *posttest*, dan

pengambilan data akhir tentang *self efficacy* dengan angket, serta melakukan observasi selama pembelajaran. Tahap evaluasi meliputi : alisis data dan pembuatan laporan penelitian. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan tes, angket, dan lembar observasi.

Untuk mengetahui peningkatan *self efficacy* dan hasil belajar kognitif siswa, digunakan perhitungan dengan persamaan :

$$(g) = \frac{(S_{post} - S_{pre})}{100 - (S_{pre})}$$

Keterangan :

- (g) = nilai gain
 S_{post} = skor rata-rata post-test / skor *self efficacy* awal
 S_{pre} = skor rata-rata pre-test / skor *self efficacy* akhir

Tabel 1. Kriteria Peningkatan

Nilai gain	Kriteria
$g > 0,7$	Tinggi
$0,3 \leq g \leq 0,7$	Sedang
$g < 0,3$	Rendah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintaks Pembelajaran *Generative Learning* berbantuan *Scientist's Card* dinyatakan dalam Tabel 2.

Scientist's Card merupakan sebuah kartu yang berfungsi sebagai alat bantu dalam meningkatkan *self efficacy*. *Scientists's card* dirancang sedemikian rupa sehingga berperan di setiap tahap pembelajaran.

Menurut Wena (2009), sintaks pembelajaran pada strategi *generative learning* meliputi tahap pendahuluan, tahap pemfokusan, tahap tantangan dan tahap penerapan. Sedangkan sintaks pembelajaran pada Tabel 2 merupakan sintaks pembelajaran *generative learning* yang menggabungkan peran *scientist's card* di setiap tahap pembelajarannya.

Penerapan sintaks pembelajaran seperti yang dituliskan pada Tabel 2, dengan alasan penerapan strategi pembelajaran ini mengajak siswa untuk menemukan sendiri pengetahuannya. Pada awalnya, siswa diberikan suatu masalah kemudian mengeksplor pengetahuan yang telah dimilikinya untuk merumuskan hipotesis. Untuk menemukan jawaban yang sebenarnya atas masalah tersebut, siswa melakukan kegiatan percobaan. Dari sinilah, siswa melihat dan mengetahui sendiri hasil perco-

baannya.

Scientist's card berperan untuk mendokumentasikan hasil kerja siswa. Isi dari *scientist's card* dipresentasikan di depan kelas kemudian dilakukan diskusi kelas. Pada diskusi ini, siswa diajak untuk bersama-sama membuat kesimpulan. Jadi dapat dikatakan bahwa pengetahuan yang diperoleh merupakan hasil keaktifan siswa dalam menemukan pengetahuannya sendiri.

Untuk meningkatkan pemahaman, siswa diberikan latihan soal dengan harapan dapat menerapkan pengetahuan baru yang diperolehnya ke situasi yang berbeda. Sintaks pembelajaran *generative learning* yang digabungkan dengan peran *scientist's card* pada pembelajaran tersebut diharapkan dapat meningkatkan *self efficacy* siswa, karena sudah sesuai dengan pendapat Bandura (1995), yang menyebutkan bahwa *self efficacy* dapat dikembangkan dengan *mastery experience*, *vicarious experience*, *social persuasion*, dan *physiological and emotional states*.

Peningkatan *Self Efficacy* Siswa

Peningkatan *self efficacy* siswa dapat diketahui dari hasil skor angket awal, skor angket akhir, dan skor hasil observasi selama pembelajaran berlangsung. Hasil peningkatan *self efficacy* sebelum dan sesudah pembelajaran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Skor *Self Efficacy* Siswa

Keterangan	Sebelum pembelajaran	Sesudah pembelajaran
Persentase rata-rata skor <i>self efficacy</i> (diperoleh dari angket)	56,4 %	58,0 %
Persentase rata-rata skor <i>self efficacy</i> (diperoleh dari observasi)	73,6 %	80,8 %
Persentase rata-rata <i>Gain score</i>	65,0 %	69,4 %
Kriteria peningkatan		0,13
Jumlah siswa yang telah memiliki <i>Self efficacy</i> favorable	57,6 %	72,9 %
		Rendah

Tabel 2. Sintaks Pembelajaran *Generative Learning* Berbantuan *Scientist's Card*

Tahapan pembelajaran	Deskripsi kegiatan
<p>Pendahuluan / eksplorasi (menyampaikan konsep awal / hipotesis)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Guru memberikan masalah - Siswa merumuskan hipotesis atas pemecahan masalah tersebut berdasarkan pengalaman dan pengetahuan awal yang dimiliki - Siswa menuliskan hipotesis pada <i>scientist's card</i>
	
<p>Pemfokusan (melakukan percobaan untuk mengetahui hipotesis benar atau salah)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Siswa melakukan percobaan atau guru melakukan demonstrasi untuk menjawab masalah - Siswa menuliskan hasil percobaan atau hasil pengamatan pada <i>scientist's card</i>
	
<p>Tantangan (menyampaikan pendapat mengenai hasil percobaan)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Guru membimbing siswa untuk melakukan diskusi kelas - Siswa menyampaikan pendapat terkait hasil percobaannya secara bergantian. - Setelah menyampaikan pendapat, siswa menempelkan <i>scientist's card</i> pada papan yang telah disediakan. - Papan tersebut diberi nama <i>scientist board</i>. Tujuan penempelan <i>scientist's card</i> pada papan ini adalah untuk mendokumentasikan hasil kerja siswa, sebagai <i>reward</i> dan sumber motivasi belajar siswa.
	
<p>Penerapan (menerapkan konsep baru ke dalam situasi yang berbeda)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Guru membimbing siswa untuk merumuskan kesimpulan (konsep) - Guru memberikan masalah baru kepada siswa, dengan tujuan agar siswa mampu menerapkan konsep yang dimiliki ke dalam situasi yang berbeda - Guru memberikan latihan soal, dengan tujuan agar siswa lebih memahami materi pembelajaran

Perkembangan *self efficacy* siswa setiap pertemuan berdasarkan hasil observasi dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 3 dan Gambar 1 menunjukkan bahwa setelah diterapkannya strategi pembelajaran *generative learning* berbantuan *scientist's card*, *self efficacy* siswa meningkat. Hal ini dikarenakan strategi pembelajaran *generative learning* dilaksanakan dengan beberapa tahap yang setiap tahapannya memiliki tantangan dalam membangun konsepnya sendiri. Tantangan inilah yang menuntut dan melatih siswa untuk memiliki keyakinan dalam menyelesaikannya.

Pada tahap eksplorasi, siswa dilatih untuk membuat hipotesis atas masalah yang diberikan. Hal ini dapat memunculkan rasa ingin tahu dalam diri siswa, yaitu sikap dan tindakan yang selalu berupaya untuk mengetahui lebih mendalam dan meluas dari apa yang dipelajarinya (Fathurrohman *et al.*, 2013).

Pada tahap pemfokusan, siswa dilatih membangun konsepnya sendiri melalui kegiatan percobaan. Apabila hasil percobaan sesuai dengan hipotesis, maka akan memunculkan rasa percaya diri. Pengalaman langsung (*mastery experience*) ini menjadi salah satu faktor yang dapat meningkatkan *self efficacy* (Bandura, 1995).

Pada tahap tantangan, siswa dilatih untuk berani berbicara melalui kegiatan diskusi kelas. Hal ini dapat mendorong siswa untuk berusaha menyampaikan pendapatnya dengan baik. Siswa termotivasi dengan melihat temannya yang sudah berani berbicara terlebih dahulu. Ini merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan *self efficacy* yaitu *vicarious experience* atau pengalaman orang lain (Bandura, 1995).

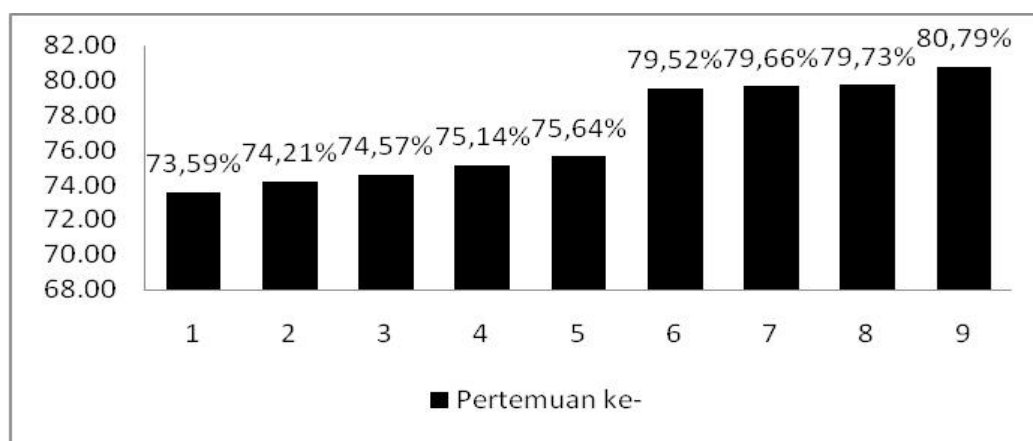
Pada tahap penerapan konsep, siswa dilatih untuk menerapkan konsep yang telah

dipelajari dengan mengerjakan latihan-latihan soal dalam berbagai bentuk. Hal ini melatih siswa bersikap gigih, yaitu tidak mudah menyerah dan selalu ulet dalam berusaha (Fathurrohman *et al.*, 2013). Selain itu, latihan soal juga dapat melatih siswa bersikap tekun, yaitu rajin dan selalu bersungguh-sungguh mengerjakan segala sesuatu (Fathurrohman *et al.*, 2013).

Sikap-sikap yang muncul di setiap tahap pembelajaran tersebut dapat mendukung meningkatnya *self efficacy* pada siswa. Menurut Bandura (1995), siswa yang memiliki *self efficacy* tinggi akan bersikap tekun, berusaha, gigih, rasa ingin tahu, tenang dan berprestasi di sekolah.

Meningkatnya *self efficacy* siswa pada penelitian ini, juga disebabkan pembelajaran *generative learning* dibantu dengan *scientist's card*. *Scientist's card* berfungsi sebagai alat bantu untuk meningkatkan *self efficacy* melalui peranannya. *Scientist's card* berfungsi sebagai tempat siswa untuk menuliskan hipotesis dan hasil percobaan pada tahap eksplorasi. Sehingga *scientist's card* berfungsi dalam mendokumentasikan hasil kerja siswa. Selain itu, *scientist's card* berfungsi sebagai kartu berbicara pada tahap diskusi dan ini menjadi motivasi ekstrinsik atau *verbal persuasion* yang dapat meningkatkan *self efficacy* (Bandura, 1995).

Penerapan strategi pembelajaran *generative learning* berbantuan *scientist's card* meningkatkan *self efficacy* dalam kategori rendah. Hal ini disebabkan karena *self efficacy* merupakan salah satu karakter, sedangkan proses mengubah karakter sangat sulit dan membutuhkan waktu yang lama (Munir, 2010). Sedangkan penelitian ini dilaksanakan dalam waktu yang relatif singkat, yaitu selama satu bulan.



Gambar 1. Diagram Hasil Observasi Self Efficacy Siswa Setiap Pertemuan

Peningkatan Hasil Belajar Ranah Kognitif Siswa

Selain peningkatan *self efficacy*, penerapan strategi pembelajaran *generative learning* berbantuan *scientist's card* juga meningkatkan hasil belajar ranah kognitif siswa, yang diketahui dari hasil *pretest* dan *posttest*. Hasil belajar ranah kognitif sebelum pembelajaran (*pretest*) dan sesudah pembelajaran (*posttest*) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Hasil Belajar Kognitif Siswa

Aspek yang diamati	Pretest	Posttest
Nilai terendah	10	57,5
Nilai tertinggi	57,5	92,5
Rata-rata kelas	40,50	76,61
Ketuntasan klasikal	0	72,88%
Kriteria ketuntasan	Rendah	Sedang
Gain score		0,60
Kriteria peningkatan		Sedang

Tabel 4 menunjukkan bahwa hasil belajar ranah kognitif siswa meningkat setelah diterapkan strategi pembelajaran *generative learning* berbantuan *scientist's card*. Hal ini dikarenakan strategi pembelajaran *generative learning* memberikan kebebasan kepada siswa dalam membangun konsepnya sendiri. Sehingga *generative learning* termasuk ke dalam model pembelajaran yang dibutuhkan dalam sains. Hal ini sesuai dengan pendapat Yulianti & Wiyanto (2009), bahwa model pembelajaran sains yang banyak direkomendasikan oleh banyak ahli adalah yang berpusat pada siswa dengan memberikan kesempatan kepada siswa untuk belajar "menemukan" bukan belajar "menerima". Pembelajaran seperti ini dapat membuat siswa lebih memahami materi karena konsepnya dibangun sendiri.

Pada tahap eksplorasi, siswa diajak untuk berusaha menggali pengetahuan yang telah dimiliki sebelumnya untuk dikaitkan dengan materi yang akan dipelajari. Hal ini dapat membuat siswa selalu mengingat materi yang telah dipelajari.

Pada tahap pemfokusan, siswa membangun konsepnya sendiri melalui kegiatan percobaan. Pengalaman langsung yang dialami membuat siswa dapat menghubungkan konsep dalam pembelajaran IPA dengan permasalahan nyata di kehidupan sehari-hari. Semakin dekat dengan realitas kehidupan semakin mudah siswa menerima dan mencerna materi pelajaran (Djamarah, 2008). Proses ini

dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi sehingga mampu mencapai hasil belajar yang optimal.

Kegiatan percobaan dilaksanakan dalam bentuk kelompok yang didalamnya terdiri atas siswa berkemampuan tinggi dan rendah. Hal ini menyebabkan siswa dengan kemampuan rendah dapat belajar dari siswa yang berkemampuan tinggi. Dengan begitu, siswa yang berkemampuan rendah juga dapat memperoleh hasil belajar yang baik.

Pada tahap tantangan, siswa melakukan diskusi kelas untuk menyampaikan pendapatnya. Menurut Ryberg *et al.* (2010), menyelesaikan masalah dan menyampaikan hasil di depan kelas membuat siswa lebih memahami materi dari pada sekedar terlibat dalam kerja kelompok dan berdiskusi hanya dengan kelompok sendiri.

Pada tahap penerapan konsep, siswa mengerjakan latihan-latihan soal yang diberikan guru. Siswa dilatih untuk menerapkan konsep yang telah diperolehnya ke dalam berbagai bentuk soal. Dengan hal ini, pemahaman materi akan meningkat dan siswa dapat mencapai hasil belajar yang optimal.

Oleh sebab itu, penerapan strategi pembelajaran *generative learning* berbantuan *scientist's card* dapat meningkatkan hasil belajar ranah kognitif siswa. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Wulansari (2014) bahwa strategi *generative learning* dapat meningkatkan pemahaman dan hasil belajar siswa. Pada penelitian Pratama *et al.* (2014), strategi pembelajaran *generative learning* diterapkan dengan bantuan *multimedia learning* dan hasilnya efektif terhadap hasil belajar siswa dengan ketuntasan belajar mencapai 89,29%. Sedangkan pada penelitian ini, strategi pembelajaran *generative learning* diterapkan dengan bantuan *scientist's card* dan hasilnya dapat meningkatkan hasil belajar ranah kognitif siswa dengan ketuntasan sebesar 72,88%.

PENUTUP

Penerapan strategi pembelajaran *generative learning* berbantuan *scientist's card* dapat meningkatkan *self efficacy* dan hasil belajar ranah kognitif siswa kelas VIII SMP. Peningkatan *self efficacy* siswa termasuk kategori rendah, sedangkan peningkatan hasil belajar ranah kognitif siswa termasuk dalam kategori sedang.

DAFTAR PUSTAKA

- Atma, A.W. (2013). *Menebar Gagasan, Menuai Pujian : Kiat Menjadi Dosen Produktif*. Yogyakarta : Prudent Media.
- Bandura, A. (1995). *Self Efficacy in Changing Societies*. New York: Cambridge University Press.
- Djamarah, S. B. (2008). *Psikologi Belajar*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Fathurrohman, P., Suryana, A.A & Fatriany, F. (2013). *Pengembangan Pendidikan Karakter*. Bandung: PT Refika Aditama.
- Huda, M. (2013). *Model-Model Pengajaran dan Pembelajaran*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar
- Joet, G., Usher, L. Ellen., & Bressoux, P. (2011). Sources of Self Efficacy: An Investigation of Elementary School Students in France. *Journal of Educational Psychology*, 103(3):649-663. Retrieved from http://sites.education.uky.edu/motivation/files/2013/08/Joet_Usher_Bressoux_2011.pdf. [11-03-2015].
- Munir, A. (2010). *Pendidikan Karakter, Membangun Karakter Anak Sejak Dari Rumah*. Yogyakarta: PT Pustaka Insan Madani.
- Republik Indonesia. (1973). *Ketetapan Majelis Permusyawaratan Rakyat Republik Indonesia Nomor IV/MPR/1973 tentang Garis-Garis Besar Haluan Negara*. Jakarta.
- Republik Indonesia. (2006). *Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2006 Tentang Standar Isi untuk Satuan Pendidikan Dasar dan Menengah*. Jakarta.
- Ryberg, T., Glud, L. N., Buus, L., & Georgsen, M. (2010). Identifying Differences in Understanding of PBL, Theory and Interactional Interdependencies. *Proceedings of The Seventh International Conference on Networked Learning*. Retrieved from http://vbn.aau.dk/files/32313139/Ryberg_2.pdf [13-08-2015].
- Pratama, D.R.R., Kusumo, E., Susatyo, E.B. (2014). Keefektifan Model Pembelajaran Generatif Berfasilitas *Multimedia Learning* Terhadap Hasil Belajar. *Chemistry in Education*, 3(1): 1-7 Retrieved from : journal.unnes.ac.id/syu/index.php/chemined/article/view/1645/2897 . (20-7-2015)
- Sukarno, N., Kertiasa, H., & Padmawinata, D. (1981). *Dasar-Dasar Pendidikan Sains: Pegangan Mengajarkan IPA bagi Guru-Guru dan Calon-Calon Guru IPA Sekolah Lanjutan*. Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- Warsito, H. (2009). Hubungan Antara Self Efficacy dengan Penyesuaian Akademik dan Prestasi Akademik. *Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan Fakultas Ilmu Pendidikan Universitas Negeri Padang*, 9(1): 29-47. Retrieved from <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/pedagogi/article/download/119/pdf>. [11-03-2015].
- Wena, M. (2009). *Strategi Pembelajaran Inovatif Kontemporer : Suatu Tinjauan Konseptual Operasional*. Jakarta : PT. Bumi Aksara.
- Wiyanto., Sopyan, A., Nugroho., & Wibowo, S.W.A. (2007). Potret Pembelajaran Sains di SMP dan SMA. *Jurnal Pendidikan dan Pengajaran UNDIKSA*, (2): 386-394. Retrieved from http://pasca.undiksha.ac.id/images/img_item/757.doc. [12-06-2015].
- Wulansari, F. N., Adi, W., & Muchsini. B. (2014). Penerapan Model Pembelajaran Generatif dalam Upaya Peningkatan Pemahaman dan Hasil Belajar Akuntansi pada Siswa Kelas XI IPS SMA Negeri 1 Surakarta Tahun 2013/2014. *Jurnal Pendidikan UNS*, 2(3):184-198. Retrieved from <http://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/ekonomi/article/download/4224/2971>. [11-03-2015].
- Yulianti, D. & Wiyanto. (2009). *Perancangan Pembelajaran Inovatif*. Semarang. Universitas Negeri Semarang Press

IMPLEMENTATION OF GUIDED INQUIRY PHYSICS INSTRUCTION TO INCREASE AN UNDERSTANDING CONCEPT AND TO DEVELOP THE STUDENTS' CHARACTER CONSERVATION

IMPLEMENTASI PEMBELAJARAN FISIKA *GUIDED INQUIRY* UNTUK MENINGKATKAN PENGUASAAN KONSEP DAN PENGEMBANGAN KARAKTER KONSERVASI SISWA

S a r w i¹⁾, Sutardi²⁾, W.W. Prayitno³⁾

^{1) & 3)}Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang, Indonesia

²⁾SMA Negeri 5 Kota Semarang, Indonesia

Diterima: 12 Oktober 2015. Disetujui: 28 Desember 2015. Dipublikasikan: Januari 2016

ABSTRAK

Pembelajaran Fisika (PF) dilaksanakan melalui implementasi model eksperimen inkuiri terbimbing. Tujuan utama penelitian ini untuk mengungkap konsep besaran dan pengukuran dan mengembangkan nilai karakter konservasi siswa SMA. Metode penelitian ialah eksperimen kependidikan dengan post-test control group design digunakan. Subjek penelitian adalah kelompok perlakuan dengan tutorial dan non tutorial masing-masing 32 siswa. Data penelitian konsep besaran dan pengukuran dan nilai karakter konservasi dikumpulkan dengan tes uraian dan lembar observasi. Data dianalisis menggunakan uji t dan uji korelasi. Hasil penelitian yaitu: a) ditemukan korelasi positif antara nilai karakter konservasi dan penguasaan konsep besaran dan pengukuran pada kategori tinggi dan sangat signifikan ($p = 0,002$), dan b) diperoleh perbedaan penguasaan konsep yang signifikan antara kelompok tutorial dan non tutorial. Simpulan penelitian bahwa implementasi model eksperimen inkuiri terbimbing efektif untuk meningkatkan penguasaan besaran dan pengukuran dan mengembangkan nilai karakter konservasi siswa SMA.

