

PENERAPAN MODEL PEMBELAJARAN PEMBANGKIT ARGUMEN MENGGUNAKAN METODE SAINTIFIK UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN KOGNITIF DAN KETERAMPILAN BERARGUMENTASI SISWA

IMPLEMENTATION OF GENERATE ARGUMENT INSTRUCTIONAL MODEL USING SCIENTIFIC METHOD TO INCREASE THE COGNITIVE ABILITIES AND ARGUMENTATION SKILLS OF SENIOR HIGH SCHOOL STUDENTS

Siswanto^{1*}, I. Kaniawati², A. Suhandi³

¹STKIP Taman Siswa Bima, Sumbawa, Indonesia

^{2,3}Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

Diterima: 18 Juni 2014. Disetujui: 24 Juni 2014. Dipublikasikan: Juli 2014

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh gambaran tentang perbedaan peningkatan kemampuan kognitif dan keterampilan berargumentasi siswa yang mendapatkan pembelajaran fisika dengan model pembangkit argumen menggunakan metode saintifik dan tanpa menggunakan metode saintifik, serta memperoleh gambaran mengenai hubungan antara keterampilan berargumentasi dengan kemampuan kognitif siswa yang mendapat pembelajaran dengan model pembangkit argumen menggunakan metode saintifik. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimen semu dengan desain *randomized control group pretest-posttest design*. Populasinya adalah seluruh siswa kelas X MIA pada salah satu SMA Negeri di Kabupaten Pemalang. Sampel sebanyak dua kelas yang dipilih secara *cluster random sampling*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kemampuan kognitif dan keterampilan berargumentasi siswa di kedua kelas. Namun, besarnya peningkatan pada kelas eksperimen lebih signifikan dibanding kelas kontrol. Selain itu, terdapat hubungan yang kuat dan signifikan antara keterampilan berargumentasi dengan kemampuan kognitif siswa yang mendapat pembelajaran dengan model pembangkit argumen menggunakan metode saintifik.

ABSTRACT

The purposes of this study were to determine the difference between the generate-an-argument instructional model using scientific method and without scientific method in improving student's cognitive abilities and argumentation skills, and to determine the correlation between the argumentation skills and the cognitive abilities in the generate-an-argument instructional model using scientific method class. The study was conducted using a quasi-experimental with randomized control group pretest-posttest design. The population were all of students in X MIA grades on one of the senior high schools in Pemalang district. There were two samples that chosen at random cluster sampling. The results showed that there was an improving of student's cognitive abilities and argumentation skills in two classes. But, in the experiment's class there was more significantly improvement student's cognitive abilities and argumentation skills than in control class. In addition, there was a strong and significant correlation between argumentation skills and cognitive abilities of students having lesson implementing the generate-an-argument instructional model using scientific method.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: the generate argument instructional model; scientific method; argumentation skills; cognitive abilities

***Alamat Korespondensi:**

Jalan Lintas Sumbawa Palibelo Bima. Telp/fax (0374) 42891
E-mail: sis_physics@yahoo.com

PENDAHULUAN

Pada kurikulum 2013, proses pembelajaran fisika harus mampu mengembangkan kemampuan siswa baik dari aspek sikap (afektif), pengetahuan (kognitif), maupun keterampilan (psikomotor). Kabupaten Pemalang merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Tengah yang menginstruksikan sekolah-sekolahnya pada setiap jenjang untuk memulai mempraktikkan kurikulum 2013 pada awal tahun ajaran baru 2013. Akan tetapi, hasil observasi awal untuk mata pelajaran fisika pada beberapa sekolah di kabupaten Pemalang menunjukkan bahwa pencapaian kompetensi belum sesuai dengan yang diharapkan pada kurikulum 2013. Hasil observasi awal pada ranah pengetahuan (kognitif) untuk beberapa sekolah di kabupaten Pemalang masih rendah. Menurut beberapa guru, pencapaian kemampuan kognitif hanya sebatas pada level mengingat (C_1) dan memahami (C_2), meskipun demikian beberapa siswa juga masih kesulitan untuk mencapai level tersebut. Sedangkan untuk level mengaplikasikan (C_3) dan menganalisis (C_4), pencapaian siswa masih tergolong rendah.

Selain rendahnya pencapaian pada ranah kognitif, pencapaian siswa untuk ranah keterampilan, terutama keterampilan berpikir, juga masih rendah. Padahal, berdasarkan Permendikbud Nomor 54 tahun 2013 tentang Standar Kompetensi Lulusan mengharuskan siswa agar memiliki keterampilan berpikir. Pada penelitian ini, keterampilan berpikir yang dimaksud adalah keterampilan berargumentasi. Hasil temuan awal ini juga sesuai dengan temuan Sondang (2012) dan Muslim (2012), yang menemukan bahwa sebagian besar siswa belum terampil dalam menuliskan argumentasi sains. Argumentasi yang dibuat oleh siswa lemah dalam menyertakan bukti dan dukungan yang dapat menjamin kebenaran dari klaim yang diajukan.

Gagasan pentingnya pembekalan keterampilan berargumentasi kepada siswa yaitu bahwa (1) keterampilan berargumentasi berperan penting dalam membangun suatu eksplanasi, model, dan teori dari suatu konsep yang dipelajari (Zohar & Nemet, 2002), karena dengan melatih keterampilan berargumentasi berarti melatih kemampuan kognitif dan afektif yang dapat digunakan untuk membantu memahami konsep-konsep dan proses-proses dasar fisika (Sampson & Gerbino, 2010; Erduran, & Maria, 2008), (2) idealnya pembelajaran fisika selain membekalkan kemampuan

kognitif juga harus membekalkan keterampilan berargumentasi kepada siswa (Osborne, *et al.*, 2004; Cross, *et al.*, 2008; Kuhn, 2010).

Rendahnya pencapaian ranah pengetahuan (kognitif) dan keterampilan berargumentasi diduga terkait dengan proses pembelajaran yang belum sepenuhnya melatih kemampuan-kemampuan tersebut. Berdasarkan hasil observasi, proses pembelajaran yang dilaksanakan lebih banyak pada transfer pengetahuan dengan metode ceramah di dalam kelas, dan latihan-latihan soal sebagai penguat konsep. Proses pembelajaran fisika juga lebih banyak dilakukan dengan penjelasan rumus-rumus. Padahal, rumus-rumus dalam fisika hanyalah konsekuensi penyederhanaan pernyataan dari sebuah fenomena dan proses-proses yang terjadi di alam. Selain itu, juga disebabkan oleh guru yang jarang melaksanakan kegiatan percobaan pada proses pembelajarannya, sehingga membuat proses pembelajaran menjadi kurang bermakna bagi siswa. Proses pembelajaran yang seperti ini menyebabkan konsep-konsep penting dalam fisika yang seharusnya mengajak siswa berpikir lebih dalam menjadi hilang. Oleh sebab itu, untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan suatu inovasi pembelajaran yang dapat bermakna bagi siswa, serta dapat melatih ranah kognitif dan keterampilan berargumentasi kepada siswa. Inovasi tersebut yaitu dengan menerapkan model pembelajaran pembangkit argumen menggunakan metode saintifik.

Model pembelajaran pembangkit argumen dirancang untuk melatih keterampilan berargumentasi siswa yang meliputi keterampilan dalam mengajukan klaim, data, pembenaran, dukungan dan sanggahan berdasarkan pada permasalahan yang diberikan (Sampson, & Gerbino, 2010). Sedangkan metode saintifik merupakan sebuah metode pembelajaran yang di dalamnya memiliki tahapan-tahapan kegiatan ilmiah yaitu tahapan mengamati, menanya, menalar, mencoba, dan membentuk jejaring. Metode saintifik digunakan untuk mengatasi kelemahan yang ada pada model pembelajaran pembangkit argumen, yaitu bahwa model pembelajaran pembangkit argumen tidak memfasilitasi siswa untuk melakukan kegiatan-kegiatan ilmiah yang dapat lebih menguatkan penguasaan konsep siswa guna menunjang pembekalan keterampilan berargumentasi. Diharapkan melalui penggunaan metode saintifik dalam model pembelajaran pembangkit argumen, kemampuan kognitif dan keterampilan berargumentasi

tasi siswa menjadi lebih meningkat dibandingkan hanya menggunakan model pembelajaran pembangkit argumen tanpa menggunakan metode saintifik.

Sintaks model pembelajaran pembangkit argumen yang di dalamnya diinovasikan menggunakan metode saintifik dibagi dalam empat tahapan. Tahapan-tahapan tersebut yaitu (1) tahap penanaman konsep, mengidentifikasi masalah, pertanyaan dan pembagian tugas secara berkelompok menggunakan metode saintifik, (2) tahap membuat argumen tentatif, (3) tahap mempresentasikan argumen, (4) tahap memperbaiki argumen. Diharapkan melalui tahapan-tahapan tersebut dapat lebih meningkatkan kompetensi siswa pada ranah kognitif dan ranah keterampilan yaitu keterampilan berargumentasi.

Kemampuan kognitif merupakan kegiatan mental dari tahap dasar ke tahap yang lebih tinggi yang dilakukan oleh seseorang dalam berpikir yang meliputi aspek mengingat (C_1), memahami (C_2), mengaplikasikan (C_3), menganalisis (C_4), mengevaluasi (C_5), dan mencipta (C_6) (Anderson, & Krathwohl, 2001). Sedangkan keterampilan berargumentasi merupakan keterampilan dalam memberikan alasan baik untuk memperkuat maupun menolak suatu permasalahan yang meliputi aspek pengajuan klaim, data, pembenaran, dukungan (Toulmin, 2003). Klaim merupakan sebuah dugaan, penjelasan, kesimpulan, prinsip digeneralisasikan, atau jawaban atas pertanyaan penelitian. Data merupakan komponen-komponen yang dapat dijadikan sebagai bukti yang telah dikumpulkan dan dianalisa. Pembenaran merupakan pernyataan yang menjelaskan bagaimana data yang ditampilkan dapat mendukung klaim yang diajukan. Dukungan merupakan ungkapan tambahan yang perlu dibuat untuk mendukung pembenaran yang berupa teori-teori atau fakta-fakta yang berlaku. Sedangkan sanggahan merupakan bentuk pernyataan yang menolak atau ketidaksetujuan terhadap suatu argumentasi, sehingga dalam mengungkapkan sanggahan dituliskan kembali klaim, data, pembenaran, dan dukungan yang menunjang sanggahannya.

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan gambaran tentang: (1) perbedaan peningkatan kemampuan kognitif dan keterampilan berargumentasi antara siswa yang mendapatkan pembelajaran fisika dengan model pembelajaran pembangkit argumen menggunakan metode saintifik dengan

siswa yang mendapatkan pembelajaran fisika dengan model pembelajaran pembangkit argumen tanpa menggunakan metode saintifik yaitu menggunakan metode demonstrasi dan ceramah, (2) hubungan antara keterampilan berargumentasi dengan kemampuan kognitif siswa yang mendapatkan pembelajaran fisika dengan model pembelajaran pembangkit argumen menggunakan metode saintifik.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen semu (*quasi experiment*) dengan desain *randomized control group pretest – posttest design*. Penelitian ini menggunakan dua kelas, satu kelas sebagai kelas kontrol dan satu kelas lainnya sebagai kelas eksperimen. Kelas eksperimen mendapatkan perlakuan berupa pembelajaran dengan model pembelajaran pembangkit argumen menggunakan metode saintifik, sedangkan kelas kontrol mendapatkan perlakuan berupa pembelajaran dengan model pembelajaran pembangkit argumen tanpa menggunakan metode saintifik, yaitu menggunakan metode demonstrasi dan ceramah.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa kelas X MIA (Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam) di salah satu SMA Negeri di Kabupaten Pematang Liris semester genap tahun ajaran 2013/2014, sedangkan sampel pada penelitian ini adalah siswa kelas X MIA sebanyak dua kelas yang dipilih secara *cluster random sampling*.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah: (1) Tes pilihan ganda; digunakan untuk mengukur kemampuan kognitif siswa pada materi suhu dan kalor. Kemampuan kognitif yang dikembangkan yaitu aspek mengingat (C_1), memahami (C_2), mengaplikasikan (C_3), menganalisis (C_4). Tes dilakukan sebelum pembelajaran (*pretest*) dan setelah pembelajaran (*posttest*). (2) Tes uraian dengan rubrik penilaian; digunakan untuk mengukur keterampilan berargumentasi siswa pada materi suhu dan kalor. Keterampilan berargumentasi yang dikembangkan yaitu indikator mengajukan klaim, data, pembenaran, dukungan, dan sanggahan. Tes dilakukan sebelum pembelajaran (*pretest*) dan setelah pembelajaran (*posttest*). Kedua instrumen tes yang digunakan (tes kemampuan kognitif dan keterampilan berargumentasi) sudah diujicobakan dan dianalisis dengan uji validitas, uji reliabilitas, daya pembeda, dan tingkat kemudahan, sehingga

instrumen yang digunakan layak dan dapat digunakan. (3) Lembar observasi; digunakan untuk mengetahui aktivitas guru dan siswa selama proses pembelajaran berlangsung baik di kelas eksperimen maupun di kelas kontrol. (4) Angket; digunakan untuk menggali tanggapan siswa pada kelas eksperimen terhadap proses pembelajaran yang diterapkan. (5) wawancara terbuka; digunakan sebagai data penguat untuk mendukung data yang diperoleh menggunakan instrumen yang lainnya.

Teknik analisis terhadap data hasil tes menggunakan skor gain rata-rata kelas yang dinormalisasi (Hake, R.R., 1999).

$$g = \frac{\langle Skor_{posttest} \rangle - \langle Skor_{pretest} \rangle}{\langle Skor_{ideal} \rangle - \langle Skor_{pretest} \rangle}$$

Klasifikasi peningkatan ditandai oleh besarnya $\langle g \rangle$, yakni kriteria tinggi jika $g \geq 0,7$; kriteria sedang jika $0,7 \leq g \leq 0,3$; kriteria rendah jika $g < 0,3$.

Setelah diperoleh kriteria nilai rata-rata gain yang ternormalisasi dari kelas eksperimen dan kelas kontrol, selanjutnya dibandingkan untuk melihat signifikansi peningkatan kemampuan kognitif dan keterampilan berargumentasi siswa pada kedua kelas tersebut. Analisis dilakukan menggunakan uji hipotesis dengan bantuan piranti lunak pengolah data *IBM SPSS Statistic 18*.

Analisis data dilanjutkan dengan melaku-

kukan analisis hubungan antara keterampilan berargumentasi dengan kemampuan kognitif siswa kelas eksperimen menggunakan uji korelasi. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan piranti lunak pengolah data *IBM SPSS Statistic 18*. Interpretasi nilai korelasi sebagai berikut: kriteria sangat kuat $0,8 \leq r \leq 1$; kriteria kuat $0,6 \leq r < 0,8$; kriteria sedang $0,4 \leq r < 0,6$; kriteria rendah $0,2 \leq r < 0,4$; kriteria sangat rendah $0 \leq r < 0,2$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada kelas eksperimen, penelitian tentang penerapan model pembelajaran pembangkit argumen menggunakan metode saintifik dalam pembelajaran fisika untuk meningkatkan kemampuan kognitif dan keterampilan berargumentasi siswa dilakukan dalam tiga kali pertemuan. Pembelajaran dilakukan pada materi suhu dan kalor yang terdiri dari beberapa topik pembelajaran yaitu suhu, pengaruh kalor terhadap perubahan suhu, pengaruh kalor terhadap perubahan wujud, pemuaian, perpindahan kalor, dan asas Black. Hubungan antara kegiatan pembelajaran yang menerapkan model pembelajaran pembangkit argumen menggunakan metode saintifik dengan pencapaian kompetensi yang diharapkan disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1. tersebut, dapat terlihat bahwa tahapan-tahapan yang ada pada

Tabel 1. Matriks Hubungan antara Tahapan Model Pembelajaran Pembangkit Argumen Menggunakan Metode Saintifik dengan Kompetensi yang Diharapkan

Tahapan Pembelajaran	Kompetensi yang Diharapkan
PENDAHULUAN	
Memberi apersepsi	Mengingat (C1)
Menggali konsepsi awal	Mengingat (C1)
Memberikan motivasi	-
KEGIATAN INTI	
Tahap I: Penanaman Konsep, Identifikasi masalah, pertanyaan dan tugas menggunakan metode saintifik	
Mengamati	
Pemberian kesempatan kepada siswa untuk melakukan pengamatan terhadap demonstrasi yang dilakukan	-
Menanya	
Pemberian kesempatan kepada siswa untuk mengajukan pertanyaan berdasarkan pengamatannya terhadap demonstrasi yang dilakukan	-
Menalar	
Pemberian kesempatan kepada siswa untuk berdiskusi menjawab pertanyaan yang muncul	Memahami (C2)
Pencarian informasi pada buku paket	

Tahapan Pembelajaran	Kompetensi yang Diharapkan
Mencoba Melakukan percobaan berdasarkan masalah yang disajikan Mengumpulkan data-data percobaan untuk menjawab permasalahan Menganalisis data-data hasil percobaan Mengerjakan lembar kerja siswa	Memahami (C ₂), Mengaplikasi (C ₃), Menganalisis (C ₄)
Tahap II: Membuat argumen tentative (Siswa membuat argumen sementara yang didasarkan pada hasil percobaan yang dilakukan untuk didiskusikan di depan kelas)	
Membuat argumen tentatif Diskusi kelompok membuat argumen tentative	Memahami (C ₂), Mengaplikasi (C ₃), Menganalisis (C ₄), Mengajukan Klaim, data, pembenaran, dukungan, sanggahan
<i>Tahap III: Mempresentasikan Argumen</i>	
Presentasi terkait argumentasi yang sudah dibuat Mendiskusikan antar kelompok hasil argumentasi yang dibuatnya	Memahami (C ₂), Menganalisis (C ₄), Mengajukan Klaim, data, pembenaran, dukungan, sanggahan
<i>Tahap IV: Memperbaiki Argumen</i>	
Mengevaluasi argumentasi yang sudah didiskusikan antar kelompok Membuat argumentasi akhir hasil diskusi antar kelompok	Mengajukan Klaim, data, pembenaran, dukungan, sanggahan
PENUTUP	
Melakukan koreksi dan penguatan materi	Mengingat (C ₁), Memahami (C ₂)
Menyimpulkan materi yang dipelajari	

model pembelajaran pembangkit argumen menggunakan metode saintifik melatih siswa untuk pencapaian kompetensi kemampuan kognitif aspek mengingat (C₁), memahami (C₂), mengaplikasikan (C₃), menganalisis (C₄) dan keterampilan berargumentasi untuk indikator pengajuan klaim, data, pembenaran, dan dukungan baik yang mendukung maupun yang menolak.

Kemudian, penelitian di kelas kontrol yang menerapkan model pembelajaran pembangkit argumen tanpa menggunakan metode saintifik, yaitu menggunakan metode demonstrasi dan ceramah dalam pembelajaran fisika untuk meningkatkan kemampuan kognitif dan keterampilan berargumentasi siswa juga dilakukan dalam tiga kali pertemuan. Hubungan antara kegiatan pembelajaran yang menerapkan model pembelajaran pembangkit argumen menggunakan metode demonstrasi dan ceramah dengan pencapaian kompetensi yang diharapkan disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2. tersebut, dapat terlihat bahwa tahapan-tahapan yang ada pada

model pembelajaran yang diterapkan juga melatih siswa untuk pencapaian kompetensi kemampuan kognitif aspek mengingat (C₁), memahami (C₂), mengaplikasikan (C₃), menganalisis (C₄) dan keterampilan berargumentasi untuk indikator pengajuan klaim, data, pembenaran, dan dukungan baik yang mendukung maupun yang menolak. Hal yang membedakan dengan Tabel 1. yaitu pada Tabel 2. tahapan pertama model pembelajaran pembangkit argumen dilakukan tanpa menggunakan metode saintifik seperti pada Tabel 1. tetapi menggunakan metode demonstrasi dan ceramah.

Setelah dilakukan perlakuan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan kognitif siswa baik untuk kelas eksperimen dan kelas kontrol mengalami peningkatan. Rekapitulasi rata-rata *pretest*, *posttest* dan <g> kemampuan kognitif siswa antara kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan pada Gambar 1. Perolehan skor rata-rata gain yang dinormalisasi <g> kemampuan kognitif untuk kelas eksperimen dan kelas kontrol masing masing sebesar 0,65 dan 0,37. Perolehan skor rata-rata gain yang

Tabel 2. Matriks Hubungan antara Tahapan Model Pembelajaran Pembangkit Argumen Tanpa Menggunakan Metode Saintifik (Menggunakan Metode Demonstrasi dan Ceramah)

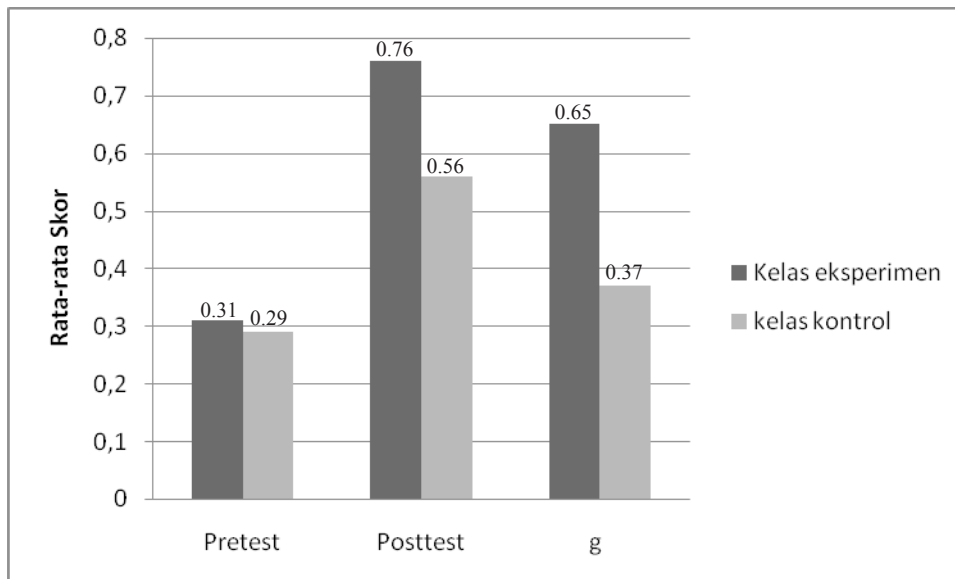
Tahapan Pembelajaran	Kompetensi yang Diharapkan
PENDAHULUAN	
Memberi apersepsi	Mengingat (C1)
Menggali konsepsi awal	Mengingat (C1)
Memberikan motivasi	-
II. KEGIATAN INTI	
Tahap I: Penanaman Konsep, Identifikasi masalah, pertanyaan dan tugas menggunakan metode demonstrasi dan ceramah	
Guru melakukan demonstrasi	Mengingat (C1), Memahami (C2), Mengaplikasi (C3), Menganalisis (C4)
Penanaman konsep menggunakan metode ceramah	
Mengerjakan lembar kerja siswa	
Tahap II: Membuat argumen tentative (Siswa membuat argumen sementara yang didasarkan pada konsep yang sudah ditanamkan guru melalui metode ceramah)	
Membuat argumen tentatif	Memahami (C2), Mengaplikasi (C3), Menganalisis (C4), Mengajukan Klaim, data, pembenaran, dukungan, sanggahan
Diskusi kelompok membuat argumen tentative	
<i>Tahap III: Mempresentasikan Argumen</i>	
Presentasi terkait argumentasi yang sudah dibuat	Memahami (C2), Menganalisis (C4), Mengajukan Klaim, data, pembenaran, dukungan, sanggahan
Mendiskusikan antar kelompok hasil argumentasi yang dibuatnya	
<i>Tahap IV: Memperbaiki Argumen</i>	
Mengevaluasi argumentasi yang sudah didiskusikan antar kelompok	Mengajukan Klaim, data, pembenaran, dukungan, sanggahan
Membuat argumentasi akhir hasil diskusi antar kelompok	
PENUTUP	
Melakukan koreksi dan penguatan materi	Mengingat (C1), Memahami (C2)
Menyimpulkan materi yang dipelajari	

dinormalisasi <g> kemampuan kognitif baik pada kelas kontrol maupun pada kelas eksperimen termasuk kriteria sedang.

Rata-rata peningkatan kemampuan kognitif kelas eksperimen yang hanya dapat tercapai sebesar 0,65 disebabkan karena ada ketakterlaksanaan tahapan pembelajaran menggunakan metode saintifik oleh siswa seperti disajikan pada Tabel 2 tentang hasil observasi keterlaksanaan model pembelajaran, yaitu pada tahapan menanya dan menalar di pertemuan pertama, serta pada tahapan menanya di pertemuan kedua. Padahal, proses menanya dan menalar mampu mendorong partisipasi siswa dalam berdiskusi, berargumen, mengembangkan kemampuan berpikir,

dan menarik kesimpulan, sehingga seharusnya dapat lebih meningkatkan kemampuan kognitif siswa dari skor yang sudah tercapai.

Meskipun perolehan skor rata-rata gain yang dinormalisasi <g> kemampuan kognitif baik pada kelas kontrol maupun pada kelas eksperimen termasuk kriteria sedang, tetapi berdasarkan hasil uji hipotesis menggunakan uji-t diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,001 pada taraf kepercayaan 95% yang berarti bahwa pada taraf kepercayaan 95% penerapan model pembelajaran pembangkit argumen menggunakan metode saintifik pada kelas eksperimen secara signifikan dapat lebih meningkatkan kemampuan kognitif siswa pada materi ajar suhu dan kalor dibandingkan de-



Gambar 1. Skor Rata-rata *Pretest*, *Posttest*, dan *<g>* Kemampuan Kognitif Siswa Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol.

ngan penerapan model pembelajaran pembangkit argumen tanpa menggunakan metode saintifik pada kelas kontrol. Uji hipotesis dilakukan menggunakan uji-t karena skor peningkatan yang diperoleh terdistribusi normal dan homogen.

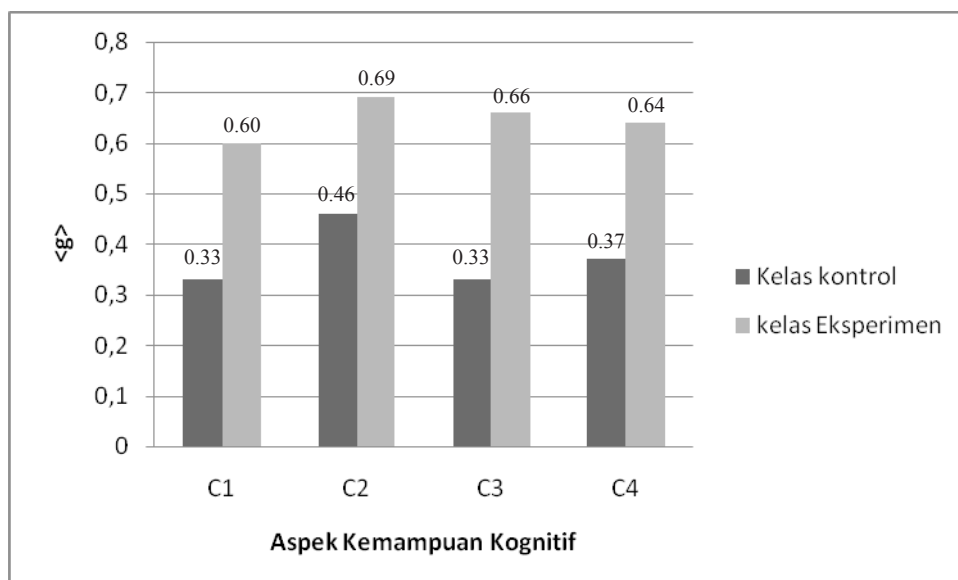
Skor peningkatan kemampuan kognitif pada kelas kontrol yang meskipun hanya sebesar 0,37 disebabkan oleh proses pembelajaran di kelas kontrol. Hal ini berarti bahwa proses pembelajaran yang di dalamnya mengajarkan siswa untuk mengembangkan keterampilan berargumentasi sains dapat meningkatkan kemampuan kognitif siswa. Temuan ini sesuai dengan hasil penelitian yang diungkapkan oleh Zohar dan Nemet, (2002); Mc. Neil, K, *et al* (2006); serta Sampson dan Gerbino (2010) bahwa proses pembelajaran yang di dalamnya melatih siswa untuk berargumentasi sains dapat membangun konsep-konsep, eksplanasi, model, teori, serta penalaran siswa tentang sains. Selain itu, temuan tersebut juga sesuai dengan temuan Duschl, (2008) yang mengatakan bahwa siswa dapat mencapai hasil pendidikan sains sesuai dengan yang diharapkan dengan memberikan mereka lebih banyak kesempatan untuk belajar tentang argumentasi ilmiah.

Pada kelas eksperimen, skor peningkatan yang lebih tinggi disebabkan oleh penggunaan metode saintifik dalam penerapan model pembelajaran pembangkit argumen. Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa langkah-langkah yang ada dalam metode saintifik juga berpengaruh terhadap peningkatan ke-

mampuan kognitif siswa. Hasil temuan tersebut sejalan dengan temuan yang diungkapkan secara tersirat oleh Gardner (1999) bahwa penanaman konsep kepada siswa dapat dilakukan melalui pengungkapan oleh siswa baik secara verbal, numerikal, kerangka pikir positivistik, kerangka pikir kehidupan berkelompok, maupun kontemplasi spiritual melalui suatu proses mental terjadinya adaptasi dan transformasi ilmu pengetahuan. Secara langsung, tahapan-tahapan yang dijelaskan oleh Gardner (1999) termuat dalam tahapan-tahapan yang ada pada metode saintifik. Selain itu, temuan tersebut juga sesuai dengan pemikiran Wiemen (2007), yang mengatakan bahwa penggunaan metode saintifik dalam pembelajaran dapat membuat siswa menjadi lebih pandai dalam mengeksplanasi suatu konsep, dan meningkatkan kemampuan kognitif siswa.

Menggunakan metode saintifik dalam pembelajaran dapat membuat pembelajaran menjadi lebih bermakna dan membuat rasa senang pada diri siswa, sehingga siswa lebih mudah untuk mempelajari konsep (Wiemen, 2007; Christine, 2010). Hasil ini juga sejalan dengan hasil angket yang diisi oleh siswa bahwa 100 % siswa pada kelas eksperimen mengatakan bahwa mereka merasa senang dengan kegiatan belajar mengajar yang dilaksanakan.

Penggunaan metode saintifik dalam penerapan model pembelajaran pembangkit argumen selain efektif meningkatkan kemampuan kognitif secara keseluruhan juga efektif dalam meningkatkan kemampuan kognitif un-



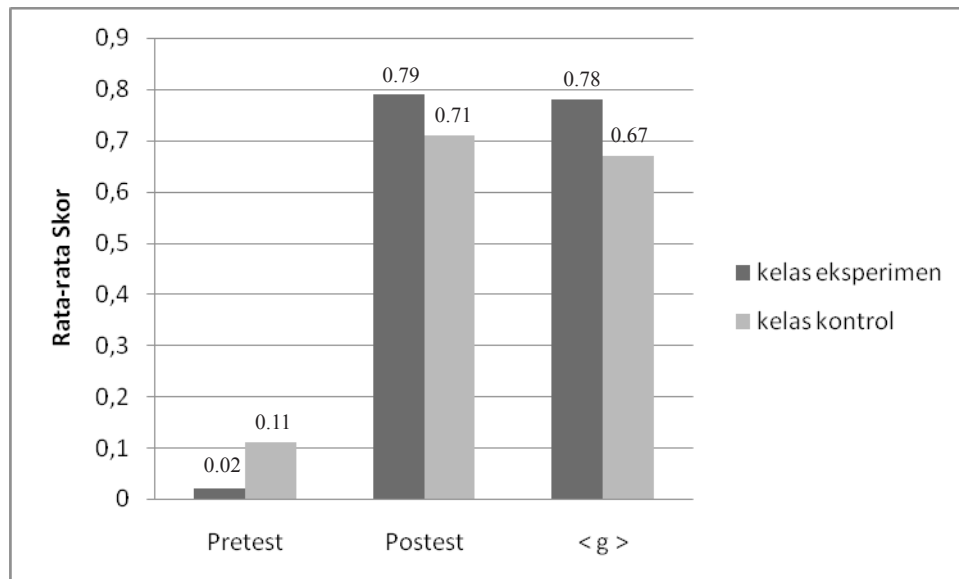
Gambar 2. Skor Rata-Rata Gain yang Dinormalisasi Kemampuan Kognitif Siswa Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol pada Setiap Aspek Kognitif.

tuk setiap aspeknya. Secara umum, penggunaan metode saintifik dapat lebih meningkatkan setiap aspek kemampuan kognitif yaitu aspek mengingat (C_1), aspek memahami (C_2), aspek mengaplikasikan (C_3), dan aspek menganalisis (C_4). Rekapitulasi skor rata-rata gain yang dinormalisasi $\langle g \rangle$ pada setiap aspek kognitif antara kelas eksperimen dan kelas kontrol yang diperoleh disajikan pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2, urutan peningkatan aspek kognitif pada kelas eksperimen dari yang tertinggi ke yang terkecil yaitu pada aspek memahami (C_2), aspek mengaplikasikan (C_3), aspek menganalisis (C_4), aspek mengingat (C_1). Sedangkan urutan peningkatan aspek kognitif pada kelas kontrol dari yang tertinggi ke yang terkecil yaitu aspek memahami (C_2), aspek menganalisis (C_4), aspek mengaplikasikan (C_3), aspek mengingat (C_1). Paling tingginya nilai peningkatan aspek memahami (C_2) baik pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol karena hampir setiap kegiatan pembelajaran pada setiap tahapan pembelajaran yang dilaksanakan melatih aspek memahami (C_2). Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil tersebut juga sejalan dengan temuan Kuhn (2010), bahwa keterampilan berargumentasi dapat meningkatkan kemampuan kognitif terutama pada aspek pemahaman. Selain itu, lebih tingginya peningkatan setiap aspek kemampuan kognitif pada kelas eksperimen sebagai dampak dari penggunaan metode saintifik juga didukung oleh hasil angket yang diisi oleh siswa pada kelas eksperimen. Hasil angket menunjukkan bahwa dari seluruh siswa pada kelas

yang proses pembelajarannya menggunakan metode saintifik: (1) Untuk poin pertama, sebesar 94,11% siswa mengatakan bahwa kegiatan pembelajaran yang dilaksanakan lebih memudahkan siswa dalam mengingat konsep. (2) Untuk poin kedua, sebesar 88,23% siswa mengatakan bahwa kegiatan pembelajaran yang dilaksanakan lebih memudahkan siswa dalam memahami konsep. (3) Untuk poin ketiga, sebesar 97,05% siswa mengatakan bahwa kegiatan belajar mengajar yang dilaksanakan lebih memudahkan siswa untuk mengaplikasikan konsep yang dipelajari. (4) Untuk poin keempat, sebesar 88,23% siswa mengatakan bahwa kegiatan belajar mengajar yang dilaksanakan lebih memudahkan siswa dalam menganalisis fenomena sehari-hari yang berkaitan dengan konsep yang dipelajari.

Selain meningkatkan kemampuan kognitif, penerapan model pembelajaran juga dapat meningkatkan keterampilan berargumentasi siswa. Rekapitulasi rata-rata *pretest*, *posttest* dan $\langle g \rangle$ keterampilan berargumentasi siswa antara kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, terlihat adanya perbedaan peningkatan keterampilan berargumentasi antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Perolehan skor rata-rata gain yang dinormalisasi $\langle g \rangle$ keterampilan berargumentasi untuk kelas eksperimen dan kelas kontrol masing masing sebesar sebesar 0,78 dan 0,67. Perolehan skor rata-rata gain keterampilan berargumentasi yang dinormalisasi $\langle g \rangle$ pada kelas kontrol termasuk kriteria sedang dan perolehan skor rata-rata gain



Gambar 3. Skor Rata-Rata Gain yang Dinormalisasi Keterampilan Berargumentasi Siswa Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol pada Setiap Aspek Kognitif.

keterampilan berargumentasi yang dinormalisasi <g> pada kelas eksperimen termasuk pada kriteria tinggi. Dengan demikian, rata-rata peningkatan skor keterampilan berargumentasi kelas eksperimen secara kuantitatif lebih besar dibandingkan kelas kontrol. Akan tetapi, secara kuantitatif, selisih skor peningkatan keterampilan berargumentasi kelas eksperimen hanya pada kisaran angka 0,11. Hasil tersebut menurut analisis peneliti disebabkan oleh ketidaklaksanaan beberapa tahapan pembelajaran oleh siswa pada kelas eksperimen seperti disajikan pada Tabel 2, yaitu tahapan menanya pada pertemuan pertama dan kedua, tahapan menalar dan membuat argumen tentatif pada pertemuan pertama. Kegiatan menanya dan menalar ikut menjadi penyebab didasarkan pada beberapa hal yaitu bahwa kegiatan menanya dan menalar dapat menunjang untuk membangkitkan keterampilan siswa dalam berargumentasi. Aktivitas menanya dan menalar dapat melatih siswa dalam berbicara, mengajukan pertanyaan, memberi jawaban secara logis, sistematis, dan menggunakan bahasa yang baik dan benar, serta mendorong siswa dalam berdiskusi, berargumentasi, mengembangkan kemampuan berpikir, dan menarik simpulan (Christine, 2010). Jika tahapan tersebut terlaksana, seharusnya perolehan skor rata-rata gain yang dinormalisasi <g> keterampilan berargumentasi untuk kelas eksperimen dapat mencapai skor yang lebih tinggi dari skor yang sudah dicapai.

Meskipun secara kuantitatif selisih skor

peningkatan gain ternormalisasi keterampilan berargumentasi untuk kelas eksperimen dan kelas kontrol hanya sebesar 0,11 tetapi berdasarkan hasil uji hipotesis menggunakan uji *mann-whitney* diperoleh taraf signifikansi sebesar 0,001 pada taraf kepercayaan 95%. Hal ini berarti bahwa pada taraf kepercayaan 95% penerapan model pembelajaran pembangkit argumen menggunakan metode saintifik secara signifikan dapat lebih meningkatkan keterampilan berargumentasi siswa pada materi ajar suhu dan kalor dibandingkan dengan penerapan model pembelajaran pembangkit argumen tanpa menggunakan metode saintifik. Uji hipotesis dilakukan menggunakan uji *mann-whitney* karena skor peningkatan yang diperoleh tidak terdistribusi normal.

Meningkatnya keterampilan berargumentasi pada kelas kontrol sebagai dampak dari penerapan model pembelajaran pembangkit argumen tanpa menggunakan metode saintifik. Hal ini sejalan dengan temuan Sampson dan Gerbino (2010) yang mengungkapkan bahwa model pembelajaran pembangkit argumen dapat (1) mempermudah siswa menyusun argumen untuk menjelaskan permasalahan, (2) mengembangkan keterampilan membuat klaim pada diri siswa, (3) mengembangkan keterampilan untuk menyertakan bukti-bukti untuk mendukung klaim, (4) mengembangkan keterampilan untuk menganalisis dan menjelaskan bukti-bukti untuk mendukung klaim. Hal tersebut juga didukung oleh temuan Kuhn dan Udell (2003) yang mengatakan bahwa Keterampilan berargumentasi meningkat ketika di-

latihkan menggunakan proses pembelajaran yang di dalamnya melatih keterampilan berargumentasi. Selain itu, Muslim (2012) juga mengungkapkan bahwa model pembelajaran pembangkit argumen dapat meningkatkan keterampilan berargumentasi siswa.

Hasil peningkatan skor keterampilan berargumentasi yang lebih tinggi di kelas eksperimen daripada di kelas kontrol disebabkan oleh dampak dari penggunaan metode saintifik pada kelas eksperimen. Penggunaan metode saintifik pada kelas eksperimen membuat konsep siswa menjadi lebih terbangun dibandingkan pada kelas kontrol yang tanpa menggunakan metode saintifik, yang ditandai dengan peningkatan kemampuan kognitif yang lebih tinggi pada kelas eksperimen dibanding pada kelas kontrol. Konsep yang lebih terbangun pada kelas eksperimen menjadikan siswa lebih terampil dalam membuat argumentasi dibandingkan siswa pada kelas kontrol. Hal tersebut sesuai dengan temuan Acar dan Patton (2012), bahwa kegiatan-kegiatan ilmiah perlu dilakukan dalam proses pembelajaran ketika melatih keterampilan berargumentasi, karena melalui kegiatan-kegiatan tersebut dapat meningkatkan keterampilan berargumentasi siswa. Selain itu, temuan lain juga mengungkapkan bahwa proses pembelajaran yang melatih siswa untuk bernalar secara ilmiah dan menampilkan masalah-masalah sains mampu meningkatkan keterampilan berargumentasi ilmiah (Squire & Mingfong, 2007; Akarsu, *et al.*, 2013). Hasil temuan ini juga sejalan dengan hasil angket yang diisi oleh siswa pada kelas eksperimen, yaitu sebesar 82,35% siswa mengatakan bahwa kegiatan pembelajaran yang dilaksanakan di kelas eksperimen lebih memudahkan siswa dalam membuat argumentasi sains. Oleh sebab itu, semakin baik konsep yang dimiliki siswa maka memudahkan siswa dalam membuat argumentasi ilmiahnya.

Hasil penelitian secara lebih rinci menemukan bahwa terjadi peningkatan setiap indikator keterampilan berargumentasi yang lebih tinggi di kelas eksperimen dari pada di kelas kontrol. Rekapitulasi skor rata-rata gain yang dinormalisasi <g> pada setiap indikator keterampilan berargumentasi antara kelas eksperimen dan kelas kontrol yang diperoleh disajikan pada Gambar 4. Hasil temuan berdasarkan tes untuk setiap indikator keterampilan didukung oleh hasil temuan menggunakan angket yang diisi oleh siswa yaitu sebesar 82,35% dari seluruh siswa kelas eksperimen menyatakan bahwa kegiatan belajar mengajar yang dilaksana-

kan lebih memudahkan siswa dalam membuat argumentasi sains.

Pada kelas eksperimen, pembuatan argumentasi diawali dengan kegiatan melakukan percobaan. Melalui kegiatan percobaan, siswa menjawab permasalahan yang diberikan. Tujuan utama dari kegiatan percobaan adalah untuk membekali siswa konsep yang digunakan sebagai dasar bagi siswa untuk berargumentasi. Selanjutnya, keterampilan berargumentasi dilatihkan melalui tahapan membuat argumen tentatif, tahap mempresentasikan argumen, dan tahap memperbaiki argumen. Keterampilan berargumentasi dapat berkembang dengan baik pada diri siswa jika siswa mampu memaknai konsep dengan baik (Squire & Mingfong, 2007). Pemaknaan konsep bisa dilakukan melalui penampilan fenomena-fenomena fisika kepada siswa melalui kegiatan percobaan maupun demonstrasi. Sedangkan pada kelas kontrol tidak ada kegiatan melakukan percobaan. Guru membekali konsep siswa melalui kegiatan demonstrasi, ceramah, dan diskusi. Kemudian, keterampilan berargumentasi dilatihkan melalui tahapan membuat argumen tentatif, tahap berargumentasi, dan tahap berbagi argumen. Hal ini dapat dilakukan sesuai dengan pendapat Osborne, *et al.*, (2004), bahwa argumentasi ilmiah dapat dilatihkan kepada siswa tanpa memerlukan proses pengumpulan data dilaboratorium atau lapangan terlebih dahulu.

Pada saat mempresentasikan argumen melalui kegiatan diskusi kelompok, siswa pada kelas eksperimen terlihat lebih terampil dalam mengajukan klaim, data, pembenaran, dukungan, dan sanggahan dibandingkan siswa pada kelompok kontrol. Hasil ini didasarkan pada koreksi yang dilakukan oleh guru. Pada kelas kontrol lebih banyak koreksi dari pada kelas eksperimen. Koreksi yang lebih banyak pada kelas kontrol terutama pada saat pengajuan data, pembenaran, dan dukungan. Sedangkan pada saat pengajuan klaim untuk kelompok kontrol sedikit mengalami koreksi dari guru.