ABSTRACT

The Measurement Concepts Instruction (MCI) is carried out by implementation of guided inquiry experiment model. The objectives is to develop the understanding concept and SMA students' character. The method used experiment educational research, with post- test control group design. The data of the understanding on property and measurement is collected by essay test and an observation sheets for students' character conservation. The subject of tutorial and non tutorial groups consist of 32 students respectively. The data were analyzed by t test and correlation analysis. The results showed a) the positive correlation between students' character and mastery on concept in high category ($p = 0.002$) and b) students' character conservation is significantly difference between tutorial and non tutorial groups. It can be concluded that the implementation of the guided inquiry experiment model to effective increase the understanding property and measurement and to develop students' character of senior high school students.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: guided inquiry, property and measurement, character conservation.

INTRODUCTION

The ability of inquiry is often associated with the activities of the investigation or experimentation. On investigation activities, students

can construct an understanding through asking questions, making the design, and implement in the form of investigations, conduct analysis, and communicate the invention. One of the main principles of inquiry, i.e. students can construct their own understanding by doing activity through the investigation of knowledge.

Model experiment of inquiry is a very po-

*Alamat Korespondensi:
Kampus Sekaran Universitas Negeri Semarang
E-mail: arwimahmud@yahoo.com
Telp: (+6224) 8316504, HP: +628122929255

werful model using constructivist principles of learning, which explained that the knowledge constructed by learners. The main of the model inquiry is a process of investigation is taught using the principle of learning community in a sustainable manner. Through the process of the investigation, at the end of the learning process of students can find the knowledge learned.

The inquiry syntax according to a number of experts there are differences, but the main activity of inquiry include: identifying problems, create hypotheses, collect and analyze data, and take a decision. Students who do inquiry experienced a learning process with the sharpening aspect of cognitive and affective aspects that support the learning patterns of metacognition. In order for learning to take place in conducive need student involvement in direct and active.

According to Suparno (2007) express that the activities of the inquiry experiments will work effectively if it fulfill conditions: 1) the freedom to discover and find information, 2) environment or atmosphere that is responsive, 3) focus issues namely the clear directions and can be solved students, 4) less pressure, i.e. not much pressure so that students doing more thinking critically and creatively.

Inquiry can be viewed as learning strategies if the entire learning procedure using activities that characterize inquiry. Learning inquiry grouped into three namely structured inquiry, guided inquiry, and the open inquiry. On the activities of the laboratory inquiry in general consists of problem formulation and identification, data collection, data processing, preparation of reports and communicate the results. Activities of the laboratory of inquiry is different from the regular laboratory activities. The difference of

the regular laboratory activities and inkuiri as expressed by Wenning (2006) are shown in Table 1.

In the laboratory activities guided inquiry, the teacher does not explain the first concept to be studied so that learners do not yet know the results of the activities they will be doing. These laboratory activities inquiry to train students to think inductively very helpful in developing a general knowledge of the concept to be learned from a physical phenomenon. According Kaltacki & Oktay (2011) express activities guided inquiry laboratory load qualifying activities as presented in Table 2.

According to Wenning (2007) the activities of inquiry is not just conducting experiments but more emphasis on imagination and ability of the students to find empirical evidence. For students who have not had experience of such an inquiry, the right to basic education and secondary use of guided inquiry. On the guided inquiry students gain clues that are not in the form of a recipe or questions that are guiding.

According Suardana (2007) guided inquiry learning model is more oriented to activities of student centered classrooms and allow students to learn to use a variety of learning resources. The role of the teacher as a resource that provides assistance in the form of questions that help students to think about the steps next observation. Inquiry learning step by Carin & Sund (1989) is presented in Table 3.

Based on the above differences, guided inquiry activities was the transition from laboratory activities structured inquiry that leads to an open inquiry laboratory activities. On the guided inquiry learners autonomously carry out each stage of identifying problems with members of the group to resolve the issue and teachers as

Table 1. Differences between Structured Inquiry Experiments and Guided inquiry

No	Structured Inquiry	Guided Inquiry
1.	Step written instructions step by step	1. Activities are arranged in the guiding question
2.	Focus student activities to verify the information	2. Student activities focus on collecting data to find the concept
3.	Provide implicit experience in carrying out scientific procedures	3. Independently provide explicit experience in carrying out scientific procedures
4.	Does not allow students to deal with errors n the implementation of activities	4. Giving students the opportunity to learn from mistakes

Source : Wenning (2006)

Table 2. Qualifications and Activities of Guided Inquiry Laboratory

No	Qualifications	Guided Inquiry Laboratory
1	Purpose	Finding interconnectedness concept
2	Selection experiments	Experiments selected can cause cognitive conflict for students
3	Laboratory Introduction	At the beginning of the event given the pretest to determine the initial concept of students
4	Laboratory procedure	The procedure is given through the question of finding a concept to capture the data and make inferences
5	Students Involvement	Students create a hypothesis , collect data and make conclusions with members of his group
6	T e a c h e r Involvement	Guiding students with questions that allow students to think independently

Source: Kaltacki & Oktay (2011)

Table 3. Syntax Learning Inquiry

No	Phase	Activities
1.	Finding the problem	Shows physical phenomena
2.	Develop hypotheses	Provide opportunities for students express their opinions in formulating hypotheses
3.	Designing the experiment	a. Define variables b. Collecting data
4.	Analyzing the data	Develop explanations related to the physical phenomena
5.	Make Conclusions	Teachers guide students to make conclusions

Source : Carin & Sund (1989)

mentors. All stages of guided inquiry directed learners and their active role more independent in thinking and implementing learning activities. Laboratory activities can develop skills and learning outcomes cognitive it is very important to develop inquiry based laboratory activities were more centered on the learner.

Syntax inquiry model, according to some experts there are differences, but the main activity of inquiry include the process: identify problems, make hypotheses, collect and analyze data, and make decisions. Students who do inquiry in the learning process is able to

hone cognitive and affective aspects, which supports learning patterns metacognition. So that learning takes place in a conducive need direct student involvement and active. According Suparno (2007) states that the activities of experimental inquiry will be managed effectively if it fulfill the following requirements: 1) the freedom to find and search information, 2) environment or atmosphere that is responsive, 3) focus on the problem that is without clear direction and can be solved students, 4) less pressure, which is not a lot of pressure so that students do more creative and critical thinking.

METHODS

The research was conducted on a grade X SMA Negeri Semarang Central Java. This research used experimental research with pre-posttest design only one group that is part of the research and development (Gall et al., 2003). The subject of research is the study of physics on the topic of property and measurement with guided inquiry learning model on high school students in Semarang in the academic year 2015/2016. The subjects of the study consisted of two study groups made up of the tutorials (treatment) and without tutorial (control) group, each totaled 32 students. Methods of determining the research subjects using purposive sampling techniques.

Data mastery of the concept of property and measurement collected using essay test and character of the conservation value of data collected by the observation sheet of students. The scoring results of the test the concept of using a scale of 1-100. Scoring graded (scale of 1 to 4) applied to character of the conservation value is collected by using observation sheet. Scoring on the character of the conservation value of the data collected through observation based on a scoring system Marzano (2006). Data concepts and measurement scale was analyzed using two-sample t test with significance level of 5 %. Data observational study score conservation character values are analyzed using descriptive-percentage. Effect of inquiry learning towards mastery of concepts tested by regression analysis. Criteria for success is based on the applicable reference assessment in Semarang City Department of Education. Statistical data processing using the menu of SPSS for Windows v. 16.

RESULTS AND DISCUSSION

The data revealed in the implementation of the experimental model of the wave guided inquiry that mastery of the concept and measurement of the magnitude and character development of high school students. Data mastery of scale and measurement with regression test are presented in Table 4. Testing of individual mastery used to determine the average grade of the final data on the sample achieve mastery individual or not. Based on tests of normality and homogeneity of the final data we concluded that both groups were normally distributed and homogeneous sample, the test statistic used to test the completeness of the individual

is the t test.

Based on the calculation results with the experimental group using the t test obtained by value $t = 3.115$. Referring to $df = 31$ and 5% significance level values obtained $t_{table} = 2.042$. Results of comparative tests of processing two students namely $t_{count} > t_{table}$. Based on the results of comparative testing of the application of experimental model of guided inquiry resulted in an average score scale concept mastery test and measurement experimental group tutorial KKM score higher than 60. The resulting achievement of classical completeness 66 % of the total number of students in the experimental group.

Based on the calculation of the control group using t test obtained by value $t = 1.78$. Referring to $df = 31$ and a significance level of 5 % was obtained $t_{table} = 2.042$ and the value of the results of comparative analysis of test calculations revealed that $t_{count} < t_{table}$. Based on the analysis concluded that the application of an experimental model without tutorial produces the average value of the mastery of the concept is better than the KKM 60, reaching only 59 % classical completeness.

Analysis of the students in the classical mastery learning

From the results of the previous analysis, has obtained a percentage of classical completeness students to learn the results of the evaluation value and the final value. For the experimental group, the percentage of classical completeness of value evaluation of learning outcomes in this case is the post-test value of 66%. For the control group the percentage of classical completeness of the value of post-test or evaluation of learning outcomes is of 59%.

The test results achieved by students after the end of the following study during two meetings of the experimental and control groups described in the following section. Based on the data analysis of the experimental group of 32 students on average score mastery of scale and learning measurement after reaching 69.03, while the control group of 32 students reached 64.91. The highest and the lowest score of the experimental group were 100 and 36. For the control group 96 and 38; refers to a score range of 0 - 100. The percentage of classical completeness treatment group gained 66 % and 59 % for controls.

Guided Inquiry Learning Regression Analysis of the Concept Mastery Students Group Experiments

Produced a regression equation of the

Table 4. Regression Analysis Guided Inquiry with Concept Mastery Students

Equation	Type test	Calculation	df	Results	Explanation
$Y_1 = 1,35X_1 - 38,61$				$\alpha = 5\%$	Resulting linear line with a coefficient of 1.35 means that a positive relationship between the variables X_1 and Y_1
	Linearity test	$F_{hitung} = 1,40$	1,30	4,171	
	Significance test	$F_{hitung} = 54,372$	1,30	4,171	
	Correlation test	$R_{hitung} = 0,580$	31	$R_{tabel} = 0,349$	
	Determination	$R^2 = 0,644$			

Table 5. Regression Analysis Guided Inquiry with the Student Conservation Character Development

Equation	Type test	Calculation	df	Results	Explanation
$Y_2 = 0,51 X_1 + 28,06$				$\alpha = 5\%$	Resulting linear line coefficient of 0.51 , meaning a positive linear relationship between the variables X_1 and Y_2
	Linearity test	$F_{hitung} = 0,56$	1,30	4,171	
	Significance test	$F_{hitung} = 6,2731$	1,30	4,171	
	Correlation test	$R_{hitung} = 0,4159$	31	$R_{tabel} = 0,349$	
	Detremination	$R^2 = 0,1729$			

implementation of guided inquiry is to increase students' mastery of concepts namely, $Y_1 = 1.35 - 38.61$ with variable Y_1 explain the results of mastery of concepts and variable X_1 declare score guided inquiry learning model implementation.

Results of regression test data can be stated that there is a positive effect of the application of Guided Inquiry learning model to the students' mastery of concepts shown positive coefficient value of 1.35 and the regression line cuts the y-axis intercept value of 38.61.

Regression Analysis of Guided Inquiry Learning with Conservation Character Development Group Experiments

Produced a regression equation of guided inquiry learning on students' character development conservation namely, $Y_2 = 0.512 X_1 + 28.06$. Variable Y_2 explains score conservation character of students and X_1 explain the implementation of guided inquiry learning model. The results of data processing using linear regression analysis are presented in Table 5.

Results of regression analysis of the data can be expressed that there is a positive influence on the implementation of inquiry learning model towards the understanding of the

concept, which indicated a positive coefficient value of 0.51 and a value on the y-axis intercept of 28.06. Based on data analysis concluded that "Implementation of Guided Inquiry is effective to develop the character of the conservation of high school students of grade X".

Studied the practice and concept of mass measurements in everyday life, is expected to foster a sense of sensitivity toward the environment so that students are able to establish a student's character better. This is in line with research Hidayah (2015), that the combination of multiple intellegences with character conservation students can be developed through guided inquiry learning that involves students doing research groups actively.

Guided Inquiry learning process in this study lead students to observe on the magnitude and direct measurement, laboratory activities. It is expected the students more interested in learning. This is supported by the statement Masfuah et al (2013), that the use of teaching materials physics contextual approach can develop an atmosphere of learning interesting and fun, so that students are motivated to learn.

In this study, there are two aspects that

are measured include measures mastery of the concept and character development of students. Mastery of concepts students will be measured on student learning outcomes in the cognitive and character development of students is measured by direct observation of student behavior.

Guided Inquiry with tutorials applied in the experimental class and to control class with guided inquiry learning without a tutorial that his schedule as a schedule of activities with guided inquiry. Both of these classes are taught by researcher, with two observers to help observe the student activity which is currently practical implementation and discussion. Conducting a guided inquiry begins with the teacher in the classroom to motivate students in the form of questions regarding the size and measurement in everyday life with the goal of keeping students interested in the learning process and have the initial allegations to seek a solution in the conduct guided inquiry.

As stated by Mehalik et al. (2008) that the inquiry approach gives students the opportunity to do step by step instructions for every aspect of the investigation. Students who do inquiry closely tied to the activity of work in teams, using laboratory equipment, observe, decide how to collect data and analyze it.

The development of psychomotor skills students need to be done so as not to cause the difference between theoretical understanding and physics that displayed the concept. Therefore, students need to interact directly with the objects that concrete because physics theory that explains not only the physical phenomena, but also the process to seek an explanation of physical phenomena. With the implementation of guided inquiry learning strategy, the students are guided to find the concept through laboratory activities that each stage requires creativity of students in formulating hypotheses, designing experiments, collecting data to make conclusions.

In each phase of laboratory activities, teachers continue to give direction to students through the questions that are guiding. Students have the opportunity to use the ideas and opinions of laboratory operations are carried out. Research guided inquiry with peer instruction has succeeded in developing students' critical thinking skills (Kurniawati et al. 2014). Research that supports, Sarwi et al. (2012) reported on the implementation of inquiry wave experiments are able to develop critical thinking skills on the concept of a wave.

Activities are assessed in this study include assessment of practical implementation and discussion. Aspects observed in practical implementation are: (a) setting up equipment and materials, (b) measures, (c) to read the measurement results, (d) write observational data, (e) the discipline of time and aspects considered in the discussion are: (a) attention during the learning, (b) cooperation within the group, (c) answer the question (d) ask or respond, (e) present the results of activities. Scoring refers to a score range of 1 to 4. According to Dahniar (2006) reported that psychomotor aspect is important in physics learning because students do not just memorize formulas and facts but more important is how the students have direct experience to develop competence in understanding natural phenomena scientifically.

CONCLUSION

Based on the results of the analysis concluded some of the following. Implementation of experimental model of guided inquiry on the size and measurements can be carried out effectively. The conclusions of research that there are significant application of guided inquiry learning model to the students' understanding of the concept. Based on the regression analysis resulting correlation coefficient $r = 0.58$ and $r = 0.42$ in the medium categories. General conclusions stated: "The implementation of Guided Inquiry to effective Improve Understanding Concept of Property and Measurement and to develop character Conservation Values High school students of grade X".

ACKNOWLEDGMENT

A big thank we addressed to the Rector Unnes through Head of LP2M has given the opportunity to do research. Giving these budgeting are intended to enrich the educational products. To the Head of SMAN 5 in Semarang also expressed deep gratitude for the willingness to research sites.

REFERENCES`

- Dahlstrom, M.F. (2010). The Role of Causality in Information Acceptance in Narratives: An Example from Science Communication. *Communication Research*, 37:857-875
- Dahniar, N. (2006). Pertumbuhan Aspek Psikomotorik

- Dalam Pembelajaran Fisika Berbasis Observasi Gejala Fisis Pada Siswa SMP. *Jurnal Pendidikan Inovatif*, 2(1): 1-6
- Gall, M.D., Gall, J.P. & Borg, W.R. (2003). *Educational Research: An Introduction (7th ed.)*. Boston: Allyn and Bacon
- Gruba, P. & R. Al-Mahmood. (2004). *Strategies for Communications Skill Development*. New Zealand: Department of Computer Science and Software Engineering The University of Melbourne
- Hidayah, N. (2015). *Pembelajaran inkuiri terbimbing dengan menerapkan nilai-nilai karakter konservasi untuk meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan kerja ilmiah siswa SMA*. Skripsi, FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Kaltacki, D., & O. Oktay. (2011). A Guided-Inquiry Laboratory Experiment To Reveal Students' Comprehension of Friction Concept : A Qualitative Study. *Balkan Physics Letters*. Ankara : Bogazici University Press
- Kurniawati, I.D., Wartono & M Diantoro. (2014). Pengaruh pembelajaran Inkuiri Terbimbing integrasi peer instruction terhadap penguasaan konsep dan kemampuan berpikir kritis siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 10(1): 36-46
- Laughlin, P.R., Hatch, E.C., Silver, J.S., & Boh, L. (2006). "Groups Perform Better Than the Best Individuals on Letters-to-Numbers Problems: Effects of Group Size". *Journal of Personality and Social Psychology*, 90 (4): 644-651
- Lee, E.J. & Y.J. Jang. (2010). What do Others' Reactions to News on Internat Portal Sites tell us? Effects of Presentation format and Readers' Need for Cognition on Reality Perception. *Communication Reasearch*, 37: 825-846
- Levy, O.S, B. Eylon, & Z. Scherz. (2008). Teaching Communication Skills in Science: Tracing teacher Change. Israel: The Department of Science Teaching, The Weizmann Institute of Science, *Rechovot*, 24: 462-477
- Marzano, R.J. (2006). *Classroom Assessment & Grading that Work*. Alexandria: The Association for Supervision and Curriculum Development
- Masfuah, S. & Sarwi. (2013). Pengembangan Bahan Ajar Fisika SMP Berpendekatan SETS untuk Meningkatkan Literasi Sains dan Kecakapan Hidup. *Prosiding Seminar Nasional Fisika IV 2013*. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Mehalik, M.M., Y. Doppelt., & C.D. Schuun. (2008). Middle-School Science through Design-Based Learning versus Scripted Inquiry: Better Overall Science Concept Learning and Equity Gap Reduction. *Journal of Engineering Education*, 2(2) : 2-8
- Miftah, M. (2009). *Komunikasi Efektif Dalam Pembelajaran*. Semarang: Pustekkom Depdiknas
- Santrock, J.W. (2008). *Educational Psychology*. Third Edition. Singapore: McGraw-Hill International Edition
- Sarwi & Liliyasi. (2009). Penerapan *Open-ended Laboratory Technique* pada Eksperimen Gelombang. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, III (2): 111-120
- Sarwi, A Rusilowati, & S Khanafiyah. (2012). Implementasi Model Eksperimen Open Inquiry untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis mahasiswa fisika. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 8(1): 41-50
- Slavin, R.E. (2005). *Cooperative Learning: Teori, Riset, dan Praktik*. (Terjemah oleh Nurulita). Bandung: Nusa Media
- Suardana, I. K. (2007). Penilaian Portofolio Dalam Pembelajaran Fisika Berbasis Inkuiri Terbimbing Di SMP Negeri 2 Singaraja. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan*, 1(2): 25-32
- Suparno, P. (2007). *Metodologi Pembelajaran Fisika*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma
- Wenning, C.J. (2005). Levels of inquiry: Hierarchies of pedagogical practices and inquiry processes. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 2(3): 3-11
- Wenning, C.J. (2010). Levels of inquiry: Using inquiry spectrum learning sequences to teach science. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 5(4): 11-19

SOLID WASTE-SILICA COMPOSITE FOR HIGH STRENGTH AND LIGHTWEIGHT MATERIAL APPLICATION

KOMPOSIT SAMPAH-SILIKA UNTUK APLIKASI MATERIAL KUAT DAN RINGAN

Masturi^{1*}, S. Rustad², S.Sunarno¹, N.Hindarto¹

¹Physics of Mathematics and Natural Sciences Faculty of State University of Semarang, Indonesia

²Dian Nuswantoro University of Semarang, Indonesia

Diterima: 12 Oktober 2015. Disetujui: 28 Desember 2015. Dipublikasikan: Januari 2016

ABSTRAK

Komposit sampah sudah berhasil dibuat. Mula-mula, komposit disintesis dengan menggunakan poliuretan sebagai pengikat yang dicampur dengan sampah melalui metode pencampuran sederhana (simple mixing), kemudian dihot-press pada tekanan 4 metric ton dan suhu 100°C selama 20 menit. Untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya, nanopartikel silica dengan berbagai komposisi ditambahkan dalam campuran poliuretan-sampah. Dengan menggunakan uji kekuatan tekan, didapatkan komposit poliuretan-sampah dengan fraksi volume sampah sebesar 87,15% memiliki kekuatan tekan sebesar 160 MPa. Selanjutnya, dengan penambahan silica sebesar 0,4975% (v/v) kekuatan tekan komposit menjadi 200 MPa, atau meningkat sebesar 23% dibandingkan komposit tanpa silica. Peningkatan ini juga dikonfirmasi melalui FTIR Spectroscopy yang menunjukkan adanya pergeseran kecil pada puncak spektra poliuretan akibat penambahan silica, utamanya pada gugus fungsi amina dan karbonil. Kekuatan mekanik komposit ini lebih baik daripada batu bata (80 MPa), batuan shale (73 MPa), batuan siltstone (92 MPa) dan beberapa jenis batuan yang lain. Dengan menggunakan uji kerapatan didapatkan komposit ini memiliki massa jenis 0,7 g/cm³, setara dengan kayu Jati (*Tectona grandis*) dan Mahoni (*Swietenia macrophylla*) yang memiliki massa jenis masing-masing 0,8 g/cm³ dan 0,7 g/cm³. Ini menunjukkan komposit yang dihasilkan sangat cocok untuk diaplikasikan sebagai bahan bangunan pengganti kayu.

ABSTRACT

The solid waste composite was successfully made. Preliminary, the composite was synthesized using polyurethane as binder mixed with the solid waste using simple mixing method and then hot-pressed at at pressure of 4 metric-tons and temperature of 100°C for 20 minutes. To enhance its strength, silica nanoparticles with varied content then were added in the polyurethane-solid waste mixture. From the compressive strength test, it was obtained that polyurethane-solid waste composite with solid waste volume fraction of 87.15% had optimum compressive strength of 160 MPa. Meanwhile, for silica addition with the fraction of 0.4975%, the compressive strength became 200 MPa, or increased 23% of that without nanosilica. The enhancement was also briefly confirmed from FTIR Spectroscopy where some polyurethane spectra shifted small due to silica addition, especially in amine and carbonyl groups as its active groups. The strength is better than of brick (80 MPa), shalestone (73 MPa), silstone (92 MPa) and other stones. From density measurement, the composite-produced has density about 0.7 g/cm³ that comparable to Jati (*Tectona grandis*) and Mahoni (*Swietenia macrophylla*) having densities about 0.8 g/cm³ and 0.7 g/cm³ respectively. Therefore, this composite is very adequate for building material application to compete the woods.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: nanocomposite, silica, polyurethane, solid waste, compressive strength.

INTRODUCTION

The issue of solid waste growth is a serious problem for several cities especially in developing countries. Additionally, per capita

production of the solid waste is about 2.5 to 3 liters per day (Masturi et al, 2011), that is greater than its decomposition and reutilization. Therefore, some innovative and creative efforts for handling the rapid growth absolutely are extremely important and urgent, and one of them that can be done to solve the serious growth waste is recycling the waste to composite material competing the woods. Beside as a

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

solution of solid waste accumulation problem, it also contributes in reducing deforestation.

Some research related to solid waste composite have been done, such as leaves composite using epoxy resin matrix and silica reinforcement (Hadiyawarman et al, 2008), leaves and paper waste composite with compressive strength of 85 MPa using polyvinyl acetate polymer as binder and silica nanoparticle as reinforcement (Masturi et al, 2011) and agriculture waste composite using silica nanoparticle filler without binder with compressive strength of 57 Mpa (Kumagai & Sasaki, 2009). Even though the strength-produced has been comparable to some stones or concretes, however, the strength may enable to be improved to obtain the composite with higher strength and one of the ways is making solid waste composite using other polymer as binder with stronger binding.

In this work, it was performed the utilizing of leaves and paper waste using polyurethane (PU) as binder and nanosilica as reinforcement. PU was chosen as matrix because of its excellent binding strength and has been used in several composites such as composite using cellulose fibers (Maafi et al, 2010), interlayer fiber composite (Lavorgna et al, 2007), organoclay composite for automotive application (Khudyakov et al, 2009) and silica nanocomposite for coating application (Türünç et al, 2008), meanwhile, silica nanoparticle was also used as reinforcement because of its mechanical properties, moreover its size is in nanometer its interaction to the matrix and the solid waste will be stronger due to increasing of the interaction area (Gan, 2009).

The aim of this work is to obtain a solid waste composite having very high strength, lightweight and low-cost in the production so it will enable to be used as building materials to compete the woods. This paper briefly described the compressive strength of the solid waste composite using polyurethane as matrix and nanosilica as reinforcement.

METHODS

The materials are solid waste consisting of dry leaves and paper with composition 1:1, polyol and diisocyanate (polyurethane raw materials) and silica nanoparticles purchased from Brataco Chemical, Inc. (Indonesia).

Leaves and paper waste was crushed separately using blender machine, while diisocyanate and polyol were mixed to form poly-

urethane, and then mixed in the 6 mL of aquades by stirring using magnetic stirrer machine for 15 minutes. The leaves and paper-crushed then were put into PU-water mixture and stirred until became homogenous to be hot-pressed at 4 metric ton and 80°C of pressure and temperature respectively for 20 minutes. The sample then was put off the mould to be dried into oven machine at 80°C of temperature for one hour. In this work, the composition of PU and solid waste was varied to obtain composite with maximum compressive strength where called as optimum composition or fraction. Finally, into the optimum composition, silica nanoparticles were added variously to obtain maximum improvement of the compressive strength. The samples-produced had diameter 5 cm and the thickness varied from 15 mm to 20 mm depending on the materials (solid waste, PU and nanosilica) composition, temperature and pressure of hot-press.

The compressive strength as main characterization was measured. Prior to be tested, sample was cut to be cubic-form according to ASTM standard (ASTM C0109M-02) and contact area varied from 225 mm² and 400 mm² depending on the sample thickness. The test was done using Torsor Tokyo Testing Machine MFG Ltd. equipped with Load Cell. The van der Waals interaction and bonding measurement, especially between polymer (PU) and silica were recorded using FTIR Spectrometer Shimadzu Prestige 21. The average size of silica was measured using SEM Analytical Scanning Microscope JEOL JSM 6510 LA. Finally, the density measurement of PU, solid waste and composite-produced was performed by measuring its mass and geometrical size using Ohaus Adventurer ISL AS153 and Tricle Brand respectively.

RESULTS AND DISCUSSION

In this work, polyurethane (PU) was prepared by polyol and diisocyanate sol gel polymerization with weight composition of 5 : 1 (Isnani et al, 2013; Masturi et al, 2016), while the density of solid waste (in pressed condition), nanosilica and PU was obtained about 0.902 g/cm³, 2.648 g/cm³ and 1.530 g/cm³ respectively to obtain their volume fraction (Fig. 1). The effect of polyurethane addition into the solid waste particles can be explained in the term of the improvement of interaction area. Even though pressed under high pressure, prior to polyurethane presence as a binder the pristine

solid waste still have many pores corresponding to brittleness of the composite. The presence of PU is to fulfill the pores so the interaction area improves. In addition, the polymer without filler has low mechanical strength and stiffness because its chains are still pliable and free to move. Having added solid waste particles, polymer chains become stiffer and as a result the composite strength increase too.

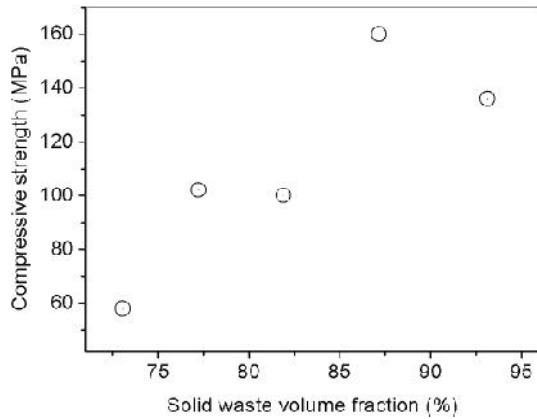


Figure 1. The compressive strength as function of solid waste volume fraction (%vol). Maximum strength of 160 MPa was observed for solid waste fraction of 87.15%vol.

The occurrence of maximum compressive strength due to solid waste presence (Fig. 1) can be understood as result of the appearance of contacts between particle surfaces and PU [10]. As fraction of solid waste increases, the compressive strength increases too, however, at higher fraction of solid waste, contacts between particles causing brittleness appear and absolutely reduce the fraction of contacts between particle and polymer. As a result, the compressive strength decreases. In this work, the optimum volume fraction of solid waste is 87.15% with compressive strength obtained was 160 MPa.

To enhance further the compressive strength, nanosilica was added into the optimum fraction above. Figure 3 shows SEM image of silica demonstrated that the particles are spherical shape with the average diameter is 74 nm (Masturi et al, 2011(b)). As its excellent mechanical strength, the addition of nanosilica affects to the composite compressive strength improvement (Gan et al, 2008). As the fraction of nanosilica increases, the compressive tends to increase until its optimum fraction. The addition of nanosilica above the optimum fraction reduces the compressive strength-produced as result of appearance of interfacial or contact

area between silica particles (Lee et al, 2005).

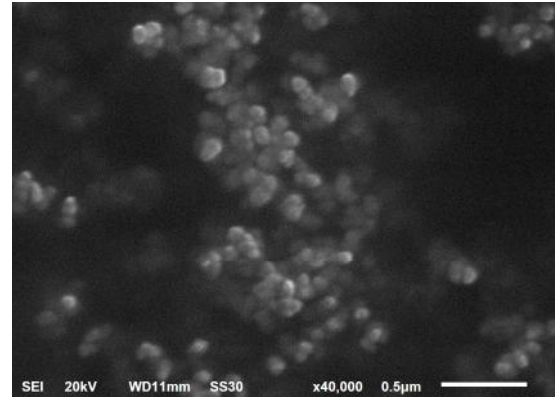


Figure 2. SEM image of nanosilica with the average diameter is 74 nm

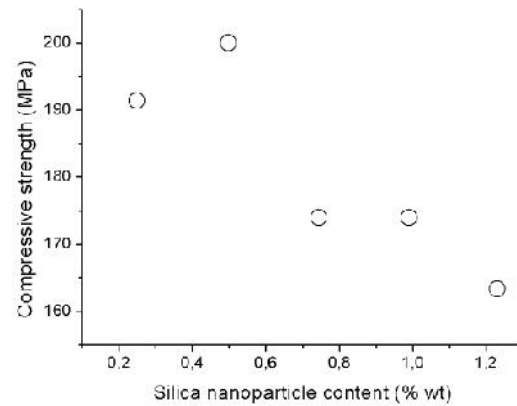


Figure 3. The compressive strength tends to improve as nanosilica loading (%wt). At nanosilica fraction of 0.497%wt, a maximum compressive strength of 200 MPa was obtained.

For all fraction of the nanosilica, the compressive strength of the composite increases owing the occurrence of contact between particle (silica) and polymer (Fig. 2). A maximum strength of 200 MPa was obtained for fraction of nanosilica of 0.496% g/g or increases about 23% compared to composite without nanosilica. This strength was better than that have been done, such as agriculture-nanosilica composite (57 MPa) [3] and solid waste-polyvinyl acetate (PVAc)-nanosilica composite (85 MPa) (Masturi et al, 2011(a)) and leaves waste-polyurethane (PU)-silica composite (70.5 MPa) (Masturi et al, 2011(b)). The strength was also better than that of some bricks and stones such as slate with sandstone (151.6 MPa), silty slate (132.7 MPa), limestone (80.2 MPa), dolomite (100 MPa) and some concretes with Portland cement having strength of 52.5 Mpa (Sastre et al, 2008; Moh'd, 2009; Chang et al, 2006; Alilou & Teshnehab, 2010).

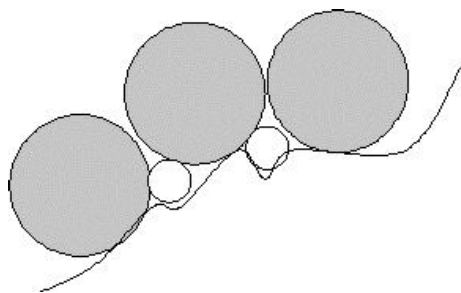


Figure 4. Illustration of polymer (*line*), solid waste (*gray-large circle*) and nanosilica (*white-small circle*) position in the composite. Because of the far smaller size, nanosilica can fill to the void of polymer and solid waste and ultimately enhance the contacts amount of the composite.

The occurrence of the enhancement strength can be understood in the term of the occurrence of interfacial area or contacts between silica and polymer, moreover the silica with far smaller size than solid waste particles may enter and fill to the void of PU-solid waste (Fig. 4). Even, at lower content, the nanosilica is dispersed by the water especially onto the carbonyl and amine groups of PU to form hydrogen bridges [12] governing the strength improvement of composite due to hydrogen interaction appearance between oxygen of silica and the active groups of PU (Hunt, 2008; Volkov et al, 1990), even they may form new covalent bonding due to temperature and pressure during hot-pressing process. The interaction also occurred between silica and some atoms of the polymer, such as C-N and C-O connected by the hydrogen bridges (Fig. 5). The appearance of all interactions above was further confirmed by FTIR Spectroscopy.

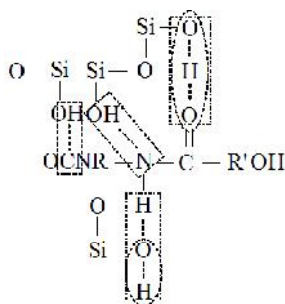


Figure 5. Van der Waals interaction between oxygen atoms of silica and some atoms in the active groups of PU (*dashed square*), and some hydrogen bridges occurred in the composite (*dashed ellips*). Both types of the interaction are very dominant in the enhancement of the composite compressive strength (Volkov et al, 1990).

The spectra were observed only from PU, nanosilica and PU-nanosilica composite (Fig. 6). Prior to PU and nanosilica mixed, in PU spectra, the peaks of 3328.9, 3126.4 and 2258.5 cm^{-1} and the peaks of 1508.2, 1595.0 and 1656.7 cm^{-1} originated respectively from amine group (N-H) from carbonyl (C=O) group (Fig. 6(a)). In addition, the appearance of peaks at 759.9, 812.0, 960.5 and 1109.1 cm^{-1} originated from C-C and C-N bondings. Meanwhile, in silica spectra the Si-O bonding was observed at the peaks of 806.3 and 1109.1 cm^{-1} (Fig. 6(b)). The occurrence of 3444.9 cm^{-1} is believed from O-H bonding of water attached in the silica owing hygroscopic condition.

As mixed with silica, some amine spectra of PU is shifted, i.e. from 3328.9 to 3402.2, from 3126.4 to 3130.3 and 2842.8 to 2848.7 cm^{-1} (Fig. 6(c)) As well, a peak of carbonyl, i.e. from 1595.0 to 1596.9 cm^{-1} and some peaks of C-C and C-N spectra, i.e. from 960.5 to 962.4 and 759.9 to 758.0 cm^{-1} are also shifted significantly and indicates that the effect of nanosilica addition in improving the composite strength is significant too. Microscopically, the occurrence of strength improvement is related to an energy perturbing active groups of PU and other bondings due to silica addition. This energy absolutely is a weak energy as shown from the small shift of the peaks and usually called as van der Waals potential (Hunt, 2008). This approach has been successfully done for the polyvinyl acetate-silica composite explanation (Masturi et al, 2011(a)).

Particularly, for the PU-silica composite the van der Waals interaction can be estimated from measuring the PU peaks shifting due to silica addition. Keeping this in mind and treating the relation (Tan et al, 2007): $E = hc\kappa$ where h is Planck constant ($\sim 1.05 \times 10^{-34}$ J.s.), c is speed of electromagnetic wave ($\sim 3 \times 10^8$ m/s) and κ is wave number of the bonding vibration (peak of the bonding), we find the van der Waals energy as: $\Delta E = hc\Delta\kappa$ where $\Delta\kappa$ is the shifting of peak due to interaction appearance. From the argument, the van der Waals interaction between silica and amine and carbonyl groups respectively is 1.64×10^{-3} eV and 3.76×10^{-5} eV, while for C-C and C-N bondings the total van der Waals interaction is 7.51×10^{-5} eV.