Selain itu, data yang diajukan oleh siswa pada kelas eksperimenpun lebih kuat dibandingkan siswa pada kelas kontrol. Data-data yang diajukan oleh siswa didasarkan pada konsep serta teori-teori yang ada. Sebelum mendapatkan bekal konsep, siswa tidak bisa menuliskan data-data dengan benar sesuai dengan konsep dan teori. Setelah dibekali konsep, siswa dapat menuliskan data dengan benar sesuai dengan konsep. Pada kelas eksperimen, guru membekali konsep kepada sis-

wa melalui kegiatan terstruktur dan sistematis menggunakan metode saintifik, sehingga siswa kelas eksperimen lebih terampil dalam menuliskan data dari pada kelas kontrol.

Hasil serupa juga diperoleh untuk indikator pembenaran, dan dukungan. Kekuatan pembenaran dan dukungan didasarkan pada konsep dan teori yang digunakan. Pada kelas eksperimen, konsep dan teori yang dimiliki siswa diajarkan melalui metode saintifik, sehingga konsep dan teori yang dibangun siswa pada kelas eksperimen lebih kuat dibandingkan kelas kontrol. Oleh sebab itu, siswa pada kelas eksperimen lebih terampil dalam memberikan pembenaran dan dukungan dari pada siswa pada kelas kontrol. Pembenaran dan dukungan yang ditulis oleh siswa kelas eksperimen memuat konsep yang lebih utuh dan lengkap dibandingkan yang ditulis oleh siswa kelas kontrol.

Indikator sanggahan merupakan keterampilan siswa untuk menyanggah argumentasi yang ada (ungkapan ketidaksetujuan terhadap argumentasi yang ada). Untuk menyanggah argumentasi yang ada, siswa harus mampu menuliskan klaim, data, pembenaran, dan dukungan yang menurut siswa lebih tepat dan benar. Hasil menunjukkan bahwa keterampilan argumentasi untuk indikator sanggahan pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Hasil ini disebabkan oleh kegiatan pembelajaran menggunakan metode saintifik yang dilaksanakan siswa pada kelas eksperimen sehingga konsep dan teori yang dibangun siswa pada kelas eksperimen lebih kuat dibandingkan kelas kontrol. Kekuatan sanggahan didasarkan pada konsep dan teori yang digunakan. Oleh sebab itu, siswa pada kelas eksperimen lebih terampil dalam memberikan sanggahan dari pada siswa pada kelas kontrol.

Secara umum, penggunaan metode saintifik ada kelas eksperimen lebih meningkatkan kemampuan kognitif siswa daripada di kelas kontrol yang tanpa menggunakan metode saintifik. Oleh karena itu, pada kelas eksperimen konsep lebih terbangun daripada di kelas kontrol. Konsep yang lebih terbangun pada kelas eksperimen dibanding pada kelas kontrol membuat siswa pada kelas eksperimen menjadi lebih terampil dalam membuat argumentasi, sehingga menyebabkan peningkatan keterampilan berargumentasi pada kelas eksperimen lebih tinggi dibanding kelas kontrol.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat dikatakan bahwa ada hubungan antara

keterampilan berargumentasi dengan kemampuan kognitif siswa. Hasil uji statistik menggunakan uji korelasi *spearman* diperoleh nilai korelasi sebesar 0,605 dengan taraf signifikansi sebesar 0.000 pada taraf kepercayaan 95%, yang berarti bahwa keterampilan berargumentasi berhubungan secara signifikan terhadap kemampuan kognitif dan begitu pula sebaliknya. Besarnya hubungan antara keterampilan berargumentasi dengan kemampuan kognitif ditandai dengan nilai korelasi sebesar 0,605 yang berarti keduanya berhubungan kuat.

Hasil ini sesuai dengan temuan-temuan penelitian lain yang sudah dilakukan oleh Squire, dan Mingfong (2007) yang mengatakan bahwa keterampilan berargumentasi dapat berkembang dengan baik pada diri siswa jika siswa mampu memaknai konsep dengan baik. Melalui pemaknaan yang baik terhadap konsep, maka siswa mampu berpikir dan bernalar dengan baik. Sejalan dengan hal tersebut, meningkatnya keterampilan berargumentasi juga meningkatkan kemampuan kognitif siswa. Melalui keterampilan berargumentasi, memudahkan siswa untuk membentuk konsepnya dengan baik. Keterampilan berargumentasi dapat meningkatkan kemampuan kognitif siswa, terutama pada aspek pemahaman (Kuhn, 2010), serta melatih kemampuan berpikir tingkat tinggi (Akarsu, *et al.*, 2013). Duschl (2008), juga menyatakan bahwa berargumentasi melibatkan baik kemampuan kognitif maupun afektif yang dapat digunakan untuk membantu siswa tidak hanya aspek sosio-kultural dari IPA tetapi juga konsep-konsep dan proses-proses dasar IPA. Argumentasi juga memainkan peranan penting dalam membangun eksplanasi, model, dan teori (Zohar & Nemet, 2002). Hasil temuan angket yang diisi oleh siswa juga mendukung temuan tersebut, yaitu sebesar 82,35% siswa mengatakan bahwa keterampilan argumentasi yang dilatihkan membantu siswa untuk membangun konsep yang sedang mereka dipelajari.

Berdasarkan hasil observasi keterlaksanaan model pembelajaran, aktivitas yang perlu mendapat perhatian adalah aktivitas siswa untuk menanya, menalar, mencoba dan membuat argumen tentatif pada kelas eksperimen, sedangkan untuk kelas kontrol adalah aktivitas menjawab pertanyaan dan membuat argumen tentatif. Pada kelas eksperimen, aktivitas menanya tidak terlaksana seluruhnya pada pertemuan pertama dan kedua, sedangkan untuk aktivitas menalar, dan membuat argumen tentatif hanya tidak terlaksana pada pertemuan

Tabel 2. Keterlaksanaan Aktivitas Siswa Kelas Eksperimen (KE) dan Siswa Kelas Kontrol (KK)

Aktivitas	Persentase Keterlaksanaan (%)					
	Pertemuan I		Pertemuan II		Pertemuan III	
	KE	KK	KE	KK	KE	KK
Pendahuluan	100	100	100	100	100	100
Kegiatan Inti						
Mengamati demosntrasi	100	100	100	100	100	100
Menanya*	33	-	67	-	100	-
Tahap 1						
Menalar* / menjawab pertanyaan guru	67	33	100	100	100	100
Mencoba*	100	-	100	-	100	-
Tahap 2	67	33	100	100	100	100
Tahap 3	100	100	100	100	100	100
Tahap 4	100	100	100	100	100	100
Kegiatan Penutup	100	100	100	100	100	100

*aktivitas yang tidak dilakukan oleh siswa pada kelas kontrol

pertama. Pada kelas kontrol, aktivitas menjawab pertanyaan dan membuat argumen tentatif tidak terlaksana seluruhnya pada pertemuan pertama.

Ketakterlaksanaan aktivitas menanya dan menjawab pertanyaan baik pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol menurut hasil wawancara dengan beberapa siswa disebabkan oleh rasa kurang percaya diri dalam diri siswa. Siswa mengatakan bahwa sebenarnya mereka takut pertanyaan dan jawaban yang diajukan tidak relevan serta dianggap selalu susah dalam memahami materi. Berdasarkan temuan ini, peneliti mengatasi dengan cara memberikan motivasi kepada siswa bahwa bertanya dan menjawab pertanyaan itu penting tanpa harus memperdulikan isi dari apa yang mereka ucapkan. Selain itu, peneliti memberikan *reward* berupa nilai tambahan kepada siswa bagi siswa yang mau dan berani untuk bertanya dan menjawab pertanyaan. Cara ini terbukti efektif yaitu kedua tahapan tersebut terlaksana untuk proses pembelajaran pada pertemuan selanjutnya. Aktivitas siswa untuk melakukan percobaan dan membuat argumen tentatif juga tidak terlaksana karena siswa tidak terbiasa untuk melakukan hal tersebut sebelumnya. Hal ini sesuai dengan hasil wawancara guru yang mengatakan bahwa kegiatan percobaan dalam pembelajaran fisika rata-rata dilakukan oleh guru sebanyak satu kali dalam satu semester, sehingga guru juga jarang mengajak siswa untuk melakukan aktivitas-aktivitas yang dapat membekalkan pencapaian ranah keterampilan dalam diri siswa.

PENUTUP

Berdasarkan temuan dalam penelitian, dapat disimpulkan bahwa (1) Penerapan model pembelajaran pembangkit argumen menggunakan metode saintifik secara signifikan dapat lebih meningkatkan kemampuan kognitif dan keterampilan berargumentasi siswa dibandingkan model pembelajaran pembangkit argumen tanpa menggunakan metode saintifik. (2) Keterampilan berargumentasi berhubungan secara signifikan terhadap kemampuan kognitif siswa yang mendapat perlakuan dengan model pembelajaran pembangkit argumen menggunakan metode saintifik dengan kategori hubungan yang kuat. Sedangkan untuk mengatasi kekurangan terhadap hasil penelitian maka disarankan beberapa hal yaitu: (1) Penggunaan metode saintifik perlu dibiasakan dalam setiap proses pembelajaran fisika karena berdasarkan hasil penelitian terbukti secara signifikan dapat meningkatkan kemampuan kognitif siswa serta menunjang siswa untuk lebih terampil dalam berargumentasi; (2) Tahapan mengajukan pertanyaan, menalar, dan melakukan percobaan pada metode saintifik perlu dilatihkan dan harus mendapat perhatian khusus oleh guru. Hal ini didasarkan pada temuan peneliti bahwa sebagian besar siswa masih mengalami ketidakpercayaan diri untuk bertanya dan menjawab pertanyaan, serta kurang terampil dalam melakukan percobaan. Ketiganya berperan penting dalam menunjang hasil yang maksimal untuk pencapaian aspek penanaman konsep dan keterampilan berargumentasi kepada siswa. (3) Pembekalan keterampilan berargumentasi sebaiknya ditun-

jang dengan menggunakan kegiatan-kegiatan ilmiah melalui pengumpulan data-data. Berdasarkan temuan peneliti, hal tersebut dapat memudahkan siswa untuk lebih terampil dalam berargumentasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Acar, O. & Patton. (2012). Argumentation and formal reasoning skills in an argumentation-based guided inquiry course. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 46: 4756 – 4760.
- Akarsu, B., Bayram, K., Slisko, J., & Cruz, A.C. (2013). Understanding Elementary Students' Argumentation Skills through Discrepant Event "Marbles in the Jar". *International Journal of Scientific Research in Education*, 6(3), 221-232.
- Anderson, L.W., & Krathwohl D.R. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: Longman.
- Christine, V. (2010). *The Nature of Science and The Scientific Method*. Durham: The Geological Society of America.
- Cross, D., Taasobshirazi, G., Hendricks, S., & Hickey, D. (2008). Argumentation: a Strategy for Improving Achievement and Revealing Scientific Identities. *International Journal Of Science Education*, 30 (6):837-861.
- Duschl, R. (2008). Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic, and Social Learning Goals. *Review of Research in Education*, 32, 268-291.
- Erduran, S., & Maria, P. (2008). *Argumentation in Science Education*. London: Springer Science.
- Gardner, H. (1999). *The Discipline Mind: What All Students Should Understand*. Newyork: Simon & Schuster Inc.
- Hake, R.R. (1999). Interactive-engagement vs traditional methods: A six thousand student survey of mechanic test data for introductory physics courses. *Journal of Physics*. 66 (1): 64-74.
- Kuhn, D., & Udell, W. (2003). The Development of Argument Skills. *Child Development*, 74 (5): 1245-1260.
- Kuhn. (2010). Teaching and Learning Science as Argument. *Wiley Periodicals, Inc. Sci Ed*, v (94) :810-824,
- Mc. Neil, K. L., Lizotte, D. J., & Karjck, J. (2006). Supporting Student's Construction of Scientific Explanations by Fading Scaffolds in Instructional Materials. *The Journal of The Learning Science*, 15 (2), 153-191.
- Muslim, & Suhandi, A. (2012). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Fisika Sekolah untuk Meningkatkan Kemampuan kognitif dan Keterampilan Berargumentasi. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 8:174-183.
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing The Quality of Argumentation in School Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (10), 994-1020.
- Sampson, V., & Gerbino, F. (2010). Two Instructional Models That Teacher Can Use to Promote & Support Scientific Argumentation In the Biology Classroom. *The American Biology Teacher*, 72 (7): 427-431.
- Sondang, R. (2012). Identifikasi Keterampilan Argumentasi Melalui Analisis "Toulmin Argumentation Pattern (TAP)" pada Topik Kinematika bagi Mahasiswa Calon Guru. *Seminar Bidang Ilmu Mipa Universitas Negeri Medan*, 11-12 Mei 2012.
- Squire, K., & Mingfong. (2007) Developing Scientific Argumentation Skills with a Place-based Augmented Reality Game on Handheld Computers. *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 16 (1).
- Toulmin, S. (2003). *The Uses of Argument*. New York: Cambridge University Press.
- Wiemann, C. (2007). *Why Not Try a Scientific Approach to Science Education*. Colorado: University of Colorado Press.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of research in science teaching*, 39 (1), 35-62.

PENGEMBANGAN WEB INTRANET FISIKA UNTUK MENINGKATKAN PENGUASAAN KONSEP DAN KEMAMPUAN PEMECAHAN MASALAH SISWA SMK

THE DEVELOPMENT OF PHYSICS INTRANET WEB TO IMPROVE THE CONCEPT COMPREHENSION AND PROBLEM SOLVING SKILLS OF THE STUDENTS OF SMK

A. Doyan^{1*} , I K.Y. Sukmantara^{1,2}

¹Program Studi Magister Pendidikan IPA UNRAM, Indonesia

²SMKN 2 Praya Tengah Lombok NTB, Indonesia

Diterima: 23 April 2014. Disetujui: 30 April 2014. Dipublikasikan: Juli 2014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran *web* intranet fisika dan mengetahui pengaruhnya terhadap penguasaan konsep dan kemampuan pemecahan masalah siswa. Penelitian ini menggunakan desain penelitian dan pengembangan model Borg dan Gall yang dimodifikasi menjadi tiga tahap, yaitu tahap studi pendahuluan, tahap pengembangan media, dan tahap uji coba media. Tahap studi pendahuluan dilaksanakan dengan studi kepustakaan dan survei awal. Tahap pengembangan media menghasilkan draf awal media. Penelitian dilanjutkan dengan tahap implementasi uji coba terbatas dan uji coba lebih luas media pembelajaran *web* intranet fisika di SMKN 2 Praya Tengah. Pembelajaran materi usaha, energi, dan daya di kelas eksperimen menggunakan *web* intranet fisika sedangkan di kelas kontrol menggunakan pembelajaran konvensional. Kedua kelas dianalisis menggunakan uji perbedaan rata-rata (Uji *t* atau Uji Mann-Whitney) dan skor gain ternormalisasi (N-gain). Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pembelajaran *web* intranet fisika efektif meningkatkan penguasaan konsep tetapi tidak efektif meningkatkan kemampuan pemecahan masalah siswa SMK.

ABSTRACT

The research was aimed at developing a learning media of physics intranet web and knowing its impacts to the student's concept comprehension and problem solving skills. The research used a research design and development model of Borg and Gall which was modified into three stages; those were stage of preliminary study, stage of media development, and stage of media testing. The stage of preliminary study was conducted by having literature review and initial survey. Furthermore media development generated an initial draft of media. The research was continued with the stage of limited testing and more extensive testing implementation of physics intranet web learning media at SMKN 2 Praya Tengah. The learning material of work, energy and power in the experimental group used the physics intranet web, while the control group used regular teaching. The data from both groups were analyzed using difference of means test (*t*-test or Mann-Whitney test) and normalized gain score (N-gain). The findings showed that learning of physics intranet web was effective to improve concept comprehension but ineffective to improve problem solving skills of the students of SMK.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: Physics Intranet Web; Concept Comprehension; Problem Solving Skills

PENDAHULUAN

Pendidikan yang bermutu diharapkan akan menghasilkan generasi muda yang tangguh dan mampu beradaptasi dengan kemajuan teknologi. Guru dalam melaksanakan pembelajaran di kelas, dapat menggunakan media teknologi terkini yang telah tersedia. Teknologi harus dipandang sebagai alat untuk mempermudah pencapaian tujuan, salah satu kemajuan teknologi yang berkembang pesat adalah kemajuan dalam bidang teknologi informasi dan komunikasi (Firdaus, 2009).

Komputer bukan lagi merupakan perangkat mewah, langka, dan terbatas yang hanya terdapat di laboratorium komputer atau kampus saja. Komputer saat ini telah digunakan secara luas di sekolah-sekolah. Siswa memanfaatkan komputer pada semua jenjang pendidikan. Komputer yang terhubung dengan komputer lain, sehingga diantaranya dapat bertukar informasi dan berbagi sumber daya dalam jaringan *private* dikenal dengan istilah intranet. Penggunaan intranet secara umum dan luas populer disebut internet. Internet begitu cepat berkembang, beberapa layanan yang diperoleh melalui internet diantaranya *web*, *e-mail*, *chat room technology*, *newsgroup technology*, dan *video teleconference* (Lee & Diana, 2004).

Penggunaan komputer sebagai alat bantu dalam meningkatkan kualitas pendidikan sudah mulai diperkenalkan pada awal tahun 1990, pemanfaatan komputer dalam proses pembelajaran menunjukkan bahwa terdapat peningkatan hasil belajar (Belinda & Tse-Kian, 2007; Faizin, 2009) Pemerintah juga menaruh perhatian luas terhadap penggunaan komputer di Indonesia, hal ini sejalan dengan usaha pemerintah khususnya Kemdikbud dalam meningkatkan pelayanan dan perluasan akses terhadap pendidikan. Pemerintah menyajikan buku sekolah elektronik (BSE) yang dapat diakses oleh guru, siswa, dan sekolah di seluruh Indonesia (Zulkardi & Ilma, 2010). Rencana strategis Departemen Pendidikan Nasional 2010-2014 ditekankan tentang pentingnya sistem dan teknologi informasi secara terpadu. Hal ini dalam rangka mendukung tercapainya pemerataan dan perluasan akses pendidikan, peningkatan mutu, relevansi, dan daya saing pendidikan di Indonesia.

Fisika pada jenjang pendidikan SMK merupakan kelompok mata pelajaran adaptif. Salah satu tujuan mata pelajaran fisika SMK dalam Permendiknas Nomor 22 tahun 2006 tentang standar isi untuk satuan pendidikan

dasar dan menengah adalah menguasai konsep dan prinsip fisika serta mempunyai keterampilan mengembangkan pengetahuan, keterampilan dan sikap percaya diri sebagai bekal untuk melanjutkan pendidikan pada jenjang yang lebih tinggi serta mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Kualitas hasil belajar pembelajaran fisika yang rendah menjadi salah satu masalah yang dihadapi dunia pendidikan di Indonesia. Hasil studi Direktorat Dikmenum menyimpulkan bahwa pembelajaran di sekolah cenderung *text book oriented* dan tidak terkait dengan kehidupan sehari-hari, akibatnya motivasi belajar anak sulit ditumbuhkan dan pola belajar mereka cenderung menghafal dan mekanistik (Karang, 2009; Maria, 2010).

Penguasaan konsep dan kemampuan pemecahan masalah pelajaran fisika sebagai salah satu aspek dalam mengukur peningkatan hasil belajar siswa guna mewujudkan pembelajaran yang berkualitas dapat ditunjang dengan menggunakan bantuan komputer. Komputer yang terhubung dalam jaringan intranet akan memberikan layanan *web* yang berfungsi membantu siswa dan guru dalam proses pembelajaran. Penggunaan *web* diharapkan dapat mempermudah siswa dalam memahami materi fisika yang bersifat abstrak, melakukan pengulangan-pengulangan pada bagian materi yang susah, dan mendapatkan penguatan dengan membaca sumber belajar seperti buku sekolah elektronik, artikel, dan latihan soal yang telah dipersiapkan oleh guru.

Berdasarkan pengamatan peneliti, SMKN 2 Praya Tengah merupakan salah satu sekolah di Kabupaten Lombok Tengah yang memiliki fasilitas memadai terutama jumlah komputer dan jaringan intranet sekolah yang stabil. Berdasarkan observasi awal pada tanggal 6-8 Februari 2013 diperoleh data, SMKN 2 Praya Tengah terdiri atas 6 program keahlian, yaitu (1) teknik konstruksi kayu, (2) teknik audio video, (3) teknik gambar bangunan, (4) teknik kendaraan ringan, (5) rekayasa perangkat lunak, dan (6) teknik sepeda motor.

Proses pembelajaran oleh guru mata pelajaran fisika di SMKN 2 Praya Tengah bersifat *teacher center*. Guru menggunakan metode ceramah dan tanya jawab sehingga siswa cenderung hanya mendengarkan penjelasan guru serta menghafal materi yang diberikan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa siswa belajar fisika hanya untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh nilai dan tidak untuk penguasaan konsep.

Pengembangan kegiatan belajar mengajar fisika menggunakan *web* intranet dapat dilakukan sebagai alternatif dalam pembelajaran fisika. Dukungan fasilitas infrastruktur jaringan komputer sekolah dan kemampuan siswa dan guru dalam menggunakan komputer diharapkan dapat mempermudah siswa dalam memahami materi fisika.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu dirumuskan masalah yaitu perlu pengembangan *web* intranet fisika untuk meningkatkan penguasaan konsep dan kemampuan pemecahan siswa SMKN 2 Praya Tengah dalam rangka meningkatkan kualitas proses pembelajaran guna mewujudkan salah satu dari tujuan pendidikan nasional.

Komputer telah menjadi perangkat yang tidak terpisahkan dalam membantu tugas sehari-hari. Kemampuan yang dimiliki komputer saat ini telah jauh berkembang dari awal terciptanya. Komputer digunakan hampir disemua sektor, antara lain perkantoran, perdagangan, bisnis, pertanian, kesehatan, transportasi, pertahanan, dan pendidikan (Pressman, 2002; Shelly & Vermaat, 2008; Wyld, 2010). Komputer merupakan perangkat elektronik yang bekerja dalam pengaturan kumpulan instruksi yang tersimpan dalam memori, yang dapat menerima data, mengolah data sesuai dengan aturan program yang dibuat, tercipta hasil, dan menyimpan hasil untuk penggunaan masa depan (Shelly & Vermaat, 2008).

Menurut Bertha dan Pohan (2005), *web* merupakan salah satu layanan yang didapat oleh pemakai yang terhubung ke jaringan internet atau intranet. *Web* pada awalnya adalah ruang informasi dalam internet, dengan menggunakan teknologi *hyperteks*, pemakai dituntun untuk menemukan informasi dengan mengikuti *link* yang disediakan dalam dokumen *web* yang ditampilkan dalam *browser web*. Kini internet identik dengan *web*, karena kepopuleran *web* sebagai standar antarmuka layanan-layanan yang ada di internet, dari awalnya sebagai penyedia informasi, kini digunakan juga untuk komunikasi dari *email* dan *chatting*, sampai dengan melakukan transaksi bisnis (*commerce*).

Jaringan komputer adalah suatu himpunan interkoneksi (*interconnected*) sejumlah komputer *autonomous* dengan media transmisi kabel atau tanpa kabel (Syafrizal, 2005). Dua buah komputer dikatakan saling terhubung bila keduanya dapat saling bertukar informasi. Bentuk hubungannya dapat melalui kawat tembaga, serat optik, gelombang mikro, dan satelit komunikasi.

Intranet merupakan sebuah jaringan yang dibangun berdasarkan teknologi internet yang didalamnya terdapat basis arsitektur berupa aplikasi *web* dan teknologi komunikasi data. Dalam segi penggunaan, secara geografis maupun implementasinya, intranet bekerja secara luas dan maksimal seperti halnya internet. Namun intranet sangat terbatas dalam hal *privilege* dan hak akses para pemakainya (Syafrizal, 2005).

Konsep adalah segala sesuatu yang berwujud pengertian-pengertian baru yang dapat timbul sebagai hasil pemikiran, meliputi definisi, pengertian, ciri khusus, hakikat, inti atau isi dan sebagainya. Menurut Rosser (1984) konsep adalah suatu abstraksi yang mewakili satu kelas objek, kejadian, kegiatan, atau hubungan yang mempunyai atribut yang sama. Penguasaan menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah pemahaman atau kesanggupan untuk menggunakan pengetahuan, kepandaian, dsb. Penguasaan konsep yang dimaksud dalam penelitian ini adalah kemampuan siswa untuk memahami konsep-konsep usaha, energi, dan daya baik secara konsep teori maupun penerapannya dalam kehidupan sehari-hari berdasarkan pada aspek kognitif Bloom pada aspek pengetahuan (C_1), pemahaman (C_2), penerapan (C_3), analisis (C_4), sintesis (C_5), dan evaluasi (C_6).

Menurut Polya (1985) menjelaskan empat langkah dalam pemecahan masalah, yaitu memahami masalah, menyusun rencana, melaksanakan rencana, membuat evaluasi. Dalam penelitian ini, kemampuan pemecahan masalah yang dimaksud adalah kemampuan siswa menggunakan pengetahuan-pengetahuan dan konsep-konsep usaha, energi, dan daya yang dipahaminya untuk memecahkan masalah yang berhubungan dengan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari. Penilaian kemampuan pemecahan masalah tidak hanya terbatas pada kemampuan untuk menemukan solusi atas masalah akan tetapi lebih pada proses menemukan solusi terbaik atas permasalahan yang dihadapi. Tes kemampuan pemecahan masalah disajikan dalam bentuk soal esai dihitung skor berdasarkan empat kriteria, yaitu (1) deskripsi data dan informasi, (2) deskripsi masalah yang harus diselesaikan, (3) melaksanakan solusi (ketepatan solusi), dan (4) evaluasi solusi (ketepatan hasil).

Tujuan penelitian ini adalah (1) Menghasilkan portal web pembelajaran fisika SMK pada materi usaha, energi, dan daya, (2) Mengkaji apakah ada peningkatan penguasaan konsep

pada pelajaran fisika setelah dilaksanakannya pembelajaran web intranet fisika, (3) Mengkaji apakah ada peningkatan kemampuan pemecahan masalah pada pelajaran fisika setelah dilaksanakannya pembelajaran web intranet fisika, dan (4) Mengetahui keunggulan dan keterbatasan pembelajaran dengan menggunakan web intranet fisika.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan (*research & development*). Penelitian pengembangan menurut Borg dan Gall (1983) adalah suatu proses yang dipakai untuk mengembangkan dan memvalidasi produk. Menurut Sugiyono (2010) metode penelitian dan pengembangan adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektifan produk tersebut.

Penelitian dilaksanakan melalui tiga tahap, yaitu tahap studi pendahuluan, tahap pengembangan media, dan tahap uji coba media. Tahap studi pendahuluan dilaksanakan dengan studi kepustakaan dan survei awal. Tahap pengembangan media menghasilkan draf awal media kemudian dilaksanakan validasi oleh tiga orang tim ahli media dan materi. Hasil validasi ahli menyimpulkan bahwa media yang dikembangkan layak digunakan. Penelitian dilanjutkan dengan tahap implementasi uji coba terbatas penggunaan media pada siswa kelas XI rekayasa perangkat lunak di SMKN 2 Praya Tengah berjumlah 15 orang. Sedangkan uji coba lebih luas media pembelajaran web intranet fisika terhadap penguasaan konsep dilakukan pada kelas X rekayasa perangkat lunak di SMKN 2 Praya Tengah tahun pelajaran 2012/2013 yang berjumlah 70 orang dengan menggunakan desain penelitian *untreated control group design with pretest-posttest*. Media pembelajaran web intranet fisika dikembangkan pada materi usaha, energi, dan daya. Pembelajaran materi usaha, energi, dan daya di kelas eksperimen menggunakan web intranet fisika sedangkan di kelas kontrol tanpa media tersebut. Data kedua kelas dianalisis menggunakan uji perbedaan rata-rata (Uji t atau Uji Mann-Whitney) dan skor gain ternormalisasi (N-gain).

Untuk mengetahui kriteria peningkatan penguasaan konsep dan kemampuan pemecahan masalah setelah dilakukan tindakan digunakan N-Gain. N-gain yang dipakai merupakan rumus gain skor yang dikemukakan oleh Hake.

$$\langle g \rangle = \frac{S_{post} - S_{pre}}{S_{maks} - S_{pre}} \quad (1)$$

Tabel 1. Kriteria Perhitungan N-gain

Batasan	Kategori
$\langle g \rangle > 0,7$	Tinggi
$0,3 \leq \langle g \rangle \leq 0,7$	Sedang
$\langle g \rangle < 0,3$	Rendah

Pengolahan data penelitian diawali dengan uji statistik berupa uji normalitas dan uji homogenitas. Selanjutnya, dilakukan uji perbedaan dua rata-rata untuk menguji tingkat signifikansi perbedaan rata-rata skor tes penguasaan konsep (kelas eksperimen dan kelas kontrol).

Langkah-langkah pembelajaran menggunakan media web intranet fisika, yaitu (1) tahap pendahuluan, diawali dengan berdo'a kemudian guru menjelaskan tentang contoh usaha, energi, dan daya dalam kegiatan sehari-hari. Guru menjelaskan tujuan pembelajaran hari ini. (2) kegiatan inti, siswa dibagi menjadi kelompok kecil yang terdiri dari dua sampai tiga orang siswa, setiap kelompok diberikan komputer yang telah terhubung dengan komputer server. Guru menjelaskan aturan tentang pelaksanaan diskusi kelompok, masing-masing kelompok diberikan LKS yang berisi panduan selama kegiatan belajar. Siswa berdiskusi dalam kelompoknya mengenai materi yang diberikan, mencari informasi yang telah tersedia dalam komputer, dan menjalankan beberapa contoh animasi komputer yang menuntun siswa agar lebih mudah memahami konsep fisika. Siswa melakukan diskusi untuk memperkuat pemahaman yang dimiliki. Siswa diberikan soal yang harus dikerjakan secara berdiskusi dengan rekan dalam kelompoknya dan mengirimkan jawaban secara langsung melalui komputer sehingga guru dapat langsung mengecek hasilnya pada komputer guru. Guru akan memberikan umpan balik setelah guru menganalisis jawaban siswa, memberikan penghargaan terhadap siswa yang berhasil menjawab soal dengan benar dan melakukan diskusi terhadap siswa yang masih kesulitan dalam menyelesaikan soal yang diberikan. (3) Pada tahapan penutup, kegiatan pembelajaran guru melakukan diskusi kelas untuk membantu siswa memahami konsep yang diajarkan, membuat kesimpulan, melaksanakan tanya jawab apabila masih ada materi yang belum jelas. Kegiatan diakhiri dengan pemberian tugas mandiri dirumah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Web Intranet Fisika

Web intranet fisika memanfaatkan layanan web intranet dalam membantu pembelajaran. Terdapat 10 jenis animasi yang dikembangkan, setiap tatap muka terdiri atas dua animasi yang berfungsi membantu siswa secara virtual dan interaktif memahami konsep usaha, energi, dan daya. Web intranet fisika bekerja menggunakan teknologi TCP/IP (*transmission control protocol/internet protocol*) yang memungkinkan akses pembelajaran melalui personal komputer, komputer jinjing, dan komputer tablet. Sesuai petunjuk dalam lembar kerja siswa, siswa akan mengisi alamat komputer server pada penjelajah situs sehingga media pembelajaran dengan web intranet fisika dapat digunakan dalam pembelajaran.

Berikut merupakan gambar beberapa halaman web yang dikembangkan, yaitu 1) halaman depan, 2) materi pembelajaran, 3) hasil lembar kerja siswa (LKS), dan 4) animasi interaktif ditunjukkan dalam gambar 1.

Penguasaan Konsep Usaha, Energi, dan Daya secara Umum

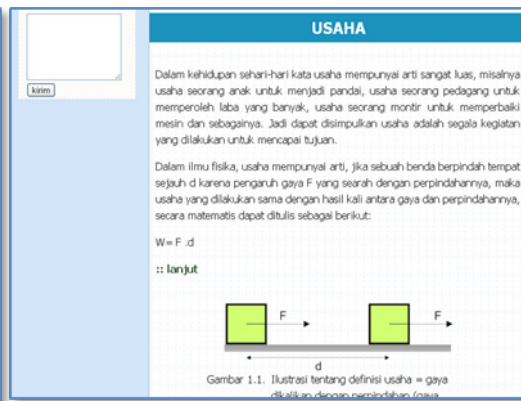
Rata-rata tes awal, tes akhir, dan N-Gain penguasaan konsep usaha, energi, dan daya ditampilkan pada kelas eksperimen dan kelas kontrol ditampilkan dalam Gambar 2. Grafik disajikan dalam skala 100, sedangkan skor N-gain dalam persentase. Persentase skor N-gain tersebut selanjutnya akan dideskripsikan dalam bilangan desimal.

Meskipun demikian, peningkatan penguasaan konsep usaha, energi, dan daya kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Artinya, pembelajaran dengan menggunakan web intranet fisika lebih baik dari pembelajaran konvensional. Selanjutnya hasil perhitungan statistik penguasaan konsep terlihat pada Tabel 2 berikut.

Pada Tabel 2 test Statistik *Asymp. Sig. (2-tailed) (asymptotic significance* untuk dua sisi) didapatkan 0,094. Hipotesis dalam penelitian ini menggunakan uji satu sisi, maka hasil pada Tabel 2 tersebut dibagi menjadi 2,



Halaman Depan



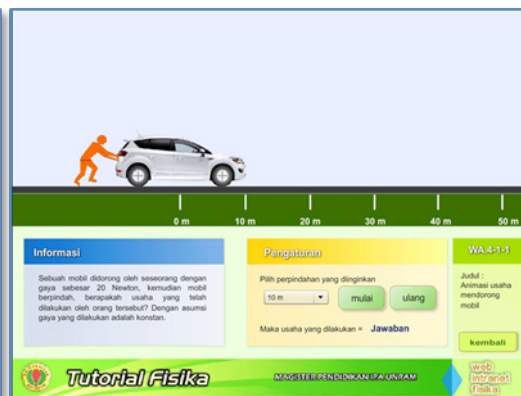
Materi Pembelajaran

HASIL JAWABAN SISWA LKS.E.4.1

No	Keterangan Jawaban	Kelompok									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	W No 1	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
2	W No 2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
3	W No 3	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	W No 4	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
5	W No 5	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

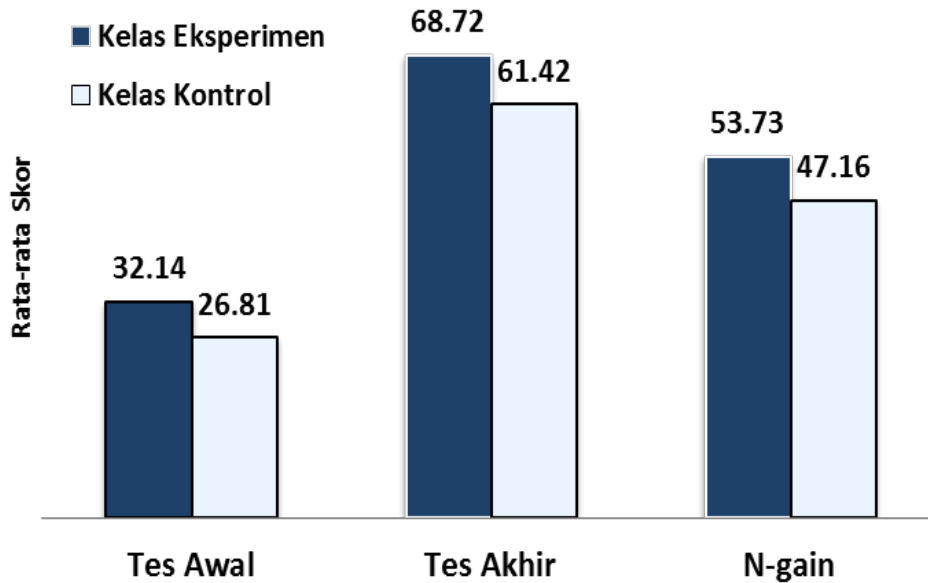
No	Keterangan Jawaban	Kelompok									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	Usaha No 1	25,98	25,98	25,98	25,98	26,1	26,1	26,1	26,1	25,8	
2	Usaha No 2	34,64	34,64	34,64	34,64	34,8	34,8	34,8	34,8	34,64	
3	Usaha No 3	43,30	43,30	43,30	43,30	43,5	43,5	43,5	43,5	43,3	
4	Usaha No 4	28,28	28,28	28,28	28,28	28,4	28,4	28,4	28,4	28,28	
5	Usaha No 5	42,43	42,43	42,43	42,43	42,6	42,6	42,6	42,6	42,43	
6	Usaha No 6	56,57	56,57	56,57	56,57	56,8	56,8	56,8	56,8	56,57	
7	Usaha No 7	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	
8	Usaha No 8	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	
9	Usaha No 9	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	
Total Benar		9	13	13	10	12	12	14	11	13	
Nilai		64	93	93	71	86	86	100	79	93	

Hasil Lembar Kerja Siswa



Animasi Interaktif

Gambar 1. Beberapa Contoh Tampilan



Gambar 2. Grafik rata-rata skor tes awal, tes akhir, dan N-Gain (%) penguasaan konsep usaha, energi, dan daya

Tabel 2. Hasil Perhitungan Statistik Penguasaan Konsep

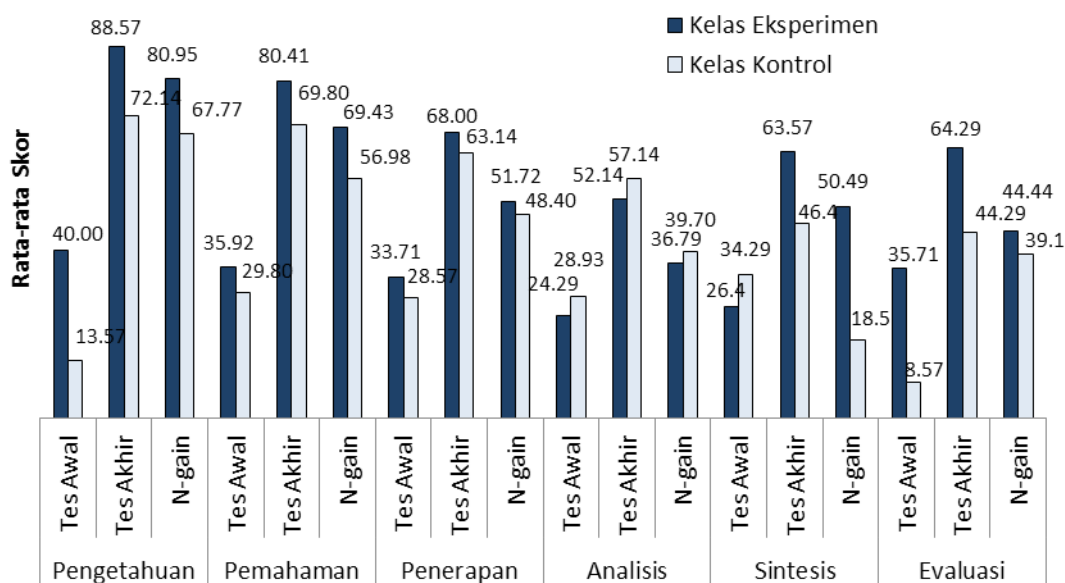
Jenis Data	Uji Normalitas ($\alpha = 0,05$)				Uji Homogenitas ($\alpha = 0,05$)	Uji Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$)	
	Tarf Signifikansi		Keterangan			Tarf Signifikansi	Ket
	Eksp	Kont	Eksp	Kont			
Rata-rata Skor N-Gain Penguasaan Konsep Secara Umum	0,200	0,039	Normal	Tidak Normal	0,376 Homogen	0,047	Signifikan

0,094
 yaitu $\frac{0,094}{2} = 0,047$. Nilai probabilitas hasil perhitungan statistik tersebut ternyata dibawah 0,05 ($0,047 < 0,05$) maka H_0 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan peningkatan penguasaan konsep secara signifikan pembelajaran yang menggunakan *web intranet fisika* (kelas eksperimen) dibandingkan dengan siswa yang mendapatkan pembelajaran konvensional (kelas kontrol).

Berdasarkan aspek kognitif penguasaan konsep usaha, energi, dan daya dapat terlihat pada Gambar 3.

Berdasarkan data yang ditampilkan dalam grafik pada gambar 3, penguasaan konsep pada aspek pengetahuan (C1) mengalami peningkatan paling tinggi, yaitu 80,95 pada kelas eksperimen dalam kategori tinggi dan 67,77 untuk kelas kontrol dalam kategori sedang.

Peningkatan kemampuan penguasaan konsep paling rendah ada pada aspek kognitif analisis (C4) untuk kelas eksperimen 36,79 dan untuk kelas kontrol 39,70. Hasil perhitungan statistik tentang penguasaan konsep berdasarkan aspek kognitif terlihat pada Tabel 3, data Tabel 3, pada aspek pengetahuan (C1), pemahaman (C2), Penerapan (C3), Analisis (C4), dan Evaluasi (C6) tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara selisih peningkatan (N-gain) pada kelas eksperimen dan kelas kontrol sebelum dan sesudah mendapatkan pembelajaran. Sedangkan pada aspek sintesis (C5) terdapat perbedaan yang signifikan antara selisih peningkatan (N-gain) kemampuan sintesis (C5) siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol sebelum dan sesudah mendapatkan pembelajaran.



Gambar 3. Grafik Rata-rata Skor Tes Awal, Tes Akhir, dan N-gain(%) Penguasaan Konsep Usaha, Energi, dan Daya Kelas Kontrol dan Kelas Eksperimen Berdasarkan Aspek Kognitif

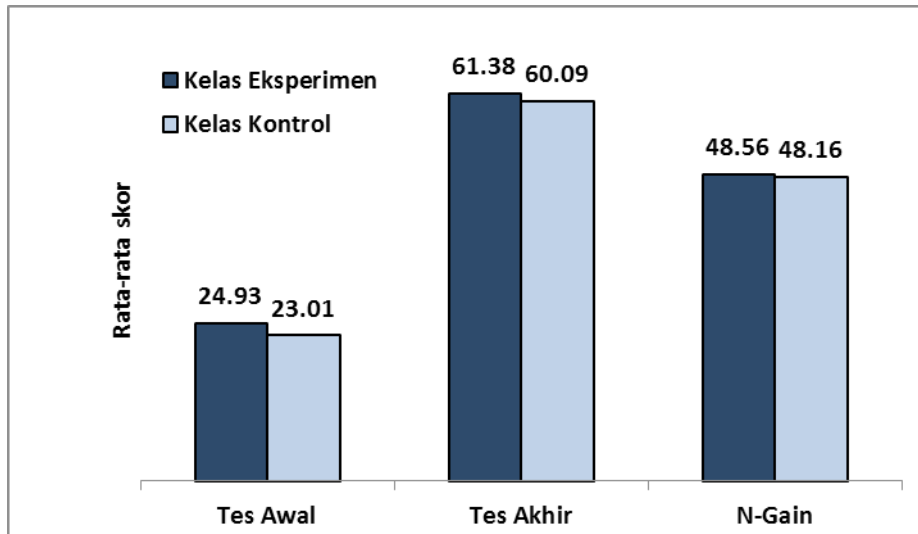
Tabel 3. Hasil Perhitungan Statistik penguasaan konsep berdasarkan aspek kognitif

Penguasaan Konsep Berdasarkan Aspek Kognitif	Uji Normalitas ($\alpha = 0,05$)				Uji Homogenitas ($\alpha = 0,05$)	Uji t atau Uji Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$)	
	Taraf Signifikansi		Keterangan			Taraf Signifikansi	Ket
	Eksp	Kont	Eksp	Kont			
Pengetahuan (C1)	0,000	0,000	Tidak Normal	Tidak Normal	0,700 Homogen	0,066	Tidak Signifikan
Pemahaman (C2)	0,008	0,028	Tidak Normal	Tidak Normal	0,046 Tidak Homogen	0,092	Tidak Signifikan
Penerapan (C3)	0,200	0,200	Normal	Normal	0,067 Homogen	0,067	Tidak Signifikan
Analisis (C4)	0,200	0,200	Normal	Normal	0,339 Homogen	0,339	Tidak Signifikan
Sintetis (C5)	0,012	0,039	Tidak Normal	Tidak Normal	0,016 Tidak Homogen	0,007	Signifikan
Evaluasi (C6)	0,000	0,000	Tidak Normal	Tidak Normal	0,000 Tidak Homogen	0,557	Tidak Signifikan

Kemampuan Pemecahan Masalah Usaha, Energi, dan Daya secara Umum

Kemampuan pemecahan masalah awal siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol pada dasarnya tidak berbeda. Rata-rata skor tes awal kelas eksperimen adalah 25 dan kelas kontrol sebesar 23. Setelah pembelajaran menggunakan media *web* intranet fisika, ke-

mampuan pemecahan masalah siswa pada kelas eksperimen meningkat menjadi 61 dan kelas kontrol menjadi 60. Selisih peningkatan (N-gain) kemampuan pemecahan masalah antara kelas eksperimen dan kelas kontrol, yaitu sebesar 0,49 untuk kelas eksperimen dan 0,48 untuk kelas kontrol, yang masing-masing termasuk dalam kategori sedang.



Gambar 4. Grafik Rata-rata Skor Tes Awal, Tes Akhir, dan N-gain Kemampuan Pemecahan Masalah

Tabel 4. Hasil perhitungan statistik kemampuan pemecahan masalah secara umum

Jenis Data	Uji Normalitas ($\alpha = 0,05$)				Uji Homogenitas ($\alpha = 0,05$)	Uji t atau Uji Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$)	
	Taraf Signifikansi		Keterangan			Taraf Signifikansi	Ket
	Eksp	Kont	Eksp	Kont			
Kemampuan Pemecahan Masalah	0,131	0,121	Normal	Normal	0,000 Tidak Homogen	0,34	Tidak Signifikan

Data yang ditunjukkan dalam tabel 4 uji statistik kemampuan pemecahan masalah dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan kemampuan pemecahan masalah siswa yang mendapatkan pembelajaran dengan *web intranet* fisika dibandingkan dengan pembelajaran konvensional.

Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan pembelajaran konvensional pada kelas kontrol dan penerapan pembelajaran dengan menggunakan media *web intranet* fisika pada kelas eksperimen. Penggunaan media *web intranet* fisika sangat membantu siswa dalam mempelajari konsep fisika yang bersifat abstrak. Dalam pendekatan pembelajaran dengan menggunakan *web intranet*, siswa dilatih belajar dalam kelompok yang terdiri dari 2-3 orang. Kelompok siswa diberikan sebuah komputer yang telah terhubung dalam jaringan komputer intranet untuk mengakses materi yang telah tersimpan dalam komputer server.

Metode pembelajaran pada kelas kontrol pelaksanaan pembelajaran menggunakan metode ceramah dan diskusi dengan pende-

katan eksplorasi, elaborasi, dan konfirmasi (2EK) dengan menggunakan media proyektor power point. Kegiatan pembelajaran pada kelas kontrol diawali dengan berdoa, kemudian guru menjelaskan tujuan pembelajaran, membagikan LKS, guru menjelaskan materi dengan bantuan proyektor, kemudian kegiatan diakhiri dengan berdiskusi, mengerjakan soal latihan, dan pemberian tugas rumah.

Dahar (2011) menyatakan konsep diperoleh oleh siswa salah satunya melalui pembentukan konsep, yaitu jika siswa belajar dihadapkan pada sejumlah contoh dan non contoh konsep tertentu. Melalui konsep diskriminasi dan abstraksi siswa menetapkan suatu aturan yang menentukan kriteria untuk konsep tersebut. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan penguasaan konsep lebih tinggi pada kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol disebabkan oleh media *web intranet* fisika berisi materi pembelajaran yang dilengkapi dengan contoh sehari-hari dan animasi multimedia interaktif sehingga mempermudah siswa untuk membentuk konsep. Hasil ini sejalan dengan hasil

penelitian Mendez dan Slisko (2013) yang menyatakan siswa dalam mempelajari fisika dengan bantuan perangkat teknologi seperti laptop yang berisi tugas, contoh, latihan, kemudian siswa menjelaskan, berdiskusi, dan memperoleh ide dan hal ini akan sangat berguna untuk siswa. Penggunaan teknologi oleh guru dalam kegiatan belajar mengajar, terutama intranet karena sifatnya waktu nyata (*real time*) dirasakan sangat bermanfaat oleh guru.

Analisis terhadap uji hipotesis menunjukkan bahwa pembelajaran dengan menggunakan *web* intranet fisika secara signifikan dapat meningkatkan penguasaan konsep usaha, energi, dan daya siswa dibandingkan dengan pembelajaran konvensional. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Pullen (2013) yang menyatakan manfaat dan peningkatan pengetahuan dengan bantuan *web*.

Pembelajaran dengan *web* intranet fisika dapat meningkatkan penguasaan konsep yang dimilikinya, karena penggunaan media *web* intranet fisika yang didalamnya terdapat materi pembelajaran yang lebih menarik, dengan bantuan gambar dan grafis dengan warna yang jelas, serta animasi interaktif sehingga mendorong siswa untuk belajar fisika menjadi lebih menyenangkan, aktif, dan mandiri (Hendra, 2012).

Guru memiliki peran penting untuk terlaksananya proses kegiatan belajar mengajar. Guru yang tidak memiliki kemampuan mengintegrasikan komputer dapat menyebabkan proses pembelajaran *web* menjadi gagal (Charles & Totimeh, 2012).

Kelas eksperimen dengan menggunakan media *web* intranet fisika mengalami peningkatan kemampuan pemecahan masalah lebih tinggi dibandingkan dengan kelas konvensional, hal ini karena komputer berguna untuk membangun berpikir kritis dalam keterampilan pemecahan masalah. Penggunaan program komputer juga membantu siswa yang memiliki latar belakang kemampuan beragam memiliki kemampuan dalam memecahkan masalah (Gok, 2010).

Analisis terhadap uji hipotesis menyimpulkan bahwa tidak ada perbedaan antara penerapan pembelajaran dengan menggunakan media *web* intranet fisika dibandingkan dengan pembelajaran konvensional. Pada tahapan keempat yaitu evaluasi/solusi yang menuntut siswa harus menyelesaikan persamaan matematis, kedua kelas hampir kesulitan dalam menyelesaikan perhitungan operasi dasar matematika seperti penjumlahan, penguran-

gan, perkalian, dan pembagian. Guru memiliki peran penting untuk terlaksananya proses kegiatan belajar mengajar. Guru yang tidak memiliki kemampuan mengintegrasikan komputer dapat menyebabkan proses pembelajaran *web* menjadi gagal (Charles & Totimeh, 2012).

Pembelajaran dengan media *web* intranet fisika belum mampu meningkatkan kemampuan pemecahan masalah siswa secara signifikan apabila dibandingkan dengan pembelajaran konvensional. Menurut Polya (1985) *solving problem is practical skill*, dalam tahapan-tahapan pemecahan masalah terdapat kegiatan menghasilkan ide penyelesaian, membuat rencana, melaksanakan rencana, melihat kembali solusi, melakukan *review*, dan diskusi. Pembelajaran dengan media *web* intranet fisika memiliki kekurangan terutama pengaturan waktu pembelajaran. Pada tahap awal komputer-komputer yang terhubung dalam jaringan intranet perlu dihidupkan, hal ini memerlukan waktu saat komputer *booting* pertama kali, sehingga mengurangi kesempatan siswa untuk berlatih mengerjakan soal pemecahan masalah.

Pada pembelajaran dengan *web* intranet fisika, siswa tidak diwajibkan mencatat dan merangkum materi pembelajaran yang disampaikan. Catatan materi pembelajaran merupakan bahan penting bagi siswa untuk belajar kembali secara mandiri di rumah. Waktu tatap muka di sekolah yang terbatas apabila tidak diimbangi dengan latihan mandiri di rumah menyebabkan siswa kesulitan dalam menjawab pertanyaan yang diberikan. Hal ini sesuai dengan pendapat Hayes (1981) yang menyatakan bahwa kemampuan pemecahan masalah memerlukan latihan dan praktik oleh siswa serta refleksi atas hasil yang diperoleh sebelumnya.

PENUTUP

Karakteristik *web* intranet fisika sebagai berikut (a) Materi disajikan dalam halaman *web* yang berisi teks dan gambar/grafis dengan menggunakan pendekatan induktif dan berorientasi pada konteks, sehingga siswa dapat merumuskan dan membangun konsep berdasarkan contoh-contoh nyata dalam kehidupan sehari-hari; (b) Menyediakan dua level pengguna, yaitu siswa (*user*) dan guru (*administrator*); (c) Memvisualisasikan konsep usaha, energi, dan daya dengan menampilkan gambar, animasi, dan simulasi interaktif; (d) Mengembangkan pembelajaran mandiri; (e) berorientasi pada pembelajaran yang berpusat

pada siswa (*student center*); (f) Rumusan tujuan pembelajaran mengacu pada standar kompetensi dan kompetensi dasar. Media *web intranet* fisika ini digunakan pada semua tahapan pembelajaran. *Web intranet* fisika digunakan guru dalam penyampaian materi, kemudian siswa membentuk kelompok kecil, berdiskusi, mengerjakan LKS, dan siswa membuat kesimpulan dibawah bimbingan guru.

Terdapat perbedaan peningkatan penguasaan konsep secara signifikan pada materi usaha, energi, dan daya antara siswa yang mendapatkan pembelajaran dengan media *web intranet* fisika dibandingkan dengan siswa yang mendapatkan pembelajaran konvensional. Perolehan rata-rata N-Gain pada kelas eksperimen sebesar 0,54 dengan kategori sedang dan sebesar 0,47 untuk kelas kontrol dengan kategori sedang. Peningkatan rata-rata N-Gain tertinggi pada ranah kognitif pengetahuan (C1) sebesar 0,78 dengan kategori tinggi. Peningkatan rata-rata N-Gain terendah pada ranah kognitif analisis (C4) sebesar 0,42 dengan kategori sedang.

Tidak terdapat perbedaan yang signifikan kemampuan pemecahan masalah pada materi usaha, energi, dan daya antara siswa yang mendapatkan pembelajaran dengan media *web intranet* fisika dibandingkan dengan siswa yang mendapatkan pembelajaran konvensional. Perolehan rata-rata N-Gain pada kelas eksperimen sebesar 0,49 dengan kategori sedang dan sebesar 0,48 untuk kelas kontrol dengan kategori sedang.

Keunggulan web intranet fisika sebagai berikut (a) menerapkan teknologi TCP/IP sehingga pembelajaran dapat diakses menggunakan komputer personal, komputer jinjing, dan komputer tablet; (b) jawaban lembar kerja siswa (LKS) dikoreksi secara sistem sehingga hasilnya dapat diumumkan langsung ke siswa; (c) guru dapat berkomunikasi dengan siswa melalui fasilitas chat; (d) materi, animasi, dan LKS ditampilkan secara sederhana sehingga mudah digunakan oleh siswa; (e) menggunakan fasilitas basis data sehingga data pembelajaran dapat dikelola dan tersimpan dengan baik; dan (f) guru memiliki kewenangan mengelola data siswa, kelompok, pertemuan, pesan, petunjuk, dan LKS sehingga kegiatan pembelajaran menjadi lebih mudah. Keterbatasan web intranet fisika sebagai berikut (a) memerlukan perangkat komputer sebagai client dan server sehingga biayanya relatif mahal; (b) memerlukan sumber listrik untuk pembelajaran, sehingga jika listrik padam maka pembelajaran

tidak dapat dilaksanakan; (c) guru dan siswa harus memiliki pengetahuan dasar komputer dan internet yang memadai; (d) perubahan atas materi, animasi, dan LKS harus menghubungkan pengembang web intranet fisika; dan (e) memerlukan jaringan komputer intranet yang stabil dan cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Belinda, S.T & Tse-Kian, N. (2007). Interactive Multimedia Learning: Student's Attitudes And Learning Impact In An Animation Course. *The Turkish Online Journal of Educational Technology* 6(4): 28-37.
- Berta, S & Pohan, H.I. (2005). *Pemrograman Web dengan HTML*. Bandung : Penerbit Informatika.
- Charles, B.A & Totimeh, F. (2012). *Teacher's innovative use of computer technologies in classroom: A case of selected Ghanaian schools*. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology* 8(3): 22-34.
- Dahar, R.W. (2011). *Teori-teori belajar dan Pembelajaran*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Faizin, M.N. (2009). *Penggunaan model pembelajaran Multimedia interaktif (mmi) pada konsep listrik Dinamis untuk meningkatkan penguasaan konsep Dan memperbaiki sikap belajar siswa*. (online) : [http://file.upi.edu/.../35_PENGGUNAAN_MODEL_PEMBELAJARAN_MULTIMEDIA_INTERAKTIF_\(MMI\).pdf](http://file.upi.edu/.../35_PENGGUNAAN_MODEL_PEMBELAJARAN_MULTIMEDIA_INTERAKTIF_(MMI).pdf), diakses tanggal 12 Maret 2013.
- Firdaus. (2009). Integrasi Product Design and Manufacturing dengan Teknologi Informasi dan Komunikasi. *Jurnal Austenit* 1(2) : 38-47.
- Gok, T. (2010). Using Computer-Assisted Personalized vassignment System In Avlarge-Enrollment General Physics. *European J Of Physics Education* 1: 28-43.
- Irvan, F & Corlu M.A. (2011). Contribution of Video Analysis of Elevator Experiments to Physics Achievement. *Eurasian J. Phys. Chem. Educ(jan)*: 2-8.
- Jozwiak, J. (2004). Teaching Problem Skills to Adults. *MPAEA Journal of Adult Education Volume XXXIII(1)* : 19-34.
- Hendra, J. (2012). Pengembangan Laboratorium Virtual Untuk Kegiatan Praktikum dan Memfasilitasi Pendidikan Karakter di SMK. *Jurnal Pendidikan Vokasi* 2(1) : 81-90.
- Karang. (2009). Penerapan Strategi Belajar Berbasis Masalah Untuk Meningkatkan Kompetensi Dasar Fisika Siswa Kelas XI Jurusan TMM SMKN 3 Singaraja. *Jurnal Pendidikan Kerta Mandala* 1(1).
- Lee, W.W. & Diana, L.O. (2004). *Multimedia-based instructional design: computer-based training, web-based training, distance broadcast training, performance-based solutions*. San

- Francisco : John Wiley & Sons, Inc.
- Maria, H.T. (2010). Implementasi Pembelajaran Multimodel Berbasis Pendekatan Kontekstual Untuk Meningkatkan Pencapaian Kompetensi Dasar Fisika Di SLTP. *Jurnal PMIPA Universitas Tanjungpura Pontianak*.
- Mendez dan Slisko. (2013). Software Socratic and Smartphones as Tools For Implementation of Basic Processes of Active Physics Learning in Classroom: An Initial Feasibility Study With Prospective Teachers. *European J Of Physics Education 4(2)* : 17-24.
- Pressman, R.S. (2002). *Rekayasa Perangkat Lunak: pendekatan praktisi*. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Pullen, D. (2013). Doctors online: Learning using an internet based content management system. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology 9(1)* : 50-63.
- Setyosari. (2010). *Metode Penelitian Pendidikan dan Pengembangan*. Jakarta : Kencana Prenada Media Group.
- Shelly & Vermaat. (2008). *Discovering Computers Fundamentals Fifth Edition*. Boston : Course Technology, Cengage Learning.
- Soejoto. (2010). Dukungan Dunia Industri dan Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat terhadap Mutu Kompetensi Produktif di Daerah Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Kebijakan Pendidikan 8(3)*.
- Sugiyono. (2010). *Metode Penelitian Administrasi*. Bandung : Penerbit Alfabeta.
- Syafrizal, M. (2005). *Pengantar Jaringan Komputer*. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Wyld. (2010). The Cloudy Future of Government IT: Cloud Computing and The Public Sector Around The World. *International Journal of Web & Semantic Technology (JWesT) 1(1)*:1-20.
- Zulkardi & Ilma, R. (2010). Pengembangan Blog Support Untuk Membantu Siswa Dan Guru Matematika Indonesia Belajar Pendidikan Matematika Realistik Indonesia (PMRI). *Jurnal Informasi dan Perakayasa Pendidikan (JIPP) 2(1)*: 1-24.

PENGEMBANGAN PERANGKAT PERKULIAHAN EKSPERIMEN FISIKA UNTUK MENINGKATKAN KREATIVITAS MAHASISWA CALON GURU DALAM MENDESAIN KEGIATAN PRAKTIKUM FISIKA DI SMA

DEVELOPMENT OF PHYSICS EXPERIMENT LECTURES INSTRUMENT TO IMPROVE PRE-SERVICE TEACHERS CREATIVITY IN DESIGNING PHYSICS PRACTICAL WORK HIGH SCHOOL ACTIVITIES

H. S. Wattimena^{1*}, A. Suhandi², A. Setiawan²

¹Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

²Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

Diterima: 2 Juni 2014. Disetujui: 17 Juni 2014. Dipublikasikan: Juli 2014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat perkuliahan eksperimen fisika yang dapat meningkatkan kreativitas mahasiswa calon guru dalam mendesain kegiatan praktikum fisika SMA. *Mixed methods research* melalui *embedded experimental model* dengan strategi *embedded*, digunakan sebagai metode penelitian sebagai tahap pengumpulan data kuantitatif dan kualitatif dalam satu waktu; yang melibatkan mahasiswa program studi Pendidikan Fisika salah satu LPTK di Maluku. Perangkat perkuliahan yang dikembangkan diadaptasikan dari pola pembelajaran kreatif yang disebut sebagai Aspek Keterampilan Berpikir Kreatif (AKBK); aktivitas mahasiswa dalam mendesain kegiatan praktikum diarahkan pada Indikator Kegiatan Dalam Bereksperimen (IKDB). Pemahaman konsep fisika mahasiswa diukur berdasarkan taksonomi Bloom revisi. Hasil penelitian menunjukkan, terjadi peningkatan AKBK mahasiswa untuk setiap IKDB pada kriteria sedang; serta peningkatan pemahaman konsep-konsep dasar fisika mahasiswa untuk indikator mencontohkan, mengklasifikasikan, dan menjelaskan pada kriteria sedang. Disimpulkan bahwa perangkat perkuliahan eksperimen fisika yang dikembangkan dapat meningkatkan kreativitas mahasiswa dalam mendesain kegiatan praktikum fisika berdasarkan cakupan materi yang terukur.

ABSTRACT

This study aimed to develop the lectures instrument of physics experiment to improve the creativity of preservice teachers in designing a high school physics lab activities. *Mixed methods research* through the *embedded experimental models* with *embedded* strategy, was used as a method of research, a stage of quantitative and qualitative data collection at a time, involving students of Physical Education courses one LPTK in Maluku. The developed lectures instrument adapted from creative learning pattern was referred to as Creative Thinking Skills aspect (CTSA), while student activity in the design of practical activities were directed at Activity Indicator In Experiment (SIEI). Understanding the concept of physics students was measured based on the revised Bloom's taxonomy. The results showed an increase in students CTSA for each SIEI on the criteria of being; as well as an improve understanding of the basic concepts of physics students to cite, classify, and explain indicators. It was concluded that the developed lectures instrument of physics experiment can enhance student creativity in the design of physics experiment activities based on the coverage of the measured material.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: learning instrument; creativity; physics practical work design

***Alamat Korespondensi:**

Jl. Ir. M. Putuhena, Poka, Ambon
E-mail: hermanwattimena@gmail.com

PENDAHULUAN

Eksperimen Fisika merupakan salah satu mata kuliah keahlian yang diterapkan dalam kurikulum program studi Pendidikan Fisika salah satu LPTK di provinsi Maluku. Kompetensi mahasiswa yang diharapkan dari mata kuliah tersebut adalah “agar mahasiswa dapat menghayati berbagai konsep dan prinsip fisika lanjut dengan melakukan berbagai eksperimen fisika dan mampu mengembangkan kreativitas dalam merancang percobaan, termasuk membuat alat bantu pengajaran fisika SMA”.

Sebagai calon guru fisika di sekolah menengah, mahasiswa pada program studi tersebut dituntut untuk memiliki wawasan yang luas tentang kemampuan mengelola pembelajaran. Hal ini sesuai dengan tujuan pendidikan guru sains pada LPTK di Indonesia, yaitu untuk menghasilkan calon guru sains yang berwawasan luas tentang kependidikan, serta memiliki kemampuan atau keterampilan dalam merancang, melaksanakan, dan mengelola kegiatan pembelajaran (Ditjen Dikti, 2008). Terkait hal dimaksud, maka aktivitas pembelajaran yang dilakukan calon guru fisika dalam perkuliahan eksperimen fisika sudah tentu harus mendukung kinerjanya saat menjadi guru fisika di sekolah. Mengacu pada kompetensi mahasiswa yang telah ditetapkan program studi, maka dapat disebutkan bahwa mahasiswa mungkin dapat menghayati konsep dasar fisika berdasarkan pengetahuan teoretis; namun secara eksplisit belum memunculkan kreativitas mereka dalam mengembangkan desain kegiatan praktikum fisika sekolah.

Kreativitas mahasiswa dalam perkuliahan eksperimen fisika perlu dimiliki karena kondisi penyelenggaraan praktikum fisika pada beberapa sekolah di Maluku (Wattimena, *et al.* 2014) yang menunjukkan bahwa: (1) Sebagian guru fisika belum mampu mengembangkan kegiatan praktikum fisika melalui pemanfaatan sumber daya yang dimiliki. Artinya, bila sarana laboratorium tidak memadai, guru cenderung untuk tidak menyelenggarakan praktikum. Demikian juga bila sarana cukup memadai, guru fisika masih kesulitan dalam mengembangkan peralatan praktikum secara memadai; (2) Kebanyakan guru hanya memanfaatkan instruksi praktikum pada buku paket. Hal ini berkaitan dengan tingginya aktivitas mereka dalam jam tatap muka di kelas; (3) Sebagian besar guru fisika hanya mengandalkan kemampuan kognitifnya tanpa dibarengi dengan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Keadaan ini terindikasi

dengan adanya penggunaan instruksi praktikum yang berbentuk *cookery book*. Akibatnya siswa kesulitan memahami konsep fisika yang dipraktikumkan. Hal ini sejalan dengan temuan Cockman (2008) yang mengungkapkan bahwa penekanan dalam praktikum fisika perlu diberikan bagi siswa berupa latihan keterampilan seperti mengamati, menggolongkan, mengukur, berkomunikasi, menafsirkan data, dan melakukan eksperimen secara bertahap berdasarkan karakteristik materi. Kondisi ini membutuhkan kreativitas guru fisika dalam mengembangkan kegiatan praktikum untuk memunculkan keterampilan berpikir kreatif siswa.

Hasil penelitian terhadap kemampuan guru fisika dalam merancang dan menyelenggarakan kegiatan praktikum fisika sekolah di beberapa wilayah, juga belum optimal (Wiyanto, 2005-b; Gunawan, 2010; Utari, 2010; Wattimena, *et al.* 2014). Terlepas dari masalah sarana dan prasarana laboratorium, guru fisika ternyata kurang memunculkan kreativitasnya dalam menyusun desain praktikum maupun mengembangkan peralatan. Kajian ini juga berarti bahwa sebagian guru fisika belum mampu menyelesaikan masalah yang dihadapi, akibat pengalaman belajar ketika menjadi mahasiswa. Hal ini sejalan dengan penjelasan McDermott (1999) bahwa salah satu faktor penting yang mempengaruhi rendahnya kinerja guru fisika adalah kurang baiknya penyiapan mereka.

Menurut Reif (1995) keterampilan berpikir harus lebih ditekankan dalam pembelajaran fisika, karena tujuan utama pembelajaran fisika adalah untuk membantu peserta didik guna memperoleh sejumlah pengetahuan dasar yang dapat digunakan secara fleksibel. Hal ini didasarkan pada alasan, bahwa: (1) Pembelajaran fisika bukan untuk mengumpulkan fakta-fakta; (2) Pembelajaran fisika berguna bagi siswa sebagai pengetahuan dasar dalam pemecahan masalah; (3) Siswa tidak memperoleh keuntungan yang banyak bila pengetahuan tersebut bersifat hafalan; (4) Kebutuhan pemahaman siswa terhadap fisika akan membantu mereka dalam perkembangan global yang kompleks. Kondisi ini sejalan dengan penjelasan Munandar (1999) bahwa tingginya aspek kognitif seseorang tanpa disertai dengan meningkatnya kemampuan berpikir tingkat tinggi, tidak cukup untuk berkompetisi di era global saat ini; karena tantangan hidup tidak dapat diselesaikan hanya dengan kemampuan kognitif saja, tetapi diperlukan pola berpikir yang kreatif.

Mengingat pentingnya praktikum dalam

pembelajaran fisika, yaitu sebagai suatu cara untuk membentuk pemahaman dan pengalaman peserta didik, maka potensi untuk mengembangkan aspek keterampilan berpikir kreatif merupakan suatu kebutuhan. Pemahaman dan pengalaman peserta didik dapat dibentuk, bergantung pada apa yang dipelajari dan bagaimana cara mereka mempelajarinya. Hal ini memberi makna bahwa apa yang dipelajari adalah berkaitan dengan pandangan tentang fisika sebagai produk; sedangkan bagaimana mempelajarinya, jika fisika dipandang sebagai proses. Demikian juga sikap ilmiah peserta didik dalam kegiatan praktikum, sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari ciri berpikir kreatif.

Menurut penjelasan Guilford (1977) bahwa berpikir kreatif dicirikan sebagai pengetahuan dan sikap. Berpikir kreatif sebagai ciri pengetahuannya disebut sebagai *aptitude (fluency, flexibility, originality, elaboration)*; sedangkan ciri sikapnya atau non *aptitude* seperti rasa ingin tahu, kejujuran, ketelitian, rasa tanggung jawab, dan sebagainya. Berpikir kreatif juga diartikan sebagai daya cipta, meskipun kemampuan menciptakan hal-hal yang sama sekali baru adalah hampir tidak mungkin terjadi. Sehingga, berpikir kreatif merupakan kombinasi dari pengetahuan yang sudah ada sebelumnya untuk memunculkan kemampuan seseorang dalam membuat kombinasi baru berdasarkan data, informasi, atau unsur-unsur

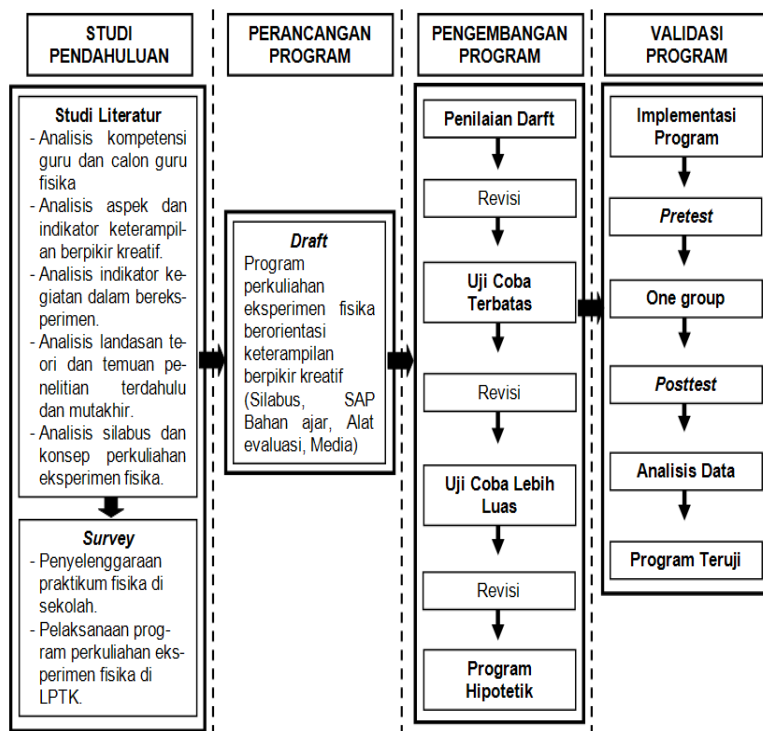
lain yang diperoleh.

Berbagai aspek keterampilan berpikir kreatif telah direkomendasikan untuk dikembangkan dan dapat diukur dalam pembelajaran (Torrance, 1972; Guilford, 1988; Supriadi 1994; Munandar, 1999; Evans, 2003; Cropley dan Cropley (2008). Uraian tentang aspek-aspek tersebut terdiri atas: aspek *problem sensitivity, fluency, flexibility originality, elaboration*, dan aspek *evaluation*.

Berdasarkan uraian di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk: (1) Mendeskripsikan karakteristik perangkat perkuliahan yang dikembangkan; (2) Mengkaji cakupan materi fisika yang dapat meningkatkan pemahaman konsep-konsep dasar fisika mahasiswa terhadap pencapaian indikator pemahaman yang terukur; (3) Mengkaji peningkatan keterampilan berpikir kreatif mahasiswa, terhadap pencapaian setiap indikator kegiatan dalam bereksperimen.

METODE

Penelitian ini dilakukan, mengacu pada desain penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) menurut Gall *et al.* (2003) yaitu: (1) Studi pendahuluan; (2) Perancangan program; (3) Pengembangan program; dan (4) Validasi program, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Penelitian

Tes Awal	Perlakuan	Tes Akhir
O	X_1	O

Gambar 2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *pre-experimental* dengan desain *one group pretest-posttest* (Creswell, 2007) seperti pada Gambar 2. Sebelum dilakukan pembelajaran melalui program perkuliahan yang dirancang (X_1), mahasiswa diberikan tes keterampilan berpikir kreatif dalam bereksperimen (O). Setelah pembelajaran berakhir, dapat diketahui keterlaksanaan penggunaan perangkat melalui hasil observasi dan peningkatan kreativitas mahasiswa melalui tes keterampilan berpikir kreatif dalam bereksperimen (O).

Subjek penelitian adalah calon guru fisika yang mengontrak mata kuliah eksperimen fisika 1, pada salah satu LPTK di provinsi Maluku, tahun akademik 2013/2014. Subjek penelitian pada uji coba terbatas dipilih secara random *sampling* sebanyak 30 mahasiswa yang telah lulus mata kuliah eksperimen fisika 1; sedangkan uji coba lebih luas, melibatkan 65 mahasiswa dengan metode sensus, yang mengontrak mata kuliah eksperimen fisika 1, tahun akademik 2013/2014. Sebelum perlakuan (X_1), mahasiswa diberi tes keterampilan berpikir kreatif dalam bereksperimen (O). Setelah pembelajaran berakhir dapat diketahui keterlaksanaan penggunaan perangkat melalui hasil observasi dan tes keterampilan berpikir kreatif dalam bereksperimen (O).

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi soal tes keterampilan berpikir kreatif dalam bereksperimen, lembar observasi, kuesioner, dan pedoman wawancara. Sebanyak enam butir tes yang digunakan untuk mengukur kompetensi mahasiswa, terkait keterampilan berpikir kreatif mereka dalam mengeksplorasi kit peralatan praktikum, mengembangkan ragam praktikum untuk konsep yang sama, dan mengembangkan desain praktikum dalam pembelajaran fisika.

Terdapat empat AKBK mahasiswa yang diukur melalui tes tersebut yaitu: AKBK kelancaran, fleksibilitas, orisinalitas, dan AKBK elaborasi; yang diadaptasikan dari literatur pembelajaran kreatif (Lawson, 1980; Guilford, 1988; Evans, 2003; LTSIN, 2004). Tes juga mengukur IKDB mahasiswa, meliputi IKDB untuk merumuskan topik praktikum, tujuan praktikum, menyusun dasar teori, prinsip dasar, *set up* peralatan, prosedur praktikum, teknik koleksi data, dan IKDB menyusun teknik analisis data.

Pemahaman konsep mahasiswa yang diukur, diadaptasikan dari Taksonomi Bloom Revisi menurut Anderson *et al.* (2001), dalam dimensi pengetahuan untuk indikator memberikan contoh, mengklasifikasi, dan indikator menjelaskan.

Analisis data kuantitatif peningkatan pemahaman konsep fisika mahasiswa dan peningkatan keterampilan berpikir kreatif dalam bereksperimen diperoleh berdasarkan perhitungan *gain* yang dinormalisasi ($\langle g \rangle$) yang dikembangkan Hake (1999). Persentase keterlaksanaan pembelajaran mahasiswa dan dosen dianalisis berdasarkan hasil observasi keterlaksanaan pembelajaran pada setiap indikator jawaban oleh setiap observer, menurut Saul & Redish (1998). Instrumen kuesioner dan pedoman wawancara untuk menjangkau informasi guru, dosen, dan mahasiswa calon guru fisika dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif, yang terlebih dahulu ditransformasikan dengan *Method of Successive Interval* (MSI) sebagai syarat uji statistik pengolahan data (Hays, 1976).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh pada studi pendahuluan dianggap bermanfaat sehingga informasinya dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam penelusuran literatur tambahan, untuk mendukung pengembangan perangkat perkuliahan yang direncanakan. Proses ini dikaitkan juga dengan pola pengembangan pembelajaran kreatif, yang diadaptasikan dari Sternberg dan William (1996); dan penyesuaian terhadap penggunaan teori belajar yang dapat diterapkan, serta hasil-hasil penelitian untuk melengkapi proses perancangan program. Sesuai hasil analisis, maka dibuat empat tahapan pembelajaran yang disusun berdasarkan struktur pembelajaran formal, meliputi tahapan kegiatan pendahuluan, inti, dan kegiatan penutup.

Berdasarkan hasil studi literatur (Torrance, 1972; Guilford, 1988; Supriadi 1994; Jiazeng, *et al.* 1995; Reif, 1995; McDermott, 1999; Munandar, 1999; Evans, 2003; Santyasa, 2003; Etkina, 2005; Popper, 2005; Kim, 2006; Wening, 2006; Brewe *et al.* 2009; Abrahams & Millar, 2008; Trna dan Novak, 2010; Wang, 2011; Cheng, 2010; Danielsson, 2011; Nivalainen, *et*

al. 2013; Putra, 2013), diperoleh karakteristik perangkat perkuliahan eksperimen fisika yang dapat meningkatkan kreativitas mahasiswa dalam mendesain praktikum fisika, meliputi: (1) Standar kompetensi; (2) Kompetensi dasar; (3) Indikator; (4) Bahan ajar; (5) Kegiatan belajar; (6) Media pembelajaran; (7) Evaluasi hasil belajar; dan (8) Sumber belajar.

Desain kegiatan pembelajaran disusun berdasarkan struktur pembelajaran formal meliputi kegiatan pendahuluan, kegiatan inti, dan kegiatan penutup dalam SAP; dan diintegrasikan dalam bahan ajar, yang mengarah pada pencapaian kompetensi pengetahuan, keterampilan, dan sikap mahasiswa (NRC, 2012; Ditjen Dikti 2008; NRC, 2000). Struktur pembelajaran tersebut dijabarkan dalam kegiatan *workshop*, yang dipandu melalui tiga pokok bahasan dengan lima sub topik, dan empat pola pembelajaran seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan analisis uji statistik beda dua rerata dengan Wilcoxon *Signed Rank Test* tentang pencapaian skor *pretest-posttest* mahasiswa, dapat diperoleh skor *gain* yang dinormalisasi ($<g>$) pemahaman konsep dalam bereksperimen seperti Tabel 2. Hasil tersebut diukur berdasarkan tiga indikator pemahaman konsep yang diidentifikasi dalam setiap IKDB, yaitu indikator mencontohkan, mengklasifikasikan, dan indikator menjelaskan.

Secara umum terjadi peningkatan untuk ketiga indikator pemahaman mahasiswa dengan $<g>$ sebesar 0,65 pada kriteria sedang. Meskipun demikian masih terdapat kekeliruan sejumlah mahasiswa terhadap pencapaian beberapa IKDB untuk memahami konsep-konsep dasar fisika. Kondisi ini memunculkan dugaan bahwa aktivitas mahasiswa dalam kegiatan inti belum dilakukan secara tepat, karena pemilihan materi kuliah yang berbeda dengan pengalaman belajar mereka sebelum pengembangan program. Temuan ini mendukung hasil

penelitian Trna dan Novak (2010) yang menunjukkan bahwa prestasi peserta didik akan meningkat bila didukung dengan aktivitas secara berimbang, dan pemilihan materi praktikum yang sesuai.

Persentase pencapaian indikator pemahaman konsep mahasiswa didasarkan pada jawaban mereka terhadap setiap IKDB. Misalnya mahasiswa diminta menyusun desain kegiatan praktikum berdasarkan gambar peralatan yang ditunjukkan dalam soal. Apabila topik praktikumnya benar, maka jawaban tersebut digolongkan sebagai pemahaman untuk indikator mencontohkan. Jika rumus topik praktikum dibarengi dengan penjelasan terhadap gambar peralatan dan bahan secara benar; maka jawaban mereka dikategorikan dalam indikator mengklasifikasikan, karena mampu mengidentifikasi gambar peralatan praktikum yang diberikan. Bila jawaban mereka dibuat dengan penjelasan tentang konsep-konsep yang dapat dipraktikkan hingga munculnya rumusan topik tersebut, maka jawabannya digolongkan sebagai indikator menjelaskan.

Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat dinyatakan bahwa rumusan topik praktikum, tujuan, dan *set up* peralatan praktikum lebih banyak disebutkan mahasiswa. Kemampuan mereka untuk menjelaskan keterkaitan rumusan tersebut berdasarkan konsep-konsep, prinsip atau asas fisika yang dipelajari di SMA tidak dijelaskan secara rinci. Hal tersebut berdampak pada rendahnya skor pemahaman untuk indikator menjelaskan. Namun demikian, terdapat beberapa mahasiswa yang telah mampu merumuskan topik praktikum dengan penjelasan terhadap gambar peralatan yang diberikan secara benar, sehingga soal yang diselesaikan berdampak pada peningkatan indikator mengklasifikasikan. Dengan demikian pencapaian setiap IKDB pada setiap indikator pemahaman, dapat dipakai sebagai informa-

Tabel 1. Aktivitas perkuliahan dan *workshop* eksperimen fisika

No.	Pokok Bahasan	Sub Pokok Bahasan	Pola Pembelajaran
1.	Mengeksplorasi kit peralatan praktikum fisika	Penjelasan umum	Latihan terbimbing (LaB)
		Contoh-contoh/ <i>modeling</i>	
		Diskusi kelompok	
		Tugas individu	
		Tugas kelompok	
2.	Mengembangkan ragam praktikum untuk konsep yang sama	Penjelasan umum	Latihan terbimbing (LaB)
		Contoh-contoh/ <i>modeling</i>	
		Diskusi kelompok	
		Tugas individu	
		Tugas kelompok	
3.	Mengembangkan desain praktikum dalam pembelajaran fisika	Penjelasan umum	Latihan terbimbing (LaB)
		Contoh-contoh/ <i>modeling</i>	
		Diskusi kelompok	
		Tugas individu	
		Tugas kelompok	

Tabel 2. Rekapitulasi rerata skor <math>\langle g \rangle</math> peningkatan pemahaman konsep mahasiswa

Indikator Pemahaman Konsep Mahasiswa dalam Perkuliahan	Sebelum Implementasi				Setelah Implementasi			
	Tes Awal	Tes Akhir	$\langle g \rangle$	Kriteria	Tes Awal	Tes Akhir	$\langle g \rangle$	Kriteria
Memberikan contoh rumusan topik praktikum, tujuan, dan <i>set up</i> peralatan	39,3	75,6	0,60	Sedang	38,0	78,9	0,66	Sedang
Mengklasifikasi alat dan bahan, teknik koleksi data, dan teknik analisis data	34,7	71,6	0,57	Sedang	35,7	77,5	0,65	Sedang
Menjelaskan dasar teori, prinsip dasar, dan prosedur praktikum	30,7	69,8	0,56	Sedang	31,7	74,9	0,63	Sedang
Rerata	34,9	72,3	0,58	Sedang	35,1	77,1	0,65	Sedang

si untuk pembahasan karakteristik perangkat program perkuliahan eksperimen fisika yang dapat meningkatkan pemahaman konsep-konsep dasar fisika mahasiswa.

Sejumlah mahasiswa masih mencapai skor *posttest* lebih kecil dari *pretest*, dan hasil *posttest* yang sama dengan skor *pretest* mereka dalam memahami konsep-konsep dasar fisika melalui setiap IKDB terhadap indikator pemahaman yang diukur. Kondisi ini memunculkan dugaan bahwa sejumlah mahasiswa yang hasil *posttest*-nya lebih kecil dari skor *pretest* mereka belum mampu mengkonstruksikan makna konsep yang didesain; baik untuk IKDB merumuskan topik praktikum, tujuan praktikum, menyusun dasar teori, prinsip dasar, *set up* peralatan, alat dan bahan, prosedur praktikum, teknik pengumpulan data, maupun teknik analisis data. Temuan ini sejalan dengan penjelasan Dahar (2011) bahwa peserta didik dapat memahami konsep dalam pembelajaran, bila mereka mampu berpikir untuk mengkonstruksikan makna dari materi yang dipelajarinya.

Temuan tersebut juga berarti bahwa mahasiswa belum mampu mengidentifikasi peralatan dan bahan yang diberikan secara benar dalam IKDB menyusun alat dan bahan praktikum. Hasil ini mendukung temuan Pyatt dan Sims dan Sims (2007) yang menyebutkan bahwa tidak terdapat peningkatan signifikan pada skor pemahaman konsep mahasiswa yang terkait dengan diagnostik peralatan dalam kegiatan laboratorium *hands-on*.

Pendapat Feynman (1998) bahwa mahasiswa harus memiliki pengalaman secara mendalam untuk menganalisis hasil eksperimen seperti membuat grafik atau memberikan gambaran tentang hubungan antarvariabel. Dalam hal ini, terkait pencapaian IKDB menyusun teknik analisis data. Mahasiswa yang memiliki skor *posttest* lebih kecil dari skor *pretest* memberi arti bahwa mereka belum optimal dalam mengidentifikasi konsep esensial dari

perbedaan struktur yang lebih besar.

Kebiasaan menghafal fakta nampak masih terjadi, ditandai dengan pencapaian skor *posttest* mahasiswa yang sama dengan skor *pretest* mereka dalam setiap IKDB. Hal ini berarti bahwa sikap mahasiswa dalam memahami konsep belum dianggap sebagai bagian penting yang terkait dengan kompetensinya. Temuan ini mendukung penelitian Zhaoyao (2002); Wenning dan Wenning (2006) bahwa mahasiswa sering menghafal fakta dalam pembelajaran fisika, dan cenderung tidak memahami konsep karena tidak didahului dengan sikap positif terhadap konsep tersebut. Terkait dengan hal ini, Widodo (2006) menguraikan bahwa indikator mengklasifikasi menjadi pengetahuan dasar bagi peserta didik untuk memahami informasi berdasarkan pengalamannya. Tanpa adanya kemampuan melakukan identifikasi secara benar, mereka akan kesulitan dalam belajar.

Pencapaian skor *posttest* mahasiswa yang sama dengan skor *pretest* mereka dalam setiap IKDB mengartikan bahwa mereka belum mampu mengidentifikasi konsep esensial. Temuan ini mendukung penjelasan Wenning (2006) bahwa penggunaan logika penemuan ilmiah seperti pemahaman konsep dasar secara operasional, harus dimaknai peserta didik untuk menyusun teknik koleksi data, sebagai bagian dari kegiatan praktikum fisika. Hal ini juga didukung dengan penjelasan Brewe *et al.* (2009) bahwa metode ilmiah yang biasanya digunakan mahasiswa dalam menginterpretasikan hasil praktikum, sering menjadi kesulitan cukup signifikan karena kurangnya ketelitian dalam mengidentifikasi sejumlah variabel fisis.