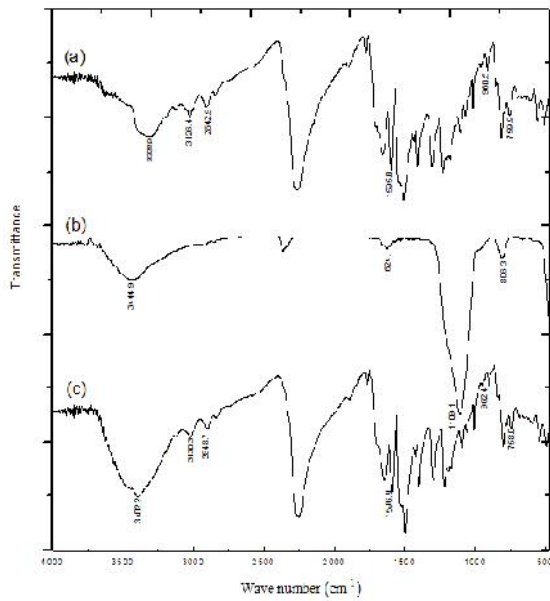


Figure 6. Spectra of (a) PU, (b) nanosilica and (c) PU-nanosilica composite. The small shifts observed at some spectra of PU due to silica addition indicates the occurrence of van der Waals interaction governing the strength enhancement.

Keeping the results above in mind, as far we can estimate the distance occurred between the atoms in the composite. Using Lennard-Jones relation (Krishnamurthy et al,

2006): $E_{vdW} = 4\epsilon((\sigma/r)^{12} - (\sigma/r)^6)$. With data of several equilibrium bonding energies of several materials [21], i.e $\epsilon_{HH}=3.18 \times 10^{-3} \text{eV}$, $\epsilon_{CC}=2.86 \times 10^{-3} \text{eV}$, $\epsilon_{NN}=3.00 \times 10^{-3} \text{eV}$, $\sigma_{OO}=3.36 \text{ \AA}$, $\sigma_{HH}=2.93 \text{ \AA}$, $\sigma_{CC}=3.47 \text{ \AA}$ and $\sigma_{NN}=3.32 \text{ \AA}$ and using the Lorentz-Berthelot relation: σ_{ab}

$= (\sigma_{aa} \sigma_{bb})/2$ and $\epsilon_{ab} = \sqrt{\epsilon_a \epsilon_b}$ (Rouhaa & Nezbeda, 2009), furthermore the distances between oxygen of silica and hydrogen of amine group and between oxygen of carbonyl group and hydrogen bridge connecting silica and the oxygen (Fig. 4) can be estimated as respectively about 3.11 Å and 3.14 Å. As far, the distance of hydrogen bridges of silica to oxygen of C-O and nitrogen of C-N is respectively about 3.41 Å and 3.12 Å. Even though all the distances among the atoms were smaller than that of the equilibrium distances, it was believed there is no new bonding. This argument was confirmed by the absence of new peak occurring due to silica addition.

The compressive strength was also governed by temperature and pressure while fabrication. The involving of pressure physically

makes the polymer to enter and fill to the pores of solid waste easily so the polymer distribution in the composite spreads more uniform and the distance among polymer, solid waste particles and silica particles becomes closer (Baldan, 2004). In this condition, the compressive strength-produced was larger as result of the more contacts between fillers (solid waste particles and nanosilica) and polymer and the greater van der Waals interaction (Lefevre & Joviet, 2009), meanwhile, the heat role can be understood in the term of the polymer viscosity decreasing as the increasing of temperature (Matyka et al, 2008). As the viscosity decreases, the polymer impregnation is more spread evenly so the amount of interaction area between particles and polymer is larger and as a result the compressive strength improves too.

As far, beside high compressive strength, this composite is also very lightweight material. With the density of 0.7 g/cm³, it is very comparable to some woods usually used for building materials, such as Jati (*Tectona grandis*) and Mahoni (*Swietenia macrophylla*) woods having densities of 0.8 g/cm³ and 0.7 g/cm³ respectively (Soewarsono, 1990; Martawijaya, 1992). In conclusion, with the height of the compressive strength and the lightweight of the density, this composite is very adequate to be applied as building materials. Therefore, the utilization of the composite in a massive-scale promises solution not only for solid waste problem in several cities, but also for deforestation activity as result of high use of the woods.

CONCLUSION

A solid waste-polyurethane (PU) composite was synthesized by simple mixing and hot-press methods with nanosilica as reinforcement to improve the compressive strength. The solid waste is consisting of paper and dried leaves. The temperature and pressure of hot-press operated were 5 metric tons and 80°C respectively for 20 minutes. Prior to nanosilica addition, a maximum compressive strength of PU-solid waste composite is 160 MPa for solid waste volume fraction of 87.15% that called the optimum volume fraction. For further strength, into the optimum fraction of solid waste and PU, nanosilica with average diameter size of 74 nm was added and obtained a maximum compressive strength of 200 MPa for nanosilica fraction of 0.496% wt or increases about 23% of that without nanosilica. This strength was better than that of composite have been produced,

such as agriculture waste-silica composite (57 MPa), solid waste-PVAc-nanosilica composite (85 MPa) and some stones such as slate with sandstone (151.6 MPa), silty slate (132.7 MPa), limestone (80.2 MPa), dolomite (100 MPa) and some concretes with Portland cement (52.5 MPa). The strength enhancement due to nanosilica addition was corresponding to the van der Waals interaction occurred between nanosilica and PU where its magnitude was briefly shown by Lennard-Jones potential relation and the peaks shifting of the FTIR spectra. The composite was also measured its density and obtained the density is about 0.7 g/cm³, that is very lightweight and comparable to Jati (*Tectona grandis*) and Mahoni (*Swietenia macrophylla*) where their densities are 0.8 g/cm³ and Mahoni 0.7 g/cm³ respectively. Thus, the composite is very adequate and potential for building material application to compete the woods since it has adequate strength and lightweight.

ACKNOWLEDGEMENT

We thank to the Research, Technology and Higher Education Ministry of Indonesia via State University of Semarang for the funding this research with the University Leading Grant Research for fiscal years of 2015/2016.

REFERENCES

- Alilou V.K., Teshnehlab M. (2010). Prediction of 28-day compressive strength of concrete on the third day using artificial neural networks, *Int. J. Eng.*, **6**, 565 – 576.
- Baldan A. (2004). Review adhesively-bonded joints and repairs in metallic alloys, polymers and composite materials: adhesives, adhesion theories and surface pretreatment, *J. Mater. Sci.*, **39**, 1 – 49.
- Chang C., Zoback M.D., A. Khaksar A. (2006) Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks, *J. Petroleum Sci. Eng.*, 223–237.
- Gan Y.X. (2009). Effect of interface structure on mechanical properties of advanced composite materials, *Int. J. Mol. Sci.*, **10**, 5115-5134.
- G. Lefevre G., Joviet A. (2009). Calculation of Hamaker constants applied to the deposition of metallic oxide particle at high temperature. *Proc. Int. Conf. Heat Exchanger Fouling Cleaning VIII*, Schlading, Austria, 2009, pp. 120 – 124.
- Hadiyawardman, Rijal A., Nuryadin B.W., Abdullah M., Khairurrijal. (2008). Fabrication of super-strong, lightweight and transparent nanocomposite materials using simple mixing method, *J. Nanosains Nanoteknologi*, **1**, 15 – 21.
- Hunt A., (2008). *Complete A-Z Chemistry Handbook, 3rd edn*, Hoddler, London.
- Isnaeni V.A., Arutanti O., Sustini E., Aliah H., Khairurrijal, Abdullah M. (2013). A novel system for producing photocatalytic titanium dioxide-coated fibers for decomposing organic pollutants in water., *Environ. Progress Sustainable Energy*. 32(1), 42-51.
- Khudiyakov I.V., Zopf R.D., Turro N.J. (2009). Review: Polyurethane Nanocomposites, *Designed Monomer Polym.*, **12**, 279–290.
- Krishnamurthy M., Murad S., Olson J.D. (2006). Molecular dynamics simulation of Henry's constant of argon, nitrogen, methane and oxygen in ethylene oxide, *Mol Simul*, **32**, 11–16.
- Kumagai S., Sasaki J. (2009). Carbon/silica composite fabricated from rice husk by means of binderless hot pressing, *Bioresource Technol.*, **100**, 3308–3315.
- Lavorgna M., Cerruti P., Casula G., Iannace S., Harper J.F. (2007). Curing characteristics and mechanical properties of carbon fiber-interlayered fabric composites based on a polyurethane matrix, *Adv. Polym. Technol.*, **26**, 132 – 145.
- Lee S.I., Hahn Y.B., Nahm K.S., Lee Y.S. (2005). Synthesis of polyether-based polyurethane-silica nanocomposites with high elongation property, *Polym. Adv. Technol.*, **16**, 328–331.
- Maafi E.M., Malek F., Tighzert L., Dony P. (2010). Synthesis of Polyurethane and Characterization of its Composites Based on Alfa Cellulose Fibers. *J Polym Environ*, **18**, 638-646.
- Martawijaya A. (1992). *Indonesian Wood Atlas Vol.* Departemen Kehutanan RI, Bogor.
- Masturi, Abdullah M., Khairurrijal. (2011a). High compressive strength of home waste and polyvinyl acetate composites containing silica nanoparticle filler, *J Mater Cycles Waste Manag*, **13**, 225-231.
- Masturi, Aliah H., Aji M.P., Sagita A.A., Bukit M., E. Sustini, Khairurrijal, Abdullah M. (2011b), Effect of silica nanoparticles on compressive strength of leaves-waste composite, *AIP Conference Proc.*, **1415**, 90 - 93.
- Matyka M., Khalili A., Koza Z. (2008). Tortuosity porosity relation in porous media flow, *Phys. Rev. E*, **78**, 0263061 – 0263068.
- Moh'd B.K. (2009). Compressive strength of vuggy oolitic limestones as a function of their porosity and sound propagation, *Jordan J. Earth Environ. Sci.*, **1**, 18-25.
- Rouhaa M., Nezbeda I. (2009), Non-Lorentz-Berthelot Lennard-Jones mixtures: A systematic study, *Fluid Phase Equilibria*, **1**, 42–48.
- Sastre M.A.R., Clavero M.G., Alonso M.T. (2008). Relationship between cleavage orientation, uniaxial compressive strength and Young's modulus for slates in NW Spain, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, **67**, 181-186.

- Soewarsono P.H. (1990). *Specific Gravity of Indonesian Woods and Its Significance for Practical Use*, Departemen Kehutanan RI, Bogor.
- Tan H., Jiang L.Y., Huang Y., Liu B., Hwang K.C. (2007). The effect of van der Waals-based interface cohesive law on carbon nanotube-reinforced composite materials, *Compos. Sci. Technol.*, **67**, 2941–2946.
- Türüñç O., Apohan N.K., Kahraman M.V., Mencelöglü Y., Gungör A. (2008). Noniso-cyanate based polyurethane/silica nanocomposites and their coating performance, *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, **47**, 290 – 299.
- Volkov A.V., Myasnikova N.A., Kolesnikov V.I., Konovich M.Z. (1990). Molecular interaction in composite materials based on polycapraamide and epoxy resins (Transl.), *Mekhanika Kompozitnykh Materialov*, **3**, 398–402.

THE DEVELOPMENT OF AIR-THEME INTEGRATED SCIENCE TEACHING MATERIAL USING FOUR STEPS TEACHING MATERIAL DEVELOPMENT

PENGEMBANGAN BAHAN AJAR IPA TERPADU TEMA UDARA MELALUI FOUR STEPS TEACHING MATERIAL DEVELOPMENT

Arifin, A. Sjaeful

Program Studi Pendidikan IPA Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia

Diterima: 12 Oktober 2015. Disetujui: 28 Desember 2015. Dipublikasikan: Januari 2016

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan, menguji kelayakan, memaparkan karakteristik, dan menguji keterpahaman bahan ajar IPA terpadu pada tema udara untuk siswa SMP kelas VII melalui Four Steps Teaching Material Development (4S TMD). Penelitian dengan metode Research and Development (R&D) ini dilatar belakangi oleh tidak tersedianya bahan ajar IPA SMP yang disajikan secara terpadu melalui tema udara. Pengembangan bahan ajar IPA terpadu tema udara terdiri dari tahap seleksi, strukturisasi, karakterisasi dan reduksi didaktik. Berdasarkan uji kelayakan, bahan ajar telah memenuhi aspek kelayakan isi, kelayakan penyajian, kelayakan bahasa dan kelayakan kegrafikan. Karakteristik bahan ajar meliputi kedekatan tema bahan ajar dengan siswa, dan kesesuaian bahan ajar dengan standar BSNP. Berdasarkan uji keterpahaman, bahan ajar telah memenuhi aspek keterpahaman dengan kategori tinggi. Hasil penelitian ini adalah bahan ajar IPA terpadu berupa buku dengan tema udara yang telah melewati empat tahap pengembangan yang dapat digunakan sebagai bahan ajar pendamping pembelajaran IPA.

ABSTRACT

The purposes of this study are to develop, to test the feasibility, to describe the characteristic, and to test the students understanding about integrated science teaching material about air using Four Steps Teaching Material Development (4S TMD). The Research and Development method was use to develop integrated science teaching materials which is involving all science perspectives that are not presented in junior high school science book. The air theme was chosen in this study since it can be explained using biology, chemistry, physics, and earth and space science perspectives. Development the teaching materials was consists of selection, structuring, characterization, and reduction didactic steps. Based on the of feasibility test results, the teaching material is qualified in content, presentation, language, and graphic feasibility aspects. The characteristic of this teaching material expose the closeness theme with student daily lifes and its compatibility with National Books Standard. Based on the understanding test results, the teaching material is qualified in understanding aspect with high category. It can be concluded that the teaching material qualified to be used as supplement teaching material of science learning.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: teaching material, integrated science, theme of air, 4S TMD.

INTRODUCTION

According to the Regulation of National Education Minister No. 22 of 2006, biology, physics, chemistry, and earth and spaces scien-

ce should be integrated as science learning. Through an integration of science learning, students are expected to learn about science comprehensively and to gained significant experience with activities that are more efficient and effective. Integrated science teaching gives students an opportunity to understand the nature surrounding with more experiences, because in integrated science students have

***Alamat Korespondensi:**

Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154 Jawa Barat - Indonesia
E-mail: arifinmas11@gmail.com

opportunities to learn science through several disciplines.

The substance of science subjects in junior high school is an Integrated Science (Regulation of the National Education Minister No. 23 of 2006 concerning curriculum structure). Therefore, science should be taught as a subject in their entirety or integrated, and should not be separated between biology, physics, chemistry, and earth and space sciences. It was intended to junior high school students can recognize science as a science that is more intact. In the development of integrated science teaching materials, the whole theme or issue of science on various types of objects and levels of the organization can be used as learning materials.

Integrated learning model is one of learning model in the the curriculum implementation of 2013 recommended to be applied at all levels of education, from elementary through high school levels. The learning model is basically a learning approach that allows students either individually or in groups actively seek, explore, and discover the concepts and principles that are holistic and authentic. Based on the results of research in Muqoyyanah, et al. (2010), integrated science teaching is more efficient in terms of time on the subject rather than the teaching of science separately.

In fact, the science teachers at the junior high school science teaching have not carried out in an integrated manner. Learning science is still held separately between physics, chemistry, and biology. One of the obstacles that lead teachers have not applied in an integrated science teaching is that the book provided by the government has yet to present an integrated science and the limited ability of teachers to design teaching materials integrated science (Kumala, 2013).

Based on observation, learning resources used by teachers in schools are still in the form of books published by the government, the Student Worksheet from deliberation subject teachers, and some relevant books from particular publishers. Teaching materials used by teachers of junior high school is not present in an integrated science. Integrated science teaching materials used by teachers is a collection of teaching materials of study chemistry, biology, and physics are used in the book. If viewed in terms of content, between chemistry, physics and biology there are still no relation to one another.

Based on the results of several studies

that have been done, the integrated science teaching shows a positive effect on student learning outcomes. Results of research conducted by Listyawati (2012) revealed that the development of the integrated science in junior high school can improve student learning outcomes. Something similar is obtained by Kumala (2013) who found that the development of the integrated science teaching can improve students' understanding and performance. Research conducted by Yuliati (2013) found that the integrated science is an effective teaching material in improving students' higher-order thinking. Furthermore Yuliati advises science teachers to use integrated science teaching materials as one of teacher and student study guide. The use of integrated science teaching materials needs to be adapted to the curriculum used in the school. The adjustment relates to the incorporation of some basic competence from different semesters. Therefore, when designing the syllabus for teaching science, teachers should assess related basic competencies and form the theme and customize the theme of integrated science teaching materials. Based on some of the results of these studies it is clear that learning science in junior high school should be done in an integrated manner, so that the development of integrated science teaching materials is essential to keep the integrated sciences teaching can be accomplished.

One way is to use the science combines webbed models. Webbed model is an integrated learning model that uses the theme as the basis for learning. This learning model combines the various disciplines or the various subjects which are bound by one theme (Fogarty, 1991). This learning is a model that tries to combine several subjects through one theme. So in junior high school, science is no longer separated into aspects of physics, chemistry aspect, or aspects of biology.

Presentation of concepts in integrated science were started from the phenomena of nature which is close to the students' daily life and assisted with the theories of science. Decision of chosen phenomenon should be close to the students daily life was directed so that students can more easily understand the material. The contextual phenomenon can also increase students' motivation to learn science. Phenomenon is the basic knowledge for students in studying science. Science teaching materials presented with the real problems and deliver contextual learning can facilitate the implemen-

tation of the science learning (Lang & Olson, 2000). Air theme is one theme that is close to the students. Humans live in the bottom layer of the atmosphere which called the troposphere. Symptoms of atmospheric and weather occur at this layer. The proximity of the air theme with the daily life of students is expected to increase students' motivation to learn science and students more easily understand it.

In order to support the achievement of learning and teaching optimally, teaching materials is a component that is very important and needs special attention. There are still a lot of teaching materials that the spread and the depth of the material is not in accordance with the level of development of students so that not easy to be understood by the students (Anwar, 2014). Development of integrated science teaching materials in junior high school should also consider the level of breadth and depth of the material; the truth of the material; the structure of matter; as well as the graphic aspects and presentation of the material. In the processing of materials, there are four steps that must be taken before the instructional materials feasible to be delivered to students. The four-steps are selection process, structure, characterization, and reduction which is called Four Steps Teaching Material Development (4S-TMD). This process is the stage of how the teaching materials processed, prepared, and presented by the teacher as teaching materials or ready studied by students as self-teaching materials (Anwar, 2014).

The purpose of this study was to develop and to obtain integrated science teaching materials on the theme of air using a four-step development of teaching materials (4S-TMD).

METHODS

This research was designed by using Research & Development (R & D) method. The research focused on process and product development of integrated science teaching materials using theme of the air through a four-step development. The research instrument used in this study consists of five instruments: (1) instruments of suitability in concepts, indicators and core competencies; (2) instrument of suitability in map-concept, macro-structure, and systematic of teaching materials; (3) instruments of characterization of the concept; (4) instrument test of the feasibility of teaching materials; (5) instrument test of students

understanding about teaching materials. The tests used in the characterization stage of the concept were in the form of multiple choice questions and test of writing ideas. The study involved five experts in the selection and structuring; 99 students at the stage of characterization of the concept; and 12 junior high school teacher in eligibility test of teaching materials.

The data obtained from the development then be analyzed to produce a conclusion. Data analysis is broadly divided into two parts, namely data analysis results from concept characterization and data analysis from feasibility teaching materials as well as students understanding about teaching materials. Data analysis from the characterization phase aims to identify the concepts that are difficult to understand by students. The results of the data analysis phase of characterization became the basis for the reduction process, namely reduction of the level of difficulty concept. Analysis of data from feasibility testing of teaching materials aimed to investigate the characteristics of teaching materials in terms of appropriateness of content, presentation, linguistic, and graphically. Analysis of test data students understanding aims to determine the category level of difficulty of teaching materials. The analysis was performed by calculating the correct answers from the main idea and then dividing it with the overall main idea then multiplied by 100% based on the following formula:

$$K = \frac{Jb}{S}$$

with:

K = level of understanding

Jb = average student correctly answered the main idea;

S = Number of students

From the scores obtained, grouping data of understanding the text is done by Rankin and Culhane categories:

Table 1. Criteria in understanding the text

K	Level of understanding
$60 < K \leq 100\%$	High (Category Independent)
$40 < K \leq 60\%$	Medium (Instructional category)
$K \leq 40\%$	Low (Category Difficult)

RESULTS AND DISCUSSION

Development of integrated science teaching materials on the theme of air have done by using 4S-TMD includes four main stages, namely the selection, structuring, characterization and reduction. The exposure of the results of each of these stages are as follows.

Selection Stage

At this stage, development of indicators was derived from the basic competence that fit with the theme of air which were based on analyzing of the core competence and basic competence (BC) associated with air. Indicators that have been compiled then developed into a description of a concept that refers to several textbooks. Description of BC, indicators,

and the concept selection phase results then validated by five experts. This validation aims to see: (1) the suitability of BC indicators; and (2) the suitability of the concept by indicators. Competence is taken in the selection phase consists of six core competencies were developed into 31 indicators. After completed the validation process and consider the advice of the valuator, the indicator increased to 32 rounds. Of the 31 indicators organized, mostly rated valid by the valuator and are in accordance with the basic competencies are taken. Description The concept was developed based on indicators and quoted from several textbooks declared valid by all valutors. In the selection phase, the obstacles encountered is difficulty in developing operational indicators with consideration of achievement of KD on

Table 2. Systematic Teaching Materials

Chapters	Sub Chapters	Contents
The air and its constituent components	The definition of	Evidence of the presence of air Properties of air
	The air component	Gas compositions in the air Elements and compounds in the air
	The air as a homogenous mixture	Concept of mixture Types of mixture
	Understanding the wind	Definition of wind Naming the wind
Wind	The process of wind	Source energy of wind Heat convection Air pressure
	Factors influence the direction of wind motion	Air temperature Heat and specific heat of earth surface Wind benefits for plants
	Benefits of wind	Wind benefits for animals Wind benefits for humans
	Energy transformation in living being	Respiration Photosynthesis
Air and Life	Air as the protector of living things	Protector of the space objects Protector of UV radiation Protector of extreme temperature
	The role of air on the weather cycle	Physical changes
	Understanding air pollution	Definition of air pollution The sources of air pollution
Air pollution	The impacts of air pollution	Acid rain Depletion of ozon layers Greenhouse effect The direct impact on humans

teaching materials and linkages indicators on the theme of air. As a result, the indicators developed cannot fully explore the KD selected. The results in the selection are the description of the concept of the development of indicators that have been validated by experts.

Structuring Stage

At this stage, the description of the concept resulted from selection process is based on scientific structure taking into account the cognitive structure to be built on students. Scientific structure of matter/concept was developed through the preparation of the macro-structure by considering didactic elements to make students more easily understand the teaching materials. The cognitive structure of students through the preparation of concept maps constructed by considering the hierarchy of the concepts included in teaching materials. A prepared teaching material has been developed and consists of four chapters with each of chapters related to the air theme. Systematic of prepared teaching materials with the air theme were shown in Table 2.

According to Ausubel (Dahar, 1996) in order to achieve meaningful learning, the teacher must know the concepts that have been owned by the students. Novak suggested that concept maps are one way of knowing. Ausubel theory about learning underlies the emergence of the idea of a concept map, according Dahar (1996) concept maps are used to express meaningful relationships between concepts in the form of propositions (two or more concepts a concept linked by words in a semantic unit).

Making concept maps in the structuring phase aims to help students build the cognitive structure of students in the subject matter or concepts to be learned. Preparation of a concept map is a process that involves identifying the concepts of a subject matter and arrangement of these concepts. In its simplest form, a concept map consists of only two concepts are connected by the conjunctions to form a proposition. In concept maps can be observed how one concept related to another concept.

To control the work of writing the whole text of teaching materials (textbooks), each chapter or subject teaching material was analyzed and mapped into the model text representation in the form of macro structures. The macro-structure is a two-dimensional model, i.e. the dimensions and dimension progression elaboration. Dimensions mapped progression down while the elaboration dimension map-

ped to the side (Setiadi, 2014). The structures shows the macro function and maintain the clarity of the relationship between textual units and accuracy of the material structure of science subjects represented in varying degrees. Criteria accuracy is achieved through the application of discourse in the dimensions of progression, while the criteria of clarity are achieved through the function explanation of the subject matter in dimensions elaboration.

Air theme is a theme that its scope is quite broad, resulting in a decrease in the macro-structure for teaching materials divided into four macro-structures based on the division of teaching science through integrated chapter. The air theme in science presents the material that starts from the phenomenon then narrowed to the conceptual abstract concept. Therefore, to make students more easily understand the material intact from the concrete to the abstract, the teaching materials presented with various representations. Representation is a configuration (shape or composition) that can describe, represent or symbolize something in a way (Goldin, 2002). Representation is something that represents, describe, or symbolize objects and/or processes. Multi representation is representing the same concept in a different format, including verbal, images, graphics, and mathematics (Prain & Waldrup, 2007). It can be concluded that multi representation is a way to express a concept through various forms.

In terms of level of representation, there are three levels of representation, namely the level of macroscopic, microscopic and symbolic level. The level of representation in the form of macroscopic phenomena was observable by the senses. Microscopic Level refers to the qualitative representation of a concept or the material presented. Level can be a symbolic representation in the form of symbols, mathematical equations, diagrams, graphs, images and others. Development of teaching materials is conditioned theme uses three levels of representation. Multi representation has three main functions (Ainsworth, 1999), namely as a complement, limiting the interpretation and understanding of the builder. The first functions, multi representation used to provide a representation that contain supplemental information or help completing the cognitive processes. Secondly, the representation is used to limit the possibility of interpretation error in using another representation. Third, multi representation can be used to encourage students to build in-depth understanding of the situation.

The results of the preparation of teaching materials theme multi representation in the air are three levels of representation of the concepts of selection results. The results of the preparation of the next multi representation combined with concept maps and macro-structure to be a draft of teaching materials in their entirety.

The final results of the structuring phase are teaching material that has been structured by considering the integration and multi representation of the concept. A difficulty in the structuring phase is to develop an integrated concept of the macro-structure of physics, biology, chemistry, as well as earth and space science. Every concept has a different character, when viewed in terms of its multi representation. In preparation multi representation, difficulties encountered when drawing a concept into levels of representation.

Characterization Stage

At characterization step, the concepts that have been restructured then tested to 99 students through characterization instruments. Samples were taken purposively. Sampels of 99 students drawn from three classes, namely from the excellent class, medium class and low class. Class category featured, medium and low. At this stage, the paragraph with a percentage of less than 67% included in the reduction step didactic. The number paragraphs that should be reduced are listed in Table 3 as follows.

Table 3. Number of paragraph should be reduced

Chapter	I	II	III	IV
Number of paragraph should be reduced	11	7	4	7

From the results of characterization and analysis of the paragraphs which must be reduced by a few facts related paragraphs are categorized difficult, namely: (1) paragraph explaining abstract concepts; (2) paragraph explaining the concept in the text with a complex structure; (3) paragraph explaining the concept without an example; (4) paragraph explaining concepts without accompanying picture.

At this stage of characterization it is found that the students have difficulty in understanding the description of the concepts presented only with text, so the need for a reduction in the level of difficulty concept (reduction in didactic) through multi representation of the

concepts presented to build understanding (Ainsworth, 1999). Representation in the form of images and text must be incorporated into the manufacture of textbooks in order to create effective communication (Vinisha & Ramadas, 2013). Their multi representation can effectively build and strengthen students' understanding of science (Adadan, 2013). Based on these facts subsequently lattice reduction as a basic didactic reduction was arranged. Lattice reduction didactic prepared taking into account the character of the concept of implied or explicit in each paragraph, namely: (1) If the concept is complex, the lattices were structured to simplified the concept through particular and generalize mechanism; and (2) If the concept is abstract, the gratings are arranged to be able to concretize the concept through images, symbols, example or analogy.

Obstacles encountered in this stage are the inability of students to determine the main idea and 'lack of students in working on characterization instruments. In connection with these constraints, the anticipation is done so that results are not biased by not using the data from students who are not serious about a given instrument.

Reduction Stage

At this stage, the draft of the teaching materials has been prepared as a result of the structuring phase is then reduced by grating obtained in step characterization. Reduction step is a step to reduce the level of difficulty concept. Reduction performed per paragraph. Paragraph which was reduced is a paragraph that is quite difficult to be understood by students. Criteria paragraph elusive by the students are (1) the paragraph at least be answered correctly by students on writing the main idea; (2) paragraphs are classified into paragraphs that are difficult to understand by the students; (3) at least answered correctly by students on their multiple choice questions.

In this study, the paragraph which entered the reduction is a paragraph that meets at least two criteria. The reduction of the level of difficulty in the concept phase reduction is carried out in several ways, including (1) the annotations in the form of images, symbols, sketches and experiments; (2) use of analogies; (3) generalization; and (4) particular machanism. After paragraph with elusive has been reduced, re-arranged into paragraphs instructional materials intact. The result of the reduction step is teaching material in the form of a book called

air that consists of four chapters. The last stage of this research is to test the feasibility of a book that refers to the criteria listed by the National Books Standards. The results of the feasibility test of feasibility aspects of the content of the book are presented in Figure 1.

There are nine aspect examined in the feasibility test content, namely: (1) the scope to test the suitability of the concept by KI and KD; (2) the accuracy of the material to test the concept of truth; (3) recency to test concepts and references recency; (4) productivity insight to test the content of elements encouraging students; (5) curiosity to examine the efforts of teaching materials to foster the curiosity of students; (6) life skills to test teaching material attempts to dig skills students; (7) diversity insight to examine the content of the values on teaching materials; (8) contextual insight to test the suitability of the examples on teaching materials to the environment; (9) coherence to test the integration of teaching materials. Based on the contents of teaching materials due diligence air theme, found that of the nine aspects assessed, seven aspects are rated according to all evaluators and the two aspects are considered not suitable by some evaluators i.e. on the content aspect of productivity and insight into the development of life skills. Revision of teaching materials is done in order to meet the teaching material aspects of productivity and development of life skills is through the addition of activities (Mini Project) at the end of each chapter.

Test the feasibility of languages includes seven aspects: (1) the suitability of language with the cognitive development of students; (2) communicative; (3) and interactive dialogue; (4) straight forward; (5) coherence; (6) the rules

of the language; (7) the consistency of terminology and symbols. Based on the test aspects of language teaching materials, found that in general from seven aspects of language has been valued according to all teachers. There are three aspects of language that gets criticism from teachers, namely conformity with the development of learners, candor sentence, and compliance with the rules of language. Revisions were made in order to fulfill this aspect of teaching materials is to simplify the structure of the sentence on teaching materials. The results of due diligence on the feasibility aspect language books more is presented in Figure 2.

Based on the due diligence aspect of teaching materials, the results presenting that the air theme in general all evaluators have met to assess three aspects of the presentation. Of the four indicators that relate to the presentation techniques, two indicators were assessed according namely the systematic consistency of presentation and the logic of presentation. While the coherent of the concept indicators, five of the 12 teachers assess that teaching materials do not meet the coherent aspect in presenting the concept. Revisions to respond to the assessment and the advices of five teachers were made by changing the order of chapters. The chapters in the book then transposed by considering the closeness of the sub theme of each chapter with students concepts. Thus the chapters in teaching material are ordered as (1) Air and Life; (2) Wind; (3) Components Air Compiler; and (4) Air Pollution. The results of the presentation of the feasibility test are presented in Figure 3.

Proponet aspects of the presentation of the material in the indicator relating to the introduction to the use of books judged to be

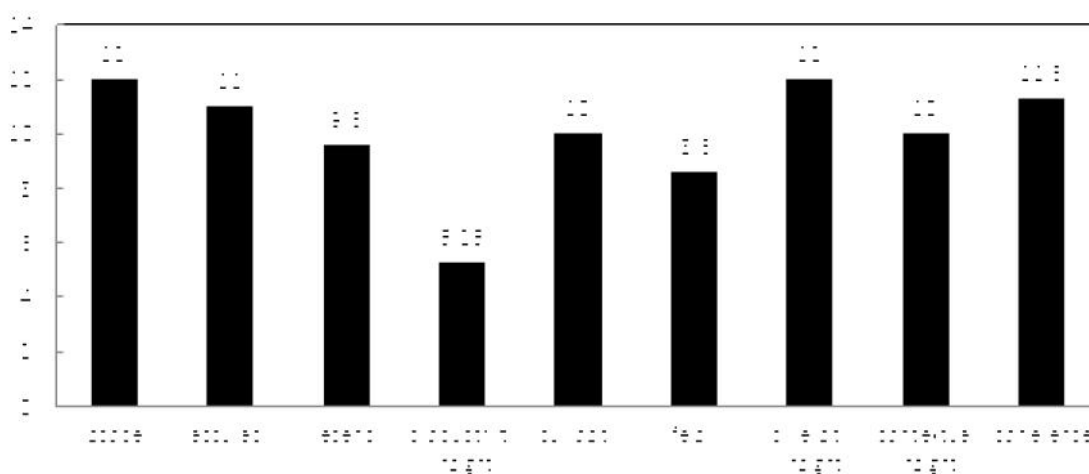


Figure 1. Graph of Content Feasibility Scores

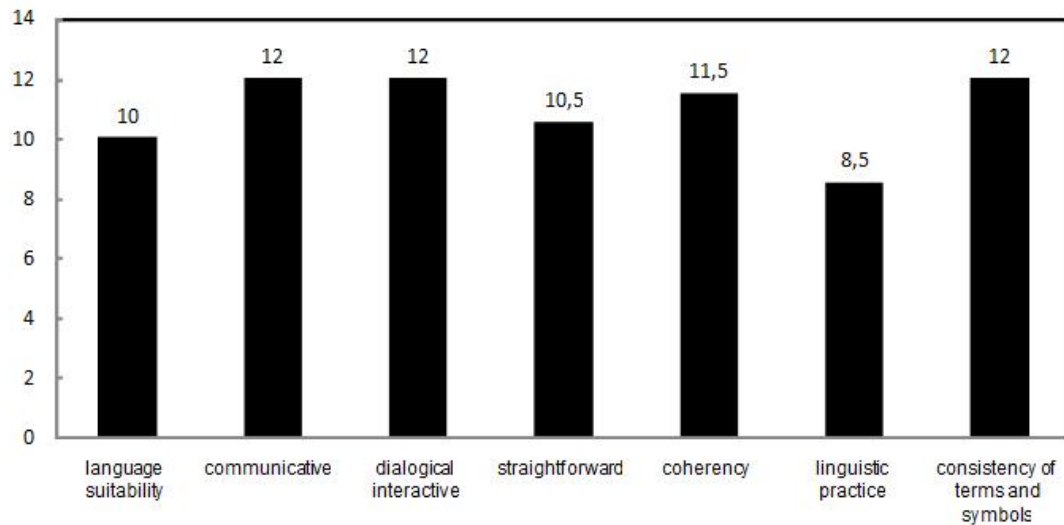


Figure 2. Graph of Language Feasibility Scores

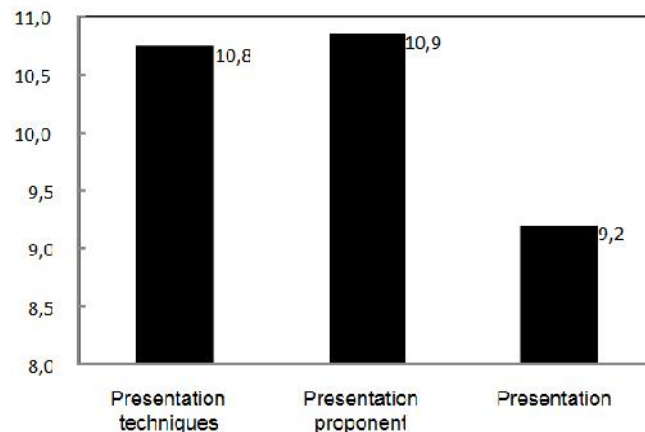


Figure 3. Graph of Presentation Feasibility Scores

appropriate by six teachers. Revisions were made to the book is by adding a special page book usage instructions. This page contains the contents of the book in general and the function of each part of the contents of the book.

In terms of presentation, the teacher also considers that the lack of teaching materials involving students, three teachers stated teaching materials are not centered to learner. This is because most of the teaching materials in the form of descriptions of concepts and facts. Seven teachers assess teaching materials are not present feedback for self-evaluation, because it is not equipped with teaching materials for each answer key questions that exist. Revisions were made to respond to the criticism of teachers to the teaching materials on the presentation aspect is the addition of the instructions for use of books at the beginning of the book and answer key additions of any

problems that exist in each chapter. The answer key is presented at the end of the teaching materials.

Based on the test of graph aspect, in general, teaching materials have been assessed in accordance by all evaluators for all indicators. Only for indicators related to the book cover design and illustrations of some evaluators judged that teaching materials do not meet this aspect. This indicates that the illustrations used in the book cover needs to be improved in order to give rise to the appeal of the student. The results of due diligence on the feasibility graph aspect book is presented in Figure 4.