Meskipun demikian terdapat sejumlah mahasiswa yang mencapai hasil *posttest* lebih besar dari skor *pretest*-nya, sehingga dapat dinyatakan bahwa pemahaman konsep mereka pada setiap IKDB menjadi meningkat sebagai akumulasi dari proses ilmiah. Sejalan dengan pernyataan ini Santyasa (2003) menje-

Tabel 3. Rekapitulasi rerata skor $\langle g \rangle$ peningkatan keterampilan berpikir kreatif mahasiswa

AKBK	IKDB	Sebelum Implementasi				Setelah Implementasi			
		Tes Awal	Tes Akhir	$\langle g \rangle$	Kriteria	Tes Awal	Tes Akhir	$\langle g \rangle$	Kriteria
Kelancaran	Topik praktikum	45,61	70,60	0,46	Sedang	21,3	76,5	0,70	Tinggi
	Tujuan praktikum	42,82	68,33	0,45	Sedang	24,3	78,9	0,72	Tinggi
	Set up peralatan	13,62	49,86	0,42	Sedang	17,5	59,8	0,51	Sedang
Fleksibilitas	Topik praktikum	18,11	45,79	0,34	Sedang	22,1	57,3	0,45	Sedang
	Tujuan praktikum	17,70	46,83	0,35	Sedang	23,0	62,5	0,51	Sedang
	Set up peralatan	18,32	49,31	0,38	Sedang	20,8	54,0	0,42	Sedang
	Alat dan bahan	12,33	53,87	0,47	Sedang	22,5	66,3	0,57	Sedang
	Teknik koleksi data	15,34	41,30	0,31	Sedang	18,9	56,5	0,46	Sedang
Orisinalitas	Teknik analisis data	14,35	42,11	0,32	Sedang	19,0	54,7	0,44	Sedang
	Topik praktikum	13,32	45,61	0,37	Sedang	18,1	59,0	0,50	Sedang
	Tujuan praktikum	15,43	51,44	0,43	Sedang	19,7	57,6	0,47	Sedang
	Set up peralatan	11,91	41,34	0,33	Sedang	12,9	45,3	0,37	Sedang
	Alat dan bahan	11,35	49,15	0,43	Sedang	14,6	60,7	0,54	Sedang
	Prosedur praktikum	18,67	50,16	0,39	Sedang	15,0	57,3	0,50	Sedang
	Teknik koleksi data	12,40	43,60	0,36	Sedang	13,2	46,1	0,38	Sedang
Elaborasi	Teknik analisis data	19,69	47,14	0,34	Sedang	14,0	45,3	0,36	Sedang
	Dasar teori	20,72	48,34	0,35	Sedang	12,6	56,3	0,50	Sedang
	Prinsip dasar	25,25	50,20	0,33	Sedang	10,0	44,1	0,38	Sedang
	Prosedur praktikum	22,22	55,91	0,43	Sedang	11,6	58,3	0,53	Sedang
Rerata total AKBK dan IKDB		19,43	50,05	0,38	Sedang	17,4	57,7	0,49	Sedang

laskan bahwa pemahaman konsep fisika mahasiswa dalam praktikum dapat terjadi, ketika mereka mampu menjalankan proses ilmiah sebagai pengetahuan tentang analisis kesalahan dan interpretasi data. Temuan tersebut juga selaras dengan penjelasan Popper (2005) bahwa mahasiswa akan mampu melakukan observasi dan interpretasi teori secara optimal jika mereka menyadari tentang masalah yang harus dipecahkan, dan berlatih dalam menelusuri berbagai literatur tentang masalah tersebut. Dengan demikian dapat disebutkan bahwa kesiapan mahasiswa dalam menganalisis hubungan antarkonsep-konsep fisika yang dapat dipraktikkan telah dijalani secara baik selama implementasi program; namun perlu dilakukan analisis terhadap pola berpikir kreatif mereka dalam pencapaian setiap IKDB, sehingga terakumulasi sebagai hasil pembelajaran dalam meningkatkan kreativitas mendesain kegiatan praktikum fisika.

Peningkatan keterampilan berpikir kreatif mahasiswa dalam bereksperimen dapat diketahui berdasarkan pencapaian setiap IKDB terhadap AKBK mereka. Rerata *gain* yang dinormalisasi ($\langle g \rangle$) keterampilan berpikir kreatif mahasiswa untuk pencapaian setiap IKDB terhadap AKBK mereka menunjukkan peningkatan sebesar 0,49 pada kriteria sedang seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Capaian tersebut terjadi demikian karena terdapat perbedaan dan kesamaan antara skor *posttest* dengan skor *pretest* mahasiswa untuk setiap IKDB terhadap AKBK mereka.

Masih kelirunya mahasiswa dalam me-

nyusun rancangan praktikum, menunjukkan bahwa perangkat yang dikembangkan harus diperbaiki. Kegiatan ilmiah yang selama ini dilatihkan belum mampu diaplikasikan oleh sejumlah mahasiswa secara optimal. Tahap kegiatan eksperimen ke arah berpikir tingkat tinggi menurut Wenning (2006) sebagai pola pembelajaran di laboratorium fisika yang telah dipaparkan dalam bahan ajar, juga belum sepenuhnya diikuti mahasiswa.

Tinjauan dari substansi bereksperimen, mahasiswa belum optimal dalam mengamati suatu fenomena yang bukan saja terletak pada eksperimen tersebut, tetapi juga bergantung pada cara berpikir tentang bagaimana menjelaskan hubungan sebab-akibat tentang fenomena itu. Dengan kata lain, proses mengamati bukan saja menggunakan mata fisik tetapi juga dengan mata pikiran. Landasan teoretis yang berkaitan dengan pengembangan program perkuliahan eksperimen fisika memerlukan proses mental mahasiswa yang diadaptasikan dari transformasi pengetahuan seperti dijelaskan Gardner (1999). Dalam hal ini Novak dan Gowin (1985) menjelaskan bahwa mengajar bukan saja berfokus pada *how to teach* tetapi harus lebih diorientasikan pada *how to stimulate learning* dan *learning how to learn*. Salah satu penyebab kondisi mahasiswa yang demikian adalah munculnya ketidakpahaman mereka tentang bagaimana hakikat sains harus digunakan sebagai landasan teoretis dalam memahami fisika.

Hasil penelitian Trna dan Novak (2010) tentang motivasi efektif terhadap praktikum da-

lam pendidikan fisika mendukung temuan penelitian ini, yang menunjukkan bahwa kegiatan praktikum yang diselenggarakan guru atau dilakukan calon guru fisika tidak selalu tepat dan cukup untuk pengembangan keterampilan dan pengetahuan siswa dalam mempelajari fisika. Motivasi belajar siswa meningkat bila guru atau calon guru fisika mampu menggunakan teknik pembelajaran yang efektif, dengan melihat kesesuaian antara pedagogik konstruktivisme, dan materi praktikum.

Sejalan dengan pernyataan tersebut, maka teori belajar perilaku dan teori belajar kognitif yang telah dikembangkan para ahli dapat dijadikan landasan teoretis pengembangan program perkuliahan dimaksud. Teori belajar perilaku yang dikembangkan Pavlov, Thorndike, Skinner, dan Bandura untuk memahami perilaku mahasiswa dalam pembelajaran perlu dijadikan pijakan secara saksama. Dalam hal ini meskipun keterlaksanaan kegiatan perkuliahan yang dilakukan dosen dan mahasiswa nampak sudah optimal, namun beberapa perilaku yang tidak nampak seperti yang dikemukakan Yamin (2013); Dahar (2011); dan Gredler (2011), perlu menjadi bahan pertimbangan guna perbaikan kualitas pembelajaran. Teori belajar kognitif menurut Bruner, Ausubel, dan Gagne, juga harus dijadikan sebagai penyeimbang dalam proses perkuliahan saat ini untuk mempelajari perilaku-perilaku mahasiswa yang tidak tampak. Dengan demikian maka pemahaman konsep dan aspek keterampilan berpikir kreatif yang perlu dibekalkan bagi mahasiswa calon guru fisika, harus diterapkan berdasarkan landasan teori belajar kognitif; sedangkan teori belajar perilaku digunakan untuk memfasilitasi mahasiswa dalam pengembangan kegiatan bereksperimen.

Berdasarkan hasil analisis keterlaksanaan program perkuliahan melalui perangkat yang telah dikembangkan, ternyata cakupan konsep fisika sebagai prasyarat perkuliahan menjadi penyebab utama kekeliruan sebagian mahasiswa. Tercapainya peningkatan keterampilan berpikir kreatif mahasiswa sebagai acuan terjadinya peningkatan kreativitas mereka dalam mendesain kegiatan praktikum, tidak terlepas dari intervensi pembelajaran yang memberikan ruang bagi mereka untuk beraktivitas secara kolaboratif maupun individu. Dalam proses ini mahasiswa telah belajar secara produktif untuk mengkonstruksikan pengetahuan mereka berdasarkan ide-ide yang dimunculkan tentang bagaimana mendesain kegiatan praktikum fisika.

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa perangkat perkuliahan yang dikembangkan dapat memberikan suatu kemajuan belajar bagi mahasiswa secara bermakna sehingga dapat melatih mereka untuk berpikir melalui berbagai cara. Peningkatan AKBK kelancaran mahasiswa lebih dipengaruhi oleh aktivitas mereka yang dibimbing melalui perangkat program perkuliahan untuk setiap IKDB melalui pola pembelajaran latihan terbimbing. Hasil ini mendukung temuan penelitian Cheng (2004) yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kreativitas siswa secara signifikan pada aspek kelancaran; setelah mereka diberi perlakuan melalui instruksi praktikum dengan pola pembelajaran latihan terbimbing.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa sebagian mahasiswa yang tidak beraktivitas secara maksimal pada tahap penjelasan umum, dan diskusi kelompok, berpotensi melakukan analisis berdasarkan penalaran mereka sendiri untuk menyelesaikan tugas individu; yang tidak mengacu pada hasil pengamatan dan analisis secara ilmiah. Hal ini sejalan dengan penjelasan Danielsson (2011) bahwa kegiatan praktikum fisika akan berdampak pada model wacana mahasiswa yang didasarkan pada pelaksanaan praktikum dan analisis, berdasarkan penalaran dan pengalaman mereka sendiri terhadap konsep-konsep dasar fisika saat beraktivitas.

Sejumlah mahasiswa yang mencapai hasil *posttest* lebih kecil dari hasil *pretest* mereka, juga disebabkan karena kekeliruan dalam memahami konsep atau menjelaskan hubungan antarkonsep yang akan diaplikasikan dalam proses mendesain kegiatan praktikum fisika. Temuan ini selaras dengan penelitian Nivalainen *et al.* (2013) yang menunjukkan bahwa keberhasilan mahasiswa dalam praktikum terbentuk dari keberhasilan pelaksanaannya, dan desain materi pembelajaran sebagai pengalaman beraktivitas; sehingga berdampak pada peningkatan hasil belajar mereka.

Hasil penelitian ini juga mendukung penelitian Wang (2011) bahwa perbedaan keterampilan berpikir kreatif yang sering berbeda adalah pada aspek elaborasi. Kemampuan ini terungkap melalui ekspresi diri dan keyakinan terhadap hasil praktikum mereka. Pola berpikir kreatif menurut Sternberg & Williams (1996) yang diadaptasikan untuk dikembangkan dalam program perkuliahan, cukup berpengaruh terhadap peningkatan kreativitas mereka, walaupun pencapaiannya secara keseluruhan berada pada kriteria sedang.

Perangkat perkuliahan yang telah dikembangkan dalam perkuliahan juga mendukung hasil penelitian Koray dan Köksal (2009) untuk menguji pengaruh penerapan metode praktikum berbasis berpikir kreatif dan kritis terhadap kemampuan berpikir kreatif dan logis calon guru pada aspek: *fluency*, *flexibility*, *originality*, dan *elaboration*; yang menunjukkan bahwa kelas laboratorium yang diberi perlakuan berbasis berpikir kreatif dan kritis lebih berhasil dari kelas tradisional yang hanya diberi perlakuan dengan metode laboratorium. Hal ini juga sesuai dengan penjelasan Sternberg (2006) tentang sifat alami dari pemikir kreatif yang dapat dikembangkan dalam pembelajaran.

Hasil penelitian yang dilakukan Potur dan Barkul (2009) tentang perbedaan gender dalam pembelajaran berbasis keterampilan berpikir kreatif yang menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara mahasiswa pria dan wanita dalam pembelajaran berbasis keterampilan berpikir kreatif; juga sejalan dengan temuan penelitian ini. Artinya, peningkatan keterampilan berpikir kreatif sebagai acuan peningkatan kreativitas mahasiswa hanya dipengaruhi oleh aktivitas pembelajaran dan materi perkuliahan yang diterapkan.

Hasil penelitian Giampietro dan Cavallera (2006) dalam mengkaji tentang tingkat berpikir kreatif siswa di waktu pagi, siang, dan sore hari yang menunjukkan bahwa aspek orisinalitas lebih tinggi di saat sore hari; tidak dapat ditemukan dalam penelitian ini, karena peningkatan aspek orisinalitas mahasiswa yang ditemukan lebih mengarah pada kebiasaan mereka dalam mengikuti aktivitas pembelajaran berdasarkan substansi materi yang dikembangkan dalam program perkuliahan.

Hasil penelitian ini juga mendukung hasil penelitian Purwanto (2011) tentang pengembangan alat praktikum fisika untuk meningkatkan kreativitas guru dan calon guru fisika, yang menunjukkan bahwa kreativitas mereka dapat ditingkatkan jika guru dan calon guru fisika mampu menggunakan peralatan yang sudah ada, mendesain alat baru, atau menyusun LKS untuk kegiatan eksperimen.

Peningkatan pemahaman konsep-konsep dasar fisika mahasiswa dan keterampilan berpikir kreatif mereka dalam bereksperimen juga dicapai secara lebih optimal, jika cakupan materi yang dipelajari dapat diidentifikasi ketercapaiannya. Berdasarkan contoh-contoh cakupan materi yang dikembangkan mahasiswa dalam perkuliahan, maka dapat diketahui sejauh mana kemampuan mereka untuk

meningkatkan keterampilan berpikir kreatif dalam bereksperimen, sekaligus sebagai upaya mewujudkan kreativitas menyusun desain praktikum dan pemahaman konsep tersebut.

Sejumlah *modeling* yang diterapkan bagi mahasiswa, nampak dapat melatih keterampilan berpikir mereka sebagai pembelajaran yang bermakna. Mengacu pada peningkatan pemahaman konsep dan peningkatan keterampilan berpikir kreatif, maka dapat disebutkan bahwa pemahaman konsep mahasiswa boleh saja meningkat, tetapi kreativitas yang diwujudkan dari peningkatan keterampilan berpikir kreatif dalam bereksperimen belum tentu terjadi secara optimal. Dengan kata lain, mahasiswa yang cerdas belum tentu kreatif, tetapi sebaliknya mahasiswa yang kreatif lebih cenderung berperilaku cerdas.

Di sisi lain masih terdapat pula sejumlah prasyarat perilaku agar seorang mahasiswa mampu menyandang predikat sebagai calon guru fisika yang kreatif dalam menyelenggarakan kegiatan praktikum. Prasyarat-prasyarat tersebut sejalan dengan apa yang dijelaskan Ai-Girl dan Lai-Chong (1991); Guilford (1998); Munandar (1999); Yan-Piaw (2004); Adir (2007); Awang & Ramly (2008); bahwa sikap seseorang dalam menyampaikan gagasan-gagasan kreatifnya untuk diwujudkan sebagai tindakan kreatif, jika ia mampu beraktivitas berdasarkan pandangan dari empat dimensi komponen kreatif meliputi: dimensi *person*, proses, produk, dan dimensi *press*.

Berdasarkan temuan ini, muncul dugaan bahwa program perkuliahan yang dikembangkan bagi mahasiswa calon guru pada salah satu program studi Pendidikan Fisika di provinsi Maluku, semestinya belum dapat diorientasikan pada konsep-konsep fisika *intermediate*. Hal ini didasarkan pada desain praktikum mahasiswa yang ternyata belum mengarah pada substansi konsep dimaksud. Dugaan ini diperkuat oleh hasil uji coba terbatas yang diterapkan bagi mahasiswa yang telah lulus mata kuliah eksperimen fisika 1, ternyata mereka pun belum mampu menyusun desain praktikum tentang konsep-konsep fisika *intermediate*. Saat uji coba lebih luas bagi mereka yang mengontrak mata kuliah eksperimen fisika 1, hal tersebut terulang lagi. Dengan demikian konsep mata kuliah mekanika tidak harus dijadikan prasyarat untuk pengembangan program perkuliahan eksperimen fisika pada program studi dimaksud, jika ingin meningkatkan kreativitas mahasiswa dalam mendesain kegiatan praktikum. Kondisi tersebut juga terjadi untuk

konsep-konsep mata kuliah gelombang dan optik, listrik dan magnet, dan konsep mata kuliah termodinamika sebagai kelompok mata kuliah *intermediate* atau fisika siklus dua.

PENUTUP

Berdasarkan hasil temuan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa: (1) Karakteristik perangkat perkuliahan eksperimen fisika memiliki tiga struktur materi pembelajaran, yaitu: (a) Eksplorasi kit peralatan praktikum fisika; diarahkan untuk melatih ide kreatif mahasiswa tentang bagaimana mendesain kegiatan praktikum untuk konsep tertentu, melalui pemanfaatan kit peralatan praktikum fisika sekolah lainnya bila peralatan utama pada konsep yang akan dipraktikumkan tidak ada; (b) Ragam praktikum untuk konsep yang sama; diarahkan untuk melatih ide-ide kreatif mahasiswa dalam mendesain kegiatan praktikum pada konsep yang sama, namun dapat diselenggarakan dengan metode yang beragam, dengan memanfaatkan kit peralatan praktikum fisika dan peralatan lain di luar kit; (c) Desain praktikum dalam pembelajaran fisika; diarahkan untuk melatih ide-ide kreatif mahasiswa dalam mengembangkan desain praktikum verifikasi dan inkuiri terbimbing, melalui pemanfaatan bentuk desain praktikum yang telah ada, atau menyusun desain praktikum lain berdasarkan kebutuhan materi; (2) Karakteristik perangkat perkuliahan yang dikembangkan juga ditandai dengan pola pembelajaran latihan terbimbing, sintesis ide-ide, aplikasi ide-ide, dan pengujian ide-ide; yang diterapkan dalam urutan kegiatan pembelajaran, meliputi: (a) Penjelasan umum, melalui pola pembelajaran latihan terbimbing; (b) Contoh-contoh atau *modeling*, dengan pola; (c) Diskusi kelompok; (d) Tugas individu; dan (e) Tugas kelompok; (3) Cakupan materi perkuliahan fisika *intermediate* tidak dapat diterapkan untuk meningkatkan kreativitas mahasiswa dalam mendesain kegiatan praktikum melalui perangkat yang dikembangkan, karena karakteristik konsep yang dianalisis mahasiswa sulit untuk diwujudkan melalui perilaku berpikirnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahams, I & Millar, R. (2008). Does Practical Work Really Work? A study of The Effectiveness of Practical Work as a Teaching and Learning Method in School Science. *International Journal of Science Education*, 30(14): 1945–1969.
- Adir, J. (2007). *Berpikir Kreatif – Berpikir Sukses*. Penerjemah: Izi Ibrahim 2009. Yogyakarta: Rumpun Press.
- Ai-Girl, T. & Lai-Chong, L. (1991). *Creativity for Teachers: Teaching and Learning Series*. Singapore: Marshall Cavendish International.
- Anderson, W. L., Krathwohl, R. D., et al. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Abridged Edition. United States: Addison Wesley Longman, Inc.
- Awang, H & Ramly, I. (2008). Creative Thinking Skill Approach Through Problem-Based Learning: Pedagogy and Practice in the Engineering Classroom. *International Journal of Human and Social Sciences*, 3(1).
- Brewe, E., Kramer, L., and O'Brien, G. (2009). Modeling Instruction: Positive Attitudinal Shifts in Introductory Physics Measured with Class. *Physics Review Special Topics Physics Educational Resource*. 5(1): 013102.
- Cheng, M. Y. V. (2004). Developing Physics Learning Activities for Fostering Student Creativity in Hong Kong Context. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching Journals*. 5(8).
- Cheng, M. Y. V. (2010). Teaching Creative Thinking in Regular Science Lessons: Potentials and Obstacles of Three Different Approaches in an Asian Context. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 11(1): 1-17.
- Cockman, J. (2008). *Cookbook vs. Inquiry*. TAP-L Discussion Group. (Online) (Tersedia: <http://www.lists.nesu.edu/cgi-bin/digest?list1>, diakses, 18/01/2012).
- Creswell, W. J. & Clark, P. L. V. (2007). *Designing and Conducting Mixed Methods Research*. London: Sage Publications, Inc.
- Cropley A. J. & Cropley, D. H. (2008). Fostering and Measuring Creativity and Inn-ovation: Individuals, Organisations and Products. *Cambridge Journal of Education*, 38: 355-373.
- Dahar, R. W. (2011). *Teori-Teori Belajar dan Pembelajaran*. Jakarta: Erlangga.
- Danielsson, A. T. (2011). Characterising the Practice of Physics as Enacted in University Student Laboratories Using 'Discourse Models' as an Analytical Tool. *Nordina Journals* 7(2) Faculty of Education, University of Cambridge, UK.
- Ditjen Dikti, (2008). *Kurikulum Pendidikan MIPA S-1*. Jakarta: Dikti.
- Etkina, E., Murthy, S. and Zou, X. (2006). Using Introductory Labs to Engage Students in Experimental Design, *American Journal of Physics*, 74: 979.
- Evans, J. R. (2003). *Creative Thinking: In the Decision and Management Sciences*. University of Cincinnati Singapore: South-Western Publishing Co.
- Feynman, R. (1998) Goals of the Introductory Physics Laboratory. *Association of Physics Teachers. American Journals Physics*. 66(6).

- Gall, M. D., Gall, J. P., Borg, W. R. (2003). *Education Research: An Introduction*. Seventh edition. Boston: Pearson Education, Inc.
- Gardner, H. (1999). *The Discipline Mind: What All Students Should Understand*. New York: Simon & Schuster Inc.
- Giampietro, M. & Cavallera G. M. (2006). Morning and Evening Types and Creative Thinking. *Elsevier Journals*, 453-463.
- Gredler, M. E. (2011). *Learning and Instruction: Teori dan Aplikasi*. Alih Bahasa: Tri Wibowo. Jakarta: Kencana Prenanda Media Group.
- Guilford, J. P. (1977). *Way Beyond the IQ*. Buffalo, New York: Creative Learning Press.
- Guilford, J. P. (1988). Some Changes in the Structure of Intellect Model. *Educational and Psychological Measurement Journals*, 48: 1-4.
- Gunawan. (2010). Model Pembelajaran Berbasis MMI untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep Calon Guru pada Materi Elastisitas. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*. 2(1): 11-21.
- Hake, R. R. (1999). *Analyzing Change/Gain Score* [Online]. Tersedia: <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/AnalyzingChange-Gain.pdf>. [27 Desember 2013].
- Hays, W. L. (1976). *Quantification in Psychology*. New Delhi: Prentice Hall.
- Jiazeng, Li., Yanbao Li., Yi, Chen., Wenxian, Wei. (1995). *Evaluating of Creative Thinking of Students and Creativity Development*. Southeast University, China.
- Kim, K. H. (2006). Can We Trust Creativity Tests? A Review of the Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT). *Creativity Research Journal*, 18(1): 3-14.
- Koray, Ö & Köksal, S. M. (2009). The Effect of Creative and Critical Thinking Based Laboratory Applications on Creative and Logical Thinking Abilities of Prospective Teachers. *Journal of Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*. 10(1): 1-8.
- Learning and Teaching Scotland and the Idea Network (LTSIN)*. (2004). *Learning Thinking*. Scotland: Learning and Thinking School.
- Lawson, A. E. (1980). *Science Education Information Report, 1980 AETS Yearbook The Psychology of Teaching for Thinking and Creativity*. Ohio: Clearinghouse.
- McDermott, C. L. (1999). A Perspective on Teacher Preparation in Physics and Other Sciences. *American Journal of Physics*. 58(8).
- Munandar, S. C. U. (1999). *Kreativitas dan Keberbakatan: Strategi Mewujudkan Potensi Kreatif dan Bakat*. Jakarta: Bina Aksara.
- National Research Council (NRC). (2000). *Inquiry and The National Science Education Standard A Guide for Teaching and Learning*. Washington DC: National Academy Press.
- National Research Council. (NRC). (2012). *Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Nivalainen, V., Asikainen, M. A., and Hirvonen, P. E. (2013). Preservice Teachers Objectives and Their Experience of Practical Work. *Physical review special topics–physics education research*. *American Physical Society*, 10.1103/Phys-Rev-STPER.9.010102.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1985). *Learning how to learn*. New York: Cambridge University Press.
- Popper, K. (2005). *The Logic of Scientific Discovery*. This edition published. New York: The Taylor & Francis e-Library.
- Potur, A. A. & Barkul, Ö. (2009). Gender and Creative Thinking in Education: A Theoretical and Experimental Overview. *Journal of ITU A[Z]*. Vol: 6 No: 244-57-2009-2.
- Putra, S. R. (2013). *Desain Belajar Mengajar Kreatif Berbasis Sains*. Yogyakarta: DIVA Press.
- Purwanto, B. (2011). *Pentingnya Kreativitas Guru dan Calon Guru Fisika SMA da-lam Upaya Pengembangan dan Pengadaan Alat Demonstrasi/Eksperimen untuk Menjelaskan Konsep Dasar Fisika*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, 14 Mei 2011-FMIPA UNY. Yogyakarta.
- Pyatt, K & Sims, R. (2007). Learner Performance and Attitude in Traditional versus Simulated Laboratory Experiences. *Proceedings Ascilite Singapore 2007: Full paper. pp. 870-879*.
- Reif, F. (1995). Millikan Lecture 1994: Understanding an Teaching Important Scientific Thought Processes. *American Journal of Physics*. 63 (1).
- Santayasa, I W. (2003). *Pembelajaran Fisika Berbasis Keterampilan Berpikir Sebagai Alternatif Implementasi KBK*. Makalah. Disajikan dalam Seminar Nasional Teknologi Pembelajaran, 22-23 Agustus 2003. Yogyakarta.
- Saul, J and Redish, E. (1998) *An Evaluation of the Workshop Physics Dissemination Project*. Unpublished report, Dep. of Physics, University of Maryland.
- Supriadi, Dedi (1994), *Kreativitas, Kebudayaan & Perkembangan Iptek*. Bandung: Alfabeta.
- Sternberg, J. R. (2006). The Nature of Creativity. *Creativity Research Journal*, 18(1): 87–98.
- Sternberg, J. R., & Williams, M. V. (1996). *How to Develop Student Creativity. The Association for Supervision and Curriculum Development*. (Online). (Tersedia: <http://www.ozpk.tripod.com/c-opyright.html>, diakses 16 Januari 2012).
- Torrance, E. P. (1972) Scientific Views of Creativity and Factors Affecting Its Growth. *The MIT Press on behalf of American Academy of Arts & Sciences Daedalus Journals*, 94(3): 663-681.
- Trna, J., & Novak, P. (2010). *Motivational Effectiveness of Experiments in Physics Education*. Masaryk University, Faculty of Education,

- Brno, Czech Republic.
- Utari, S. (2010). *Pengembangan Program Perkuliahan untuk Membekali Calon Guru dalam Merencanakan Kegiatan Eksperimen Fisika di Sekolah Menengah*. Disertasi. Tidak diterbitkan. Bandung: PPs Universitas Pendidikan Indonesia.
- Wang, Y. A. (2011). Contexts of Creative Thinking: A Comparison on Creative Performance of Student Teachers in Taiwan and the United States. *Journal of International and cross-Cultural Studies*. 2(1).
- Wattimena, H. S., Suhandi, A., Setiawan, A. (2014). Profil Penyelenggaraan Praktikum Fisika Sekolah Sebagai Penyiapan Mengembangkan Kreativitas Calon Guru. *Jurnal Pendidikan Dasar PGSD FKIP Unpatti*. 2(6).
- Wenning, C. J. (2006). A Framework for Teaching The Nature of Science. *Journal of Physics Teacher Education Online*. 3(3): 3-10.
- Wenning, C. J. & Wenning, R. (2006). A Generic Model for Inquiry-Oriented Labs in Post-secondary Introductory Physics. *Journal of Physics Teacher Education*.
- Wenno, I. H., Wattimena, H. S., Watuguly, Th. W. (2009). *Penelitian dan Pengembangan Model Modul (LKS Eksperimen dan LKS non Eksperimen Berbasis Problem Solving Method) di SMP Se Provinsi Maluku*. Penelitian Hibah Bersaing Dikti 2007-2009.
- Widodo, A. (2006). Taksonomi Bloom dan Pengembangan Butir Soal. *Buletin Puspendik*. 3(2): 18-29.
- Wiyanto, (2005-b). Pengembangan Kemampuan Merancang Kegiatan Laboratorium Fisika Berbasis Inkuiri bagi Mahasiswa Calon Guru. *Jurnal Universitas Negeri Semarang – Jurusan Fisika FMIPA*. Semarang.
- Yamin, H. M. (2013). *Paradigma Baru Pembelajaran*. Jakarta: Referensi.
- Yan-Piaw, C. (2004). *Creative and Critical Thinking Styles*. Malaysia: UPM.
- Zhaoyao, M. (2002). Physics Education for the 21st Century: Avoiding a Crisis. *Physics Education*. 37(1): 7-8.

KORELASI PENGUASAAN MATERI MATEMATIKA DASAR DENGAN PENGUASAAN MATERI PENDAHULUAN FISIKA INTI

THE CORRELATION BETWEEN STUDENTS' MASTERY ON BASIC MATHEMATICS AND THEIR MASTERY ON INTRODUCTORY NUCLEAR PHYSICS

C. T. Kereh^{1*}, Liliarsari², P. C. Tjiang³, J. Sabandar⁴

¹Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP - Universitas Pattimura, Indonesia

²Program Studi Pendidikan IPA, SPS - Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

³Program Studi Fisika, FTIS, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia

⁴Program Studi Pendidikan Matematika, SPS - Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

Diterima: 12 Mei 2014. Disetujui: 16 Juni 2014. Dipublikasikan: Juli 2014

ABSTRAK

Perkuliahan Pendahuluan Fisika Inti (PFI) di Program Studi Pendidikan Fisika di suatu LPTK di Ambon terkendala oleh kurangnya penguasaan matematika dasar mahasiswa, juga tenaga dosen dan ruangan jumlahnya terbatas. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut di atas, maka dilakukan perkuliahan berbasis *web* dengan memperhatikan matematika dasar terkait. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tentang: (1) konten matematika dasar yang berkaitan langsung dengan materi PFI, dan (2) korelasi antara penguasaan materi Matematika Dasar (MD) mahasiswa dan penguasaan materi PFI mereka setelah melalui suatu perkuliahan. Studi ini dilakukan secara kuasi eksperimen terhadap dua kelompok mahasiswa, masing-masing berjumlah 28 orang. Kelompok yang pertama diajarkan dengan menggunakan perkuliahan konvensional dengan tatap muka di dalam kelas selama delapan kali pertemuan sedangkan kelompok kedua menggunakan *blended learning*. Pada kedua kelompok mahasiswa dilakukan tes awal dan tes akhir materi MD dan PFI. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ada korelasi yang tinggi antara penguasaan materi Matematika Dasar dengan materi Pendahuluan Fisika Inti.

ABSTRACT

Nuclear Physics Introduction (NPI) is a course in Physics Education Program in a teacher education program in Ambon. It had been constrained by the lack of students' mastery on basic mathematics. Moreover, the number of lecturers and rooms were limited. In order to overcome the problems, a web based NPI course had been carried out. The aims of this research were to know: (1) which mathematics contents related to NPI and (2) the correlation between students' mastery on basic mathematics and their mastery on NPI. This study was conducted in a quasi-experimental design. There were two groups consisted of 28 students in each group. The first group had been taught by direct instruction, and the second by blended learning. There were administered a pre-test and a post-test of basic mathematics and NPI for both groups. The results showed that there was a strong correlation between students' mastery on basic mathematics and their mastery on Nuclear Physics Introduction.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: korelasi matematika dasar dan fisika inti; pembelajaran berbasis web

*Alamat Korespondensi:
Jln. Putuhena Ambon, Indonesia
E-mail: cicyliatk@yahoo.com

PENDAHULUAN

Fisika merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan alam yang mempelajari fenomena alam, yang mencakup materi, gerak, serta energi yang menyertainya. Dengan kata lain, fisika adalah suatu ilmu tentang dunia di sekitar kita dan bagaimana segala sesuatu di dalamnya bekerja (Lang, 2009). Fisika berkembang melalui pengamatan eksperimen dan pengukuran kuantitatif dengan tujuan utamanya untuk menemukan hukum-hukum dasar tentang alam. Selanjutnya, hukum-hukum dasar tersebut digunakan dalam pengembangan teori untuk meramalkan hasil eksperimen-eksperimen berikutnya. Hukum-hukum dasar dalam teori fisika diekspresikan dalam bahasa matematika. Ini berarti matematika memegang peranan yang sangat penting dalam menjabarkan dan menjelaskan gejala fisika yang makroskopik maupun mikroskopik. Representasi matematis dalam pemerian konsep fisika dapat membantu pebelajar dalam memahami gejala fisika terkait (Halliday *et al*, 2007). Oleh karena itu, matematika merupakan materi yang esensial untuk dipelajari dalam pendidikan calon pendidik fisika.

Mata kuliah Pendahuluan Fisika Inti adalah salah satu mata kuliah lanjut pada Program Studi Pendidikan Fisika di Universitas. Substansi kajian mata kuliah ini melingkupi bagian mikroskopik bahan sehingga gejala fisiknya tidak teramati oleh indera manusia. Oleh karena itu, kemahiran matematika sangat dibutuhkan untuk memahami atau memaknai sejumlah model matematis yang digunakan dalam perkuliahan yang kontennya bersifat abstrak. Sifatnya yang abstrak ini menyebabkan materi ini sulit diserap oleh mahasiswa terutama yang memiliki kemampuan matematika yang rendah. Ini terlihat dari temuan-temuan dalam pengkajian terhadap lembar kerja ujian tengah semester pada perkuliahan di tahun-tahun sebelumnya. Banyak mahasiswa mengalami kesulitan dalam penyelesaian soal yang berkaitan dengan operasi hitung terutama operasi hitung campuran dan yang melibatkan bilangan berpangkat negatif. Mereka juga tidak mahir membaca representasi grafik dan menafsirkannya. Ketidakmahiran mereka tersebut terlihat juga dalam mengelaborasi data eksperimen yang berbentuk tabel. Selain itu, ada indikasi mahasiswa kurang menguasai penggunaan kalkulator dalam perhitungan. Ini terlihat dari hasil perhitungan yang mereka peroleh masih banyak yang salah meskipun me-

reka diperkenankan menggunakan kalkulator. Keadaan serupa teramati di setiap angkatan, meskipun data lembar kerja mahasiswa yang masih tersedia hanyalah pada tahun akademik 2007-2008 dan 2008-2009. Hal ini mengindikasikan kurangnya penguasaan matematik dasar para mahasiswa tersebut dan ada yang salah pada alur logika mereka.

Banyak penelitian yang mengkaji hubungan antara matematika dan fisika, akan tetapi sejauh yang diketahui penulis, belum pernah dilakukan penelitian yang secara khusus mengkaji hubungan antara matematika dasar yang relevan dengan materi perkuliahan Pendahuluan Fisika Inti. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tentang: (1) konten matematika dasar mana yang berkaitan langsung dengan materi pendahuluan fisika inti, dan (2) korelasi antara penguasaan materi matematika dasar mahasiswa dan penguasaan materi perkuliahan fisika inti mereka setelah melalui suatu perkuliahan berbasis *web* dan yang konvensional.

Banyak peserta didik di satu sisi menganggap bahwa mempelajari fisika itu sulit. Padahal, di sisi lainnya pembelajaran fisika sangat penting bagi peserta didik karena pada dasarnya fisika merupakan pengetahuan tentang fenomena alam di sekitarnya. Melalui pembelajaran fisika, seorang pebelajar akan memiliki beberapa kemampuan lain selain memperoleh pemahaman konseptual dan kuantitatif dalam prinsip-prinsip fisika. Menurut Bybee dan Fuch (2006), berbagai kemampuan lain tersebut adalah: (1) kemampuan proses sains yang dibutuhkan untuk mengkonstruksi model-model penjelasan melalui penalaran dari observasi dan data, (2) kemampuan mendesain eksperimen untuk menguji hipotesis, (3) kemampuan menyelesaikan masalah kompleks, dan (4) kemampuan bekerja sama dengan orang lain dalam tim. Meskipun kemampuan-kemampuan ini sangat berguna bagi pebelajar dalam menjalani hidup kesehariannya, akan tetapi hal ini kurang disadari oleh pebelajar pada umumnya, sehingga anggapan bahwa mempelajari fisika itu sulit tetap ada hingga kini. Redish (1994) menyimpulkan bahwa fisika itu sulit bagi mahasiswa karena dibutuhkan kemampuan menggunakan matematika misalnya aljabar maupun geometri. Terlebih lagi, mereka juga harus mampu untuk melakukan dari hal yang spesifik menuju yang umum ataupun sebaliknya. Sejalan dengan itu, dalam kajian yang dilakukan oleh Angell *et al.* (2004) ditemukan bahwa mahasiswa merasa

fisika sulit karena mereka harus berurusan dengan representasi ganda dan tugas-tugas seperti menghafal rumus, menerapkan rumus dalam perhitungan, melakukan eksperimen, membuat grafik, dan memberikan penjelasan konseptual pada saat yang bersamaan. Yang membuat fisika lebih terasa sulit bagi mahasiswa adalah karena mereka merasa tidak mudah membuat transformasi dari satu representasi ke representasi lainnya. Ornek *et al.* (2008) mengkategorikan bahwa kesulitan ini disebabkan oleh (1) kurangnya motivasi dan minat mahasiswa untuk mempelajari fisika; (2) mahasiswa tidak bekerja keras; dan (3) kurangnya pengetahuan yang mencakup pengalaman awal, fisika, maupun matematika tingkat tinggi. Penelitian yang dilakukan mereka terhadap dosen, asisten, dan mahasiswa menunjukkan bahwa ketiga kelompok tersebut sepakat dalam kedua hal pertama yaitu kurangnya motivasi dan minat, dan mahasiswa juga tidak bekerja keras. Akan tetapi, pada poin bahwa untuk mempelajari fisika dibutuhkan matematika tingkat tinggi, kelompok mahasiswa tidak sepakat. Ini berarti mahasiswa tidak menyadari pentingnya penguasaan matematika dalam mempelajari fisika.

Secara umum, ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil belajar peserta didik. Penelitian yang dilakukan oleh Diseth (2002); McGeorge *et al.* (1997); Inman dan Secrest, (1981) menunjukkan adanya keterkaitan antara hasil tes intelegensi dengan keberhasilan akademik. Berbagai penelitian seperti yang dilakukan oleh Li (2012); Mohamed dan Wahid (2012); dan Kazemi *et al.* (2013), menunjukkan bahwa sikap yang negatif mahasiswa terhadap suatu perkuliahan/subjek akan berkorelasi positif dengan hasil belajar mereka. Oleh karena itu, mahasiswa perlu pendampingan dalam merubah sikap mereka menjadi positif terhadap perkuliahan yang tak disukai. Selain kedua hal tersebut di atas, lingkungan sosial pembelajar juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi hasil belajar seseorang. Ini terlihat dari penelitian yang dilakukan oleh Sirin (2005) tentang kaitan status ekonomi dan pencapaian akademik siswa dan oleh Wentzel (1991) yang mengkaji tentang kaitan tanggung jawab sosial dan pencapaian akademik.

Opini lain tentang faktor-faktor yang dapat mempengaruhi mahasiswa belajar fisika berkaitan dengan perspektif sumber. Menurut Brekelmans *et al.* (1997), dalam proses pembelajaran fisika ataupun matematika dapat dilihat sebagai suatu proses yang kompleks dari

mobilisasi dan pertukaran sumber belajar yang kecepatannya dapat berubah sesuai dengan lingkungan belajar. Mereka mengidentifikasi ada tiga tipe sumber, yaitu: (1) karakteristik mahasiswa ketika mereka memasuki kelas; (2) persepsi individual mahasiswa tentang lingkungan belajar; dan (3) karakteristik kelas tentang lingkungan belajar. Contoh dari jenis sumber yang pertama antara lain mencakup kemampuan dan gender, yang kedua adalah kepuasan mahasiswa atas pendidikan matematika atau fisika, sedangkan contoh jenis yang ketiga adalah persepsi kelas atas kualitas guru ataupun tipe kurikulum yang digunakan.

Berkaitan dengan ketiga sumber yang mempengaruhi mahasiswa belajar di atas, dalam pembelajaran fisika, ada asumsi bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi proses dan hasil belajar fisika adalah penguasaan matematika oleh peserta didik. Asumsi ini muncul karena hakekat matematika sebagai “*tool*” ataupun “bahasa” dalam berbagai disiplin ilmu, termasuk dalam merepresentasikan gejala fisis dan pemecahan masalah di fisika. Ini disetujui oleh Quale (2011) yang mengatakan bahwa dalam fisika dan cabang ilmunya seperti astronomi, geofisika dan lain-lainnya sangat membutuhkan formulasi matematika dalam merepresentasikan hukum-hukum ilmiah yang digunakan dan penyelidikan konsekuensi hukum-hukum tersebut. Model matematika tersebut menyediakan alat pemecahan masalah, contohnya dapat digunakan untuk meramalkan waktu evolusi dari suatu sistem fisis, ataupun “melihat” kejadian masa lampau atau keadaan awal suatu kejadian fisis.

Asumsi di atas juga didukung oleh beberapa penelitian yang menunjukkan adanya korelasi yang positif antara nilai matematika dan fisika di tahap persiapan perguruan tinggi yang dilakukan oleh Thorndike (1946), antara nilai fisika yang diperoleh di bangku kuliah dengan nilai pre tes matematika – yang mencakup materi aljabar dan trigonometri (Hudson & Rottmann, 1981); (Hudson & McIntire, 1977). Ada pula penelitian serupa yang menemukan bahwa terdapat korelasi yang positif antara nilai-nilai kuliah fisika dengan nilai tes matematika pada ujian masuk perguruan tinggi (Blumenthal, 1961; Cohen *et al.*, 1978; Halloun & Hestenes, 1985). Semua korelasi dalam penelitian-penelitian tersebut tidak menunjukkan bukti langsung adanya hubungan kausal antara matematika dan fisika sehingga tidak bisa disimpulkan bahwa seorang mahasiswa perlu untuk mempraktekan dan meningkatkan ketrampilan-ketrampi-

lan matematikanya sebelum mengambil kuliah Fisika Dasar agar performansinya baik pada mata kuliah ini. Oleh karena itu, Meltzer (2002) melakukan penelitian untuk melihat hubungan kausal antara matematika dan fisika, secara khusus kaitan antara ketrampilan matematika mahasiswa dan pengetahuan awal konseptual fisika sebagai faktor-faktor yang bisa mempengaruhi variasi pembelajaran mahasiswa. Ada empat kelompok pada sampel penelitiannya. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang signifikan antara ketrampilan matematika mahasiswa dengan kenaikan nilai konseptual Fisika pada ketiga kelompok mahasiswa dari keempat sampel tersebut. Selain itu, mahasiswa dengan tingkat yang lebih tinggi dalam ketrampilan matematika sebelum pemberian materi Fisika memperoleh kenaikan yang lebih tinggi secara substansial pada konseptual fisika terlepas dari pengetahuan awal mereka tentang konsep tersebut, dibandingkan dengan mereka yang memiliki ketrampilan matematika yang rendah. Hasil penelitian ini berlaku bagi laki-laki maupun perempuan. Penelitian lainnya, yang mengkaji kaitan antara fisika dan matematika, dilakukan oleh Bassok dan Holyoak (1989). Mereka secara khusus mengkaji kaitan antara aljabar dan mekanika. Dalam penelitian tersebut, siswa diajarkan aritmetika dan mekanika yang menggunakan persamaan yang sama. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, disarankan oleh mereka bahwa pembelajaran matematika dan fisika harusnya diajarkan secara terintegrasi atau setidaknya mahasiswa harus disediakan kesempatan yang cukup untuk mentransfer struktur pengetahuan internal yang mereka pelajari dalam matematika. Berbagai kajian yang telah dilakukan sebelumnya sebagaimana telah dijelaskan di atas, menegaskan pemikiran untuk mengetahui konten matematika dasar terkait dengan materi perkuliahan Pendahuluan Fisika Inti dan korelasi penguasaan materi keduanya oleh mahasiswa.