Development of teaching materials starting theme approach is one way to get closer to the students' science learning context. By choosing the theme that close to student life, learning science more meaningful for students since what they learned is easy and often en-

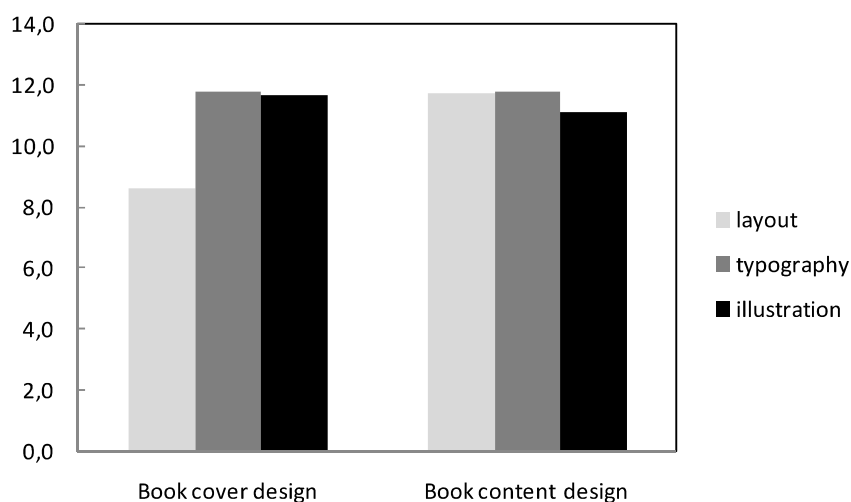


Figure 4. Graph of Graph Feasibility Scores

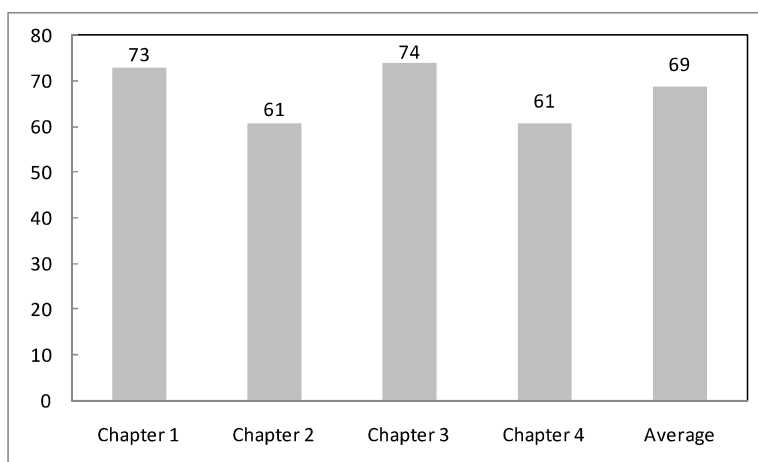


Figure 5. Graph of Understandable Feasibility Scores

countered by the students. Understandable teaching materials were tested with the writing test is the main idea of a paragraph of teaching materials. Based on the writing test of the main idea obtained by 99 students, the results were shown in Figure 5.

The average understandable score of the whole chapter is 69%. This value indicates that the books which have been developed have understandable with high category. Development of theme-based teaching materials that should refer to core competence and basic competence is a challenge for teachers. This is due to core competences and basic competences which both are in one grade level cannot explore the theme intact. Some basic competences relating to air contained in the grade 7 and grade 8 are partially contained. As a result there are some concepts of grade 7 to be incorporated into teaching materials that cater to the grade 8.

The advantage of teaching material based on the theme of air is that the teaching material was designed from the familiar things which were sounds and close to the students' life. In the other hand, the language used in teaching materials drawn from the fact of the research results on the characterization phase, so it is expected that the students more easily understand the teaching materials. The teaching materials are also expected support the science learning in the classroom. Therefore, teaching materials are made with a mix of text, images, tables and diagrams. Teaching materials are also expected to enable students get a hands on experience in the classroom, so that teaching materials designed to engage students through simple experiments.

Development of teaching materials on the theme of air aims to present the facts easily found students will be easier to identify examples given during the learning process. Air and

some phenomena in the air were appointed as the source material development of science. Teaching materials developed to be able to interact with students. Thus the potential for airborne or associated with air can be developed for the sake of learning in the classroom. Based on research that has been done, there are some weaknesses in teaching materials theme, namely: (1) Instructional materials starting from the determination of the air theme then continued choose Basic Competency (BC) which can be explored through the air theme. The downside of this move is more focused research theme in terms of peeling science rather than peeling basic competence to be achieved; and (2) the air theme is a theme that is broad, but not all BC in grade 7 can be explored by these materials. These materials do not contain all BC in grade 7, so it cannot be used as textbooks. Instructional materials theme this air enrichment can be used as a book is a book that contains material that can enrich textbooks (Sitepu, 2012).

CONCLUSION

Based on the results of research and discussion, it can be concluded that the development of integrated science teaching material with the theme of air through 4S-TMD consists of four steps of development that selection, structuring, characterization and reduction didactic. Resulting in the selection of teaching materials first draft that has been validated the suitability curriculum and the concept of truth related instructional materials. At this stage of structuring the draft produced two instructional materials in the form of a concept map, the macro-structure of teaching materials and multiple representations. At this stage of characterization is concluded that the 29 paragraphs of the 86 paragraphs in the category of difficult and reduced as didactic. Characteristics paragraphs are categorized difficult, namely: (1) paragraph explaining abstract concepts; (2) paragraph explaining the concept in the text with a complex structure; (3) paragraph explaining the concept without an example; (4) paragraph explaining concepts without accompanying picture. At this stage of the reduction is carried reduction in the level of difficulty of teaching materials with this type of reduction (1) the annotations in the form of images, symbols, sketches and experiments (multi representation); (2) use of analogies; (3) generalization; and (4) particular mechanism and produced science

teaching materials unified theme air.

Integrated science teaching materials in compliance with the air theme aspects of feasibility assessment based on criteria developed by the National Books Standards, namely the feasibility aspects of content, presentation, linguistic and graph aspects. Science teaching materials unified theme of the air has the following characteristics: (1) the proximity of the theme of teaching materials to students; (2) conformity with the standards of teaching materials teaching materials of BSNP; and (3) based on the writing test of the main idea of teaching material fulfills the aerial theme of understandable with high category level.

Air theme is a theme that is broad, but not all of the basic competence in grade 7 can be explored through the air theme. Teaching materials with the theme of air is only able to explore most of the basic competencies and concepts contained in it, so it is necessary to develop teaching materials with other themes that all basic competence can be explored. In addition, the teaching materials developed untested in terms of use in the classroom, so we need further research to test about its effectiveness.

REFERENCES

- Adadan, E. (2013). Using Multiple Representations to Promote Grade 11 Students' Scientific Understanding of the Particle Theory of Matter. *Research in Science Education*, 43(3): 1079–1105. <http://doi.org/10.1007/s11165-012-9299-9>
- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33(2-3): 131–152. [http://doi.org/10.1016/S0360-1315\(99\)00029-9](http://doi.org/10.1016/S0360-1315(99)00029-9)
- Anwar, S. (2014). *Pengolahan Bahan Ajar*. Bandung: UPI
- Dahar, Ratna Wilis. (1996). *Teori-teori Belajar*. Jakarta: Erlangga
- Fogarty, R (1991). *How to Integrated the Curricula*. Illinois: Skylight Publishing
- Goldin, G.A. (2002). Representation in Mathematical Learning and Problem Solving. Dalam L.D English (Ed). *Handbook of International research in Mathematics Education (IRME)*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Kemendiknas. (2006). *Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2006 tentang Standar Isi untuk Satuan Pendidikan Dasar dan Menengah*. Jakarta.
- Kemendiknas. (2006). *Permendiknas No. 23 tahun 2006 tentang Struktur Kurikulum*. Jakarta
- Kumala, Dewi. (2013) *Pengembangan Perangkat Pembelajaran IPA Terpadu Dengan Set-*

- ting Inkuiri Terbimbing Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Dan Kinerja Ilmiah Siswa. *e-Journal Program Pascasarjana Universitas Pendidikan Ganesha*.
- Lang, M. & Olson, J. (2000). Integrated Science Teaching as a Challenge for Teachers to Develop New Conceptual Structures. *Research in Science Education*, 30 (2): 213-224.
- Listyawati. (2011). Pengembangan Perangkat Pembelajaran IPA Terpadu di SMP. *Journal of Innovative Science*, 1(1): 61-69.
- Prain, V., and Waldrip, B.G. (2007). An exploratory study of teachers' perspectives about using multi-modal representations of concepts to enhance science learning. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*.
- Setiadi. (2014). *Penerapan Analisis Wacana dalam Pengembangan Bahan Ajar*. Materi Pokok pada Kegiatan Workshop Penulisan Bahan Ajar di Jurusan Pendidikan Kimia FPMIPA. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Sitepu. (2012). *Penulisan Buku Teks Pelajaran*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Muqoyyanah., Rusilowati, A., Sulhadi. (2010). Efektivitas dan Efisiensi Model Pembelajaran IPA Terpadu Tipe Integrated dalam Pembelajaran Tema Cahaya. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. 6 (2): 44-47.
- Vinisha, K., & Ramadas, J. (2013). Visual Representation of the Water Cycle in Science Textbooks. *Contemporary Education Dialogue*. 10(1) 7-36. <http://doi.org/10.1177/0973184912465157>
- Yuliati, L. (2013). Efektivitas Bahan Ajar IPA Terpadu Terhadap Kemampuan Berpikir Tingkat Tinggi Siswa SMP. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 9 (1): 53-57.

USING INTEGRATED TYPE ON SCIENCE LEARNING FOR IMPROVING JUNIOR HIGH SCHOOL STUDENTS' CRITICAL THINKING SKILLS

PEMBELAJARAN IPA TIPE INTEGRATED UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS SISWA SMP

Tika Resti Pratiwi^{1*}, Muslim²

¹Program Studi Pendidikan IPA, Sekolah Pascasarjana, UPI, Bandung, Indonesia

²Jurusan Pendidikan Fisika, FPMIPA, UPI, Bandung, Indonesia

Diterima: 12 Oktober 2015. Disetujui: 28 Desember 2015. Dipublikasikan: Januari 2016

ABSTRAK

Keterampilan berpikir kritis merupakan keterampilan berpikir dasar yang harus dimiliki oleh seseorang dalam menghadapi tantangan perkembangan IPTEK secara bijak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa SMP melalui pembelajaran IPA tipe integrated dan tanggapan siswa. Penelitian ini menggunakan metode kuasi eksperimen dengan desain non-equivalent pretest and posttest control group. Subyek penelitian adalah 68 siswa kelas VII yang terbagi kedalam kelas eksperimen dan kelas kontrol. Pengukuran keterampilan berpikir kritis menggunakan tes pilihan ganda beralasan. Temuan penelitian menunjukkan terjadi peningkatan keterampilan berpikir kritis kelas eksperimen sebesar 0,52 dengan kategori sedang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,29 dengan kategori rendah. Hasil uji t nilai N-Gain keterampilan berpikir kritis menghasilkan penolakan terhadap Ho ($p > 0.05$). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pembelajaran terpadu tipe integrated konsep perubahan dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SMP. Hampir keseluruhan siswa memberikan tanggapan positif terhadap pembelajaran terpadu tipe integrated.

ABSTRACT

The purpose of this study is to know improvement junior high school students' critical thinking skills through integrated type on science learning and students' respons. Using quasi-experimental methods, the study employed non-equivalent pre-test and post-test control group design. The research involved 68 seventh grade students using integrated type. Critical thinking test was used to collect data as pretest and posttest. The data showed that participant utilized integrated type in experimental groups performed significantly better than controls group ($p > 0.05$) on critical thinking test. The result showed that integrated type in science learning can lead to learning gains that exceed those critical thinking in classes where mainly konvensional science learning methods are used.

© 2016 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: science learning, integrated type, critical thinking skills.

PENDAHULUAN

Perkembangan IPTEK berimbas pada perubahan tujuan pendidikan yang bukan lagi mencetak manusia yang hanya mampu mem-

baca, menulis dan berhitung melainkan berpikir kritis. Kemampuan berpikir menurut McTighe & Schollenberger merupakan alat manusia untuk memahami apa yang ada dilingkungannya dan menjadi dasar terampil dalam berkomunikasi dan memecahkan masalah (Costa, 1985). Keterampilan berpikir kritis sebagai dasar seseorang untuk mengembangkan kemampuan

*Alamat Korespondensi:

Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154 Jawa Barat
E-mail: tikaresti12@gmail.com

berpikir masa depan sehingga mampu menganalisis, mendeteksi dan mengevaluasi kemungkinan yang terjadi di masa depan (Jones *et al.*, 2012). Kuswana (2012) menyebutkan bahwa pengembangan keterampilan berpikir merupakan dasar untuk membangun pengetahuan, sikap, dan keterampilan motorik seseorang. Pengembangan keterampilan berpikir paling kuat menurut Costa (1985) adalah melalui pendidikan. Sependapat dengan hal tersebut, Amara menyebutkan kemampuan berpikir seseorang sangatlah penting untuk dikembangkan dalam pendidikan (Jones *et al.*, 2012). Pendidikan hendaknya menjadikan keterampilan berpikir sebagai tujuan utama pendidikan saat ini, dengan memberikan fasilitas pengembangan berpikir kritis lebih besar porsinya

Hasil studi PISA tahun 2000, 2003, 2006, dan 2009 menunjukkan skor rata-rata Indonesia untuk mata pelajaran IPA dibawah skor rata-rata internasional. PISA melakukan penilaian yang berorientasi pada masa depan dengan menguji kemampuan siswa menggunakan keterampilan dan pengetahuan IPA dalam konteks kehidupan sehari-hari. Hasil tersebut menunjukkan siswa Indonesia belum bisa terampil mengolah konten IPA dalam menghadapi masalah kehidupan sehari-hari. Namun berdasarkan hasil UN SMP di tahun yang sama yaitu Tahun 2008-2009 terdapat 93,74% dan Tahun 2009-2010 terdapat 89,88% siswa lulus dengan mata pelajaran IPA sebagai salah satu yang diujikan. Hasil UN menunjukkan bahwa siswa telah mampu mengetahui dan mengolah konsep IPA dengan menghafal, menghitung, menghubungkan, mengklasifikasi, dan mengkualifikasi sesuai dengan indikator UN. Keterampilan berpikir yang demikian menurut Presseisen (1985) termasuk dalam keterampilan berpikir dasar. Berdasarkan hasil PISA dan UN menunjukkan bahwa keterampilan berpikir siswa Indonesia masih keterampilan berpikir dasar.

Keterampilan berpikir minimal seseorang yang harus dimiliki dalam memahami suatu permasalahan dan menyelesaikannya yaitu keterampilan berpikir kritis (*critical thinking*) dan keterampilan memecahkan masalah (*problem solving*) (Costa, 1985). Kedua jenis keterampilan berpikir tersebut termasuk dalam keterampilan berpikir kompleks atau berpikir tingkat tinggi (*higher order thinking*) yang mampu mengolah informasi disekitarnya untuk digunakan dalam setiap kondisi yang muncul (Presseisen, 1985). Keterampilan berpikir sederhana yang dimiliki anak-anak Indonesia

masih perlu dikembangkan secara maksimal melalui pembelajaran yang bermakna, karena pada dasarnya kemampuan berpikir seseorang selalu berkembang dan dapat dipelajari (Tawil & Liliyasi, 2013).

Fisika, Biologi, Kimia, IPBA merupakan rumpun disiplin ilmu Ilmu pengetahuan alam (IPA) yang wajib dipelajari di sekolah dasar sampai menengah atas di Indonesia. Rumpun disiplin ilmu IPA di SD dan SMP merupakan mata pelajaran terpadu sebagai IPA terpadu, berbeda dengan SMA yang menjadikan rumpun disiplin ilmu IPA sebagai mata pelajaran terpisah. Hal ini tertuang pada Permendikbud No. 58 Tahun 2014 tentang pembelajaran IPA di SMP dalam kurikulum 2013 hakikatnya sebagai mata pelajaran dalam bentuk *integrated science* dengan muatan IPA berasal dari disiplin Biologi, Fisika, Kimia dan IPBA. Materi Fisika, Kimia, Biologi dan IPBA dipadukan dengan harapan siswa mampu mengembangkan pengetahuan konsep dasar IPA secara utuh, sehingga ketika menemui suatu masalah IPA siswa dapat mengidentifikasinya.

Pentingnya pengembangan keterampilan berpikir siswa dan pemahaman IPA secara utuh dapat dicapai melalui pembelajaran terpadu tipe *integrated*. Tipe *integrated* mampu memadukan pembelajaran terpadu *acrossdisciplinary* (antar disiplin ilmu) yang lebih dari dua disiplin ilmu dengan porsi materi yang sama (Forgaty, 1991). Tipe *integrated* hampir sama dengan keterpaduan tipe *shared*, dimana keterpaduan yang digunakan berupa konten (*content*), sikap (*attitude*), dan keterampilan (*skills*) yang merupakan *overlapping* antar disiplin ilmu. Perbedaannya terletak pada jumlah disiplin ilmu yang dipadukan, jika keterpaduan tipe *shared* hanya dua disiplin ilmu sedangkan keterpaduan tipe *integrated* lebih dari dua disiplin ilmu. Analogi tipe *integrated* ini adalah seperti melihat sebuah objek dengan menggunakan kaleidoskop (Forgaty, 1991). Tipe *integrated* berusaha memberikan gambaran secara utuh pada anak tentang tujuan melakukan kegiatan yang terdapat dalam bidang-bidang pengembangan. Tipe *integrated* digunakan pula untuk mengatasi apabila muatan kurikulum di sekolah terlalu banyak sedangkan waktu terbatas, sehingga pembelajaran dengan waktu yang singkat namun siswa dapat memahami secara utuh. Materi yang nantinya diajarkan adalah materi yang *overlapping* antar disiplin ilmu seperti konsep kalor yang dibahas di fisika juga dibahas di biologi dan kimia. Secara tidak langsung pembelajaran ini membuat pembela-

ajaran menjadi efektif dan efisien dengan menyampaikan ketiga tujuan pembelajaran baik konten, keterampilan, dan sikap dalam satu pertemuan.

Konsep-konsep antar lintas disiplin ilmu IPA mengembangkan kemampuan siswa dalam *crosslinking* (saling silang) konsep. Adanya tuntutan kemampuan saling silang dalam pembelajaran terpadu antar disiplin ilmu menuntun siswa berpikir lebih kompleks dan meningkatkan kemampuan penalaran siswa (Schaal, 2010). Kemampuan saling silang difasilitasi tipe *integrated* secara khusus sebagai bagian *overlapping*. Bagian *overlapping* merupakan karakteristik dari tipe *integrated*, dimana *overlapping* sebagai irisan konsep lintas disiplin ilmu bukan hanya irisan semua disiplin ilmu yang dipadukan tetapi juga memiliki irisan antar anggota disiplin ilmu (Forgaty, 1991). Kemampuan saling silang membantu siswa berpikir kritis tentang sebuah konsep dengan memandang dari berbagai sudut ilmu, sehingga memudahkan dalam mencari solusi dalam kondisi tertentu. Hal itu disampaikan oleh Trefil & Hazen (2010) bahwa salah satu pembelajaran yang dapat memfasilitasi kebutuhan berpikir kritis IPA adalah pembelajaran IPA terpadu tipe *integrated*. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian Turpin & Cage (2004) dan hasil penelitian Plotrick *et al.* (2009) yang menunjukkan bahwa pembelajaran terpadu lintas disiplin ilmu dengan tipe *integrated* mampu mempermudah siswa menguasai konsep dan bahkan meningkatkan keterampilan proses sains siswa. Pembelajaran tipe *integrated* mampu memfasilitasi pengembangan kemampuan siswa menguasai konten dan keterampilan (Fogarty, 1991). Selain itu, pembelajaran terpadu pada IPA juga meningkatkan efektif dan efisien sebuah pembelajaran.