METODE

Penelitian ini bersifat kuasi eksperimen, pre-pos desain. Mendahului penelitian ini, dilakukan terlebih dahulu kajian literatur untuk menentukan konten matematika dasar yang terkait dengan materi Pendahuluan Fisika Inti. Hasil kajian tersebut selanjutnya menjadi dasar penyusunan instrumen tes matematika dasar. Subjek penelitian adalah para calon guru fisika di perguruan tinggi di Indonesia bagian timur. Mahasiswa dibagi dalam dua kelompok

belajar dan diajarkan dengan cara yang berbeda. Ada 35 mahasiswa yang mengikuti perkuliahan konvensional, yaitu bertatap muka dengan pengajar di dalam kelas, dan 42 mahasiswa yang masuk dalam kelompok *blended* (*online* + tutorial sebanyak dua kali). Analisis yang dilakukan hanya pada 28 mahasiswa untuk masing-masing kelompok belajar. Sebelum kegiatan perkuliahan berlangsung, dilakukan pertemuan secara umum untuk membahas mekanisme perkuliahan untuk kedua kelompok dan penentuan masing-masing mahasiswa dalam kelompok. Penentuan kelompok ini awalnya dilakukan dengan mengacu pada hasil tes awal matematika dasar. Jika ada dua mahasiswa yang sama nilainya, dilakukan penawaran pada mereka siapa yang mau ikut kelompok tertentu (jadi bersifat sukarela).

Kelompok yang pertama diajarkan dengan cara pembelajaran langsung (*direct instruction*), dan diwajibkan hadir 8 kali tatap muka. Dalam delapan kali tatap muka tersebut, dibahas topik-topik: (1) Struktur Inti, (2) Radioaktivitas, (3) Reaksi Inti, dan (4) Peluruhan Alfa, Beta, dan Gamma. Masing-masing topik terdiri dari beberapa sub topik terkait. Selain presentasi materi dan diskusi, dalam perkuliahan juga dilakukan kajian bersama atas tugas-tugas yang telah dikerjakan oleh mahasiswa. Kelompok yang kedua diajarkan berbasis *web* dan membahas topik yang sama dengan kelompok pertama, yang materinya tersaji pada *web* yang telah disiapkan dengan tutorial dalam kelas sebanyak dua kali. Tutorial pertama dilakukan pada pertengahan perkuliahan berjalan, sedangkan tutorial kedua pada akhir perkuliahan. Pada bagian tutorial dilakukan kegiatan yang serupa dengan yang dilakukan pada kelompok pertama, yakni membahas kesulitan yang dihadapi mahasiswa terkait dengan konten perkuliahan, dan mengkaji soal-soal latihan yang telah dibuat mahasiswa. Selain tutorial dengan tatap muka langsung, setiap mahasiswa diperkenankan melakukan tanya jawab dengan pengajar melalui *web* (*facebook*) dan telepon (baik lisan maupun pesan singkat).

Sebelum dan sesudah perlakuan dilakukan tes kemampuan materi Matematika Dasar dan Pendahuluan Fisika Inti terhadap kedua kelompok mahasiswa tersebut. Instrumen penguasaan untuk materi Matematika Dasar dan materi Pendahuluan Fisika Inti dikembangkan oleh peneliti dan telah divalidasi oleh pakar terkait. Ada 30 soal berbentuk uraian dalam konten Matematika Dasar yang mencakup topik operasi bilangan bulat, operasi bilangan

pecahan, operasi bilangan berpangkat, fungsi eksponensial, logaritma, tabel, dan grafik. Instrumen tes fisika inti yang digunakan berbentuk pilihan ganda beralasan sejumlah 50 soal yang mencakup topik-topik sebagaimana yang dibahas dalam perkuliahan, yaitu: Struktur Inti, Radioaktivitas, Reaksi Inti, dan Peluruhan Alfa, Beta, dan Gamma. Data yang terkumpul selanjutnya dianalisis secara deskriptif dan korelasinya dihitung dengan menggunakan rumus korelasi Pearson dengan harga r_{xy} pada $\alpha = 0,005$ (Ebel & Frisbie, 1991). Perhitungan nilai korelasi ini dimaksudkan untuk menguji hubungan antara materi Matematika Dasar yang dipilih dengan materi perkuliahan Pendahuluan Fisika Inti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

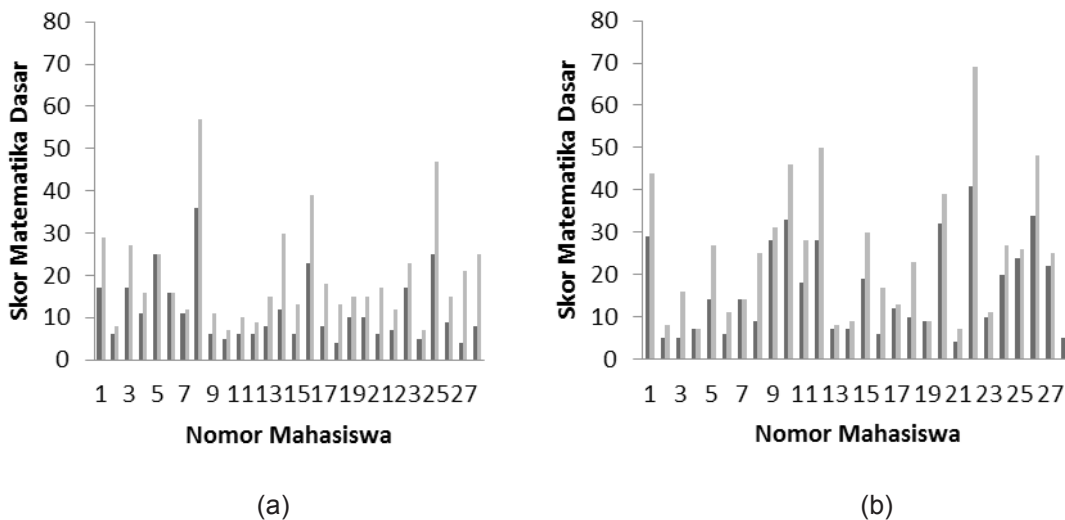
Dari hasil kajian literatur ditemukan bahwa dalam materi perkuliahan Pendahuluan Fisika Inti yang mencakup topik-topik Struktur Inti, Radioaktivitas, Reaksi Inti, dan Peluruhan, terdapat materi Matematika Dasar tertentu, yaitu operasi bilangan bulat, operasi bilangan pecahan, operasi bilangan berpangkat, fungsi eksponensial, logaritma, tabel, dan grafik. Tidak dimasukkannya materi kalkulus dalam hal ini disebabkan perkuliahan Pendahuluan Fisika Inti yang dilakukan hanya menggunakan aljabar dasar. Berbagai materi tersebut sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya diakomodasikan dalam instrumen tes yang disusun.

Variasi hasil tes awal dan tes akhir penguasaan Matematika Dasar mahasiswa ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 1. Skor maksimum tes tersebut adalah 88. Dari gra-

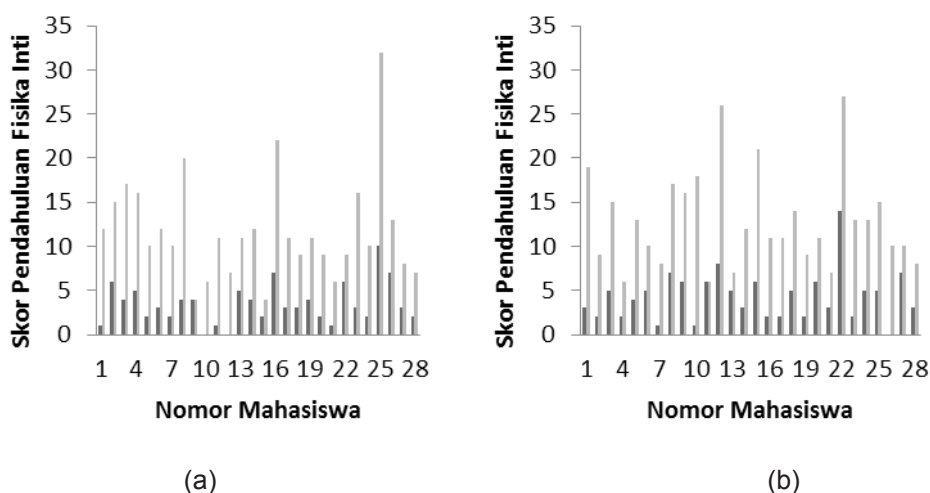
fik tersebut terlihat bahwa terjadi peningkatan penguasaan seluruh mahasiswa dalam materi matematika dasar sesudah perkuliahan dilakukan. Beberapa mahasiswa mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Fenomena ini terjadi di kedua kelompok belajar, yang konvensional maupun yang *blended*. Pada Gambar 1 tersebut juga terlihat bahwa penguasaan awal matematika dasar semua mahasiswa di kedua kelompok kurang dari 50%.

Dari pengamatan selama perkuliahan berlangsung pada kedua kelompok, beberapa mahasiswa terlihat sangat aktif baik di kelas maupun di luar kelas. Keaktifan mahasiswa-mahasiswa tersebut nyata terlihat dari kerajinan mereka dalam membuat tugas-tugas, bertanya-jawab dengan instruktur mengenai hal yang belum dipahami ataupun memberi tanggapan. Hasil tes akhir para mahasiswa tersebut menunjukkan peningkatan yang lebih dari yang lainnya. Sebaliknya, mahasiswa yang cenderung bersikap pasif, terlebih yang hanya menyalin tugas-tugas dari temannya menunjukkan peningkatan hasil yang kecil.

Penguasaan materi Pendahuluan Fisika Inti kedua kelompok sebelum dan sesudah perlakuan direpresentasikan oleh grafik pada Gambar 2. Skor maksimum tes tersebut adalah 50. Dari grafik tersebut juga terlihat adanya peningkatan penguasaan mahasiswa yang cukup signifikan setelah mengikuti kedua program program perkuliahan. Gejala yang serupa pada penguasaan Matematika Dasar terlihat di sini, yakni penguasaan awal mahasiswa atas materi Pendahuluan Fisika Inti masih sangat rendah dan para mahasiswa yang aktif menunjukkan peningkatan yang relatif lebih dari yang



Gambar 1. Grafik Hasil Tes Awal dan Tes Akhir Tes Matematika Dasar Kelompok Konvensional (a) dan Kelompok *Blended* (b)



Gambar 2. Grafik Hasil Tes Awal dan Tes Akhir Pendahuluan Fisika Inti Kelompok Konvensional (a) dan Kelompok *Blended* (b)

Tabel 1. Rekapitulasi Rerata Pencapaian Kedua Kelompok untuk Materi Matematika Dasar dan Pendahuluan Fisika Inti

Kelas	Rata-Rata Pre Tes Fisika Inti	Rata-Rata Pos Tes Fisika Inti	Rata-Rata Pre Tes Matematika Dasar	Rata-Rata Pos Tes Matematika Dasar	Rata-Rata n-gain Fisika Inti	Rata-Rata n-gain Matematika Dasar
Konvensional	3,4	11,8	11,6	16,4	0,18	0,11
<i>Blended</i>	4,3	12,9	19,7	24,3	0,19	0,12

lainnya.

Tabel 1 di atas menunjukkan tentang rata-rata pencapaian kedua kelompok mahasiswa pada materi Matematika Dasar dan Pendahuluan Fisika Inti baik pada tes awal dan tes akhir. Dari tabel tersebut terlihat bahwa rata-rata kedua kelompok mahasiswa sebelum perlakuan diberikan tidak berbeda secara signifikan. Begitu pula rata-rata *n-gain* untuk kedua materi yang hampir sama. Ini menunjukkan bahwa perkuliahan secara *blended (online + tutorial)* dapat dilakukan sebagai alternatif perkuliahan tatap muka yang biasanya dilakukan.

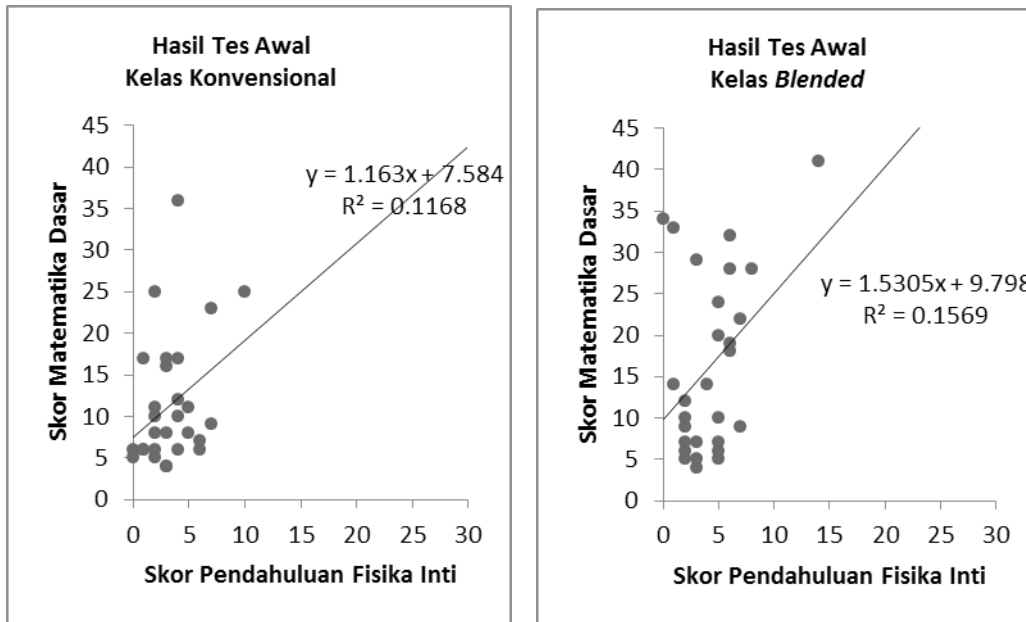
Hasil analisis korelasi yang dilakukan atas data yang ada menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang positif antara penguasaan materi matematika dasar (MD) dan penguasaan materi Pendahuluan Fisika Inti (PFI) baik pada kelompok yang mengikuti perkuliahan secara konvensional, maupun yang mengikuti perkuliahan berbasis *web*. Indeks korelasi penguasaan kedua materi tersebut dari kedua kelompok ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Korelasi antara Penguasaan Materi

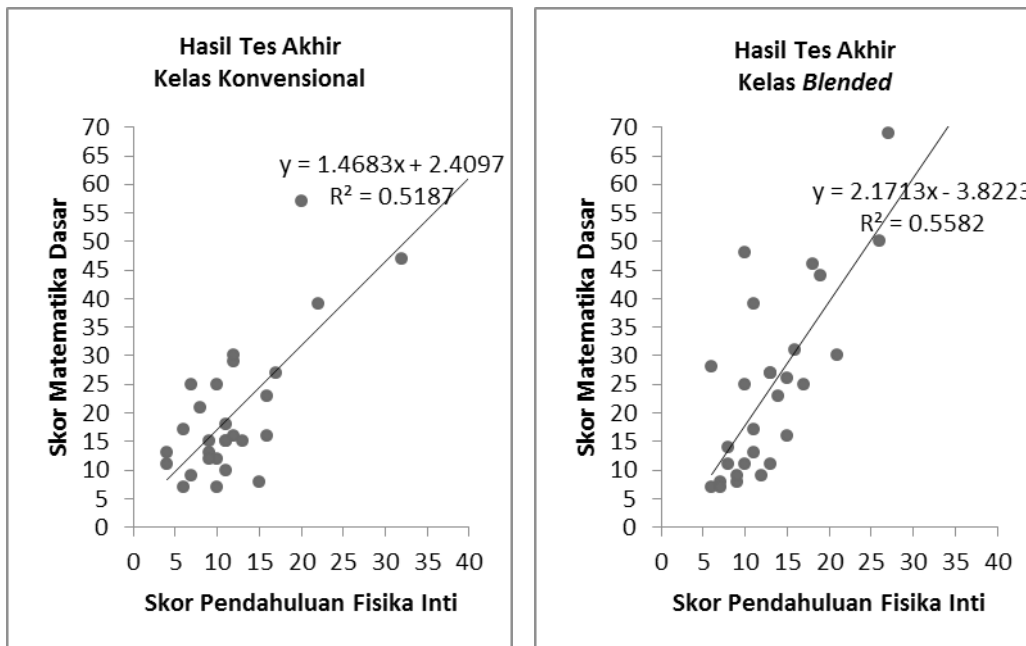
Matematika Dasar dan Penguasaan Materi Pendahuluan Fisika Inti Kedua Kelompok Belajar

r	Kelompok Reguler	Kelompok <i>Blended</i>
Pre MD dan Pre PFI	0,34	0,40
Pos MD dan Pos PFI	0,73	0,75

Gambar 3 menunjukkan *plotting* skor tes awal Matematika Dasar terhadap skor Pendahuluan Fisika Inti kedua kelompok. Dari grafik pada Gambar 3 tersebut terlihat bahwa kemampuan awal kedua kelompok mahasiswa relatif serupa, yakni mengelompok di bagian sudut kiri bawah yang mengindikasikan kebanyakan mahasiswa memiliki kemampuan matematika dasar (MD) dan Pendahuluan Fisika Inti (PFI) yang sangat rendah. Beberapa mahasiswa menunjukkan gejala tidak seperti yang diharapkan, yaitu memiliki kemampuan Matematika Dasar yang relatif di atas rata-rata kelas pada kondisi awal akan tetapi tidak mampu



Gambar 3. Plot Skor Matematika Dasar Terhadap Skor Pendahuluan Fisika Inti pada Tes Awal Kelas Konvensional dan Kelas *Blended*



Gambar 4. Plot Skor Matematika Dasar Terhadap Skor Pendahuluan Fisika Inti pada Tes Akhir Kelas Reguler dan Kelas *Blended*

menjawab soal-soal Fisika Inti yang diberikan.

Dari hasil pembicaraan informal dengan yang bersangkutan, hal ini dikarenakan mahasiswa yang bersangkutan memang belum pernah mendapatkan materi Fisika Inti ketika di sekolah menengah atas (SMA). "Anomali" dari beberapa mahasiswa tersebut yang menyebabkan nilai korelasi matematika dasar dan Pendahuluan Fisika Inti pada tes awal maha-

siswa menjadi rendah, yakni hanya 0,34 pada kelas reguler dan 0,40 pada kelas *blended* seperti yang terlihat di Tabel 2.

Berbeda dengan hasil tes awal, data hasil tes akhir kedua kelompok lebih menyebar di sekitar garis *trend* seperti terlihat pada Gambar 4. Hasil ini menunjukkan bahwa melalui perkuliahan Pendahuluan Fisika Inti yang dilakukan baik secara tatap muka di kelas maupun

secara *online*, kemampuan Matematika Dasar mahasiswa dapat meningkat. Dari grafik tersebut juga terlihat bahwa pada kedua kelompok, kontribusi penguasaan materi Pendahuluan Fisika Inti dalam meningkatkan penguasaan materi Matematika Dasar sekitar 50 %.

Korelasi antara *n-gain* penguasaan Pendahuluan Fisika Inti dan Matematika Dasar masing-masing untuk kelompok konvensional dan kelompok *blended* berturut-turut adalah 0,58 dan 0,67. Ketiga situasi hasil korelasi tersebut di atas, yaitu pada hasil-hasil tes awal, tes akhir, dan *n-gain* menunjukkan bahwa materi Matematika Dasar yang dipilih adalah benar bersesuaian dengan materi perkuliahan Pendahuluan Fisika Dasar yang dilakukan. Ini dapat disimpulkan bahwa untuk menguasai materi Pendahuluan Fisika Inti perlu dikuasai terlebih dahulu materi Matematika Dasar yang terkait.

Pembahasan

Indeks korelasi pada Tabel 2 yang besarnya 0,73 pada kelompok konvensional dan 0,75 pada kelompok *blended* menunjukkan bahwa melalui perkuliahan Pendahuluan Fisika Inti yang dilakukan baik secara tatap muka di kelas maupun secara *online*, kemampuan Matematika Dasar mahasiswa dapat meningkat. Indeks korelasi yang diperoleh dalam penelitian ini relatif lebih tinggi dari yang didapatkan oleh Adams dan Garrett (1954), dan Hudson dan Rottmann (1981). Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa materi Matematika Dasar yang diuji sangat relevan dengan materi perkuliahan Pendahuluan Fisika Inti yang dilakukan. Hasil penelitian ini mendukung penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Bassok dan Holyoak (1989). Pendapat mereka bahwa pembelajaran fisika dan matematika harus diajarkan secara terintegrasi atau setidaknya mahasiswa harus disediakan kesempatan yang cukup untuk mentransfer struktur pengetahuan internal yang mereka pelajari dalam matematika, harus diperhatikan oleh pengajar dalam penyiapan materi ajar dan implementasi pembelajaran.

Penelitian ini menunjukkan bahwa ada banyak konsep dasar matematika yang belum dikuasai oleh para mahasiswa, padahal kesemuanya itu harusnya sudah

dikuasai oleh mereka pada jenjang pendidikan sebelumnya. Fenomena ini bukan hanya terlihat pada konsep yang relatif sulit, melainkan juga mencakup konsep yang sangat sederhana seperti operasi bilangan bulat. Penyebab hal ini adalah kebiasaan salah yang dilakukan oleh mahasiswa dalam prosedur perhitungan, yang terbentuk ketika mereka berada di pendidikan dasar. Salah satu contohnya adalah kebiasaan menyelesaikan soal matematika dalam satu baris, seperti pada Gambar 5. Kebiasaan ini mengakar dalam diri beberapa mahasiswa sehingga meskipun telah didiskusikan pada saat evaluasi tugas-tugas yang mereka buat, ada beberapa mahasiswa yang tetap membuat kesalahan yang sama pada tes akhir.

The image shows a handwritten mathematical calculation on a piece of lined paper. The calculation is written in a single line across the page. It starts with a circled number '1' followed by the equation $19 + 25 = n + 5$. To the right of this, it says 'maka n:'. Then, the next part of the calculation is $19 + 25 = 44 = 44 + (-5) = 39$. The final result '39' is written at the end of the line.

Gambar 5. Kebiasaan yang Salah dalam Penyelesaian Soal Matematika

Selain keadaan di atas, beberapa mahasiswa yang lain juga salah membaca dan atau menginterpretasi tanda operasi pada soal, seperti ditunjukkan oleh Gambar 6. Berbagai kesalahan yang dibuat oleh mahasiswa di atas mengindikasikan mereka mengalami kesulitan belajar. Bynner dan Parsons (1997) menemukan bahwa kesulitan tersebut juga terjadi pada orang dewasa dan bukan hanya pada anak-anak. Kesulitan belajar seperti ini telah diidentifikasi oleh Garnett (1998) sebagai akibat dari salah satu atau merupakan kombinasi satu sama lain dari lima kekurangan, yaitu: (1) lemah dalam perhitungan yang dapat terjadi karena seseorang salah membaca tanda-tanda atau angka, atau karena tidak menulis angka cukup jelas pada tempat yang benar; (2) kesulitan mentransfer pengetahuan, yang timbul dari ketidakmampuan seseorang menghubungkan aspek abstrak atau konseptual matematika dengan realitas; (3) membuat koneksi, dalam hal ini seseorang tidak mudah membuat

hubungan yang bermakna dalam pengalaman matematika karena tidak memahami hubungan antara angka dan sesuatu yang diwakili angka tersebut sehingga membuat yang bersangkutan sulit untuk mengingat dan menerapkan hal tersebut dalam situasi baru; (4) memahami bahasa matematika secara lengkap; dan. (5) kesulitan memahami aspek visual - tata ruang dan kesulitan perseptual. Membenahi kesulitan belajar matematika seperti ini sangat sulit dilakukan dalam diri beberapa mahasiswa tersebut karena sudah terinternalisasi. Umpan balik yang telah diberikan oleh dosen tidak ditindaklanjuti oleh mahasiswa yang bersangkutan dengan berlatih secara mandiri menggunakan soal berbeda. Ini terlihat dari jawaban mahasiswa atas soal berikut: $12 - (-7) = \dots$. Ada tiga pola jawaban salah yang diberikan mahasiswa, yaitu: 5; 18; dan negatif 19.

$$1. 19 + 25 = n + (-5), \text{ maka } n =$$

$$19 + 25 = -6 + (-5) = -11$$

$$n = 11$$

$$) 19 + 25 = n + (-5)$$

$$44 = -5n$$

$$5n = 44$$

$$n = \frac{44}{5}$$

$$n = 8,8$$

Gambar 6. Dua Contoh Kesalahan dalam Membaca Tanda Operasi Hitung

Penelitian ini menunjukkan dengan jelas tentang kondisi para calon guru fisika yang harus dibenahi. Hasil kelompok *blended* yang tak berbeda secara signifikan dengan hasil kelompok reguler membuat dapat disimpulkan bahwa perkuliahan berbasis *web* dapat dilakukan sebagai alternatif perkuliahan tatap muka biasa. Akan tetapi, perlu juga dilakukan tutorial sebagai bentuk *reinforcement* bagi mahasiswa. Selain itu, dalam tutorial pengajar dapat

memberikan umpan balik atas tugas-tugas yang telah dikerjakan mahasiswa. Jumlah pertemuan untuk tutorial ini dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik mahasiswa yang diasuh.

Dalam penelitian ini juga terungkap bahwa mahasiswa harus proaktif dalam perkuliahan, antara lain dengan cara membaca konten terkait di situs lainnya dan bukan hanya pada materi perkuliahan yang disiapkan pengajar, dan berdiskusi dengan pengajar mengenai kesulitan yang dihadapi ketika mempelajari materi yang ada. Selain itu, mereka harus berlatih menyelesaikan soal-soal lain yang terkait agar terbiasa menerapkan konsep yang sama pada situasi serupa ataupun situasi yang berbeda. Jika dilakukan sebagaimana mestinya, melalui perkuliahan berbasis *web* yang diikutinya, mahasiswa dapat menjadi pebelajar mandiri dan akan memiliki kemampuan-kemampuan tambahan seperti yang dikatakan oleh Bybee dan Fuch, (2006).

PENUTUP

Penelitian ini menunjukkan bahwa perkuliahan Pendahuluan Fisika Inti berbasis *web* yang dirancang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perkuliahan tatap muka yang biasa. Sebelum mengikuti perkuliahan ini, konten matematika dasar mencakup operasi bilangan bulat, operasi bilangan pecahan, operasi bilangan berpangkat, logaritma, fungsi eksponensial, tabel, dan grafik, sangat esensial untuk dikuasai mahasiswa calon guru fisika terlebih dahulu. Ketidakmampuan dalam menguasai materi-materi matematika dasar tersebut akan mengakibatkan kesulitan yang sangat dirasakan ketika perkuliahan berlangsung. Akan tetapi, jika mahasiswa mau bersikap proaktif dan mengikuti perkuliahan sebagaimana mestinya, penguasaan matematika dasar mereka tersebut akan meningkat seiring dengan meningkatnya penguasaan mereka dalam materi dasar Fisika Inti.

DAFTAR PUSTAKA

- Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E. K., & Isnes, A. (2004). Physics: Frightful, but Fun, Pupils and Teachers Views of Physics and Physics Teaching [Electronic version]. *Science Education*, 88, 683-706.
- Blumenthal, R. H. (1961). Multiple Instruction and Other Factors Related to Achievement in College Physics. *Science Education*, 45, 336-342
- Brekelmans, M., Van den Eeden, P., Terwel, J., & Wubbels, Th. (1997). Student Characteristics and Learning Environment Interactions in Mathematics and Physics Education: A Resource Perspective. *International Journal of Educational Research*, 27(4), 283-292.
- Bybee, R.W., & Fuch, B. (2006). Preparing the 21st Century Workforce: A New Reform In Science and Technology Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 349.
- Bynner, J., & Parsons, S. (1997). *It Doesn't Get Any Better: The Impact of Poor Numeracy Skills on the Lives of 37-Year-Olds*. London: Basic Skills Agency.
- Cohen H. D., Hillman, D. F., & Agne, R. M. (1978). Cognitive Level and College Physics Achievement. *American Journal of Physics*, 46, 1026-1029.
- Diseth, A. (2002). The Relationship between Intelligence, Approaches to Learning and Academic Achievement. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 46(2).
- Ebel, R. L., & Frisbie, D. A. (1991). *Essentials of Educational Measurement*, 5th Ed. New Delhi: Prentice Hall.
- Garnett, K. (1998). *Math Learning Disabilities*. Division for Learning Disabilities Journal of CEC, November 1998. LD Online. http://www.ldonline.org/ld_indepth/math_skills/garnett.html [1 Juni 2013]
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2007). *Fundamentals of Physics 8th Ed*. Canada: John Wiley & Sons Canada.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). The Initial Knowledge State of College Physics Students. *American Journal of Physics*, 53, 1043-1055.
- Hudson H. T., & McIntire W. R. (1977). Correlation Between mathematical skills and success in physics. *American Journal of Physics*, 45, 470-471.
- Hudson, H. T., & Rottmann, R. M. (1981). Correlation between Performance in Physics and Prior Mathematics Knowledge. *Journal Of Research In Science Teaching*, 18(4), 291-294
- Inman, W. C., & Secrest, B. T. (1981). Piaget's Data and Spearman's Theory An Empirical Reconciliation and Its Implications for Academic Achievement. *Intelligence*, 5, 329-344
- Kazemi, F, Shahmohammadi, A., & Sharei, M. (2013). The Survey on Relationship between the Attitude and Academic Achievement of In-Service Mathematics Teachers in Introductory Probability and Statistics. *World Applied Sciences Journal* 22(7), 886-891.
- Lang, H. (2009). *Head First Physics*. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc.
- Li, L. K.Y. (2012). A Study of the Attitude, Self-efficacy, Effort and Academic Achievement of City U Students towards Research Methods and Statistics. *Discovery – SS Student E-Journal*, 1, 154-183
- McGeorge, P., Crawford, J. R., & Kelly, S. W. (1997). The Relationships Between Psychometric Intelligence and Learning An Explicit and An Implicit Task. *Learning, Memory, and Cognition*, 23(1), 239-245
- Meltzer, D. E. (2002). The Relationship between Mathematics Preparation and Conceptual Learning Gains in Physics: A Possible "Hidden Variable" In Diagnostic Pretest Scores. *American Journal of Physics*, 70 ~12. Retrieved from <http://ojs.aip.org/ajp/>
- Mohamed, L., & Waheed. (2011). Secondary Students' Attitude towards Mathematics in a Selected School of Maldives. *International Journal of Humanities and Social Science*, 1(15).
- Ornek, F., Robinson, W. R., and Haugan, M. P. (2008). What makes physics difficult? *International Journal of Environmental & Science Education*, 3(1), 30-34.
- Quale, A. (2011). On the Role of Mathematics in Physics: A Constructivist Epistemic Perspective. *Science and Education*, 20, 609-624
- Redish, E. F. (1994). The Implications of Cognitive Studies for Teaching Physics. *American Journal of Physics*, 62, 796-803.
- Sirin, S. (2005). Socioeconomic Status and Academic Achievement: A Meta-Analytic Review of Research. *Review of Educational Research*, 75(3), 417-453
- Thorndike, A. (1946). Correlation Between Physics And Mathematics Grades. *School Science and Mathematics*, 46(7), 593-690
- Wentzel, K. R. (1991). Social Competence at School: Relation between Social Responsibility and Academic Achievement. *Review of Educational Research* 61, 1

CAPAIAN LEVEL BERPIKIR REFLEKTIF MAHASISWA PROGRAM REMIDIAL PERKULIAHAN FISIKA MATEMATIKA 1 BERBASIS *COGNITIVE APPRENTICESHIP INSTRUCTION*

STUDENTS'S ACHIEVEMENT IN REFLECTIVE THINKING LEVEL OF COGNITIVE APPRENTICESHIP-BASED INSTRUCTION OF MATHEMATICAL PHYSICS 1 REMEDIAL PROGRAM

Ellianawati^{1*}, D Rusdiana², J Sabandar³, A Rusli⁴

¹Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

²Jurusan Fisika Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

³Program Studi Pendidikan Matematika, Sekolah Pascasarjana
Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

⁴Program Studi Pendidikan IPA, Sekolah Pascasarjana
Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

Diterima: 1 Juni 2014. Disetujui: 15 Juni 2014. Dipublikasikan: Juli 2014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui capaian level berpikir reflektif mahasiswa yang menempuh program remedial perkuliahan Fisika Matematika 1 (Fisimat 1) berbasis *Cognitive Apprenticeship Instruction (CAI)*. Penelitian ini merupakan penelitian pendahuluan dari serangkaian penelitian *mixed method* dengan desain *embedded experimental* yang melibatkan 6 orang mahasiswa dan diamati dalam empat tatap muka. Perkuliahan berbasis CAI ini menggunakan sintaks perkuliahan yang terdiri atas tahapan *modeling, coaching, articulation, reflection, dan exploration*. Pada akhir penelitian mahasiswa diberi tes keterampilan berpikir reflektif, diminta mengisi angket, dan diwawancarai. Data dianalisis secara kualitatif dan ditriangulasi dari hasil analisis observasi, angket, dan wawancara. Hasil penelitian ini menginformasikan bahwa perkuliahan Fisimat 1 berbasis CAI membantu mahasiswa yang mengikuti remedial sehingga mampu berpikir reflektif pada level kedua dari empat level berpikir reflektif, yaitu *understanding*. Beberapa kriteria berpikir reflektif masih belum dicapai mahasiswa secara optimal. Oleh karena itu perlu strategi yang lebih efektif dalam setiap tahapan CAI untuk meningkatkan level berpikir reflektif mahasiswa.

ABSTRACT

This research is a mixed method research design which aimed to determine the students' reflective thinking level after they experienced cognitive apprenticeship instruction (CAI) based learning program in the Mathematical Physics 1. Syntaxes of CAI program are modeling, coaching, articulation, reflection, and exploration. The data was collected from six remedial students' performances of reflective thinking skill test and was analyzed using qualitative approach by triangulating it with observation and questionnaire, as well as interview results. The data analysis showed that the remedial students' level was on the second phase of reflective thinking skill, namely understanding level. Several criterias of reflective thinking skill were still poor achieved by the students. Therefore, the more effective strategies applied in every syntax of CAI are required in order to improve the students' level of reflective thinking.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: reflective thinking level; mathematical physics; Cognitive Apprenticeship Instruction (CAI)

***Alamat Korespondensi:**

Gdg. D7 Lt. 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang
E-mail: ellianawati@yahoo.com

PENDAHULUAN

Keterampilan berpikir reflektif merupakan keterampilan berpikir tingkat tinggi yang penting untuk dilatihkan kepada mahasiswa dalam rangka mengembangkan keterampilan mereka dalam menyelesaikan masalah, terutama pada perkuliahan Fisika Matematika. Dewey (1993) menjelaskan bahwa keterampilan menganalisis masalah, merumuskan ragam solusi, memilih solusi terbaik, menyelesaikan masalah dengan prosedur solusi yang dipilih, serta menguji hasil penyelesaian masalah untuk menyusun suatu kesimpulan merupakan lima tahapan strategi dari proses melatih keterampilan berpikir reflektif. Hasil penelitian di lapangan menunjukkan bahwa hal yang urgen tapi jarang dilakukan oleh mahasiswa dalam penyelesaian masalah Fismat 1 adalah memikirkan atau mengevaluasi kembali solusi yang telah diperolehnya (Ellianawati *et. al.*, 2013a). Hasil penelitian ini sesuai dengan temuan Sabandar (2013) pada penyelesaian persoalan matematika, bahwa pada umumnya peserta didik cenderung menyelesaikan proses belajarnya ketika sudah memperoleh solusi yang dianggapnya benar. Mahasiswa cenderung terjebak dalam sikap epistemologinya dan kurang terbiasa berpikir secara divergen yaitu menemukan jawaban dengan cara yang berbeda (Ellianawati *et. al.*, 2013b). Tiga temuan penting ini rupanya merupakan hal yang menjadi kendala berkembangnya kemampuan berpikir reflektif mahasiswa. Dapat disimpulkan bahwa tahapan berpikir reflektif mahasiswa dalam penyelesaian masalah Fismat 1 selama ini masih belum tuntas, karena beberapa kriteria penting keterampilan berpikir reflektif masih belum dapat dilakukan secara optimal oleh mahasiswa.

Magang kognitif (*cognitive apprenticeship*) adalah salah satu program pendidikan profesional yang melatih proses penyelesaian masalah secara bertahap baik tingkat kompleksitas, kualitas, maupun kuantitas permasalahannya (Dennen and Jonassen, 2004). Program pendidikan ini biasanya diterapkan dalam pendidikan vokasi. *Cognitive apprenticeship* memiliki beragam sintaks menurut beberapa versi pegagasnya, namun yang dipandang paling sesuai dengan perkuliahan Fisika Matematika adalah sintaks yang digagas oleh Dennen yang meliputi tahapan *modeling*, *coaching*, *reflection*, *articulation*, dan *exploration*. Tahapan-tahapan ini selanjutnya dikombinasikan dengan tahapan keterampilan berpikir reflektif Dewey dan disesuaikan dengan tuju-

an pembelajaran Fismat 1 menjadi program pembelajaran magang kognitif atau *Cognitive Apprenticeship Instruction (CAI)*. Program ini selanjutnya diujicobakan pada kelas remedial melalui program remedial perkuliahan Fismat 1 berbasis CAI. Capaian mahasiswa dalam menyelesaikan masalah menggunakan tahapan keterampilan berpikir reflektif ini selanjutnya dikategorikan ke dalam empat level berpikir reflektif, yaitu *habitual action*, *understanding*, *reflection*, dan *critical reflection* yang masing-masing kriterianya dikembangkan oleh Kember *et. al.* (2000). Jika ditilik pada uraian kriteria Kember, maka tidak lain berpedoman pada empat kriteria berpikir reflektif versi Rodgers (2002) yaitu (1) sebuah proses yang bermakna dengan pemahaman yang lebih mendalam tentang hubungan satu pengalaman ke pengalaman berikutnya; (2) merupakan proses berpikir yang sistematis, teliti, dan disiplin yang berakar pada inkuiri ilmiah; (3) harus terjadi dalam suatu komunitas dengan cara berinteraksi dengan orang lain; dan (4) mensyaratkan sikap menghargai perkembangan personal dan intelektual diri dan orang lain.

Berdasarkan latar belakang masalah dan identifikasi masalah, maka dapat dirumuskan permasalahannya sebagai berikut:

Pada level manakah capaian keterampilan berpikir reflektif mahasiswa remedial setelah menempuh program remedial perkuliahan Fismat 1 berbasis CAI ini?

Kesulitan apa saja yang dialami mahasiswa selama mengikuti program remedial perkuliahan Fismat 1 berbasis CAI ini?

Tujuan penelitian ini adalah memperoleh data awal penelitian (*qual before intervention*) dari serangkaian tahapan penelitian *mixed method* yaitu tentang capaian level berpikir reflektif mahasiswa setelah menempuh program remedial perkuliahan Fismat 1 serta mendeteksi kesulitan yang dialami oleh mahasiswa dalam mengikuti perkuliahan ini. Perolehan data ini akan menjadi informasi pendukung bagi penyusunan program perkuliahan Fismat 1 yang akan diimplementasikan pada tahapan *intervention*.

METODE

Penelitian ini dirancang dengan pendekatan kualitatif terhadap empat tatap muka pembelajaran Fismat 1 yang dilaksanakan dengan tahapan CAI. Kelas remedial dipilih dengan pertimbangan bahwa mahasiswa telah mendapat pengalaman belajar Fisika Matematika sehing-

ga bisa memberikan masukan tentang efektivitas pelaksanaan program remedial perkuliahan Fismat 1 berbasis CAI ini terhadap capaian keterampilan berpikir reflektif mereka. Mahasiswa yang menempuh program remedial ini merupakan sampel acak yang mendaftar pada semester pendek, yaitu enam orang mahasiswa yang terdiri dari 3 orang mahasiswa semester 2, dan tiga orang mahasiswa yang masing-masing duduk pada semester 4, 8, dan 10. Kegiatan dosen dan mahasiswa pada sintaks pembelajaran berbasis CAI ini adalah sebagai berikut. Pada tahapan *modeling* dosen menyajikan situasi-situasi fisika dan bersama-sama dengan mahasiswa mendiskusikan keterkaitan situasi-situasi tersebut dengan materi Fismat 1 yang akan dibahas, menjelaskan konten materi Fismat 1 secara detail, dan menyajikan latihan soal melalui lembar kerja mahasiswa (LKM) yang harus dikerjakan mahasiswa dalam kelompok kecil. Pada tahapan berikutnya, yaitu *coaching*, dosen melakukan skafolding reflektif terhadap presentasi hasil diskusi tugas LKM dalam forum diskusi kelas. Proses skafolding reflektif yang terdiri dari skafolding kontekstual, strategis, prosedural, taktis, dan general ini diadaptasi dan dimodifikasi dari teori dialog reflektif yang disampaikan oleh Katz *et.al.* (2003). Berikutnya, tahapan *reflection* adalah kegiatan dosen memberikan sejumlah penugasan individu maupun kelompok berupa tugas reflektif agar mahasiswa dapat melakukan refleksi terhadap kemampuan diri dalam menguasai materi Fismat 1 yang dibahas pada tiap pertemuan. Tahapan selanjutnya, yaitu tahapan *articulation*, dosen bersama mahasiswa merangkum makna dan poin-poin penting materi yang harus dikuasai. Pada tahapan ini, mahasiswa memperbaiki jawaban yang salah dan melengkapi catatan mereka berdasarkan hasil skafolding reflektif yang mereka dapatkan dari kegiatan diskusi kelas. Tahap artikulasi ini akan menjadi tahapan tambahan pada awal tatap muka sebelum tahapan *modeling* pada pertemuan kedua dan selanjutnya yaitu kegiatan dosen membahas tugas yang telah diberikan pada minggu sebelumnya. Tahapan terakhir, yaitu tahapan *exploration*, dosen menjelaskan aplikasi teori pada situasi yang baru atau pada situasi yang lebih luas cakupannya dan memberikan kuis di akhir pertemuan untuk mengukur penguasaan materi mahasiswa pada tiap akhir bab atau tiap tatap muka sesuai dengan kebutuhan.

Informasi yang digali dari penelitian ini adalah respon kognitif mahasiswa terkait level

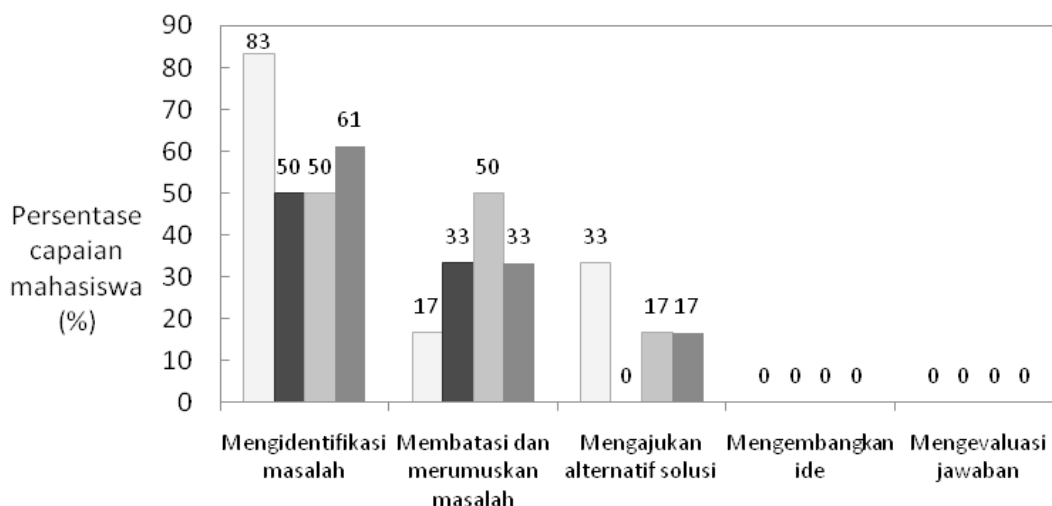
berpikir reflektif mahasiswa dalam penyelesaian masalah dan respon mahasiswa terkait kesulitan yang mereka temui selama mengikuti program remedial perkuliahan Fismat 1 berbasis CAI. Kedua informasi tersebut diperoleh dari tes keterampilan berpikir reflektif yang ditriangulasikan dengan data yang diperoleh dari observasi aktivitas mahasiswa, jawaban angket, dan transkrip wawancara. Data pendukung berupa keefektifan alur sintaks perkuliahan yang diperoleh dari hasil observasi aktivitas pembelajaran dosen juga dikumpulkan. Data ini diperoleh melalui lembar pengamatan dan rekaman audio visual untuk memperoleh gambaran secara lengkap pelaksanaan perkuliahan ini terkait capaian level berpikir reflektif mahasiswa. Keseluruhan data ini selanjutnya dianalisis secara deskriptif dengan pendekatan kualitatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan program remedial perkuliahan Fismat 1 ini dilaksanakan dalam kurun waktu dua pekan dengan jadwal yang disepakati oleh dosen dan mahasiswa. Pada akhir perkuliahan mahasiswa diberi tes keterampilan berpikir reflektif berupa tiga soal kontekstual yang masing-masing mengungkap kemampuan mengaplikasikan teori Fismat 1 terkait konsep gelombang, mekanika, dan kelistrikan. Hasil tes ini dianalisis secara kualitatif berdasarkan komponen keterampilan berpikir reflektif dalam penyelesaian masalah menurut Dewey (1993). Selanjutnya, keseluruhan data disusun menjadi data karakteristik performan berpikir reflektif dan dikonfirmasi dengan kriteria berpikir reflektif yang disusun oleh Kember *et al.* (2000). Adapun hasil penelitian ini secara keseluruhan tersaji dalam penjelasan berikut.

Respon Kognitif Mahasiswa Terkait Level Berpikir Reflektif dalam Penyelesaian Masalah

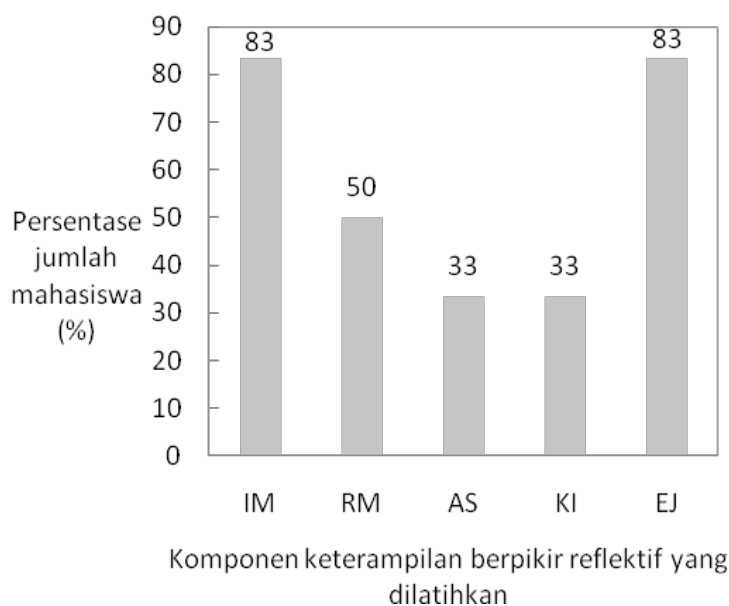
Keterampilan berpikir reflektif dalam penyelesaian masalah terkait kemampuan mengidentifikasi masalah, membatasi dan merumuskan masalah, mengajukan alternatif solusi, mengembangkan ide, dan mengevaluasi jawaban melalui proses pembuktian telah dilatihkan oleh dosen melalui pembahasan materi maupun penugasan reflektif. Namun, setelah mahasiswa diberikan tes keterampilan berpikir reflektif yang terdiri dari tiga buah soal tentang aplikasi Fismat 1 pada konsep gelombang, mekanika, dan kelistrikan diperoleh data seperti



Tahapan Keterampilan Berpikir Reflektif dalam Penyelesaian Masalah Fismat 1

Gambar 1. Performan capaian keterampilan berpikir reflektif mahasiswa dalam penyelesaian masalah Fismat 1

(□ = soal gelombang; ■ = soal mekanika; ▒ = soal kelistrikan)



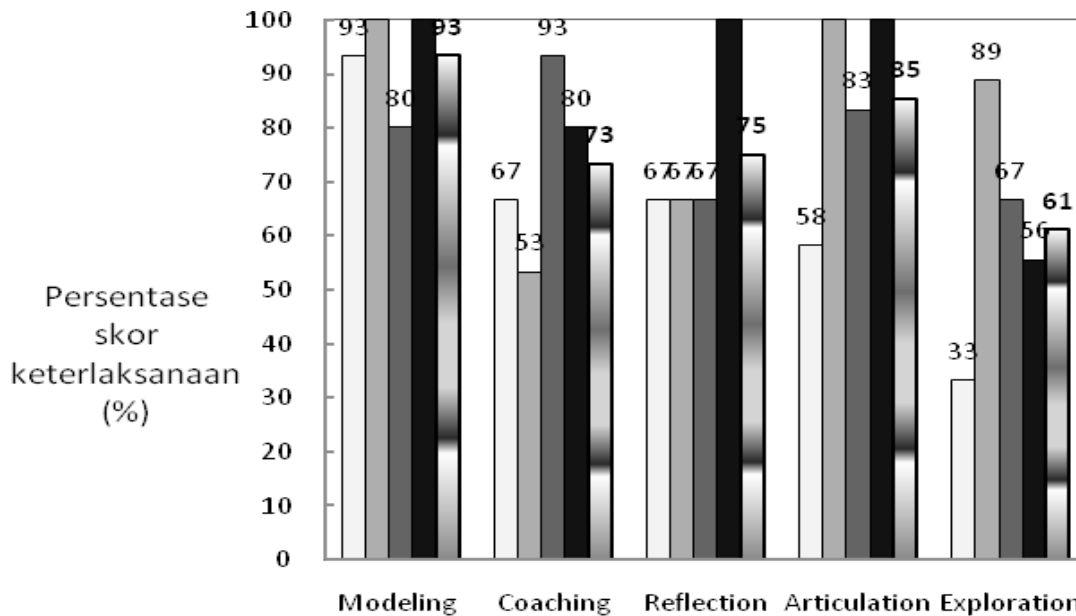
Gambar 2. Persentase jumlah mahasiswa yang menyatakan bahwa komponen keterampilan berpikir reflektif dalam menyelesaikan permasalahan Fismat 1 sering dilatihkan oleh dosen selama pelaksanaan program pembelajaran. (IM = Mengidentifikasi masalah; RM = Membatasi dan merumuskan masalah; AS = Mengajukan alternatif solusi; KI = Mengembangkan ide; EJ = Mengevaluasi jawaban)

pada Gambar 1.

Pada Gambar 1, dua tahapan berpikir reflektif yaitu keterampilan mengembangkan ide dan mengevaluasi jawaban sama sekali belum muncul dalam lembar jawaban soal mahasiswa. Persentase capaian berpikir reflektif secara keseluruhan masih di bawah 50%. Di sisi lain, berdasarkan hasil analisis angket, intensitas penekanan pelatihan oleh dosen terhadap

komponen keterampilan berpikir reflektif menurut mahasiswa selama menempuh program remedial perkuliahan Fismat 1 berbasis CAI ini tersaji dalam Gambar 2.

Jika dikonfirmasi antara keterampilan berpikir reflektif rata-rata yang dimiliki oleh mahasiswa pada Gambar 1 dengan yang telah dilatihkan oleh dosen menurut mahasiswa pada Gambar 2, maka tiga tahapan berpikir



Tahapan proram perkuliahan Fismat 1 berbasis CAI

Gambar 3. Pelaksanaan tahapan program remedial perkuliahan Fismat 1 berbasis CAI (□ = pertemuan pertama; ■ = pertemuan kedua; ■ = pertemuan ketiga; ■ = pertemuan keempat; ■ = rata-rata)

reflektif pertama memiliki kecenderungan yang sama dan bersesuaian pada masing-masing tahapannya. Ada hal yang menarik dari kedua gambar ini, yaitu bahwa mahasiswa sudah merasa dilatihkan keterampilan mengembangkan ide dan mengevaluasi jawaban oleh dosen, namun kedua keterampilan ini belum muncul dalam penyelesaian masalah mereka. Dengan demikian ada dua kemungkinan bisa terjadi, pertama mahasiswa tidak memahami prinsip mengembangkan ide dan mengevaluasi jawaban sehingga menganggap bahwa kedua hal tersebut sudah dilatihkan selama proses perkuliahan atau yang kedua, mereka sudah mengetahui namun belum mampu melakukannya. Berdasarkan data analisis hasil observasi pembelajaran oleh dosen diperoleh informasi pada Gambar 3.

Pada gambar 3, tahapan *coaching* dan *exploration* yang memegang peranan penting dalam pengayaan keterampilan berpikir reflektif nampak masih belum maksimal, yaitu pada skor rata-rata 61 dan 73. Hal yang teramat pada baik pada tahapan *coaching* maupun *exploration* adalah sajian soal-soal latihan yang belum banyak melatih mahasiswa untuk meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi dan masih cenderung memberikan soal-soal pada tingkat pengetahuan dan pemahaman. Ketika hal ini dikonfirmasi kepada dosen peng-

ampu, secara lisan diperoleh jawaban bahwa berdasarkan pengalamannya dalam mengajar mata kuliah Fismat 1 ini, mahasiswa sering mengalami kesulitan jika soal-soal yang disajikan berubah sedikit dari yang dicontohkan sehingga hal yang sama masih diterapkan pada perkuliahan remedial ini. Pendapat serupa juga disampaikan oleh para mahasiswa dalam sesi wawancara dengan menyatakan bahwa jika soal-soal yang diberikan mirip dengan yang dilatihkan mereka dapat mengerjakannya, namun jika soal diubah konstruksinya meskipun pada konsep yang sama mereka akan mengalami kesulitan dan cenderung tidak melanjutkannya hingga diperoleh jawaban soal secara tuntas.

Berdasarkan hasil triangulasi dari analisis performan tes keterampilan berpikir reflektif, analisis angket, data observasi pembelajaran, serta hasil wawancara dengan dosen pengampu diperoleh suatu pemahaman bahwa pembelajaran fisika matematika 1 berbasis *cognitive apprenticeship instruction* sudah terlaksana dengan baik tahapannya. Namun demikian, masih perlu penguatan pada tahapan *coaching* dan *exploration* dimana keterampilan mengajukan alternatif solusi dan mengevaluasi jawaban akan banyak peluang untuk dilatihkan. Pada tahapan ini perlu pula dilatihkan beragam aplikasi teori fisika matematika 1 pada fenomena fisika yang mampu mengeksplorasi keterampi-

lan berpikir tingkat tinggi mahasiswa sehingga pembelajaran fisika matematika 1 menjadi lebih bermakna.

Respon Mahasiswa Terkait Kesulitan yang Dialami selama Menempuh Program Remedial Perkuliahan Fismat 1 Berbasis CAI

Data yang tersaji pada Gambar 1 telah menginformasikan bahwa keterampilan membatasi dan merumuskan masalah, mengajukan alternatif solusi, dan mengembangkan ide yang dilatihkan oleh dosen masih belum optimal dirasakan dampaknya oleh mahasiswa. Ketiga materi soal yang disajikan pada dasarnya sudah pernah mereka pelajari di Fisika Dasar karena semua mahasiswa yang mengikuti perkuliahan remedial ini sudah pernah menempuh mata kuliah Fisika Dasar 1 dan Fisika Dasar 2. Analisis matematis yang digunakan dalam penyelesaian soal-soal yang disajikan juga sudah pernah mereka tempuh pada mata kuliah Fismat 1 dan diulang kembali pada program remedial ini. Berdasarkan hasil wawancara akhirnya diperoleh informasi bahwa soal tes yang bersifat kontekstual rupanya masih menjadi kendala, sehingga mahasiswa masih mengalami kesulitan untuk dapat menentukan persamaan matematika yang sesuai dengan situasi yang disajikan. Hal yang sama juga pernah dilaporkan oleh beberapa peneliti seperti Arslan dan Arslan (2010) dan Gupta dan Elby (2011) bahwa kelemahan yang dialami oleh peserta didik ketika menyelesaikan permasalahan matematis dari Fisika adalah kelemahan dalam menerjemahkan matematika ke dalam fisika adalah ketidakmampuan dalam melihat kemiripan kasus dalam kedua konteks karena terjebak pada sikap epistemologi mereka. Nampak bahwa mahasiswa memerlukan pembiasaan dengan soal-soal yang berupa pengembangan dari situasi yang telah dicontohkan dan bersifat kontekstual. Hal ini rupanya belum dapat dijangkau dalam empat tatap muka. Oleh karena itu perlu strategi yang lebih detail dalam tiap tahapan untuk membiasakan hal-hal semacam ini.

Secara umum berdasarkan hasil analisis kualitatif data tes keterampilan berpikir reflektif beberapa kesulitan yang dialami mahasiswa dalam penyelesaian soal-soal tersebut adalah sebagai berikut. Pada soal pertama, kasus yang disajikan adalah gelombang pulsa, yaitu pada kasus seutas tali yang diberi beban dan diletakkan pada bidang miring licin serta ujung atas tali diberi gaya pukul kecil F . Pada soal ini, mahasiswa sudah dapat mengidentifikasi konsep-konsep fisika yang terkait dengan kasus

tersebut. Namun, penyelesaian soal secara matematis yang menggambarkan keterkaitan kecepatan gelombang pulsa dengan gaya tegangan tali masih belum terjawab dengan baik. Mahasiswa baru menuliskan persamaan hukum kedua newton pada bidang miring, namun belum satu pun mahasiswa yang mencoba mengaitkannya dengan gaya tegangan tali maupun yang mensubstitusikan gaya kecil F pada persamaan tersebut. Soal kedua terkait konsep mekanika, yaitu pada kasus perubahan gaya tegangan kawat akibat diregangkannya sebuah kawat yang memiliki modulus young isotermis pada dua tiang pancang. Beberapa mahasiswa sudah dapat menyebutkan konsep-konsep fisika yang akan menjadi landasan penyelesaian masalah, namun mereka gagal pada penurunan persamaan diferensial parsial untuk menentukan besar perubahan gaya tegangan tali terhadap variabel panjang tali dan temperatur. Mahasiswa hanya menyebutkan persamaan tegangan, regangan dan modulus young, namun belum bisa meramu alternatif penyelesaian dari ketiga persamaan yang sudah mereka tuliskan tersebut untuk mendapatkan jawaban yang diminta. Pada soal ketiga, terkait konsep kelistrikan, yaitu tentang kasus rangkaian seri R,L,C dengan arus bolak-balik yang mengalami percikan api ketika diputus arusnya secara tiba-tiba. Hanya 1 orang mahasiswa yang sudah mampu menyatakan persamaan matematis pada hukum kedua kirchoff dalam bentuk persamaan diferensial, sedang 5 orang lainnya menuliskan jawaban dalam bentuk persamaan aljabar. Hal ini menunjukkan bahwa mahasiswa belum memahami bahwa arus dan tegangan bolak-balik merupakan fungsi sinusoidal dan bahwa keduanya berubah setiap saat terhadap waktu. Nampak bahwa keterampilan analisis matematis seperti persamaan diferensial parsial dan persamaan diferensial biasa masih belum dapat dikuasai dengan baik oleh mahasiswa. Konsep-konsep fisika secara umum dapat disebutkan dengan baik sebagai dasar berpikir, namun mereka gagal menggunakan secara simultan konsep-konsep tersebut untuk menyelesaikan masalah. Oleh karena itu perlu organisasi materi yang lebih kompleks agar mahasiswa dapat mengaplikasikan konsep fisika dan Fismat 1 dengan baik dalam menyelesaikan masalah-masalah kontekstual terkait materi Fismat 1. Upaya yang dilakukan barangkali seperti yang pernah dilakukan oleh Sliisko (2008) bahwa untuk mengubah fokus dari memeriksa validitas matematika hasil perhitungan menjadi fokus

pada mengevaluasi kelayakan secara fisis dari situasi masalah, salah satunya dengan secara sengaja memperkenalkan kesalahan-kesalahan ke dalam latihan-latihan soal yang sudah biasa dirumuskan dan meminta siswa untuk mencari tahu mengapa perhitungan memberikan hasil yang tidak masuk akal agar dapat menilai kelayakan situasi masalah dan hasil perhitungan mereka.

Berdasarkan hasil triangulasi dari analisis tipe jawaban mahasiswa dalam ranah berpikir reflektif, hasil wawancara dengan mahasiswa, dan hasil-hasil penelitian terdahulu terkait keterampilan berpikir matematis dapat diperoleh suatu pemahaman bahwa mahasiswa dalam menyelesaikan soal-soal fisika matematika 1 masih pada tahapan mengcopy alur penyelesaian masalah berdasarkan alur yang dicontohkan dosen. Mahasiswa belum mampu berpikir *out of the box* dalam menerapkan konsep fisika matematika 1 pada permasalahan fisika meski memiliki kesamaan karakteristik. Rupanya tatap muka yang terbatas masih belum banyak memberi kesempatan baik kepada dosen maupun mahasiswa untuk sama-sama menemukan pola yang sinergis dalam memperkuat konsep fisika matematika 1 pada penyelesaian masalah terkait konsep fisika. Aktivitas yang dapat direkomendasikan dari temuan ini yaitu penguatan tahapan *coaching* dan *exploration* dengan memperkaya ragam soal, baik teknik analisis maupun aplikasinya dalam soal-soal kontekstual, tugas-tugas yang dilatihkan secara mandiri maupun kelompok sehingga mahasiswa akan memiliki beragam pengalaman penyelesaian masalah fisika matematika 1.

Capaian Level Berpikir Reflektif Mahasiswa Menurut Kriteria Kember

Menurut kriteria yang diusulkan oleh Kember et. al. (2000) tentang level berpikir reflektif, jawaban yang diberikan oleh mahasiswa melalui cara-cara penyelesaian masalah yang mereka tempuh masih pada tahapan *understanding*. Tahapan ini nampak pada hal-hal sebagai berikut. Pertama, konsep-konsep fisika yang seharusnya sudah mereka miliki, dalam artian bukan hanya sekedar hafalan tetapi akan muncul dengan sendirinya ketika bertemu dengan kasus sejenis, ternyata belum banyak dilakukan dalam penyelesaian masalah yang disajikan. Hal yang sama pada konsep Fismat 1 berupa pendekatan sifat deret, bilangan kompleks, dan persamaan diferensial yang seharusnya muncul dalam penyelesaian masalah juga belum banyak digunakan

oleh mahasiswa. Keadaan ini menunjukkan bahwa mahasiswa belum dapat memaknai pengalaman belajar di Fisika Dasar maupun Fismat 1 terkait penyelesaian masalah Fismat 1. Kedua, mahasiswa sudah mencoba menuliskan rumus matematika terkait konsep fisika yang disajikan namun belum dapat meramu untuk menemukan variabel yang ditanyakan. Artinya, mahasiswa sudah memahami secara parsial konsep-konsep fisika dan rumus praktisnya, namun belum dapat memahami secara komprehensif penyelesaian masalah dengan menggunakan pendekatan matematis yang sudah mereka pelajari dalam Fismat 1.

PENUTUP

Program remedial perkuliahan Fismat 1 berbasis *CAI* yang dilakukan dalam empat tatap muka ini telah membantu mahasiswa mencapai tahapan *understanding* dalam berfikir reflektif menurut kriteria Kember et. al. (2000). Mahasiswa sudah mampu mengidentifikasi dan mencoba membatasi serta merumuskan masalah maupun mengajukan alternatif solusi meski ketiga kemampuan ini masih dalam kategori rendah. Namun, dari upaya yang telah dilakukan, temuan terkait dengan belum terlaitinya secara optimal tahapan berpikir reflektif dalam penyelesaian masalah ini terkendala oleh kurangnya kesempatan mahasiswa untuk menyelesaikan soal-soal yang lebih variatif baik pada segi kualitas dan kuantitas penguatan konsep Fismat 1 itu sendiri maupun pada aplikasinya secara kontekstual. Oleh karena itu langkah-langkah strategis berupa penyiapan konten sintaks *CAI* yang lebih efektif, bahan ajar yang lebih representatif, serta penugasan reflektif yang lebih akomodatif penting untuk menjadi konsen pengembangan program perkuliahan Fismat 1 untuk meningkatkan capaian berpikir reflektif mahasiswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Arslan AS and Arslan S. (2010). Mathematical models in physics: A study with prospective physics teacher. *Scientific Research and Essays*, 5 (7); 634-640.
- Dennen, V. P. dan Jonassen, D. H. (Ed). (2004). Cognitive Apprenticeship in Educational Practice: Research on Scaffolding, Modeling, Mentoring, and Coaching, as Instructional Strategies. *Handbook of Research on Educational Communications and Technology (2nd ed.)*, pp. 813-828. [Online] Tersedia di: <http://learngen.org/~aust/EdTecheBooks/>

- AECT%20HAND BOOK%20ND/31.pdf. Diakses tanggal 19 Januari 2014.
- Dewey, J. (1910). *How We Think*. Boston, New York, Chicago: D.C. Heath and Co. Publishers.
- Ellianawati, Rusdiana, D., Sabandar, J. (2013). Reflective Thinking Skills in Prospective Physics Teachers. Diseminarkan dalam forum MSCEIS 2013. Tanggal 19 Oktober 2013 di UPI Bandung.
- Ellianawati, E., Rusdiana, D., & Sabandar, J. (2013). Kontribusi Pembelajaran Fisika Matematika dalam Mengembangkan Kemampuan Pemecahan Masalah Calon Guru Fisika Melalui Keterampilan Berpikir Reflektif. *Prosiding Seminar dan Simposium Fisika*. pp. 130-136.
- Gupta, A. and Elby, A. (2011). Beyond Epistemological Deficits: Dynamic explanations of engineering students' difficulties with mathematical sense-making; *International Journal of Science Education*, 33, (18); 2463–2488.
- Katz, S., Allbritton, D., and Connelly, J. (2003). Going Beyond the Problem Given: How Human Tutors Use PostSolution Discussions to Support Transfer. *International Journal of Artificial Intelligence in Education (IJAIED)*, 13; 79-116.
- D Kember, Doris Y P Leung, Alice Jones, Alice Yuen Loke, Jan McKay, Kit Sinclair, Harrison Tse, Celia Webb, Frances kam Yuet Wong, Marian Wong, Ella Young (2000). Development of a questionnaire to measure the level of reflective thinking. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 25 (4); 381-395.
- Rodgers, C. (2002). Defining Reflection: Another Look at John Dewey and Reflective Thinking. *Teachers College Record*. 104 (4); 842-866.
- Sabandar, J. (2013). *Berpikir Reflektif dalam Pembelajaran Matematika*. Tersedia di website: http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR._PEND._MATEMATIKA/194705241981031-JOZUA_SABANDAR/KUMPULAN_MAKALAH_DAN_JURNAL/Berpikir_Reflektif2.pdf. (diakses tanggal 25 Mei 2013).
- Slisko, J. (2008). How can formulation of physics problems and exercises aid students in thinking about their results?. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* 2, (2).

EFEKTIVITAS MODEL PEMBELAJARAN *AUDITORY INTELLECTUALLY REPETITION* (AIR) TERHADAP PEMAHAMAN SISWA PADA KONSEP ENERGI DALAM

THE EFFECTIVENESS OF AUDITORY INTELLECTUALLY REPETITION (AIR) LEARNING MODEL ON STUDENTS' UNDERSTANDING OF THE CONCEPT INTERNAL ENERGY

S. Linuwih*, N. O. E. Sukwati

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Diterima: 8 Juni 2014. Disetujui: 28 Juni 2014. Dipublikasikan: Juli 2014

ABSTRAK

Telah dilakukan pembelajaran fisika melalui penerapan model pembelajaran *Auditory Intellectually Repetition* (AIR) pada pokok bahasan konsep energi dalam. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui peningkatan pemahaman konsep siswa dan efektivitas model pembelajaran *Auditory Intellectually Repetition* (AIR) terhadap pemahaman siswa pada konsep energi dalam. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen kependidikan (*educational experiment research*), dengan rancangan *pre test-post test control group design*. Subjek penelitian adalah dua kelompok belajar yang terdiri atas 32 siswa (eksperimen) dan 32 siswa (kontrol) kelas XI IPA di SMA N 2 Ungaran tahun ajaran 2013/2014. Data dianalisis menggunakan uji gain dan uji t. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan pemahaman konsep siswa dan hasil belajar kognitif siswa. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa penerapan model pembelajaran *Auditory Intellectually Repetition* (AIR) dalam pembelajaran fisika SMA efektif untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa.

ABSTRACT

The physics learning on concept of the internal energy was carried out through application of *Auditory Intellectually Repetition* (AIR) learning model. This study aimed to determining the improvement of students' concept understanding and the effectiveness of *Auditory Intellectually Repetition* (AIR) learning model on students' understanding of the internal energy concept. The research used educational experiment research with *pre test-post test control group design*. The subject of research consisted of 32 students in experimental group and 32 students in control group of XI IPA SMA N 2 Ungaran, academic year 2013/2014. The data were analyzed by using gain test and t test. The result showed that there was an increase of students' concept understanding and the outcome of students' cognitive learning. Based on the result, it can be concluded that the application of *Auditory Intellectually Repetition* (AIR) learning model in teaching physics in high school was an effective way to enhance students' concept understanding.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: AIR learning model; students' concept understanding; the internal energy

PENDAHULUAN

Fisika merupakan salah satu cabang Ilmu Pengetahuan Alam (IPA). Ilmu fisika dibu-

tuhkan untuk mempelajari perilaku alam dalam berbagai bentuk gejala. Belajar fisika memerlukan suatu pemahaman melalui penguasaan konsep-konsep. Permasalahan yang sering terjadi adalah kurangnya pemahaman konsep fisika. Permasalahan tersebut menyebabkan

*Alamat Korespondensi:
Gdg. D7 Lt. 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang
E-mail: suhartolinuwih@gmail.com

minat belajar siswa rendah dalam pelajaran fisika. Hal ini sejalan dengan hasil survey yang dilakukan oleh Maloney *et al.* (2001) yang menyebutkan bahwa pemahaman konseptual fisika lebih dari 5000 siswa di 30 lembaga tidak memuaskan. Dengan demikian, diperlukan suatu strategi dan model pembelajaran yang diharapkan dapat meningkatkan aktivitas siswa dalam proses pembelajaran dan kemampuan siswa dalam pemahaman konsep fisika.

Berdasarkan diskusi dengan guru mata pelajaran fisika di SMA Negeri 2 Ungaran diperoleh hasil bahwa siswa masih kesulitan dalam memahami konsep termodinamika khususnya pokok bahasan perubahan energi dalam. Hal ini dikarenakan konsep-konsep tersebut bersifat abstrak dan banyak perhitungan matematis yang harus dilakukan. Oleh karena itu, seorang guru harus mengupayakan suatu pembelajaran yang dapat menciptakan suasana dan kondisi pembelajaran yang menarik bagi siswa.

Guru merupakan komponen yang penting dalam proses belajar mengajar. Suatu pembelajaran yang menjadikan siswa aktif dan dapat memahami konsep dari materi yang sedang mereka pelajari. Namun fakta menunjukkan bahwa masih banyak guru fisika yang masih terpaku pada cara-cara pembelajaran lama di mana guru sebagai satu-satunya sumber belajar (*teacher center*) (Amiruddin & Supriyatman, 2013). Menurut Mabrurroh *et al.* (2010), salah satu penyebab siswa masih cenderung pasif yaitu cara mengajar yang kurang variatif karena hanya menggunakan metode ceramah. Strategi dan model pembelajaran yang tepat terutama dalam berkomunikasi antar peserta didik salah satunya adalah pembelajaran kooperatif. Isjoni (2013) menyatakan, dalam *cooperative learning*, siswa terlibat aktif pada proses pembelajaran sehingga memberikan dampak positif terhadap kualitas interaksi dan komunikasi yang berkualitas. *Cooperative learning* juga dapat memotivasi siswa untuk meningkatkan prestasi belajarnya. Pemilihan model pembelajaran yang tepat diharapkan mampu memaksimalkan proses dan hasil belajar siswa. Siswa dituntut aktif di kelas dengan bantuan guru (Nurafiah *et al.*, 2013). Ada banyak model pembelajaran dalam *Cooperative learning* yang dapat diterapkan pada proses belajar mengajar. Salah satu model yang dapat diterapkan adalah model pembelajaran *Auditory Intellectually Repetition* (AIR).

Menurut Yennita *et al.* (2011), model pembelajaran AIR menganggap bahwa suatu pembelajaran akan efektif jika memperhatikan

tiga hal, yaitu *Auditory* (mendengar), *Intellectually* (berpikir), dan *Repetition* (pengulangan). Belajar auditoris merupakan cara belajar standar bagi masyarakat (Huda, 2013). Meier (2002) mendefinisikan kata "intelektual" menunjukkan apa yang dilakukan siswa dalam pikiran mereka secara internal ketika mereka menggunakan kecerdasan untuk merenungkan suatu pengalaman dan menciptakan hubungan, makna, rencana, dan nilai dari pengalaman tersebut. *Repetition* bermakna pengulangan. Dalam konteks pembelajaran, merujuk pada pendalaman, perluasan, dan pematapan siswa dengan cara memberinya tugas atau kuis (Huda, 2013).

Hasil penelitian Ainia *et al.* (2012), menyatakan bahwa pembelajaran dengan menggunakan model AIR dapat mengakibatkan siswa memiliki kemampuan yang lebih dalam pemahaman, kreativitas dan keaktifan dalam pembelajaran, kemampuan memecahkan masalah dan daya ingat yang kuat.

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) untuk mengetahui peningkatan pemahaman konsep siswa pada pokok bahasan energi dalam, (2) untuk mengetahui efektivitas model pembelajaran *Auditory Intellectually Repetition* (AIR) terhadap pemahaman konsep siswa pada pokok bahasan energi dalam.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di SMA N 2 Ungaran Kabupaten Semarang pada semester 2 Tahun Ajaran 2013/2014. Subjek penelitian terdiri atas dua kelas yaitu XI IPA 2 sebagai kelas eksperimen dan XI IPA 4 sebagai kelas kontrol. Materi yang diajarkan dalam penelitian ini adalah perubahan energi dalam gas.

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian eksperimen ini adalah *True Experimental Design* tipe *Pretest-Posttest Control Group Design* yaitu desain penelitian dengan membagi subyek penelitian menjadi dua kelas yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol.

Metode pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan dokumentasi, observasi, dan tes. Bentuk dari soal tes tertulis yang digunakan sebagai *pretest* dan *posttest* adalah bentuk soal uraian. Tes uraian dalam penelitian ini digunakan untuk mendapatkan data pemahaman konsep siswa yang akan dianalisis sebagai jawaban dari permasalahan yang dirumuskan.

Analisis data kuantitatif digunakan untuk menganalisis peningkatan hasil pemaha-

man siswa. Perbedaan antara skor *pretest* dan *posttest* diuji signifikansi statistiknya dengan uji t, sedangkan peningkatan pemahaman diukur dengan uji gain ternormalisasi dengan kategori tinggi ($g > 0,7$), sedang ($0,3 < g \leq 0,7$), dan atau rendah ($g \leq 0,3$) (Wiyanto, 2008).

Indikator keefektifan dalam penelitian ini adalah adanya aktivitas siswa yang baik, ketuntasan klasikal sebesar $> 85\%$, dan peningkatan pemahaman konsep siswa yang termasuk ke dalam kategori tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah-langkah strategi pembelajaran *Auditory Intellectually Repetition* (AIR) yaitu: (1) siswa dibagi menjadi beberapa kelompok yang heterogen, masing-masing kelompok terdiri atas 4-5 anggota, (2) siswa mendengarkan dan memperhatikan penjelasan dari guru, (3) setiap kelompok mendiskusikan tentang materi yang mereka pelajari dan menuliskan hasil dari hasil diskusi tersebut (*Auditory*), (4) masing-masing kelompok berdiskusi untuk menyelesaikan masalah (*Intellectually*), (6) Wakil dari kelompok tampil di depan kelas untuk mempresentasikan hasil kerja kelompok, sedangkan kelompok yang lain menanggapi, melengkapi, dan menyetujui kesepakatan (*Intellectually*), (7) Setelah selesai berdiskusi, siswa mendapat pengulangan materi dengan cara mendapatkan kuis secara individu dan tugas rumah (*Repetition*).

Pemahaman Konsep

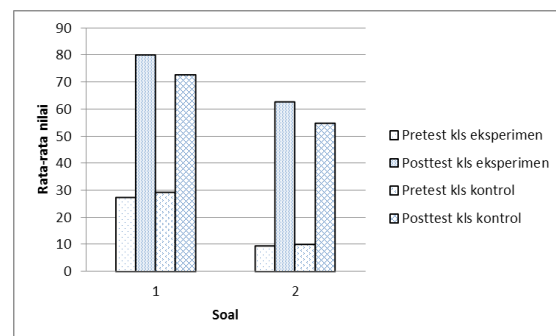
Uji peningkatan pemahaman konsep fisika siswa pada bab termodinamika dilakukan dengan menggunakan uji Gain. Uji gain ini digunakan untuk melihat ada atau tidaknya peningkatan pemahaman konsep siswa. Hasil *pretest* dan *posttest* siswa kelas eksperimen dan kelas kontrol dapat dilihat pada Tabel 1.

Melalui uji Gain yang ternormalisasikan, peningkatan pemahaman siswa pada kelas eksperimen sebesar 0,77 yang termasuk kriteria tinggi, sedangkan peningkatan pemahaman siswa pada kelas kontrol sebesar 0,68 yang

termasuk kriteria sedang.

Menurut Ainia *et al.* (2012), akibat dari penekanan ketiga aspek dalam pembelajaran AIR adalah siswa memiliki kemampuan yang lebih dalam pemahaman, kreativitas dan keaktifan dalam pembelajaran, kemampuan memecahkan masalah dan daya ingat yang kuat.

Selain peningkatan pemahaman konsep siswa, dalam penelitian ini dihitung pula peningkatan tiap indikator soal *pretest/posttest*. Hasil peningkatan tiap indikator soal *pretest/posttest* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peningkatan Indikator Soal *Pretest/Posttest*.

Berdasarkan Gambar 1 di atas terlihat bahwa terjadi peningkatan yang signifikan antara hasil *pretest* dan *posttest*. Hal tersebut dikarenakan siswa masih kebingungan dalam menjawab soal pada saat *pretest*.

Permasalahan yang terjadi pada saat siswa menjawab soal nomor satu adalah siswa masih bingung untuk menentukan tanda positif atau negatif dalam perhitungan usaha. Siswa sering terjebak dalam menentukan tanda usaha tersebut sehingga mempengaruhi perhitungan. Perjanjian tanda usaha dalam perhitungan sudah ditentukan yaitu usaha bertanda positif jika sistem melakukan usaha terhadap lingkungan dan usaha bertanda negatif jika sistem menerima usaha dari lingkungan. Kesalahan yang sering terjadi yaitu siswa menganggap usaha bertanda negatif jika sistem melakukan usaha terhadap lingkungan karena sistem akan kekurangan usaha, begitupun sebaliknya karena

Tabel 1. Hasil Belajar Kognitif Siswa

No	Hasil Tes	Kelas Eksperimen		Kelas Kontrol	
		Pretest	Posttest	P Pretest	Pos Posttest
1	Nilai Terendah	18	64	14	60
2	Nilai Tertinggi	66	100	66	100
3	Nilai Rata-Rata	38,88	85,81	37,81	80,38
4	Peningkatan (Uji Gain)	0,77 (tinggi)		0,68 (sedang)	

Tabel 2. Persentase Ketuntasan Klasikal pada Kelas Eksperimen dan Kontrol

Kelas	n	x	Persentase Ketuntasan klasikal
Eksperimen	32	30	93,75 %
Kontrol	32	29	90,63 %

siswa menganggap bahwa sistem yang menerima usaha dari lingkungan maka usahanya akan bertambah sehingga tanda pada usaha adalah positif.

Permasalahan yang terjadi pada nomor 2 adalah siswa kesulitan untuk menyelesaikan soal karena siswa bingung dalam mengawali perhitungan atau penyelesaian. Siswa cenderung berpikir jika persamaan yang digunakan dalam menyelesaikan soal adalah persamaan atau rumus-rumus yang baru diajarkan. Mereka tidak terbiasa untuk mengingat kembali persamaan atau rumus yang telah lama mereka dapat sehingga mereka kesulitan untuk mencari besaran yang belum diketahui nilainya. Hal tersebut mengakibatkan siswa tidak dapat mengerjakan soal yang diberikan.

Ketuntasan Klasikal

Data untuk menghitung ketuntasan klasikal ini didapat dari hasil *posttest*. Persentase ketuntasan klasikal kelas eksperimen dan kelas kontrol dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, rata-rata hasil belajar siswa pada kelas eksperimen adalah sebesar 85,81, sedangkan rata-rata hasil belajar siswa pada kelas kontrol adalah sebesar 80,38. Berdasarkan hasil tersebut, ketuntasan klasikal pada kelas eksperimen sebesar 93,75%, sedangkan ketuntasan klasikal pada kelas kontrol sebesar 90,63 %. Ketuntasan klasikal pada kelas eksperimen lebih tinggi daripada kelas kontrol. Hasil dalam penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ainia *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa prestasi belajar siswa dengan menggunakan model pembelajaran AIR lebih baik dari siswa yang dikenai model konvensional dan Rohmayati *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa hasil belajar siswa yang mendapatkan pembelajaran dengan model AIR lebih baik daripada siswa yang mendapatkan pelajaran dengan model *reciprocal teaching*.

Tabel 4. Presentase Aktivitas Siswa pada Kelas Eksperimen dan Kontrol

Kelas	Aspek				Klasikal
	1	2	3	4	
Ekperimen	73.96%	57.64%	57.99%	63.19%	63.19%
Kontrol	62.85%	55.21%	61.46%	57.64%	59.29%

Aktivitas Siswa

Data hasil aktivitas siswa diperoleh melalui lembar observasi selama diskusi dan proses pembelajaran berlangsung. Pada aktivitas siswa ini, ada empat aspek yang diamati oleh peneliti. Empat aspek tersebut adalah sebagai berikut:

1. Perhatian siswa saat pembelajaran
2. Keberanian siswa dalam mengemukakan pendapat
3. Keberanian siswa dalam bertanya
4. Menghargai pendapat orang lain

Tabel 3. Klasifikasi Kriteria Observasi

Persentase Aktivitas Siswa	Kriteria
81,25% < N ≤ 100%	Sangat aktif
62,50% < N ≤ 81,25%	Aktif
43,75% < N ≤ 62,50%	Kurang aktif
25% < N ≤ 43,75%	Sangat kurang aktif

(Tim peneliti program pasca sarjana UNY 2003)

Hasil pengamatan keempat aspek tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa persentase aktivitas siswa pada kelas eksperimen sebesar 63,19% yang termasuk kriteria aktif, sedangkan aktivitas siswa pada kelas kontrol sebesar 59,29% yang termasuk kriteria kurang aktif. Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa aktivitas siswa pada kelas eksperimen lebih tinggi daripada kelas kontrol. Aktivitas siswa pada penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauzi (2013) yang menyatakan bahwa pembelajaran dengan menggunakan pembelajaran kooperatif tipe STAD dapat membuat aktivitas siswa berkategori baik dalam pembelajaran.

PENUTUP

Berdasarkan perhitungan uji gain ternormalisasi, peningkatan pemahaman kelas eksperimen sebesar 0,77 (tinggi) dan kelas kontrol sebesar 0,68 (sedang). Ketuntasan klasikal pada kelas eksperimen sebesar 93,75%, sedangkan ketuntasan klasikal pada kelas kontrol sebesar 90,63 %. Persentase aktivitas siswa pada kelas eksperimen sebesar 63,19% yang termasuk kriteria aktif, sedangkan aktivitas siswa pada kelas kontrol sebesar 59,29% yang termasuk kriteria kurang aktif. Dilihat dari ketiga kategori tersebut terlihat bahwa kelompok eksperimen lebih tinggi dari kelompok kontrol. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pembelajaran dengan model pembelajaran *Auditory Intellectually Repetition* (AIR) efektif untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa pada pokok bahasan energi dalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainia, Q., N. Kurniasih, & M. Sapti. (2012). Eksperimentasi Model Pembelajaran Auditory Intellectually Repetition (AIR) Terhadap Prestasi Belajar Matematika Ditinjau dari Karakter Belajar Siswa Kelas VII SMP Negeri Se-Kecamatan Kaligesing Tahun 2011/2012. *Prosiding Seminar Nasional*. Semarang: Program Studi Pendidikan Matematika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Amiruddin, K. & Supriyatman. (2013). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Fisika Bagi Siswa SMP Negeri Di Daerah Tertinggal. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 9(2), 99-105.
- Fauzi, A. & Elisa. (2013). Peningkatan Pemahaman Konsep Dan Aktivitas Belajar Siswa Melalui Model Pembelajaran Kooperatif Tipe STAD Berbasis LKS Tersruktur. *Jurnal Online Pendidikan Fisika*, 2(1), 42-49.
- Huda, M. (2013). *Model-Model Pengajaran Dan Pembelajaran*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Isjoni. (2013). *Cooperative Learning*. Bandung: Alfabeta.
- Mabrurroh, N. I., H. Susanto & L. Handayani. (2010). Peningkatan Hasil Belajar Peserta Didik Melalui Penerapan Metode *Think-Pair-Share* Pada Materi Pokok Bahasan Bunyi Siswa Kelas VIII SMP. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 6, 74-78.
- Maloney, O'Kuma, Hieggelke, & van Heuvelenat. (2001). "Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism". *American Journal of Physics*, Supplement, 69 (7), S12.
- Meier, D. (2000). *The Accelerated Learning Handbook: Panduan Kreatif & Efektif Merancang Program Pendidikan dan Penelitian*. (Rahmani Astuti Trans). Bandung: Kaifa.
- Nurafiah, F., E. Nurlaelah & R. Sispiyati. (2013). Perbandingan Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMP Antara Yang Memperoleh Pembelajaran *Means-Ends Analysis* (MEA) Dan *Problem Based Learning* (PBL). *Jurnal Pendidikan Pengajaran MIPA*, 18, 9-15.
- Tim Peneliti Program Pasca Sarjana UNY. (2003). *Penyusunan Instrument dan Penilaian*. Yogyakarta: UNY.
- Yennita, M. Rahmad, & Sugino. (2011). *Peningkatan Keterampilan Sosial Siswa Melalui Penerapan Pendekatan Auditory Intellectually Repetition Dalam Pembelajaran Fisika*. PMIPA FKIP Universitas Riau, Pekanbaru.
- Rohmayati, A., N. Kurniasih & R. Y. Purwoko. (2013). *Eksperimentasi Model Pembelajaran Auditory Intellectually Repetition Dan Reciprocal Teaching Ditinjau Dari Kemampuan Berpikir Kritis*. FMIPA Universitas Muhammadiyah Purworejo, Purworejo.
- Wiyanto. (2008). *Menyiapkan Guru Sains Mengembangkan Kompetensi Laboratorium*. Semarang: UNNES Press.

KARAKTERISTIK SIFAT FISIS BATUAN NIKEL DI SOROWAKO SULAWESI SELATAN

THE PHYSICAL PROPERTIES OF NICKEL ORE IN SOROWAKO SOUTH SULAWESI

E. H. Sujiono^{1*}, M. Diantoro², Samnur³

¹Fakultas MIPA, Universitas Negeri Makassar (UNM), Makassar, Indonesia

²Fakultas MIPA, Universitas Negeri Malang (UM), Malang, Indonesia

³Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar (UNM), Makassar, Indonesia

Diterima: 7Maret 2014. Disetujui: 1 April 2014. Dipublikasikan: Juli 2014

ABSTRAK

Sulawesi Selatan memiliki cadangan nikel berlimpah di daerah Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, yang sampai saat ini masih terikat kontrak karya dengan P.T. Vale Indonesia. Potensi nikel dalam jumlah besar dan terus bertambah sehingga dalam proses produksi dan eksplorasinya harus tepat, ramah lingkungan agar memiliki nilai ekonomi tinggi. Data yang dilaporkan dalam penelitian ini berupa hasil karakterisasi komposisi unsur, senyawa dan kekerasan batuan nikel. Pemilahan dan penyiapan sampel dilakukan secara manual dalam ukuran 2 cm x 2 cm x 0,5 cm. Hasil analisis menunjukkan bahwa komposisi utama dari batuan nikel didominasi oleh nikel (Ni) dan silikon (Si). Kekerasan batuan nikel mencapai 130 sampai 155 HVN-100 serta temperatur transisi gelas pada kisaran 900°C. Berdasarkan data ini, batuan nikel potensial untuk diolah secara industri.