Berpikir kritis didefinisikan oleh Ennis sebagai sebuah pemikiran yang masuk akal dan reflektif yang berfokus untuk memutuskan apa yang harus dipercaya atau dilakukan. Kemampuan (*abilities*) berpikir kritis menurut Ennis (1985) terdapat lima indikator keterampilan yang dijabarkan kedalam kemampuan apa yang diminta pada setiap indikator yaitu: 1) membuat klarifikasi sederhana (*elementary clarification*) merupakan keterampilan dalam mengidentifikasi dan menyusun sebuah pertanyaan dan argumen jawaban, 2) membangun keterampilan dasar (*basic support*) merupakan keterampilan dalam menilai suatu kredibilitas sumber dan mengamati laporan hasil penga-

matan, 3) menarik kesimpulan (*inference*) merupakan keterampilan membuat dan mempertimbangkan sebuah deduksi, induksi dan nilai keputusan dalam suatu kondisi, 4) membuat klarifikasi lanjut (*advanced clarification*) merupakan keterampilan mendefinisikan dan mempertimbangkan sebuah asumsi, dan 5) membangun strategi dan taktik (*strategy and tactics*) merupakan keterampilan dalam memutuskan suatu tindakan dan interaksi dengan yang lain seperti strategi yang logis, mempresentasikan diri baik secara lisan maupun tulisan.

Kelebihan pembelajaran terpadu tipe *integrated* menurut Forgaty (1991) yaitu waktu pembelajaran seluruh disiplin ilmu yang dipadukan menjadi lebih efisien dan efektif, siswa lebih mudah diarahkan pada hubungan konsep antar berbagai macam disiplin ilmu untuk memecahkan satu masalah, meningkatkan motivasi siswa dalam pembelajaran, keterpaduan bukan hanya konten tetapi juga keterampilan dan sikap dikembangkan melalui keterpaduan, dan jika sukses ditanamkan dalam pembelajaran maka akan lebih mudah memuculkan lingkungan pembelajaran yang ideal baik untuk mengajarkan konten terpadu maupun konten pendalaman materi.

Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa SMP melalui pembelajaran IPA tipe *integrated*. dibandingkan dengan pembelajaran konvensional dan tanggapan siswa terhadap pembelajaran terpadu tipe *integrated*.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan metode kuasi eksperimen yang menggunakan desain *non-equivalent pretest and posttest control grup* yang diadaptasi desain kuasi eksperimen oleh Creswell disajikan dalam Tabel 1. Kelas eksperimen adalah kelas yang diberi perlakuan pembelajaran terpadu tipe *integrated* konsep perubahan. Keterpaduan dalam penelitian ini meliputi disiplin ilmu Fisika, Kimia, dan Biologi yang dalam pelaksanaannya dalam mata pelajaran IPA. Kelas kontrol adalah kelas pembandingan yang tidak diberikan perlakuan atau menggunakan pembelajaran konvensional. Pembelajaran konvensional dalam penelitian ini adalah pembelajaran terpadu sesuai kurikulum sekolah yang berlaku yaitu disiplin ilmu Fisika, Kimia, dan Biologi dalam pertemuan yang terpisah dalam mata pelajaran IPA.

Tabel 1. Desain *Non-Equivalent Pretest and Posttest Control Group*

Kelas Eksperimen	O	X	O
Kelas Kontrol	O	-	O

Keterangan:

X = perlakuan yang diberikan yaitu pembelajaran IPA terpadu tipe *integrated*;
O = *observation* (kemampuan berpikir kritis siswa) sebelum dan sesudah perlakuan pembelajaran sebagai *pretest* dan *posttest*.

Subyek penelitian yaitu 68 siswa kelas VII di salah satu SMP di kabupaten Cilacap, Jawa Tengah semester genap tahun ajaran 2014/2015. Pemilihan subyek dalam penelitian kuasi eksperimen baik dalam kelas eksperimen maupun kelas kontrol tidak diambil secara acak, melainkan menyesuaikan dengan kelas yang telah dipilih.

Pengumpulan data kemampuan berpikir kritis menggunakan tes pilihan ganda beralternasi. Tes pilihan ganda beralternasi diberikan untuk mempermudah pencakupan materi ajar keterpaduan IPA, sehingga hasil tes memberikan gambaran yang representatif tentang kemampuan berpikir kritis siswa dalam setiap konsep IPA. Selain itu, pemberian alasan siswa memperkuat jawaban siswa atau menghindari pengisian secara acak oleh siswa. Tes pilihan ganda beralternasi ini diberikan sebagai *pretest* dan *posttest* sebanyak 20 butir soal yang disesuaikan dengan indikator materi keterpaduan IPA. Tes ini sudah dilakukan analisis *logical validity* (validasi logis) dan *empirical validity* (validasi empiris) sehingga butir soal pilihan ganda beralternasi.

Adapun pengumpulan tanggapan siswa terhadap pembelajaran terpadu tipe *integrated* menggunakan instrumen angket. Angket merupakan salah satu instrumen yang sering digunakan untuk mengungkapkan opini atau sikap anak terhadap suatu permasalahan. Angket penelitian ini mengungkapkan tanggapan siswa terhadap pembelajaran terpadu tipe *integrated* dalam konsep perubahan. Angket diberikan pada akhir pembelajaran terpadu, setelah siswa mengalami pembelajaran terpadu pada kelas eksperimen. Angket tanggapan siswa berupa pertanyaan yang menjawab "ya" atau "tidak" terhadap sebuah pernyataan.

Analisis data rata-rata kemampuan berpikir kritis terdiri atas uji prasyarat dan uji beda rata-rata untuk data *pretest*, *posttest* dan gain ternormalisasi. Uji prasyarat terdiri atas uji normalitas dan uji homogenitas, sedangkan uji

beda rata-rata ditentukan berdasarkan hasil uji prasyarat. Adapun analisis data setiap indikator kemampuan berpikir kritis hanya menggunakan gain ternormalisasi. Adapun analisis data kemampuan berpikir kritis menggunakan gain ternormalisasi (N-gain) menurut Hake (1998):

$$\langle g \rangle = \frac{\langle S_{post} \rangle - \langle S_{pre} \rangle}{S_{maks} - \langle S_{pre} \rangle}$$

Keterangan:

$\langle g \rangle$ = nilai N-gain rata-rata

$\langle S_{post} \rangle$ = rata-rata skor *posttest* (skor praktikum akhir)

$\langle S_{pre} \rangle$ = rata-rata skor *pretest* (skor praktikum awal)

S_{maks} = skor maksimal

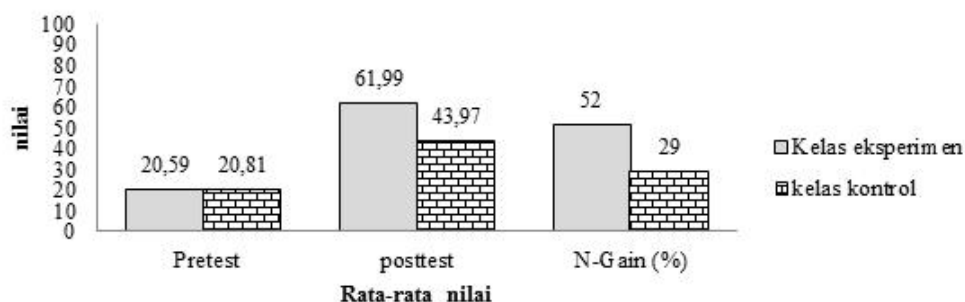
Analisis data tanggapan siswa menggunakan persentase setiap aspek tanggapan yang diukur. Analisis data menggunakan aplikasi *Ms Excell* dan *IBM SPSS statistics 22*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembelajaran IPA di kelas eksperimen maupun kelas kontrol dalam penelitian ini menggunakan model pembelajaran inkuiri dengan menggunakan metode praktikum dan diskusi. Perbedaannya, pada pembelajaran terpadu tipe *integrated* diberikan *overlapping* konten, sikap dan kemampuan yang disesuaikan dengan kompetensi dasar disetiap pertemuannya. Pada pembelajaran tipe *integrated* terdiri dari dalam lima pertemuan. Pertemuan di kelas eksperimen terdiri dari *overlapping* tiga disiplin ilmu, merupakan bagian dari konsep besar perubahan dua disiplin ilmu dan konsep utuh. Pembelajaran konvensional terdiri dari kedalam delapan pertemuan yang sudah disesuaikan dengan kurikulum yang berlaku disekolah.

Pada awal pembelajaran siswa di kedua kelas diberikan artikel mengenai isu yang berkaitan dengan konsep yang diberikan. Perbedaannya adalah keterpaduan yang diberikan mengenai pembahasan isu dalam artikel yang menjadi salah satu awal pengembangan keterampilan berpikir kritis. Kegiatan praktikum siswa kelas eksperimen diberikan kesempatan mengeksplor lebih banyak konten yang disesuaikan dengan tahapan konten yang diberikan. Setelah kegiatan praktikum, siswa juga diberikan kesempatan diskusi dan presentasi dengan menggali materi yang sudah dipelajari sesuai dengan konsep besar perubahan dilihat dari ketiga disiplin ilmunya.

Adapun hasil penelitian dipaparkan ke-



Gambar 1. Perbandingan Rata-Rata Nilai *Pretest*, *Posttest* dan Data N-gain Keterampilan Berpikir Kritis

Tabel 2. Rata-rata Nilai *Pretest*, *Posttest* dan N-Gain Setiap Indikator Keterampilan Berpikir Kritis Kelas Eksperimen

Indikator Berpikir Kritis	Nilai <i>Pretest</i>	Nilai <i>Posttest</i>	N-gain	Kategori
Membuat klarifikasi sederhana	14.95	66.56	0.60	Sedang
Membangun keterampilan dasar	22.79	58.09	0.46	Sedang
Menarik Kesimpulan	25.00	61.27	0.48	Sedang
Membuat klarifikasi lanjut	10.29	59.80	0.55	Sedang
Membangun Strategi dan taktik	29.41	60.05	0.43	Sedang

dalam dua poin utama yaitu (1) keterampilan berpikir kritis, dan (2) tanggapan siswa terhadap pembelajaran IPA terpadu tipe *integrated*. Data hasil penelitian tentang poin pertama terdiri atas nilai *pretest*, nilai *posttest*, dan data gain ternormalisasi (N-gain) disajikan pada Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan perolehan rata-rata nilai *pretest* kelas eksperimen tidak jauh berbeda dengan perolehan rata-rata nilai *pretest* kelas kontrol dengan selisih hanya 0,22. Hal berbeda ditunjukkan pada selisih perolehan rata-rata nilai *posttest* kelas eksperimen dan kelas kontrol sebesar 18,02. Perubahan nilai yang berbeda di kedua kelas menunjukkan adanya pengaruh dari pembelajaran yang ada di kedua kelas.

Selain itu, berdasarkan Gambar 1 tampak juga perolehan N-gain kelas eksperimen sebesar 0,52 dengan kategori sedang sedangkan perolehan N-gain kelas kontrol sebesar 0,29 dengan kategori rendah. Perolehan N-gain tersebut menunjukkan peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa kelas eksperimen dengan menggunakan pembelajaran IPA terpadu tipe *integrated* lebih tinggi dibandingkan dengan peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa kelas kontrol yang menggunakan pembelajaran IPA konvensional.

Adapun perolehan rata-rata nilai N-gain kelima indikator keterampilan berpikir kritis sis-

wa kelas eksperimen dalam kategori sedang. Adapun data rata-rata nilai *pretest*, *posttest* dan N-gain setiap indikator keterampilan berpikir kritis siswa kelas eksperimen disajikan pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa indikator membuat klarifikasi sederhana mempunyai nilai N-gain tertinggi yaitu sebesar 0.60. sedangkan indikator membangun strategi dan taktik mempunyai nilai N-gain terendah yaitu sebesar 0,43. Nilai tersebut menunjukkan bahwa peningkatan indikator keterampilan berpikir kritis dalam kelas eksperimen dengan menggunakan pembelajaran IPA terpadu tipe *integrated* tertinggi yaitu membuat klarifikasi sederhana.

Berbeda dengan kelas eksperimen, perolehan rata-rata nilai N-gain kelima indikator keterampilan berpikir kritis siswa kelas kontrol bervariasi seperti disajikan pada Tabel 3. Perolehan rata-rata nilai N-gain indikator membuat klarifikasi sederhana dan membangun strategi dan taktik kelas kontrol dalam kategori rendah, sedangkan tiga indikator seperti membangun keterampilan dasar, menarik kesimpulan dan membuat klarifikasi lanjut dalam kategori sedang. Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa indikator membuat klarifikasi lanjut mempunyai nilai N-gain tertinggi yaitu sebesar 0,40 dengan kategori sedang, sedangkan indikator membuat klarifikasi sederhana mempunyai nilai N-

Tabel 3. Rata-rata Nilai *Pretest*, *Posttest* dan N-Gain Setiap Indikator Keterampilan Berpikir Kritis Kelas Kontrol

Indikator Berpikir Kritis	Nilai <i>Pretest</i>	Nilai <i>Posttest</i>	N-gain	Kategori
Membuat klarifikasi sederhana	18.14	34,56	0,20	Rendah
Membangun keterampilan dasar	22.06	47.79	0,33	Sedang
Menarik kesimpulan	25.98	52,45	0,36	Sedang
Membuat klarifikasi lanjut	11.27	47,06	0,40	Sedang
Membangun Strategi dan taktik	25.25	46,32	0,28	Rendah

Tabel 4. Hasil Uji Normalitas, Homogenitas, dan Beda Rata-rata Data *Pretest*, *Posttest*, dan N-gain Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

	Kelas Eksperimen				Kelas Kontrol				Varians	Uji Beda Rata-rata	
	N	α	Sig.	Distribusi	N	α	Sig.	Distribusi		P-value	Keputusan
<i>Pretest</i>	34	0.05	0.147	Normal	34	0.05	0.133	Normal	Homogen	0.905	Ho diterima
<i>Posttest</i>	34	0.05	0.160	Normal	34	0.05	0.122	Normal	Homogen	0.000	Ho ditolak
N-gain	34	0.05	0.154	Normal	34	0.05	0.092	Normal	Homogen	0.000	Ho ditolak

Tabel 5. Persentase Tanggapan Siswa

Aspek Tanggapan Siswa	Persentase positif	Kategori
1. Persepsi siswa tentang pembelajaran terpadu tipe <i>integrated</i> konsep perubahan	77.36 %	Baik
2. Mengungkapkan kesukaan siswa dalam mengikuti pembelajaran IPA terpadu tipe <i>integrated</i> konsep perubahan	77.07%	Baik
3. Pengembangan keterampilan berpikir kritis dalam pembelajaran terpadu tipe <i>integrated</i> konsep perubahan	83.95%	Baik Sekali
Rata-rata	79.46%	Baik

gain terendah yaitu sebesar 0,20 dengan kategori rendah.

Hasil analisis uji normalitas, uji homogenitas dan uji beda rata-rata nilai *pretest*, *posttest*, dan data N-gain antara kelas eksperimen dan kelas kontrol dengan menggunakan disajikan oleh Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh bahwa keterampilan berpikir awal siswa yang diperoleh dari *pretest* kedua kelas tidak terdapat perbedaan sedangkan keterampilan berpikir kritis siswa pada akhir pembelajaran terdapat perbedaan yang signifikan. Selain itu, diperoleh pula bahwa peningkatan keterampilan berpikir kritis kelas eksperimen yang menggunakan pembelajaran terpadu tipe *integrated* lebih tinggi signifikan dibandingkan kelas kontrol yang menggunakan pembelajaran konvensional.

Tanggapan siswa diperoleh dengan menggunakan angket yang diberikan kepada siswa kelas eksperimen setelah pembelajaran tipe *integrated* konsep perubahan selesai. Ang-

ket terdiri atas empat aspek tanggapan siswa. Hasil tanggapan siswa disajikan pada Tabel 5 berdasarkan aspek yang diukur.

Tabel 5 menunjukkan perolehan persentase tanggapan positif siswa terhadap pembelajaran IPA terpadu tipe *integrated* konsep perubahan dengan kategori baik sekali. Hal ini menunjukkan pembelajaran IPA terpadu dengan tipe *integrated* dapat digunakan sebagai pembelajaran IPA yang menyenangkan. Selain itu, siswa beranggapan bahwa pembelajaran IPA terpadu tipe *integrated* dapat membantu meningkatkan keterampilan berpikir kritis.

Berdasarkan hasil analisis nilai *pretest* diperoleh bahwa kedua kelas memiliki keterampilan berpikir kritis awal yang setara. Hal yang paling terlihat bahwa kedua kelas masih cenderung belum bias memberikan tanggapan terhadap isu yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa baik kelas eksperimen maupun kelas kontrol dalam kondisi keterampilan berpikir kritis yang sama sebelum diberikan perlakuan

pembelajaran. Hasil berbeda ditunjukkan pada analisis jawaban *posttest* yang menunjukkan adanya pengaruh selama pembelajaran di kelas eksperimen dan kelas kontrol terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Analisis hasil jawaban siswa terlihat perbedaan yang jelas bahwa siswa kelas eksperimen mampu memberikan alasan disetiap jawaban yang dipilih sesuai dengan isu yang diberikan.

Selain itu, terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antara peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa kelas eksperimen dan siswa kelas kontrol. Hasil penelitian mengidentifikasi pembelajaran terpadu tipe *integrated* konsep perubahan dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis lebih signifikan dibandingkan dengan kelas terpadu konvensional. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Pangaribowo (2014) yaitu pembelajaran terpadu dengan mengintegrasikan konten, sikap, dan keterampilan lintas disiplin ilmu dapat meningkatkan keterampilan berpikir siswa secara signifikan dibandingkan pembelajaran konvensional. Pengintegrasian konten dengan proses yang mengidentifikasi sikap dan keterampilan dapat membuat siswa lebih termotivasi sehingga dalam pemahaman materi secara utuh lebih mudah (Liliawati, 2014). Pemahaman materi secara utuh membantu siswa mengembangkan keterampilan berpikir kritisnya (Malamitsa *et al.*, 2009).

Pembelajaran terpadu tipe *integrated* yang diterapkan di kelas eksperimen memberikan siswa beberapa konsep khusus disiplin ilmu, konsep yang *overlapping* dua disiplin ilmu, dan konsep *overlapping* tiga disiplin ilmu antara materi Fisika, Kimia, dan Biologi di dalam konsep besar perubahan. Hal tersebut menuntut siswa harus berpikir lebih luas dan kritis tentang konsep IPA bukan hanya sekedar konsep khusus Fisika, Biologi, dan Kimia melainkan antar konsepnya. Konsep tumpang tindih sebagai salah satu karakteristik dalam pembelajaran terpadu tipe *integrated* dapat memfasilitasi perkembangan keterampilan berpikir. Siswa mampu menanggapi isu secara kritis dari berbagai sudut pandang apabila siswa memiliki pengetahuan yang saling berkaitan. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Lin (2013) dan Malamitsa *et al.* (2009) yang menunjukkan bahwa orang yang memiliki pengetahuan lebih kompleks (sains dan sosial) secara signifikan akan memiliki kemampuan berpikir kritis lebih tinggi dibandingkan yang hanya berfokus terhadap satu pengetahuan.

Selain itu, konsep *overlapping* dua di-

disiplin ilmu dan pengenalan konsep khusus yang dipelajari dalam pembelajaran terpadu tipe *integrated* memperdalam pengetahuan konsep utuh dan keterampilan siswa. Temuan tersebut sejalan dengan hasil penelitian Turpin & cage (2004), Poltrick *et al.* (2009), Berlin & White (2012), Liliawati (2014) yang menyatakan bahwa pembelajaran terpadu juga mampu meningkatkan penguasaan terhadap konsep khusus disiplin ilmu yang membantu pemahaman terhadap konsep utuh. Kesempatan siswa dalam mempelajari konsep khusus disiplin ilmu Fisika, Kimia dan Biologi melalui pembelajaran dapat menunjang keterampilan berpikir kritis siswa.