ABSTRACT

South Sulawesi has abundant reserve of nickel in Sorowako, East Luwu, which is still in the status of work contract bond with P.T. Vale, Indonesia. The huge nickel potential of the area and the growing production brings the need to process the exploration precisely and friendly to generate high economic value. The data reported in this study are characterization result of the elements composition, compounds and hardness of the nickel ore. Samples were prepared manually, each in size of 2cm x 2cm x 0,5cm. The analysis showed that the main composition of the nickel ore was dominated by nickel (Ni) and silicon (Si). Nickel ore hardness reaches 130 to 155 HVN-100 as well as the glass transition temperature in the range of 900°C. Based on the data found, the nickel ores are furthermore processable industrially.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: nickel ores; composition; hardness; glass transition temperature

PENDAHULUAN

Bijih Nikel laterit merupakan salah satu sumber daya mineral yang melimpah di Indonesia. Banyak bahan paduan yang dibuat berbasis bahan nikel karena memiliki kekuatan struktur terhadap proses *creep*, *fatigue* dan kestabilan

permukaan (oksidasi dan korosi) pada suhu tinggi seperti digunakan pada mesin pesawat dan turbin gas pembangkit listrik (Mabruri, *et al.*, 2008). Mayoritas sumber nikel dunia yang telah diketahui mengandung laterit. Bijih laterit normalnya diklasifikasikan dalam dua jenis: *the high iron-laterite ore* dan *high-magnesia laterite ore* (Pan, *et al.*, 2012). Untuk memenuhi kebutuhan bahan nikel murni dalam proses produksi *stainless steel*, maka digunakan *Nickel Pig Iron* sebagai bahan baku yang diterapkan di China sebagai alternatif yang murah

*Alamat Korespondensi:

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika,
Kampus Universitas Negeri Makassar (UNM)
Parangtambung, 90224
E-mail: eko_hadisujiono@yahoo.com; e.h.sujiono@unm.ac.id /
Fax.: +62411869854

untuk menghasilkan nikel (Daud, *et al.*, 2013). Proses pengolahan batuan nikel laterit yang la-indimulai dengan memberi larutan NaOH pada tekanan atmosfer, yang selanjutnya akan menghasilkan larutan Na_2SiO_3 yang digunakan untuk menghasilkan produk silika melalui proses karbonisasi, dan unsur lainnya seperti magnesium, besi dan nikel akan terkonsentrasi dalam *desilicization slag* (Mu, Zhai & Liu, 2010).

Produksi nikel Indonesia mencapai 190 ribu ton pertahun dan memiliki 8% cadangan nikel dunia, Sulawesi merupakan daerah dengan produksi nikel paling maju di Indonesia (Solihin, 2012), seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Potensi alam berupa tambang nikel di Sulawesi sebagian besar telah dikuasai oleh pihak asing dalam kontrak jangka panjang biasanya puluhan tahun, sehingga hasil yang menjadi milik negara hanya yang sesuai dengan perjanjian kontrak bagi hasil yang juga termasuk menjadi milik masyarakat Sulawesi. Diperkirakan dalam jangka waktu puluhan tahun tersebut cadangan nikel yang ada di Sulawesi akan habis sesuai eksplorasi masa kontrak karyanya.



Gambar 1. Sampel batuan nikel (Sumber P.T. Vale, 2013)

Penelitian tentang kandungan nikel yang ada di Sorowako juga telah dilakukan oleh Adi T. (2009) dengan mengambil lokasi sampel penelitian pada topografi yang memiliki kemiringan relatif bergelombang menerus. Yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah ketebalan lapisan batuan limonit dan saprolit yang mengandung nikel namun tetap menunjukkan persentase unsur/ senyawa lainnya yang ada dalam lapisan limonit dan saprolit tersebut. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa untuk lapisan limonit memiliki kadar ketebalan nikel rata-rata 2,45 meter dengan kandungan unsur lainnya antara lain Fe di atas 35 %, MgO

kurang dari 5% dan SiO_2 di bawah 10%. Sedangkan untuk lapisan saprolit memiliki kadar ketebalan nikel rata-rata 7,04 meter dengan kandungan unsur lainnya antara lain Fe (10 – 35%), MgO (5 – 30%) dan SiO_2 (10 – 40%).

Widi (2012) juga melakukan analisis komposisi kandungan nikel laterit baik limonit maupun saprolit yang diambil pada wilayah pertambangan Morowali (Sulawesi Tengah). Analisis tersebut digunakan dalam upaya memproduksi nikel *pig iron* menggunakan *mini blast furnace*. Hasil analisis komposisi nikel laterit untuk lapisan limonit komposisinya terdiri atas SiO_2 5,2%, Al_2O_3 14,96%, Fe_2O_3 61,31%, Ni 0,72%, Cr_2O_3 1,66% dan LOI 14,42% dan beberapa senyawa lain dalam jumlah yang lebih kecil. Lapisan saprolit komposisinya terdiri atas SiO_2 36,2%, Al_2O_3 4,1%, Fe_2O_3 22,37%, Ni 2,53%, Cr_2O_3 0,97% dan LOI 10,74% dan beberapa senyawa lain dalam jumlah yang lebih kecil.

Sifat-sifat fisika-kimia *slag* nikel termasuk struktur, viskositas, kerapatan dan sifat lainnya, sangat tergantung pada komposisi kimia dan struktur dari *slag* atau batuan nikelnya (Pan. *et al.*, 2013; Juvelyn, *et al.*, 2012; dan Andrews, 2004). Dengan demikian karakteristik batuan nikel penting untuk diketahui, dalam upaya lebih lanjut pemanfaatan *slag* nikelnya.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik struktur kristal, komposisi bahan dan melakukan pengkajian mengenai karakteristik sifat fisik batuan nikel.

METODE

Untuk mengetahui struktur Kristal bahan digunakan karakterisasi XRD, komposisi penyusun bahan digunakan karakterisasi XRF. Sedangkan untuk menguji kekerasan bahan dengan mempertimbangkan bahwa batuan nikel pada dasarnya dapat dianggap sebagai material yang getas dan rapuh, maka karakterisasi sifat mekaniknya lebih cocok menggunakan pengujian kekerasan *Vickers*. Dalam hal ini digunakan *indentor* piramida intan dan hasil pengukurannya selanjutnya dikonversi menjadi angka kekerasan *Vickers* dan diberi notasi VHN (Callister, & David, 2010).

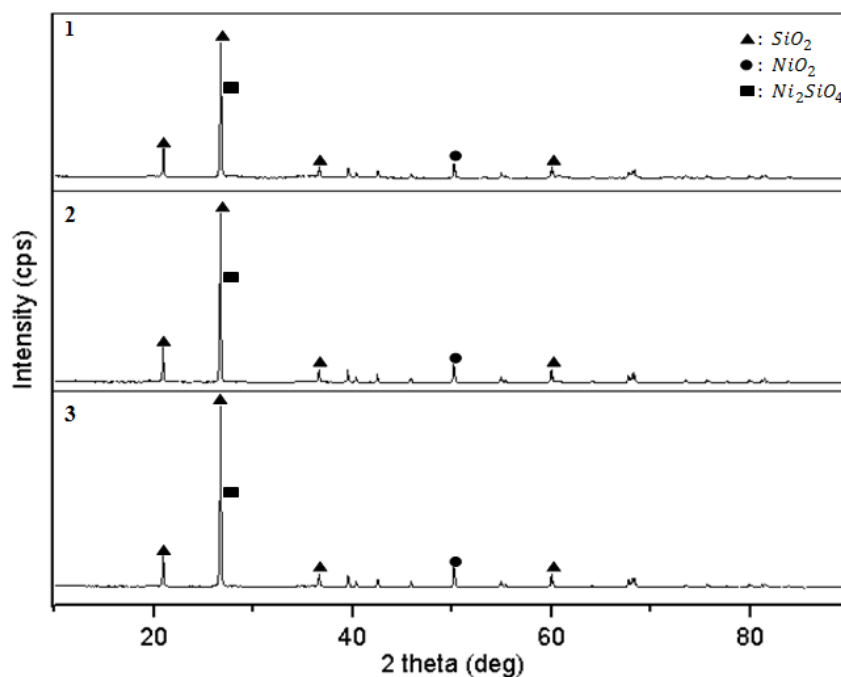
Sampel yang dianalisis pada penelitian ini adalah batuan nikel seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil karakterisasi dapat mengungkap komposisi unsur, senyawa dan kekerasannya. Pengambilan sampel batuan nikel untuk karakterisasi komposisi dilakukan secara manual dengan memotong sampel men-

jadi bagian-bagian batuan nikel hijau, batuan nikel coklat dan batuan nikel campuran dengan ukuran 2cm x 2cm x 0,5cm. Sedangkan untuk pengujian kekerasan, pengambilan sampel batuan nikel dengan memotong bagian sampel menjadi bagian batuan nikel hijau dan batuan nikel putih masing-masing sebanyak tiga sampel dengan ukuran 2cm x 2cm x 0,5cm. Karakterisasi komposisi dilakukan menggunakan X-RF Minipal seri 4. Pengujian kekerasan menggunakan *Micro Vickers Hardness Tester Mitutoyo MVK-E3* dengan beban 100 gf dan *indentor Diamond 136°* dengan menggunakan standar ASTM E 384, "Standard Test Method

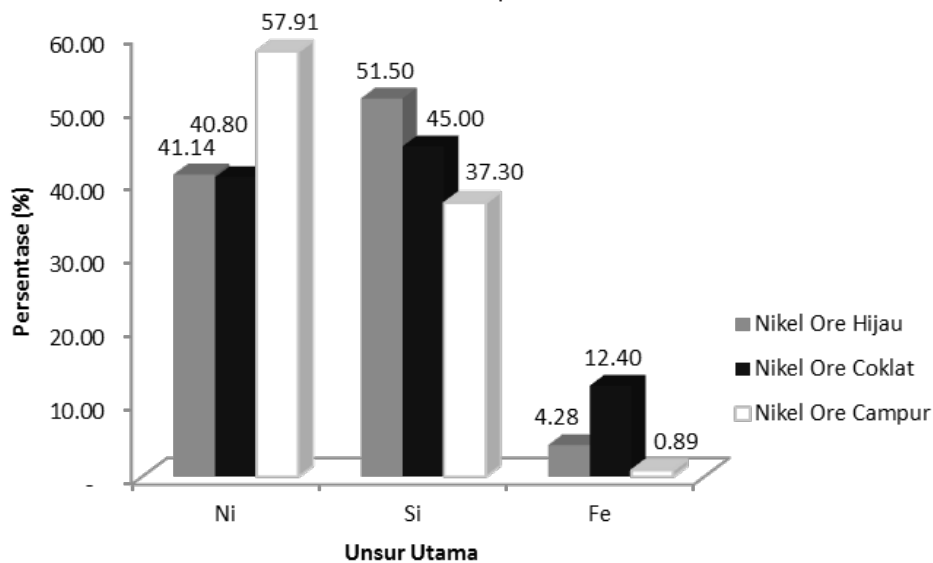
for *Micro indentation Hardness of Materials*", sedangkan karakterisasi sifat termal terutama untuk penentuan temperatur transisi gelas (*glass differential temperature*) menggunakan *Thermogravimetric-Differential Thermal Analysis (TA+DTG)* Linseis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

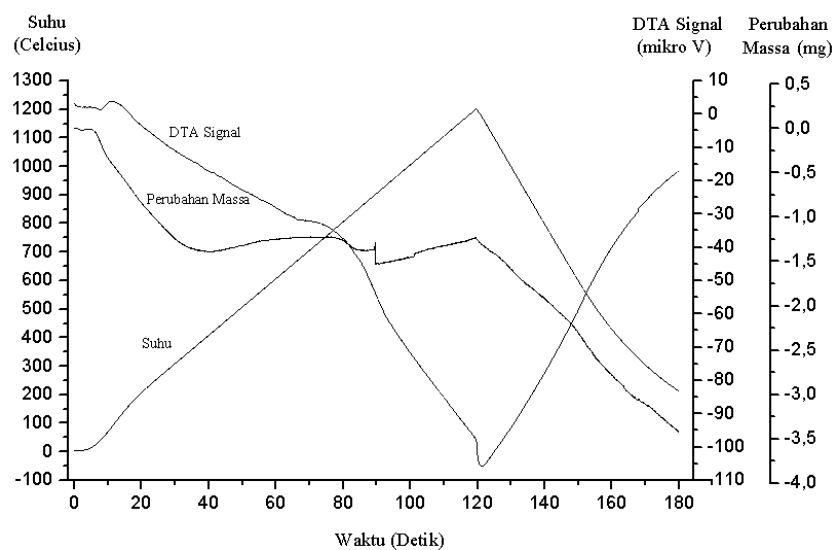
Pada Gambar 2., diperlihatkan hasil karakterisasi XRD dari sampel batuan nikel, dimana grafik 1 hasil XRD Batuan nikel Hijau, grafik 2 Batuan nikel Coklat, dan grafik 3 Batuan nikel campuran.



Gambar 2. Grafik hasil karakterisasi XRD dari sampel batuan nikel.



Gambar 3. Grafik komposisi unsur utama penyusun batuan nikel.



Gambar 4. Grafik hasil pengukuran TG-DTA pada sampel batuan nikel.

Pengambilan data sudut 2θ dimulai dari 10° – 90° dengan $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$ pada kondisi tegangan 40 kV dan arus sebesar 30 mA. Dari ketiga grafik terlihat puncak dominan berada pada sudut 2θ sebesar 26° . Bidang tersebut menunjukkan fase Quartz (SiO_2), fase SiO_2 yang lain diperlihatkan dengan simbol \blacktriangle . Kemudian penunjukan fase NiO_2 diperlihatkan dengan simbol \bullet , dan simbol \blacksquare menunjukkan fase Liebenbergite (NiO_2SiO_4). Dari hasil karakteristik XRD ini menunjukkan bahwa puncak-puncak dominan yang juga mencirikan bidang-bidang dominan yang konsisten dari unsur/ senyawa penyusun bahan batuan nikel yang diteliti.

Selanjutnya berdasarkan hasil karakteristik XRD tersebut, dapat dijelaskan data komposisi, kekerasan dan sifat termal dari sampel batuan nikel yang diambil pada batuan nikel hijau, batuan nikel coklat, batuan nikel putih dan batuan nikel campuran dengan menggunakan XRF, karakterisasi kekerasan dan pengukuran TA+DTG yang disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3 tampak bahwa untuk semua sampel *ore* dari batuan dengan ciri fisik berbeda warna menunjukkan bahwa kandungan utamanya adalah Ni dan Si serta sedikit Fe. Selain itu masih terdapat beberapa kandungan unsur lain dalam komposisi yang lebih sedikit antara lain Ca, Cr, Mn, Y, Zn, La dan Re. Fraksi total Nikel rata-rata dari ketiga jenis sampel tersebut adalah 46,80% dari total kandungan seluruh senyawa penyusun bahan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan komposisi batuan nikel yang terdapat di daerah Morowali, Sulawesi

Tengah dengan komposisi unsur utama didominasi oleh Fe, Si dan Al serta kandungan nikel hanya sekitar 2,53% (Widi A, 2012), maka komposisi batuan nikel di Sorowako, Sulawesi Selatan sangat potensial dan menguntungkan untuk diolah menjadi bijih kaya nikel. Kandungan Ni yang cukup besar ini memberi peluang untuk diolah melalui berbagai teknik kimia fisik.

Data XRF juga memperlihatkan bahwa kandungan Nikel terbesar terdapat pada sampel batuan berwarna coklat dengan kandungan komposisi maksimum 57,91%. Sampel lain yang berwarna hijau mengandung Nikel sedikit lebih rendah yaitu 40,80% dan sampel campuran mengandung Nikel dengan komposisi 41,69%. Sampel-sampel tersebut pada dasarnya berasal dari batuan yang sejenis dan dalam jumlah yang sangat besar, sehingga fluktuasi komposisi unsur dan senyawa yang terkandung dalam batuan tersebut tidak secara signifikan berpengaruh terhadap rerata unsur yang dieksplorasi.

Selanjutnya pada Tabel 1 diperlihatkan hasil pengujian kekerasan batuan nikel putih dan hijau menggunakan *microvickers*. Data diameter hasil penekanan *indenter* bervariasi pada rentang 165 – 215 serta angka kekerasan *Vickers* antara 124 – 159. Hasil yang ditunjukkan pada dasarnya tidak menggambarkan perbedaan kekerasan yang berarti untuk setiap bagian sampel batuan nikel yang diuji dan jika dikonversikan ke dalam skala kekerasan *Rockwell* berada pada kisaran 69,5 – 83 HRB yang menunjukkan bahwa material tersebut berada pada kategori material lunak.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Kekerasan Batuan nikel

Sampel	Diameter Rata-Rata (μm)	HVN Rata-Rata
Batuan nikel putih	187.67	155.67
Batuan nikel hijau	206.67	128.33

Sedangkan grafik hasil karakteristik TG-DTA untuk sampel batuan nikel yang terdiri atas perubahan temperatur (skala vertikal bagian kiri), perubahan massa (skala vertikal bagian luar sebelah kanan) dan perubahan fasa unsur penyusun batuan nikel (skala vertikal sebelah kanan) terhadap waktu seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Dapat diamati pula pada grafik tersebut bahwa perubahan fasa batuan nikel dari kondisi padat ke cair mulai terjadi pada menit ke-120 dari proses pemanasan dalam tungku dan menjadi fasa cair secara keseluruhan pada menit ke-122 dengan temperatur mulai terjadi pelelehan pada temperatur maksimal 1200°C. Fenomena menarik lainnya yang terjadi adalah proses pelepasan massa unsur pada menit ke-90 dengan adanya penurunan massa secara drastis sebesar 0,2 mg dari massa sampel yang dianalisis yang terjadi pada kisaran temperatur 900°C. Data-data yang telah diungkapkan dari hasil penelitian ini selanjutnya dapat digunakan untuk mendukung pemanfaatan material tambang batuan nikel dan juga *slag* nikel yang jumlahnya sangat berlimpah di Sulawesi Selatan dalam rangka mendukung program peningkatan ekonomi masyarakat.

PENUTUP

Komposisi utama dari batuan nikel didominasi oleh nikel (Ni) dan silikon (Si), dan sedikit kandungan besi (Fe). Kekerasan batuan nikel mencapai 130 sampai 155 HVN-100 dan temperatur transisi gelasnya pada kisaran 900°C. Dengan komposisi dan kekerasan ini maka batuan nikel memiliki potensi untuk diolah lebih jauh sebagai sumber nikel dengan pengolahan standar industri.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada

Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Ditjen DIKTI yang telah mendanai penelitian ini melalui skema penelitian prioritas nasional MP3EI Tahun Anggaran 2013 sesuai kontrak pelaksanaan penelitian Nomor: 284/SP2H/PL/Dit. Litabmas/VII/2013, tanggal 15 Juli 2013.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi T. (2009). Presisi Lapisan Endapan nikel Laterit berdasarkan Model Geokimia Batuan Ultramafik Daerah Sorowako Sulawesi Selatan. *Jurnal Penelitian Enjiniring* ISSN 1411-6243, Vol. 12 (2), 181-184
- Andrews L. (2004). Factors affecting nickel recovery from slags produced during platinum smelting. *VIII International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts*. The South African Institute of Mining and Metallurgy.
- Callister, W.D., David G.R. (2010). *Material Science and Engineering: an Introduction*, Eight Edition, USA: John Wiley & Sons Inc.
- Daud, Shih H.C. and Hnin H.M. (2013). The Preliminary Study on Re-utilization of Ferrous-Nickel Slag to Replace Conventional Construction Material for Road Construction. *Advanced Material Research* Vol. 723, 694-702
- Juvelyn S.D., Amparado R.F., Malaluan R.M., Demayo C.G. (2012). Characterization and Leaching Assesment of Ferronickel Slag from a Smelting Plant in Iligan City Philippines. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(5): 470-474
- Mabruri E., Sakurai S., Murata Y., Koyama T., and Morinaga M. (2008). Diffusion and gamma phase coarsening kinetics in ruthenium-containing nickel based alloy. *Material transaction*, 49(4): 792-799.
- Mu W., Zhai Y. and Liu Y. (2010). Leaching of Magnesium from Desilicization Slag of Nickel Laterite Ores by Carbonation Process. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 20: 87-s91
- Pan, C.X.Lv., Bai C., Liu X. D. Li, Min J. (2013). Melting-features and viscosity of Si-O₂-CaO-MgO-Al₂O₃-FeO nickel slag in laterite metallurgy. *J. Min. Metall. Sect. B-Metall.* 49(1)B: 9-12.
- Solihin. (2012). *Pengolahan bijih nikel kadar rendah untuk mendukung industri baja tahan karat*, Jakarta: LIPI.
- Widi A., Zulfiadi Z., Achmad S., Kusno I., Fajar N., dan Erik P. (2012). Pembuatan Nickel Pig Iron dari Bijih Nikel Laterit Indonesia Menggunakan Mini Blast Furnace. *Prosiding Inst-Nas MT66-71*, 0404.

PENINGKATAN KINERJA SISTEM KESELAMATAN PASIF PADA REAKTOR NUKLIR DENGAN PENAMBAHAN KOMPONEN RVACS

IMPROVEMENT OF PASSIVE SAFETY SYSTEM PERFORMANCE FOR NUCLEAR REACTOR WITH ADDITION OF RVACS COMPONENT

A. G. Abdullah*, N. P. Ardiansyah, W. Purnama

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan
Universitas Pendidikan Indonesia (UPI), Bandung, Indonesia

Diterima: 2 Maret 2014. Disetujui: 17 Maret 2014. Dipublikasikan: Juli 2014

ABSTRAK

Kelengkapan sistem keselamatan pasif dan inheren pada reaktor lanjut merupakan prasyarat utama. Makalah ini mengeksplorasi hasil desain konseptual sistem pembuang sisa panas pada pusat listrik tenaga nuklir berjenis *Very High-Temperature Reactor*. Tujuan riset ini untuk merancang sistem pembuang sisa panas pusat listrik tenaga nuklir yang terdapat pada dinding reaktor. Studi kinerja Reactor Vessel Auxiliary Cooling System (RVACS) dilakukan pada dua jenis pendingin yaitu Timbal-Bismut dan Liquid Salt. Panas dari dinding reaktor dihapus melalui sirkulasi alamiah pada keadaan tunak. Analisis melibatkan sistem perpindahan panas secara radiasi, konduksi dan konveksi alami. Perhitungan perpindahan panas dilakukan pada elemen reaktor *vessel*, dinding luar *guard vessel*, dan pelat pemisah. Hasil analisis kecelakaan menunjukkan kedua jenis sistem pendingin reaktor dan sistem pasif sisa pembuangan panas cukup menghapus sisa panas hasil peluruhan dengan sirkulasi alami.

ABSTRACT

Completeness of passive safety systems and inherent in advanced reactors is a major prerequisite. This paper explores the results of a conceptual design of the heat removal system at the nuclear power plant (NPP) type *Very High-Temperature Reactor*. The purpose of this research was to design the reactor vessel auxiliary cooling system (RVACS) of NPP located within the reactor walls. The RVACS performance study was conducted on two types of coolant: Lead-Bismuth and Liquid Salt. Heat was removed from the reactor vessel through the natural circulation in the steady state. Analyses of heat transfer systems involved radiation, conduction and natural convection. Heat transfer calculations were performed on the reactor vessel, guard vessel, and perforated plate. The results from the accident analysis showed that both types, the reactor coolant system and the passive residual heat removal system, adequately remove remaining heat of the decay by a natural circulation.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: decay heat removal; nuclear power plant; RVACS; VHTR

PENDAHULUAN

Reaktor jenis *Very High-Temperature Reactor* (VHTR) merupakan jenis reaktor nuklir generasi lanjut, secara konseptual memiliki temperatur keluaran 100°C. Suhu yang tinggi

memungkinkan untuk memproduksi hidrogen. Hidrogen diharapkan sebagai sumber energi alternatif pengganti energi yang berasal dari fosil. Oleh karena itu, VHTR diharapkan berkontribusi terhadap lingkungan global dan menyediakan berbagai suplai energi. Desain VHTR masih mengacu kepada desain reaktor generasi III, tetapi sudah dilengkapi dengan

*Alamat Korespondensi:

Jl. Dr. Setiabudi No. 225, Bandung, Jawa Barat 50154
E-mail: ade_gaffar@upi.edu / Phone: +6281394554252

sistem keselamatan berlapis, pasif dan inheren, sesuai dengan tuntutan desain reaktor generasi lanjut (Chapin *et al*, 2004).

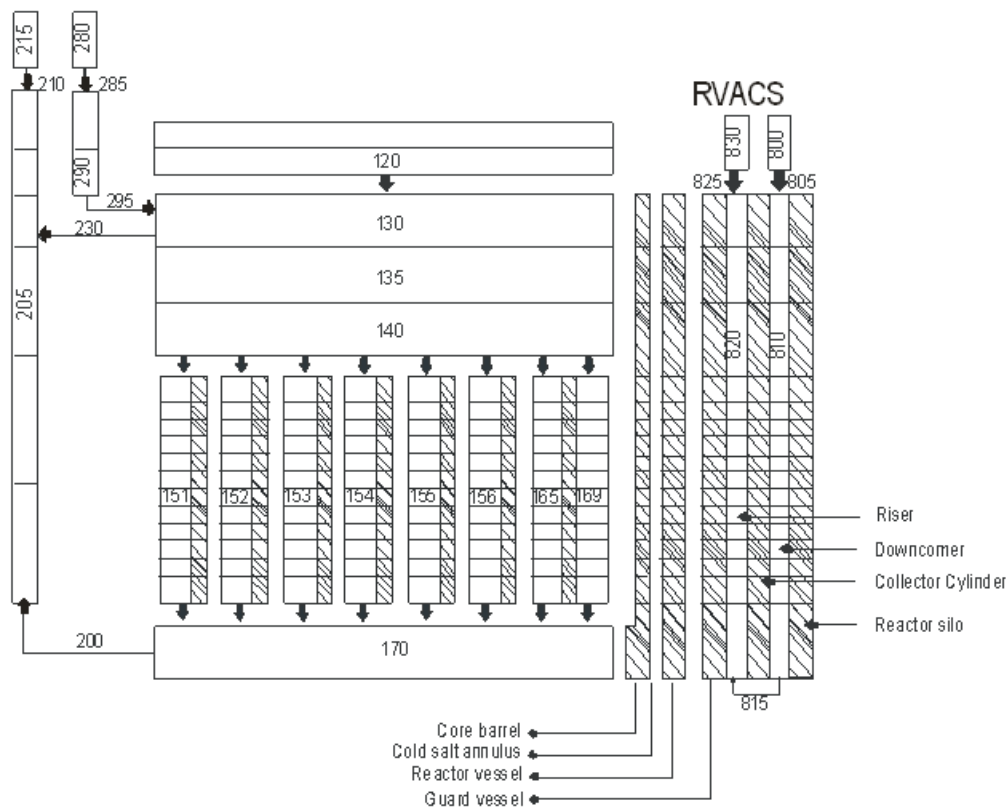
Reaktor nuklir didesain sedemikian rupa, agar produk fisi tetap terjaga dalam *vessel* bahan bakar, sepanjang masa operasional berlangsung, selama proses *shutdown* berlangsung, dan dalam kondisi kecelakaan sekalipun. Kriteria keselamatan reaktor nuklir harus didesain ketika bahan bakar dan kelongsong melewati batas pendinginan normal, tetapi bahan bakar tidak boleh melelehkan material pada teras reaktor (Lamars & Baratta, 2001).

Model satu dimensi dari LS-VHTR telah dikembangkan menggunakan perangkat lunak RELAP5-3D. Model RELAP5-3D kemudian digunakan untuk mensimulasikan keadaan transien reaktor yang dipicu oleh hilangnya tekanan udara di mana *Reactor Vessel Auxiliary Cooling System* (RVACS) melakukan pembuangan panas pasif (Davis *et al*, 2006). Tujuan utama desain sistem pendingin reaktor adalah untuk pembuangan panas yang diinginkan, dengan memastikan bahwa temperatur bahan bakar maksimum selalu di bawah nilai titik leleh material teras reaktor (Lamars dan Baratta, 2001).

Model LS-VHTR diilustrasikan melalui RELAP5-3D seperti terlihat pada Gambar 1.

Model ini merupakan bagian dari sistem pendingin primer dalam bejana reaktor dan RVACS. Pembuangan panas pada bejana Reaktor RVACS diwakili oleh komponen 800 sampai dengan 830. Komponen 800 merupakan *inlet air* yang berfungsi sebagai katup untuk masuknya udara dari atmosfer sekitar reaktor, sedangkan komponen 830 merupakan *chimney* yang berfungsi sebagai pintu masuknya udara menuju penukar panas. RVACS downcomer dan riser diwakili oleh komponen 810 dan 820, masing-masing berfungsi sebagai saluran masuknya udara dari atmosfer sekitar reaktor dan saluran udara menuju penukar panas. Model tersebut mewakili semua struktur panas utama yang terkait dengan RVACS, termasuk *reactor vessel* dan *guard vessel* dan *collector cylinder* yang memisahkan *downcomer* dan riser.

Bagian luar permukaan *collector cylinder* yang terisolasi untuk mencegah pemanasan awal pendingin udara yang mengalir pada *downcomer* tersebut (Lamars & Baratta, 2001). Panas dihapus oleh aliran udara yang turun dari *downcomer* kemudian naik melalui *air riser* dan ke luar melalui *chimney* yang digerakkan oleh gaya *bouyancy* yang disebabkan oleh perubahan densitas udara. Panas dikonveksikan oleh udara melalui dua permukaan, yaitu dinding luar *guard vessel* dan *separator*. Panas



Gambar 1. Skema RELAP5-3D model LS-VHTR.

dipindahkan ke separator melalui radiasi termal dari dinding *guard vessel*, kemudian panas dikonduksikan melalui *vessel* dan *guard vessel* (Abdullah *et al*, 2011)

Pasca kecelakaan reaktor Fukushima, pengembangan sistem keselamatan pasif menjadi tujuan utama dalam pengembangan reaktor berukuran kecil dan menengah. Sebagian besar sistem pasif yang ada, lebih memanfaatkan kekuatan gaya *buoyancy* untuk mendorong aliran pendingin (Novitrian *et al*, 2013). Sirkulasi natural sebagai sistem keselamatan pasif untuk reaktor lanjut, dipengaruhi oleh panjang cerobong. Terdapat kebergantungan temperatur outlet dengan laju alir pendingin yang digunakan (Wibisono *et al*, 2013). Prinsip-prinsip operasi sistem keselamatan, terkait sistem pembuangan panas berbeda-beda. Diperlukan eksperimen yang berhubungan dengan termal hidrolik. Sistem konveksi natural merupakan metode utama dalam sistem pendinginan reaktor (Zhukov *et al*, 2013).

Makalah ini bertujuan memaparkan hasil simulasi kinerja RVACS pada reaktor lanjut berjenis LS-VHTR. Celah antara *reactor vessel* dan *guard vessel* diisi dengan pendingin *liquid-salt* dan diujicobakan pula dengan pendingin *timbal-bismuth*. LS-VHTR merupakan penyatuan fitur khusus dari desain sistem reaktor lainnya. LS-VHTR menggunakan bahan bakar yang sama yang dilapisi partikel, silinder bahan bakar, dan heksagonal grafit sebagai perangkat bahan bakar reaktor. Bahan pendingin *liquid-salt* memungkinkan untuk melakukan transfer panas yang efisien, karena pendingin tersebut beroperasi pada tekanan rendah. Reaktor ini didesain dengan sistem *vessel*, dan fasilitasnya mirip dengan *pool-type sodium reactors*. Sistem pembuangan panas pasif didasarkan pada *Power Reactor Inherently Safe Module* (PRISM) yang dikembangkan oleh General Electric (Davis *et al*, 2006).

Pendingin timbal-bismuth memiliki karakteristik nuklir yang baik dalam tinjauan neutronik, reaktivitas kehampaan (*void reactivity*) dan rasio pembiakan (*breeding ratio*), sehingga dimungkinkan untuk merancang suatu teras dengan waktu operasi yang cukup lama tanpa pengisian ulang bahan bakar. Penggunaan timbal-bismuth sebagai pendingin memungkinkan dicapainya spektrum neutron keras yang menguntungkan dari aspek pembakaran limbah aktinida dan rendahnya pengaruh bahan-bahan hasil fisi sebagai kendala dalam perubahan daya reaktor untuk mengikuti beban yang ada. Spektrumnya yang keras juga me-

nyebabkan hilangnya absorpsi akibat pergeseran spektrum serta hilang atau berkurangnya bahan pendingin dapat dikurangi, selain dapat juga dimanfaatkan untuk meningkatkan daya pembiakan (Su'ud, 1996).

Prasyarat desain reaktor yang memenuhi kriteria sebagai reaktor generasi lanjut, salah satunya harus memenuhi kriteria keselamatan pasif. Beberapa desain reaktor yang dikembangkan para peneliti telah berusaha memenuhi persyaratan tersebut. Reaktor Westinghouse AP-1000 merupakan reaktor PWR (*pressurized water reactor*) yang telah dilengkapi dengan sistem keselamatan pasif. Reaktor ini menerapkan konsep yang sederhana dalam mengatasi kecelakaan dasar, misalnya jika terjadi kerusakan pada pipa pendingin. Reaktor ini dirancang untuk mencapai dan mempertahankan kondisi *shutdown* secara aman tanpa tindakan operator dan tanpa memerlukan daya listrik atau pompa pompa, tetapi bergantung pada kekuatan alami misalnya gaya gravitasi, sirkulasi natural, gas yang dikompresi untuk menjaga komponen-komponen teras reaktor jika mengalami *overheating*.

Reaktor Westinghouse AP-1000 dilengkapi juga dengan banyak komponen aktif, tetapi tidak terkait dengan desain keselamatan reaktor tersebut. Beberapa pertahanan berlapis untuk mitigasi kecelakaan sudah disediakan dalam desain reaktornya. (*Westinghouse Electric Company*, 2011). Komponen aktif merupakan perangkat-perangkat sistem keselamatan reaktor yang dalam operasinya memerlukan daya listrik, misalnya motor listrik yang menggerakkan pompa untuk mengambil air pendingin dari laut. Komponen aktif ini memiliki keuntungan karena dapat menghapus panas dari inti reaktor secara cepat jika dibandingkan dengan perangkat-perangkat komponen pasif. Komponen aktif akan bermasalah jika perangkatnya tidak berfungsi akibat hilangnya daya listrik akibat kecelakaan tersebut, misalnya kasus tersapunya motor-motor pompa pendingin pada kecelakaan reaktor Fukushima akibat diterjang tsunami.

Desain reaktor *Super-Power Reactor Innovative Small Module* (S-PRISM) juga telah menerapkan sistem keselamatan pasif. Reaktor ini merupakan reaktor modular yang dirancang oleh General Electric dengan daya 1000 MWth dan berpendingin natrium. *Loop* pendingin primer terkandung sepenuhnya dalam bejana reaktor yang memiliki ketebalan 5 cm. Dinding luar bejana reaktor berfungsi juga sebagai pelindung reaktor, memiliki tinggi 20

meter dan berdiameter 10 meter. Antara bejana reaktor dan dinding luarnya terdapat celah dengan lebar 20 cm yang diisi oleh gas argon. Strategi pembuangan panas peluruhan dari reaktor S-PRISM terdiri dari dua sistem yang terpisah yaitu *Reactor Vessel Auxiliary Cooling System* (RVACS) dan *Auxiliary Cooling System* (ACS) yang memanfaatkan sirkulasi natural dari atmosfer yang didorong oleh gaya *buoyancy* (gaya apung). Perangkat ACS menggunakan sistem perpindahan panas lanjut untuk melengkapi kerja RVACS (Whittman, 2007).

Saat beroperasi, sirkulasi natural dalam *loop* pendingin primer dan pendingin lanjut mentransfer panas ke air riser. RVACS beroperasi dengan membuang panas yang melalui bejana reaktor dan dinding bejana reaktor dengan cara yang sama. Panas kemudian ditransferkan kembali dalam *loop* primer melalui proses sirkulasi natural. Pendingin primer tidak dapat disalurkan di luar pengungkung, karena kinerja RVACS dibatasi oleh luas permukaan reaktor vessel ini. RVACS pada awalnya dikembangkan oleh General Electric untuk reaktor cepat tipe S-PRISM yang berpendingin sodium (Forsberg *et al*, 2006). General Electric mampu meningkatkan kinerja sistem RVACS dengan menambahkan kolektor silinder berlubang atau pelat berlubang ke saluran tempat mengalir udara panas (Boardman *et al*, 2000). Pelat berlubang dan dinding kolektor silinder padat keduanya dipanaskan melalui transfer panas secara radiasi, dan panas ini kemudian dikonveksikan dari empat permukaan (dinding luar bejana reaktor, dinding dalam kolektor silinder dan dua sisi pelat berlubang) (Whittman, 2007).

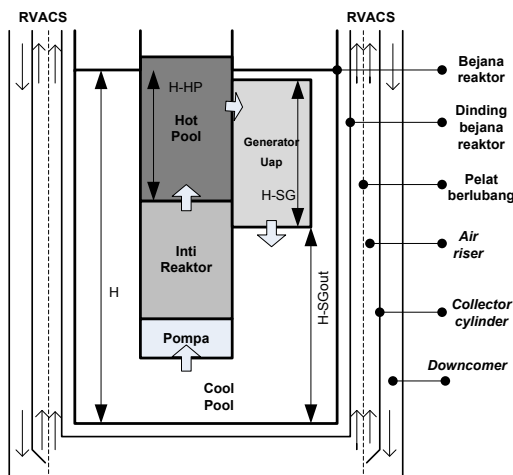
Reaktor lainnya yang telah menerapkan konsep keselamatan pasif adalah reaktor cepat yang diberi nama *Flexible Conversion Reactor* (FCR). Reaktor ini dapat digambarkan sebagai versi reaktor *Actinide Burner Reactor* (ABR) atau *Minor Actinide Burner Reactor* (MABR) ataupun *Actinide Burner Reactor with Thorium* (ABRT), masing-masing jenis hanya berbeda pada konfigurasi teras dan jumlah batang kendalinya. Desain reaktor tersebut keseluruhannya berpendingin timbal dan memiliki daya 700MWth dan 300MWe (Nikiforova, *et al.*, 2004). Desain reaktor FCR hampir sama dengan reaktor S-PRISM, dimana pendingin primer terkandung sepenuhnya di bejana reaktor, dan sistem pembuangan panas peluruhannya menggunakan RVACS dengan dilengkapi pelat berlubang untuk meningkatkan daya transfer panasnya. Dengan tujuan meningkatkan aspek

modularitasnya, dimensi reaktor vessel FCR ini lebih kecil dari S-PRISM dengan tinggi 19 meter dan diameter 6.34 m. Desain tidak dilengkapi dengan sistem isolasi seismik, maka untuk menahan berat pendingin ketika terjadi gempa bumi dinding reaktor vessel dipertebal menjadi 25 cm. Dengan mempertebal dinding bejana reaktor akan menyebabkan penurunan tajam dalam tingkat pembuangan panasnya, hal ini diperbaiki dengan menambahkan logam cair pada celah antara bejana reaktor dan dinding bejana reaktor.

Desain lain terkait dengan reaktor yang menerapkan sistem keselamatan pasif adalah reaktor Korea Lead-cooled Fast Reactor (KLFR). Reaktor KLFR memiliki rating daya 900MWth, 372 MWe, dan juga menggunakan modifikasi desain RVACS untuk sistem penghapusan panas peluruhannya. KLFR menggunakan logam cair timbal sebagai bahan pengisi celah antara bejana reaktor dan dinding bejana reaktor. Meskipun sistem penghapusan panas reaktor KLFR sama dengan reaktor FCR, tetapi pemilihan logam cair timbal masih banyak dipertanyakan. Dalam analisis lapisan logam yang mengisi celah antara bejana reaktor dan dinding bejana reaktor dianggap cairan, dan arus konveksi dilibatkan dalam perhitungan perpindahan panas, namun timbal akan berbentuk padat pada suhu operasi normal dari reaktor, logam cair tersebut akan memerlukan waktu untuk mencair sebelum mode perpindahan panas dilakukan (Eoh *et al*, 2005).

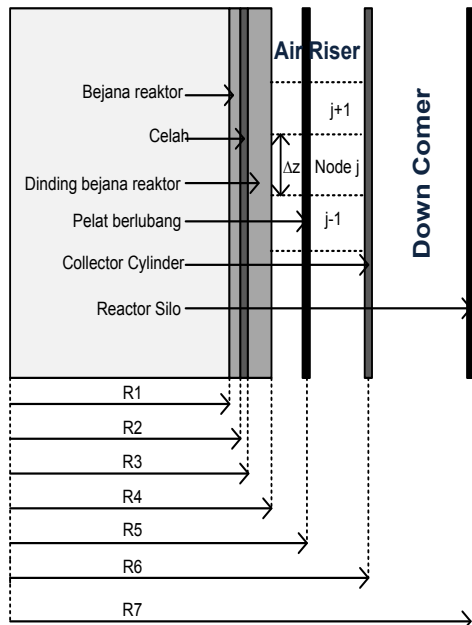
METODE

Kinerja RVACS merupakan fungsi dari perbedaan tekanan antara aliran udara masuk (*airflow inlet*) dan aliran udara keluar (*airflow outlet*), temperatur udara yang masuk, variasi densitas udara di sepanjang jalur aliran dan karakteristik hilangnya tekanan di saluran. Perbedaan tekanan antara *inlet* dan *outlet* serta temperature *inlet* RVACS dapat dipengaruhi juga oleh arah dan kecepatan angin (Heineman *et al*, 1988). Desain reaktor terdiri dari *reactor vessel* (bejana reaktor), interior *reactor vessel* dan eksterior *guard vessel*, yang dipisahkan oleh suatu celah yang diisi pendingin logam cair. Desain model RVACS yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema reaktor tipe pool

Panas diambil oleh aliran udara yang turun dari *downcomer* kemudian naik melalui *air riser* dan keluar melalui *chimney* yang digerakkan oleh gaya *bouyancy* yang disebabkan oleh perubahan densitas udara. Panas dikonveksikan oleh udara melalui dua permukaan yaitu dinding luar bejana reaktor dan separator. Panas ditransferkan ke separator melalui radiasi termal dari dinding bejana reaktor, kemudian panas dikonduksikan melalui bejana reaktor dan dinding bejana reaktor.



Gambar 3. Geometri RVACS

Gambar 3 memperlihatkan geometri RVACS secara lengkap. Dalam desain RVACS ditambahkan pelat pemisah pada permukaan dinding bejana reaktor (tetapi tidak bersentu-

han dengan *reactor vessel*) dengan tujuan untuk mengurangi panas pada proses konveksi. Pelat pemisah dalam sejumlah perhitungan kadang-kadang diabaikan.

Asumsi yang digunakan pada desain RVACS ini adalah :

1. Analisis dilakukan pada keadaan tunak
2. Temperatur bejana reaktor dan dinding bejana reaktor dianggap konstan pada arah azimuthal.
3. Separator memiliki isolasi yang sempurna.
4. Koefisien perpindahan panas konveksi (*h*) konstan pada arah azimuth di riser.
5. Semua *inlet* dan *outlet* cerobong memiliki isolasi yang sempurna.
6. Perpindahan panas konveksi antara pendingin dan dinding dalam reaktor sepenuhnya konstan.
7. Temperatur pendingin bervariasi secara linier dalam arah aksial.
8. Perpindahan panas yang melewati celah logam cair dimodelkan secara konduksi.
9. Konduksi dan radiasi aksial diabaikan.