Pembelajaran tipe *integrated* dalam memfasilitasi pengintegrasian konsep, keterampilan dan sikap menggunakan metode praktikum yang berbeda dibandingkan dengan metode praktikum di kelas kontrol. Metode praktikum di kelas eksperimen memberikan kesempatan siswa dalam memilih praktikum yang akan dilakukan. Siswa kelas eksperimen menentukan sendiri hipotesisnya dengan menganalisis sub konsep besar perubahan. Konsep *overlapping* materi Fisika, Kimia, Biologi memberikan kesempatan lebih banyak untuk melakukan variasi praktikum. Siswa dapat mengajukan beberapa hipotesis dalam satu praktikum seperti mengetahui pengaruh suhu dalam proses fotosintesis. Hal berbeda dilakukan di kelas kontrol dengan pembelajaran konvensional dengan praktikum sesuai dengan konsep Fisika, Kimia, dan Biologi. Pengintegrasian keterampilan dalam pembelajaran tipe *integrated* memberikan kesempatan siswa secara mandiri dan terlibat aktif dalam menemukan konsep. Kegiatan praktikum yang memberikan banyak kesempatan siswa dalam terlibat aktif dalam praktikum akan meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Sarwi, *et al.* (2012) bahwa penerapan praktikum *open-inquiry* yang memberikan banyak kesempatan siswa terlibat aktif menentukan variabel penelitian dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis. Hasil serupa juga sejalan dengan penelitian Yu *et al.* (2014) yang menunjukkan siswa dengan kemampuan memadukan banyak konsep lebih baik dan lebih kritis dalam menanggapi isu disekitarnya terutama teknologi.

Selain itu, kegiatan diskusi dan presentasi secara terbuka dilakukan di kelas eksperimen sebagai salah satu wadah keterpaduan sikap dan keterampilan juga berdampak pada keterampilan berpikir kritis siswa. Sebelum

melakukan praktikum siswa melakukan diskusi mengenai hipotesis yang akan diajukan dengan menganalisis rumusan masalah yang diberikan oleh guru. Setelah praktikum siswa melakukan presentasi dan diskusi kelas yang meningkatkan keaktifan siswa (Pratiwi & Muslim, 2015). Pengajuan pendapat dan hasil yang serupa dalam diskusi muncul antar kelompok dan antar siswa secara aktif terutama saat membandingkan pengujian hipotesis yang berbeda untuk menjawab satu rumusan masalah penelitian. Kegiatan tersebut memberikan kesempatan siswa dalam bertukar pikiran mengenai rumusan masalah yang akan membuat keterampilan berpikir kritis siswa meningkat. Temuan serupa juga disampaikan oleh hasil penelitian Setyorini *et al.* (2011) bahwa pembelajaran dengan memberikan masalah dan mendiskusikannya secara aktif dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa.

Peningkatan keterampilan berpikir kritis melalui pembelajaran terpadu tipe *integrated* dikelas eksperimen dipengaruhi juga salah satunya karena pemberian artikel terpadu pada kegiatan praktikum kelas eksperimen yang memberi kesempatan siswa untuk berbagi argumen dan alasan jawaban dengan teman sekelompoknya dalam melaksanakan kegiatan praktikum. Hal ini disampaikan juga oleh Fisher (2007: 163) bahwa dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dibutuhkan strategi tertentu salah satunya dengan belajar bagaimana cara memberikan alasan, kapan memberikan alasan, dan metode apa yang digunakan.

Beberapa ahli menyatakan bahwa metode praktikum *open inquiry* membutuhkan waktu yang lebih lama dalam satu kali pertemuan dibandingkan dengan metode praktikum inkuiri yang lain, walaupun sangat membantu dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa (Sarwi & Khanafiyah, 2010; Sarwi *et al.*, 2012). Namun dalam penelitian ini tidak menjadi salah satu kendala, dikarenakan salah satu keunggulan dari pembelajaran terpadu tipe *integrated* menurut Forgy (1991) yaitu waktu pembelajaran seluruh materi dalam disiplin ilmu yang dipadukan menjadi lebih efektif dan efisien. Pada kelas eksperimen pembelajaran IPA menggunakan pembelajaran terpadu tipe *integrated* pada konsep perubahan. Pembelajaran dilaksanakan di kelas VIIA selama lima kali pertemuan, sedangkan dikelas kontrol selama delapan pertemuan dengan konsep besar perubahan. Adapun materi yang diajarkan dalam lima pertemuan yaitu perubahan materi dalam satu pertemuan, perubahan energi

dalam kehidupan dalam dua pertemuan, dan pengaturan perpindahan kalor dalam makhluk hidup dalam dua pertemuan. Kelima materi melingkupi sub konsep - sub konsep perubahan yang sama diajarkan di kelas kontrol

Pelaksanaan pembelajaran terpadu tipe *integrated* sesuai dengan waktu yang telah ditentukan walaupun saat awal pembelajaran masih kesulitan mengontrol waktu. Terlihat pada pertemuan pertama pembelajaran berlangsung selama 150 menit dari 3JP yang direncanakan. Pada awal pembelajaran pada kelas eksperimen guru terlihat masih kesulitan dalam mengkondisikan siswa untuk melakukan kegiatan praktikum, sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama. Saat awal pembelajaran, siswa belum mampu mengkondisikan diri dengan kegiatan praktikum di laboratorium. Walaupun demikian, guru terus memperbaiki pembelajaran dalam mengefisienkan waktu agar sesuai rancangan pembelajaran di pertemuan selanjutnya. Temuan ini sesuai dengan hasil penelitian Muqqoyah (2013) yang menyatakan bahwa pembelajaran terpadu tipe *integrated* memiliki waktu pelajaran yang lebih efisien dibandingkan dengan pembelajaran IPA dengan disiplin ilmu terpisah. Temuan serupa dengan hasil penelitian Plotrick *et al.* (2009) yang menyatakan pembelajaran terpadu dapat mengefisienkan kegiatan laboratorium seperti praktikum. Dengan demikian, pembelajaran terpadu tipe *integrated* mampu mengembangkan keterampilan berpikir kritis dengan waktu yang lebih efektif dan efisien.

Analisis terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis juga dilakukan pada setiap indikatornya. Terdapat lima indikator yang diukur dalam penelitian ini yaitu klarifikasi sederhana (1), membuat keterampilan dasar (2), menarik kesimpulan (3), membuat klarifikasi lanjut (4), dan membangun strategi dan taktik (5) seperti yang disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Analisis dilakukan baik *pretest*, *posttest*, maupun N-gainnya. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan peningkatan keterampilan berpikir kritis pada setiap indikator baik dikelas eksperimen maupun kelas kontrol. Semua indikator keterampilan berpikir kritis lebih besar peningkatannya melalui kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol, walaupun beberapa indikator dalam kategori peningkatan yang sama. Peningkatan indikator klarifikasi sederhana merupakan indikator dengan peningkatan terbesar dikelas eksperimen dengan kategori sedang, sedangkan peningkatan dalam kelas eksperimen dalam kategori rendah. Hal ini

menunjukkan siswa dengan pengetahuan IPA yang utuh dapat memahami lebih banyak dan mendasar sehingga memudahkan seseorang menganalisis penyebab fenomena IPA yang terjadi di lingkungan (Lin, 2013). Hal yang sama juga diungkapkan dalam hasil penelitian Liliawati (2014) bahwa peningkatan konsep melalui pembelajaran terpadu membekali siswa memiliki kemampuan mengidentifikasi fenomena alam dan dampak yang ditimbulkannya sehingga mengasah kemampuan kepekaan fenomena.

Analisis terhadap hasil angket siswa yang telah mengikuti pembelajaran terpadu tipe *integrated* konsep perubahan. Pengukuran tanggapan siswa meliputi empat aspek yaitu (1) Persepsi siswa terhadap pembelajaran terpadu tipe *integrated* (2) Mengungkapkan kesukaan siswa dalam mengikuti pembelajaran terpadu tipe *integrated*, (3) pengembangan keterampilan berpikir dalam pembelajaran terpadu tipe *integrated*, dan pengembangan sikap ilmiah siswa dalam pembelajaran terpadu tipe *integrated*. Keempat aspek yang diukur dibagi kedalam 26 pertanyaan dengan diberikan alasan pendukungnya.

Secara keseluruhan tanggapan siswa terhadap pembelajaran terpadu tipe *integrated* pada konsep besar perubahan menunjukkan respon yang positif dan responsif. Hal ini ditunjukkan berdasarkan hasil analisis data menunjukkan persepsi siswa terhadap pembelajaran IPA terpadu tipe *integrated* baik dan baik sekali. Pada aspek persepsi siswa terhadap pembelajaran diperoleh temuan bahwa semua siswa yaitu 100% mengetahui dan menyadari pentingnya pembelajaran IPA dalam kehidupan sehari-hari. Pentingnya pembelajaran terhadap IPA oleh sebagian besar siswa disepakati wajib dipelajari walaupun nantinya tidak bekerja menjadi ilmuwan. Bahkan beberapa siswa menyepakati bahwa sebenarnya kejadian di lingkungannya merupakan peristiwa IPA yang merupakan gabungan atau keterpaduan dari konsep Fisika, Biologi, dan Kimia. Hal sependapat juga diuraikan oleh Hewitt *et al* (2007) bahwa setiap orang harus mengetahui konsep dasar keterpaduan IPA untuk dapat mengerti dan mengatasi kejadian alam disekitar kita.

Aspek kesukaan siswa terhadap pembelajaran terpadu tipe *integrated* juga menunjukkan tanggapan dengan kategori baik sekali. Temuan ini menunjukkan siswa dengan senang dan rasa suka mengikuti pembelajaran terpadu tipe *integrated* ini. Rasa suka merupakan salah satu dari pengalaman afektif berupa perasaan

yang bersifat subyektif. Perasaan dapat bereaksi terhadap lingkungan atau stimulus sehingga apabila pembelajaran dapat menjaga emosional siswa seperti rasa suka maka akan mempermudah guru mencapai tujuan pembelajaran. hal itu dikarenakan salah satu faktor yang mempengaruhi belajar siswa adalah psikologis sebagai faktor internal (Sagala, 2013). Temuan lain menunjukkan siswa telah mengetahui bahwa IPA merupakan keterpaduan dari beberapa disiplin ilmu. Beberapa siswa sudah memahami dan menyukai IPA baik secara terpadu maupun masing-masing dengan persentase dalam kategori baik. Temuan ini menunjukkan pembelajaran terpadu tipe *integrated* mampu memberikan pembelajaran konten IPA yang saling tumpang tindih dan masih mampu memberikan pengetahuan konsep berdasarkan masing-masing disiplin ilmunya.

Aspek yang diukur dalam tanggapan siswa selanjutnya yaitu pengembangan keterampilan berpikir kritis dan sikap ilmiah siswa. dua aspek ini menunjukkan hasil yang baik dan baik sekali. Siswa telah merasa bahwa pembelajaran terpadu tipe *integrated* memberikan kesempatan siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis. Terdapat siswa yang menyebutkan lebih mudah memahami konsep IPA dan penerapannya melalui pembelajaran terpadu tipe *integrated*. Temuan ini sejalan dengan prinsip nilai tidak diajarkan tetapi dikembangkan melalui proses belajar dalam penerapan pendidikan karakter dan prinsip tersebut mempunyai arti bahwa proses pendidikan dilakukan peserta didik harus secara aktif dan menyenangkan (Kemendiknas, 2010). Pembelajaran terpadu tipe *integrated* mampu memberikan proses pendidikan yang memberikan siswa rasa menyenangkan dan menjadi pembelajaran yang bermakna dengan kesempatan mandiri.

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa yang mendapat pembelajaran IPA terpadu tipe *integrated* lebih tinggi secara signifikan dibanding dengan pembelajaran IPA terpadu konvensional. Peningkatan keterampilan berpikir kritis terjadi pada semua indikatornya dengan kategori peningkatan sedang yaitu membuat klarifikasi sederhana, membuat keterampilan dasar, kesimpulan, membuat klarifikasi lanjut, dan membangun strategi dan taktik. Indikator membuat klarifikasi sederhana

merupakan indikator keterampilan berpikir kritis yang dapat ditingkatkan secara maksimal melalui pembelajaran terpadu tipe *integrated*. Selain itu, tanggapan siswa terhadap pembelajaran terpadu tipe *integrated* hampir seluruhnya merupakan tanggapan positif. Hampir seluruh siswa percaya bahwa pembelajaran terpadu tipe *integrated* menyenangkan dan dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan sikap ilmiah siswa.

Berdasarkan hasil temuan dan pembahasan penelitian peneliti merekomendasikan beberapa hal diantaranya untuk guru, sekolah, dan peneliti. Pertama, rekomendasi diberikan kepada penyelenggara pendidikan seperti sekolah. Sekolah perlunya penggunaan guru IPA yang mampu mengajarkan IPA secara terpadu dapat melalui lulusan sarjana IPA atau melalui pelatihan pembelajaran terpadu. Kedua, rekomendasi ditujukan kepada guru sebagai salah satu pelaku pendidikan. Guru perlu merancang dan menerapkan pembelajaran terpadu dalam mata pelajaran IPA maupun keterpaduan dengan mata pelajaran yang lain di SMP, sehingga dapat mengembangkan kompetensi secara maksimal. Ketiga, rekomendasi diberikan kepada peneliti yang akan melanjutkan penelitian ini atau menjadikan temuan penelitian sebagai acuan penelitian. Peneliti dapat melakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan tema, kompetensi keterampilan, dan menambahkan disiplin ilmu diluar rumpun ilmu IPA. Selain itu, pengukuran terhadap alasan dalam tes keterampilan berpikir kritis dapat dianalisis secara khusus. Lebih jauh, peningkatan keterampilan berpikir kritis yang masih belum maksimal diperlukan keberlanjutan pembelajaran terpadu IPA tipe *integrated*. Keberlanjutan secara konsisten dan kontinyu akan membiasakan siswa meningkatkan dan memfasilitasi rasa ingin tahunya terhadap konsep disekitarnya sehingga mengurangi kebiasaan siswa yang hanya menerima informasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Costa, A.L. (Penyunting), (1985), *Developing minds resources book for thinking*. California: ASCD.
- Ennis, R.H. (1985) Goals For A Critical Thinking Curriculum. Dalam A.L.Costa (Penyunting) *Developing minds resources book for thinking*. (hlm. 54-57). California: ASCD.
- Fisher, A. (2009). *Berpikir kritis (sebuah pengantar)*. Jakarta: Erlangga.
- Filsaime, D.K. (2008). *Menguak rahasia berpikir kritis dan kritis (terjemahan)*. Jakarta: Prestasi Pustakarya.
- Fogarty, R. (1991). *The mindful school how to integrate the curricula*. New York: IRI/Skylight Publishing.
- Hake, R.R. (1998). Interactive-Engagement Vs Traditional Methods: A Thousand-Students Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Course. *American Journal of Physics*, 66 (1), hlm. 64-74
- Hewitt, P.G., Lyons, S., Suchoki, J., & Yeh, J. (2007). *Conceptual integrated sciences*. San Francisco: Pearson Education, Inc.
- Jones, A., Bunting, C., Hipkins, R., Mckim, A., Conner, L., & Saunders, K. (2012). Developing Students' Futures Thinking in Science Education. *Research Science Education*, 42 (1), hlm. 678-708.
- Kuswana, W.S. (2012). *Taksonomi Kognitif Perkembangan Ragam Berpikir*. Bandung: Rosda.
- Liliawati, W. (2014). *Pengembangan program perkuliahan IPBA terintegrasi yang mengakomodasi kecerdasan majemuk berorientasi penanaman karakter dan penguasaan konsep*. (Disertasi). Sekolah Pascasarjana, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Lin, S.S. 2014. Science And Non-Science Undergraduate Students' Critical Thinking And Argumentation Performance In Reading A Science News Report. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12 (1), hlm. 1023-1046.
- Malamitsa, K., Kasoutas, M. & Kokkotas, P. (2009). Developing Greek Primary School Students' Critical Thinking Through an Approach of Teaching Science which Incorporates Aspects of History of Science. *Science & Education*, 18 (2), hlm. 457-468.
- Muqqoyah., Rusilowati, A. & Sulhadi. 2010. Efektivitas Dan Efisiensi Model Pembelajaran Terpadu Tipe Intergrated Dalam Pembelajaran Tema Cahaya. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 6(1), hlm. 44-47.
- Pangaribowo, A. (2014). *Implementasi pembelajaran terpadu tipe shared untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan motivasi belajar siswa SMK pada topik limbah di lingkungan kerja*. (Tesis). Sekolah Pascasarjana, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Plotrick, R. E., Varelas, M., & Fan, Q. (2009). An Integrated Earth Science, Astronomy, and Physics Course for Elementary Education Majors. *Journal of Geoscience Education*, 57 (2), hlm. 152-158.
- Preseisen, B.Z. (1985). Thinking Skills: Meaning and Models. Dalam A.L Costa (Penyunting), *Developing minds resources book for thinking*. (hlm. 43-48).California: ASCD.
- Pratiwi, T.R. & Muslim. (2015). *Pembelajaran Terpadu Tipe Integrated Konsep Perubahan untuk Meningkatkan Sikap Ilmiah Siswa SMP*. hlm.557-580. Dalam Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains

2015. Bandung: ITB.
- Sagala, S. (2013). *Konsep dan Makna Pembelajaran*. Bandung: Alfabeta.
- Sarwi & S. Khanafiyah. (2010). Pengembangan Keterampilan Kerja Ilmiah Mahasiswa Calon Guru Fisika Melalui Eksperimen Gelombang Open-Inquiry. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 6(1), hlm. 115-122.
- Sarwi., Rusilowati, A. & Khanafiyah, S. (2012). Implementasi Model Eksperimen Gelombang Open-Inquiry Untuk Mengembangkan Keterampilan Berpikir Kritis Mahasiswa Fisika. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 8 (1), hlm. 41-50
- Schaal, S., Bogner, F.X., & Girwidz, R. (2010). Concept Mapping Assessment of Media Assisted Learning in Interdisciplinary Science Education. *Research In Science Education*, 40 (3), hlm. 339-352.
- Setyorini, U., Sukiswo, S.E. & Subali, B. (2011). Penerapan Model Problem Based Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMP. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 7(1), hlm. 52-56.
- Tawil, M. & Liliyasi. (2013). *Berpikir kompleks dan implementasinya dalam pembelajaran IPA*. Makasar: Badan Penerbit UNM.
- Trefil, J., & Hazen, R. M. (2010). *Sciences an integrated approach sixth edition international student version*. United State: John Willey & Son (Asia).
- Turpin, T., & Cage, B. N. (2004). The Effect of an Integrated, Activity-Based Science Curriculum on Student Achievement, Science Process Skills, and Science Attitude. *Electronic Journal of Literacy trough Science*, 3 (1), hlm. 1-7.
- Yu, K.C., Lin, K.Y., & Fan, S.C. (2014). An exploratory study on the application of conceptual knowledge and critical thinking to technological issues. *International Journal Technology Des Education*, DOI 10.1007/s10798-014-9289-5.