Mengacu pada Gambar 3, maka perhitungan perpindahan panas meliputi: perpindahan panas dari dinding *reactor vessel* ke separator dihitung melalui proses radiasi: (Whitman, 2007)

$$Q_{in,s,j} = C_G A_G (T_{G,j}^4 - T_{S,j}^4) \tag{1}$$

A_G adalah luas permukaan *dinding reactor vessel*, T_G dan T_S masing-masing adalah temperatur dinding *reactor vessel* dan temperatur separator, sedangkan C_G didefinisikan oleh: (Whitman, 2007)

$$C_G = \sigma \left[\frac{1}{\epsilon_G} + \frac{A_G}{A_S} \left(\frac{1}{\epsilon_S} - 1 \right) \right]^{-1} \tag{2}$$

Dimana σ adalah konstanta boltzman, ϵ_g dan ϵ_s masing-masing adalah emisivitas dari dinding *reactor vessel* dan separator. Perpindahan panas dari separator ke udara dimodelkan dengan proses konveksi murni:

$$Q_{out,S,j} = h_j A_S (T_{S,j} - T_{bulkair,j}) \tag{3}$$

Koefisien perpindahan panas konveksi, h_j dihitung mengacu pada: (Heineman, 1988)

$$h_j = 0,0229 Re_j^{0,8} Pr_j^{0,4} \frac{k_{air,j}}{D_h} \left(\frac{T_{G,j}}{T_{air,j}} \right)^{-0,4} \left[1 + \left(\frac{z_j}{D_h} \right)^{-0,36} \right] \tag{4}$$

Maka total perpindahan panas yang me-

lewati dinding *reactor vessel* adalah :

$$\dot{Q}_{out,G,j} = h_j A_G (T_{G,j} - T_{bulkair,j}) + \dot{Q}_{in,S,j} \quad (5)$$

Perpindahan panas ke permukaan luar dinding *reactor vessel* dari pendingin primer dimodelkan secara konduksi. Pendekatannya melalui resistansi seri antara temperatur pendingin dan temperatur dinding luar dinding *reactor vessel* : (Whitman, 2007)

$$R_{TOT} = R_C + R_R + R_{GAP} + R_G \quad (6)$$

dimana :

$$R_C = (h_C \pi D_1 \Delta z)^{-1}$$

$$R_{cylinder} = \frac{\ln(D_{out}/D_{in})}{\pi k \Delta x} \quad (7)$$

k adalah konduktivitas termal material yang mengisi celah antara *reactor vessel* dan dinding *reactor vessel*. D_{out} dan D_{in} masing-masing merupakan diameter luar dan diameter dalam silinder. Maka perpindahan panas yang masuk ke dinding *reactor vessel* adalah :

$$\dot{Q}_{in,G,j} = R_{TOT}^{-1} (T_{C,j} - T_{G,j}) \quad (8)$$

Aliran massa dihitung berdasarkan keseimbangan antara gaya apung (buoyancy) dan rugi-rugi tekanan (Whitman, 2007):

$$\dot{m} = \sqrt{\frac{\Delta P_b}{c}} \quad (9)$$

$$\Delta P_b = \sum_{j=1}^N \rho_j (\Delta \bar{H}_j \cdot \bar{g}) \quad (10)$$

$$c = \sum_{j=1}^N \left(K_j + f_j \frac{L_j}{D_{h,j}} \right) (2\rho_j A_j)^{-1} \quad (11)$$

$$f_j = 0.11 \left(\frac{\xi}{D_h} + \frac{68}{R_e} \right)^{0,25} \quad (12)$$

dengan,

ΔP_b : koefisien *thermal bouyancy*

C : pressure drop dari rugi bentuk dan rugi gesekan.

K : koefisien rugi bentuk.

f : koefisien rugi gesekan.

D_h : diameter hidrolis.

μ : rata-rata densitas udara

A : luas area saluran.

g : percepatan gravitasi.

ΔH : perubahan elevasi.

ξ : *sain-grain rougness*.

R_e : bilangan *Reynold*.

Untuk mendapatkan perhitungan yang akurat dari sistem model RVACS, densitas udara, panas spesifik, viskositas dan konduktivitas panas harus dimodelkan sebagai fungsi temperatur udara ataupun tekanan. Perhitungan densitas udara dilakukan melalui pendekatan persamaan gas ideal :

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{P}{RT} \quad (13)$$

Keterangan : ,

P : tekanan (Pa)

T : temperatur (K)

R : konstanta gas untuk udara (287 J/kg K).

Perhitungan besaran lainnya dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$C = 1034,09 - (0,284887) T + (7,816818 \times 10^{-4}) T^2 - (4,970789 \times 10^{-7}) T^3 + (1,077024 \times 10^{-10}) T^4. \quad (J/Kg K) \quad (14)$$

$$k = -2,2276501 \times 10^{-3} + (1,2598485 \times 10^{-4}) T - (1,4815235 \times 10^{-7}) T^2 + (1,4815235 \times 10^{-10}) T^3 - (1,066657 \times 10^{-13}) T^4 + (2,47663035 \times 10^{-17}) T^5. \quad (W/mK) \quad (15)$$

$$\mu = (-0,98601 + (9,080125 \times 10^{-2}) T - (1,17635575 \times 10^{-4}) T^2 + (1,2349703 \times 10^{-7}) T^3 - (5,7971299 \times 10^{-11}) T^4) \times 10^{-6}. \quad (kg/ms) \quad (16)$$

Untuk mempermudah perhitungan, penukar panas dibagi menjadi beberapa partisi dengan tinggi yang sama, sedangkan inlet/outlet saluran (*duct*) menjadi simpul tertentu dengan panjang independen. Temperatur inlet udara dan tekanan untuk masing-masing titik partisi, dipengaruhi oleh *titik partisi* sebelumnya. Seluruh properti udara dihitung di bagian inlet, dan diasumsikan konstan di sepanjang saluran. *Pressure drop* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Whitman, 2007):

$$P_{in,j+1} = P_{in,j} - \rho \left(f_j \frac{L V^2}{2 D_h} + K \frac{V^2}{2} \right) \quad (17)$$

Perubahan temperatur dihitung hanya untuk bagian panas dari sistem RVACS. Perpindahan panas ke udara pada node dihitung dengan menggunakan penjumlahan persamaan (5), setelah temperatur dinding luar *reactor vessel* dan temperatur pelat berlubang ditentukan. Peningkatan temperatur ini kemudian dihitung dari :

$$T_{out,j} = T_{in,j} + \frac{Q_{total,j}}{mC_p} \quad (18)$$

Keterangan: ,

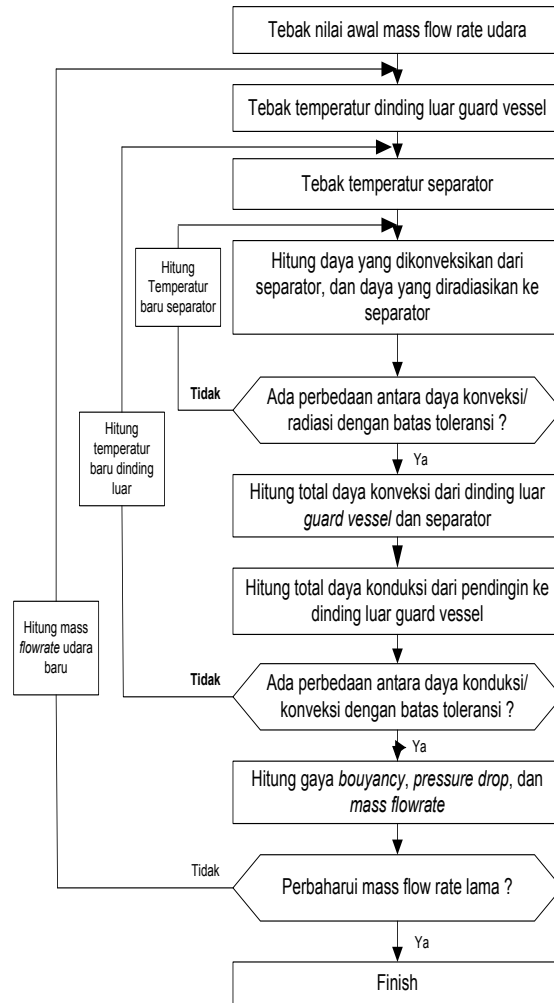
$T_{in,j}$ dan $T_{out,j}$: temperatur *inlet* dan *outlet* node ke-j

$Q_{total,j}$: total perpindahan panas ke udara.

m : laju alir massa.

Solusi pendekatan dilakukan dengan terlebih dahulu menebak laju alir massa awal, temperatur dinding luar *reactor vessel* dan temperatur separator. Kemudian hitung gaya *bouyancy* dan rugi-rugi tekanan, proses dilakukan secara iterasi sampai tercapai keseimbangan antara laju alir massa dengan gaya *bouyancy*. Gambar 4 menunjukkan diagram alir perhitungan.

Perhitungan dilakukan melalui tahapan : perhitungan laju alir massa udara, kemudian menghitung temperatur yang terdapat pada dinding luar *guard vessel*. Setelah itu menghitung temperatur separator yang terdapat pada reaktor dan menghitung daya yang dikonveksikan dari separator, dan daya yang diradiasikan ke separator. Apabila tidak terdapat perbedaan nilai antara daya konveksi atau radiasi dengan batas toleransi, maka harus menghitung kembali temperatur separator, namun jika terdapat perbedaan antara daya konveksi atau radiasi dengan batas toleransi, maka perhitungan dilanjutkan dengan menghitung total daya konveksi dari dinding luar *guard vessel* dan separator. Berikutnya, melakukan perhitungan total daya konduksi dari pendingin ke dinding luar *guard vessel*. Apabila hasil perhitungan yang dilakukan tidak memiliki perbedaan nilai antara daya konduksi atau konveksi dengan batas toleransi maka harus menghitung kembali temperatur dinding luar *guard vessel*, Namun jika terdapat perbedaan perhitungan dilanjutkan dengan menghitung gaya *bouyancy*, *pressure drop*, dan *mass flow rate*. Pada tahap akhir dilihat nilai laju alir massa yang didapat, jika tidak terdapat perbedaan maka perhitungan kembali pada tahap awal, namun jika terdapat pembaruan nilai laju alir massa maka hasil yang didapatkan telah selesai.



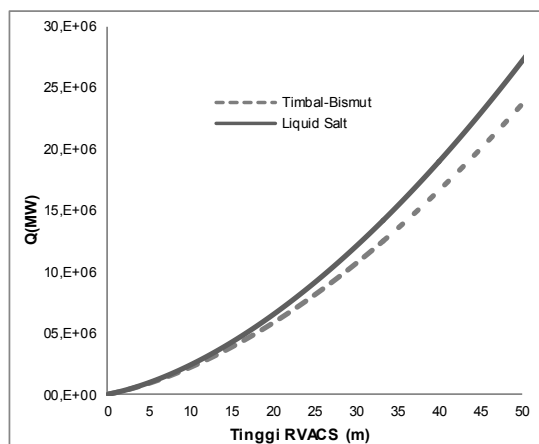
Gambar 4. Diagram alir perhitungan desain RVACS

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap pertama penghitungan dilaksanakan sesuai desain referensi pada Tabel 1. Analisis yang dilakukan melingkupi temperatur pendingin saja. Jika hasil analisis yang didapat di bawah suhu maksimum kelongsong, maka desain dapat dikatakan berhasil, dikarenakan tingkat daya pembuangan yang melewati kelongsong sangat kecil dan hanya ada nilai resistansi termal yang cukup kecil antara kelongsong dan pendingin utama. Simulasi dilakukan pada saat reaktor mengalami kecelakaan dan secara prosedural sistem kendali melakukan proses shutdown, sehingga menyisakan panas sisa peluruhan sebesar 1% sampai dengan 3% dari total daya thermal reaktor.

Tabel 1. Parameter desain RVACS

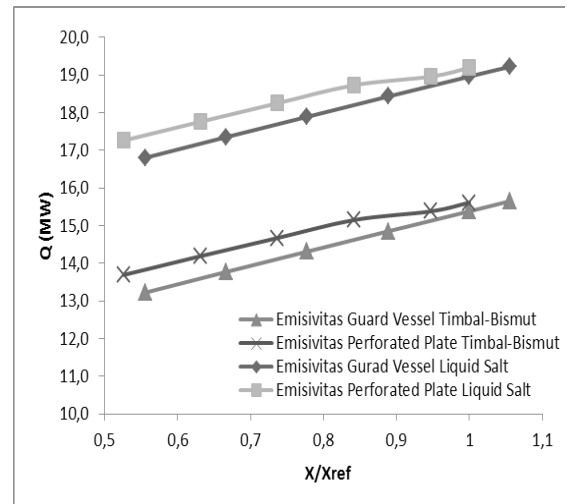
Komponen Desain	Nilai
Daya Reaktor	2400 MW
Pendingin	LiF-BeF ₂ dan Pb-Bi
Bahan bakar	UCO (Uranium Oxycarbide)
Tinggi RVACS	50 m
Downcomer gap	9.13 m
Jari-jari dalam reactor vessel	8.02 m
Ketebalan reactor vessel	0.1 m
Ketebalan guard vessel	0.03

**Gambar 5.** Total panas yang dapat dihapus RVACS pada desain referensi

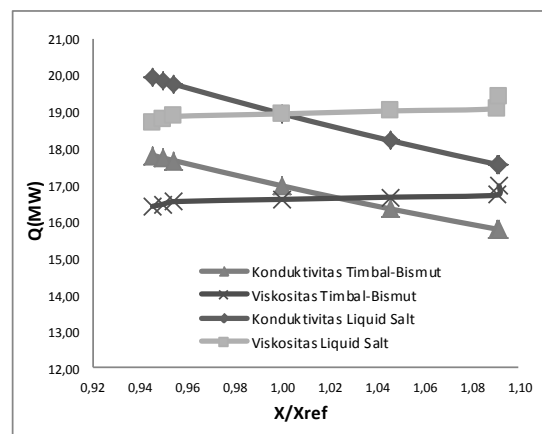
Analisis perhitungan pembuangan panas RVACS dimulai dengan menghitung total perpindahan panas pada desain referensi dan diperoleh bahwa RVACS berbahan pendingin liquid-salt dapat menghapus panas sebesar 28,80 MWt atau sebesar 1,2 %, dan untuk pendingin timbal-bismut penghapusan panas sebesar 25,05 MWt atau 1,04% dari total daya termal reaktor, terlihat pada Gambar 5. Pembuangan panas dihapus sistem RVACS oleh sirkulasi natural dari atmosfer di sekitar *reactor vessel* pada keadaan tunak. Model yang dianalisis mengambil asumsi bahwa koefisien transfer panas dan faktor friksi berdasarkan kasus aliran turbulen.

Gambar 6 memperlihatkan efek dari kinerja RVACS akibat optimasi aspek properti *emisivitas guard vessel* dan *perforated plate*. Dimana optimasi aspek properti emisivitas dikatakan meningkat apabila kinerja RVACS mencapai nilai *emisivitas guard vessel* dan *perforated plate* mendekati nilai 1. Optimasi *emisivitas guard vessel* dan *perforated plate*

pada liquid-salt mendekati 1 saat nilai daya thermal reaktor bernilai 18,96 MWt dan 19,19 MWt. Sedangkan *emisivitas guard vessel* dan *perforated plate* pada timbal-bismut mendekati nilai 1 saat nilai daya thermal reaktor bernilai 15,38 MWt dan 15,61 MWt.

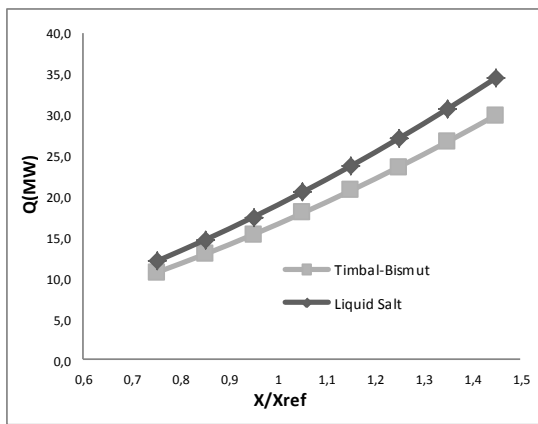
**Gambar 6.** Efek perubahan nilai emisivitas *guard vessel* dan *perforated plate*.

Gambar 7 memperlihatkan efek dari kinerja RVACS akibat optimasi aspek viskositas dan konduktivitas udara. Optimasi properti konduktivitas udara dari kedua pendingin tidak memiliki peningkatan daya perpindahan panas RVACS. Sedangkan optimasi properti viskositas dari kedua pendingin memiliki peningkatan daya perpindahan panas RVACS namun tidak begitu signifikan.

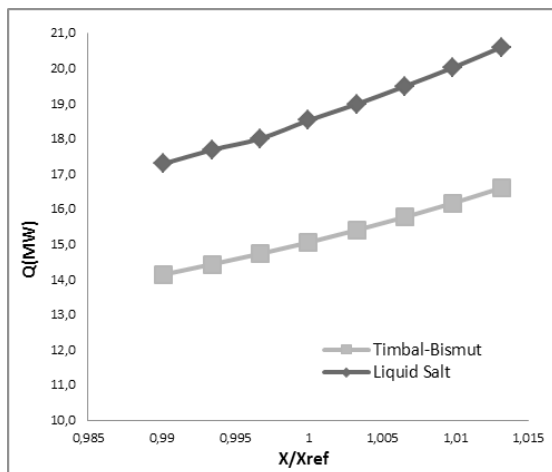
**Gambar 7.** Efek perubahan viskositas dan konduktivitas udara.

Gambar 8 sampai dengan Gambar 10 berturut-turut memperlihatkan hasil simulasi optimasi aspek geometri RVACS. Optimasi ter-

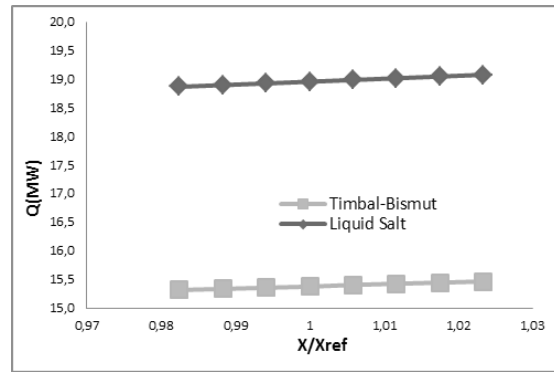
hadap perubahan tinggi RVACS memperlihatkan dampak yang cukup signifikan terhadap kinerja RVACS, sedangkan optimasi diameter hanya mampu menghasilkan nilai 17,3 MWt sampai dengan 21,61 MWt untuk pendingin *liquid-salt* dan untuk pendingin timbal-bismut menghasilkan nilai 14,15 MWt sampai dengan 16,61 MWt, namun untuk optimasi channel gap tidak memberikan perubahan kinerja RVACS sama sekali. Optimasi tinggi RVACS pada pendingin *liquid-salt* mampu mencapai nilai maksimum 34.5 MWt dan timbal-bismut mencapai 29.93 MWt. Dari hasil tersebut menunjukkan optimasi tinggi RVACS pada bahan pendingin *liquid-salt* memiliki nilai optimasi lebih baik dari timbal-bismut.



Gambar 8. Efek perubahan tinggi RVACS.

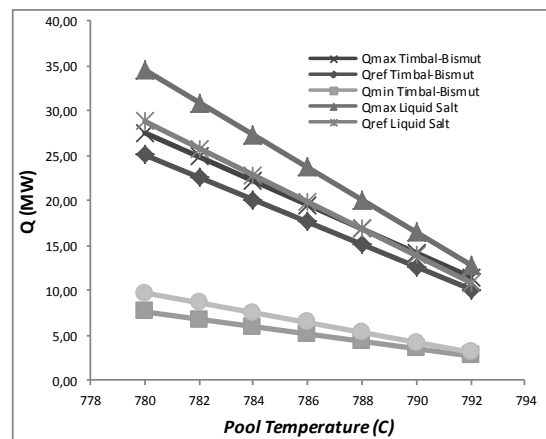


Gambar 9. Efek perubahan diameter RVACS.



Gambar 10. Efek perubahan *channel gap*.

Gambar 11 memperlihatkan rangkuman hasil optimasi untuk desain minimum, desain referensi dan desain maksimum. Hasil simulasi menyimpulkan bahwa desain teoritis berpendingin *liquid-salt* ini mampu menghapus panas antara 0,45 % sampai dengan 1,44 %. Sedangkan pendingin timbal-bismut mampu menghapus panas antara 0,42 % sampai dengan 1,14 % dari daya termal reaktor. Kinerja RVACS dengan pendingin *liquid-salt* dan timbal-bismut sama-sama memiliki kinerja yang baik sebagai komponen pasif reaktor, dikarenakan memiliki kemampuan menghapus panas sisa peluruhan di atas 1%. Pendingin *liquid-salt* memiliki titik didih sebesar 1400 °C dan titik leleh 460 °C sedangkan timbal-bismut memiliki titik didih 1670°C dan titik leleh 125 °C.



Gambar 11. Kapabilitas penghapusan panas dari RVACS.

RVACS harus memiliki kemampuan untuk menjaga suhu reaktor di bawah batas desain dengan menggunakan sirkulasi natural. RVACS menggunakan konveksi alami udara untuk menghilangkan panas dari bejana reaktor. Udara dari atmosfer sekitar masuk ke dalam bangunan reaktor dan mengalir di sekitar

dinding reaktor. Pada saat reaktor kehilangan panas sementara, suhu pendingin dan bejana reaktor akan meningkat. Peningkatan suhu ini akan meningkatkan perpindahan panas radiasi di seluruh dinding reaktor. Sistem RVACS akan melindungi bejana reaktor dari kerusakan berat yang ditimbulkan selama transien. (Triplett *et al*, 2012). RVACS memiliki kapasitas yang cukup untuk menghapus panas sisa peluruhan yang terjadi sekitar 24 jam setelah reaktor *shutdown*. Kelebihan sistem RVACS adalah dalam operasionalnya tidak memerlukan tindakan operator (Ahfeld *et al*, 2011)

PENUTUP

Desain konseptual RVACS sebagai komponen keselamatan pasif yang memiliki kemampuan menghapus panas sisa peluruhan, telah diterapkan pada desain reaktor VHTR. Sirkulasi natural akibat peran udara sekitar dapat menghapus panas sesaat setelah reaktor *shut down*. Kedua jenis pendingin yaitu Timbal-Bismut dan Liquid Salt yang disimpan pada celah antara *reactor vessel* dan *guard vessel* dapat direkomendasikan sebagai logam cair yang handal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah A., G., Su'ud, Z., Shafii, M., A., (2011), Desain Konseptual Sistem Keselamatan Pasif pada Reaktor Cepat Berpendingin Timbal-Bismut, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR – BATAN*, Bandung, p.107-112.
- Ahlfeld C., Burke T., Ellis T., Hejzlar P., Weaver K., Whitmer C., Gilleland J., Cohen M., Johnson B., Mazurkiewicz S., McWhirter J., Odedra A., Touran N., Davidson C, Walter J., Petroski R., Zimmerman G., Weaver T., Schweiger P. and Russick R., (2011) Conceptual Design of a 500 MWe Traveling Wave Demonstration Reactor Plant, *Proceedings of ICAPP 2011 Nice*, France, May 2-5, 2011 Paper 11199
- Boardman C., Dubberley A., Carrol D., Hui M., Fanning A. dan Kwant W. (2000) : A Description of the S-PRISM Plant, *Proceedings of ICONE 8*, Baltimore, MD, USA.
- Chapin, D., Kiffer, S., Nestell, J., (2004), The Very High Temperature Reactor: A Technical Summary, *MPR Associates, Inc*, Alexandria
- Davis, C. B., and Hawkes G. L., (2006), Thermal-Hydraulic Analyses Of The LS-VHTR, Idaho National Laboratory.
- Eoh J.H., Kim J.B., Kim S.J. dan Kim S.O. (2005), Design and Performance of the Passive Decay Heat Removal System in a Lead-cooled Fast Reactor, *Proceedings of ICAPP*, Seoul, Korea.
- Forsberg C., W., (2006), Alternative Passive Decay-Heat Systems for the Advanced High-Temperature Reactor, *Proceedings of ICAPP '06*, Reno, NV USA, June 4–8 2006, paper 6055.
- Heineman, J., Kraimer, M., dan Lottes, P., (1998), Experimental And Analytical Studies of A Passive Shutdown Heat Removal System for Advanced LMR's, *Argonne National Laboratory*, Illinois.
- Lamars, J.R. and Baratta, A.J., (2001), Introduction to Nuclear Engineering, 3rd Ed., Prentice Hall, New Jersey.
- Nikiforova, A., Hejzlar, P., dan Todreas, N., E. (2009), Lead-Cooled Flexible Conversion Ratio Fast Reactor, *Nuclear Engineering and Design*, **239**, 2596-2611.
- Novitrian, Waris, A., Viridi, S., Su'ud, Z., (2013), Preliminary Study of Safety Analysis of Pb-Bi Cooled Small Power Reactor with Natural Circulation, *Advanced Materials Research*, Vol. 772, p 519-523.
- Su'ud, Z., (1996), Accident Analysis of Lead or Lead-Bismuth Cooled Small Safe Long-Life Fast Reactor using Metallic or Nitride Fuel, *Nucl. Eng. And Design*, **162**, p 205-222.
- Triplett B., S., Loewen E., P., Dooies, B., J., (2012), PRISM: A Competitive Small Modular Sodium-Cooled Reactor, *Nuclear Technology*, Vol. 178, p186-200.
- Westinghouse Electric Company (2011) , Passive Safety-Related System, http://www.ap1000.westinghousenuclear.com/ap1000-safety_psr.html.
- Whitman, J., (2007), Design of Passive Decay Heat Removal System for The Lead Cooled Flexible Conversion Ratio Fast Reactor, *Nuclear Science and Engineering*, Massachusetts Institute of Technology.
- Wibisono, A., F., Ahn, Y., Wesley C. W., Addad, Y., Jeong Ik Lee, (2013), Studies of Various Single Phase Natural Circulation Systems for Small and Medium Sized Reactor Design, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 262, September 2013, p390–403.
- Zhukov, A. V., Sorokin, A. P., Kuzina, Yu. A., 2013, Emergency cooling down of fast-neutron reactors by natural convection (a review), *Thermal Engineering*, Vol. 60, Issue 5, pp.345-354

STUDI PERBANDINGAN ANALISIS UNSUR PLUMBUM (PB) DARI HASIL ELEKTROLISIS ANTARA METODE LASER- INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS) DENGAN METODE KONVENSIONAL

COMPARATIVE ANALYSIS STUDY OF PLUMBUM (PB) ELECTROLYSIS SAMPLE BETWEEN LASER- INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS) AND CONVENTIONAL METHOD

H. Suyanto^{1,3*}, M. Manurung^{2,3}, D.N.Sinaga¹

¹Jurusan Fisika, ²Jurusan Kimia, ³Kelompok Riset Material Sain dan Teknologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

Diterima: 13 April 2014. Disetujui: 21 April 2014. Dipublikasikan: Juli 2014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis unsur Pb hasil proses elektrolisis dengan metode alternatif laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) dan metode konvensional. Elektrolisis menggunakan tembaga (Cu) sebagai katoda dan karbon sebagai anoda. Unsur Pb yang terdeposisi pada katoda diirradiasi laser Nd-YAG (model CFR 200, 1064nm) dan emisinya (Pb I 405.7 nm) ditangkap spektrometer HR 2500⁺⁺ yang kemudian ditampilkan dalam intensitas fungsi panjang gelombang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi laser, arus listrik dan waktu deposisi proses elektrolisis yang optimum untuk karakterisasi unsur Pb masing - masing adalah 100 mJ, 5,28 mA dan 15 menit. Aplikasi metode ini untuk analisis kuantitatif larutan Pb dengan membuat kurva kalibrasi dari konsentrasi 300 ppm sampai konsentrasi terendah yaitu 0,5 ppm, serta diperoleh deteksi limit sebesar 0,44 ppm. Sebagai perbandingan metode deteksi dengan LIBS ini telah dilakukan analisis dengan metode konvensional dengan menentukan selisih massa katoda sebelum dan sesudah elektrolisis dan diperoleh hasil yang sebanding.

ABSTRACT

The aim of this research was to compare between a method of laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) and the conventional one to analyse of Plumbum (Pb) element resulted from electrolysis process. Electrolysis used copper (Cu) and carbon (C) as cathode and anode respectively. Plumbum element which was deposited on cathode was irradiated by Nd-YAG laser (model CFR 200, 1064nm) and its emission intensity of neutral Pb I 405.7 nm in the plasma was captured by HR 2500⁺⁺ spectrometer and displayed in a form of intensity as a function of wavelength. The experiment result showed that the optimum condition parameters of electrolysis: laser energy, electric current and electrolysis time duration were 100 mJ, 5.28 mA and 15 minutes respectively. An application of these conditions was done to make calibration curve of Pb element in liquid sample from 300 ppm to 0.5 ppm and resulted a limit of detection (LOD) of 0.44 ppm. As a comparison of this method, the weighed the mass of the cathode (Cu) before and after electrolysis had been calculated by conventional method. The data showed that these two methods are proportional.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: electrolysis, Pb elemen; laser energy; LIBS method; conventional method

***Alamat Korespondensi:**

Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361.
E-mail: hery6@yahoo.com

PENDAHULUAN

Analisis suatu unsur yang terkandung dalam sampel cair merupakan suatu hal yang paling penting dalam aplikasi kehidupan sehari-hari. Banyak peralatan yang digunakan untuk tujuan tersebut diantaranya AAS, ICP dan lain-lain (James, 1988). Tetapi peralatan tersebut harganya cukup mahal dan melalui proses agak rumit. Salah satu peralatan sederhana yang dapat digunakan untuk analisis unsur tersebut adalah metode elektrolisis. Prinsip dasar proses ini adalah mengionkan unsur-unsur dalam sampel cair dengan memberikan beda tegangan (atau mengalirkan arus DC) dalam larutan tersebut melalui dua elektroda dan menarik ion-ion tersebut menempel pada salah satu elektrodanya (Laird, 2009). Selanjutnya elektroda ini dianalisis untuk mengetahui jumlah atau massa unsur yang menempel melalui suatu metode menurut Faraday (Hobart, 1988) yaitu dengan cara menimbang elektroda sebelum dan sesudah elektrolisis yang mana selisih massanya merupakan massa unsur-unsur dalam cairan yang menempel pada elektroda. Kelemahan metode konvensional ini, bila dalam larutan tersebut mengandung sejumlah unsur, maka selisih jumlah massa tersebut merupakan massa total dari semua unsur. Sehingga sulit untuk menentukan konsentrasi masing-masing unsur dalam larutan tersebut. Sehingga dalam penelitian ini bertujuan selain untuk mencari metode baru dalam menganalisis hasil elektrolisis juga untuk mengatasi kelemahan metode konvensional tersebut. Metode alternatif tersebut adalah metode *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS). Untuk tujuan ini maka perlu dicari kondisi optimum penelitian diantaranya berapa energi laser, waktu elektrolisis dan arus listrik yang cocok untuk analisis unsur dalam sampel cair. Sehingga metode ini nantinya dapat menggantikan metode konvensional.

Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) merupakan spektroskopi atomik yang sangat handal untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif untuk sampel padat, cair maupun gas. Sampel hasil elektrolisis diirradiasi laser dan terbentuk plasma yang berisikan elektron-elektron, atom-atom netral, ion-ion dan atom-atom tereksitasi. Pada saat elektron-elektron dalam atom tereksitasi turun ke keadaan dasar (*ground state*) akan melepaskan energi dalam bentuk foton dan ditangkap oleh spektrometer yang ditampilkan dalam intensitas fungsi panjang gelombang (Kurniawan, 2014). Intensitas

menyatakan konsentrasi atau jumlah suatu unsur yang berada dalam sampel sedangkan panjang gelombang menunjukkan jenis unsur-nya. Sehingga dapat memilih unsur apa yang akan dianalisis. Semua hasil analisis dengan LIBS ini dibandingkan dengan metode konvensional yang mana untuk memvalidasi kebenaran metode ini. Untuk memudahkan analisis, maka pada penelitian ini menggunakan larutan standar Pb.

METODE

Proses elektrolisis pada penelitian ini menggunakan elektroda yaitu tembaga (Cu) sebagai katoda dan karbon (C) sebagai anoda dengan ukuran masing-masing panjang 5 cm, lebar 0,8 cm, tebal 0,02 cm (Cu) dan tebal 0,4 cm (C) (Yudiandika, 2010). Pasangan elektroda ini dirangkai secara seri dan diberikan arus listrik DC dengan katoda ke kutub negatif dan anoda ke kutub positif. Selanjutnya elektroda ini dimasukkan ke dalam 30 ml larutan elektrolit standar yang mengandung unsur Pb. Dalam penelitian ini ada 3 parameter yang harus dioptimasi diantaranya: besarnya arus listrik, waktu deposisi dan besarnya energi laser yang cocok untuk analisis unsur Pb. Prosedur penelitian, teknik pengambilan data dan cara menganalisis dari ketiga parameter tersebut diuraikan sebagai berikut.

Untuk optimasi energi laser, larutan elektrolit Pb yang digunakan konsentrasi 300 ppm, waktu elektrolisis 30 menit dan arus listrik 5.28 mA. Pengambilan data dilakukan dengan cara, unsur Pb yang mengendap pada katoda hasil elektrolisis diirradiasi Laser Nd-YAG (model CFR 200, 1.064 nm, 7 ns) dengan menggunakan energi laser yang bervariasi dari 20 mJ sampai 120 mJ dan terbentuk plasma. Intensitas emisi unsur Pb dalam plasma ditangkap oleh spektrometer ocean optic HR 2500⁺⁺ (resolusi 0.1 nm FWHM, range panjang gelombang 200 – 980 nm, 14,336 pixels CCD) dengan akumulasi 2, *delay time* 0.5 μ s dan hasilnya ditampilkan dalam spektra intensitas fungsi panjang gelombang oleh *software OOILIBS*. Data spektra ini dianalisis dengan menggunakan *software AddLIBS* dan *Microsoft Excel* menghasilkan grafik dan jenis-jenis unsur-nya, sehingga dapat ditentukan kondisi optimum energi laser yang cocok untuk analisis suatu unsur hasil elektrolisis ini.

Untuk optimasi arus listrik, larutan elektrolit Pb yang digunakan konsentrasi 300 ppm, waktu elektrolisis 30 menit dan arus bervariasi

dari 1 mA sampai 1 A dengan memvariasi nilai hambatannya. Dalam tahap ini, energi laser yang digunakan adalah hasil optimasi pada tahap sebelumnya. Selanjutnya teknik pengambilan data dan analisisnya sama dengan saat mencari kondisi optimum energi laser yang telah diuraikan di atas.

Untuk optimasi waktu deposisi, larutan elektrolit Pb yang digunakan konsentrasi 300 ppm, waktu elektrolisis divariasi dari 5 menit sampai dengan 30 menit dengan menggunakan arus listrik dan energi laser hasil optimasi tahap sebelumnya. Sedangkan teknik pengambilan data dan analisisnya sama dengan saat mencari kondisi optimum energi laser yang telah diuraikan di atas.

Aplikasi dari optimasi parameter elektrolisis dengan metode analisis LIBS ini digunakan untuk menentukan deteksi limit. Pada tahap ini konsentrasi larutan diturunkan mulai 300 ppm hingga ppm terkecil yang masih dapat dideteksi oleh LIBS. Semua hasil analisis dengan LIBS dibandingkan dengan metode konvensional yaitu menimbang massa katoda sebelum dan sesudah elektrolisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

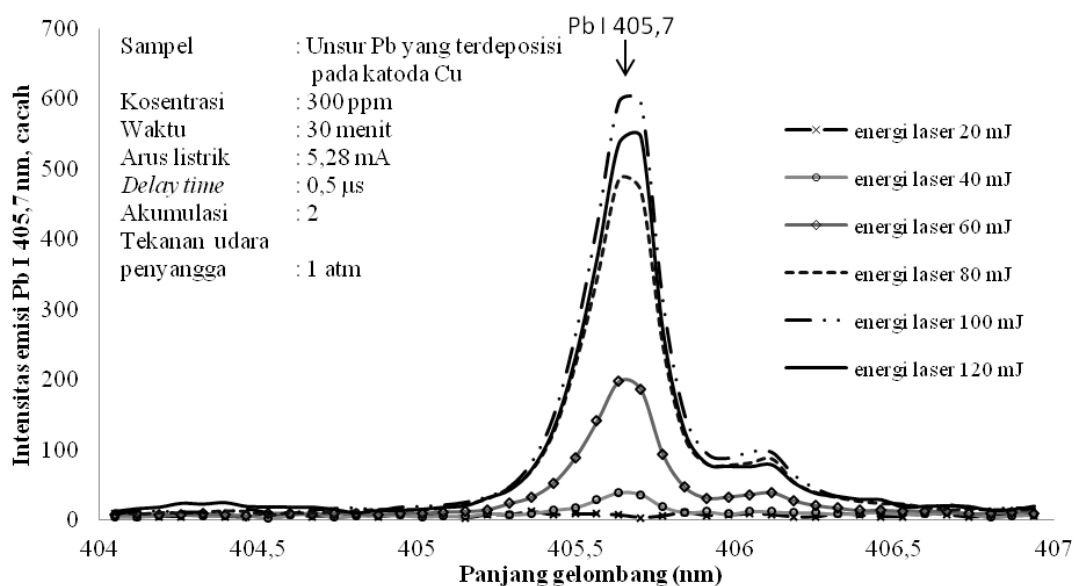
Seperti telah didiskusikan pada penelitian sebelumnya (Willard, 1988), bahwa salah satu kelemahan metode analisis konvensional dari hasil elektrolisis dengan cara menimbang massa elektroda sebelum dan setelah elektrolisis adalah tidak bisa mengetahui massa masing-masing unsur yang terdeposisi (Yudiandika, 2010), telah melakukan pemisahan logam perak (Ag) dari limbah fotografi dengan cara elektrolisis melalui variasi arus listrik dan bahan elektroda. Hasil elektrolisis kemudian dianalisis dengan metode konvensional dan diperoleh kondisi optimum untuk memisahkan logam perak dari limbah fotografi. Tetapi setelah dilakukan pengecekan dengan *atomic absorption spectroscopy* (AAS) terhadap limbah fotografi sebelum dan setelah elektrolisis, terdapat beberapa unsur lain yang terdeposisi pada elektroda yang mana termasuk pada massa yang tertimbang. Sehingga hasil analisisnya mengalami koreksi. Peneliti lain, (Marincan, 2001) telah melakukan analisis hasil elektrolisis dengan metode Laser-Induced Shock Wave Plasma Spectroscopy (LISPS) dengan laser TEA CO₂. (Lee, 2012) telah melakukan analisis dengan LIBS hasil deposisi unsur-unsur yang teradsorpsi oleh kertas filter (saring). Pada penelitian-penelitian ini tidak

mencantumkan kondisi optimum penelitian untuk menganalisis suatu unsur hasil elektrolisis dan tidak memvalidasinya dengan metode konvensional. Sehingga tidak bisa diaplikasikan untuk menganalisis pemisahan suatu unsur dalam cairan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dalam penelitian ini telah dilakukan analisis hasil elektrolisis melalui metode LIBS dengan memperhatikan kondisi optimum eksperimen dan membandingkan dengan metode konvensional dengan hasil diuraikan sebagai berikut.

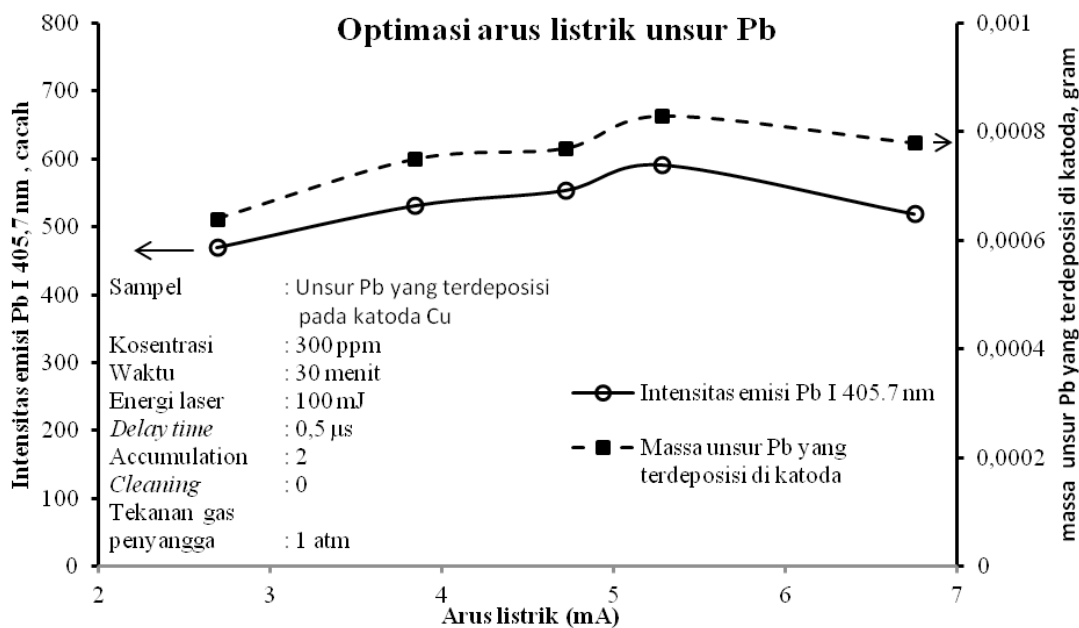
Penentuan optimasi energi laser dilakukan dengan menggunakan larutan elektrolit standar unsur Pb dengan konsentrasi 300 ppm, arus listrik tetap 5.28 mA dan waktu deposisi tetap 30 menit. Unsur Pb yang menempel pada elektroda Cu, kemudian dianalisis melalui LIBS dengan variasi energi laser dari 20 mJ sampai 120 mJ. Intensitas emisi photon unsur Pb pada panjang gelombang 405.7 nm (Fredrick, 1982) ditangkap spektrometer setelah 0.5 μ s dari terbentuknya plasma dengan akumulasi 2 kali dan hasilnya ditampilkan dalam intensitas fungsi panjang gelombang seperti pada Gambar 1.

Gambar 1 merupakan potongan dari spektra (200-980 nm) pada daerah emisi unsur atom Pb netral. Spektrum menunjukkan bahwa intensitas emisi atom netral Pb I (405,7 nm) meningkat dengan bertambah besarnya energi laser sampai energi laser 100 mJ dan menurun pada energi laser 120 mJ. Penurunan ini disebabkan karena lapisan tipis hasil elektrolisis tidak mampu memberikan gaya pantul yang cukup kuat saat diirradiasi laser dan menyebabkan atom-atom Pb yang terablasikan bergerak dengan kecepatan rendah. Atom-atom ini akan mengalami kompresi adiabatik dengan udara sekitarnya dan kemudian menghasilkan gelombang kejut (*shock wave*) (Kagawa *et al*, 1998) dengan energi lebih rendah dibandingkan pada saat diirradiasi laser 100 mJ. Sehingga jumlah atom-atom Pb yang dieksitasi oleh energi *shock wave* ini tidak terlalu banyak dan sebagai akibatnya intensitas emisi yang ditangkap oleh spektrometer menurun. Dengan demikian energi laser **100 mJ** adalah sangat cocok untuk mengeksitasi elektron-elektron dalam unsur Pb pada sampel terdeposisi (*thin film*) di katoda.

Berdasarkan spektra lengkap hasil LIBS dari panjang gelombang 200 nm sampai 980 nm, bahwa selain unsur Pb yang menempel pada katoda juga diperoleh unsur-unsur lain seperti natrium Na, silikon Si dan lain-lain dalam jumlah cukup kecil (kurang dari 2%) yang



gambar 1. spektrum emisi atom netral Pb I 405,7 nm untuk berbagai energi laser



Gambar 2. Grafik Intensitas emisi Pb I 405,7 nm fungsi arus listrik dan grafik massa Pb yang terdeposisi di katoda fungsi arus listrik

mana unsur-unsur ini yang tidak bisa dibedakan atau dianalisis oleh metode konvensional. Oleh karena sampel tersebut mengandung unsur Pb lebih dari 98 %, maka selanjutnya dalam penelitian ini, massa total yang terendapkan pada katoda Cu dianggap sama atau sebanding dengan massa unsur Pb.

Penentuan optimasi arus listrik dalam analisis unsur Pb dilakukan pada sampel hasil elektrolisis larutan Pb dengan konsentrasi 300 ppm, waktu deposisi 30 menit dan arus listrik yang bervariasi mulai 2,69 mA, 3,84 mA, 4,72

mA, 5,28 mA dan 6,75 mA. Pemilihan nilai arus ini disesuaikan dengan keadaan nilai hambatan geser yang diberikan. Massa total unsur Pb yang menempel pada katoda Cu dianalisis melalui metode konvensional dengan menimbang katoda Cu sebelum dan sesudah proses elektrolisis dengan *digital balance* (shimadzu, model AUW200D) dan selanjutnya dianalisis melalui metode LIBS dengan meradiasi laser dengan energi 100 mJ yang hasilnya ditampilkan pada Gambar 2.

Gambar 2, merupakan grafik intensitas

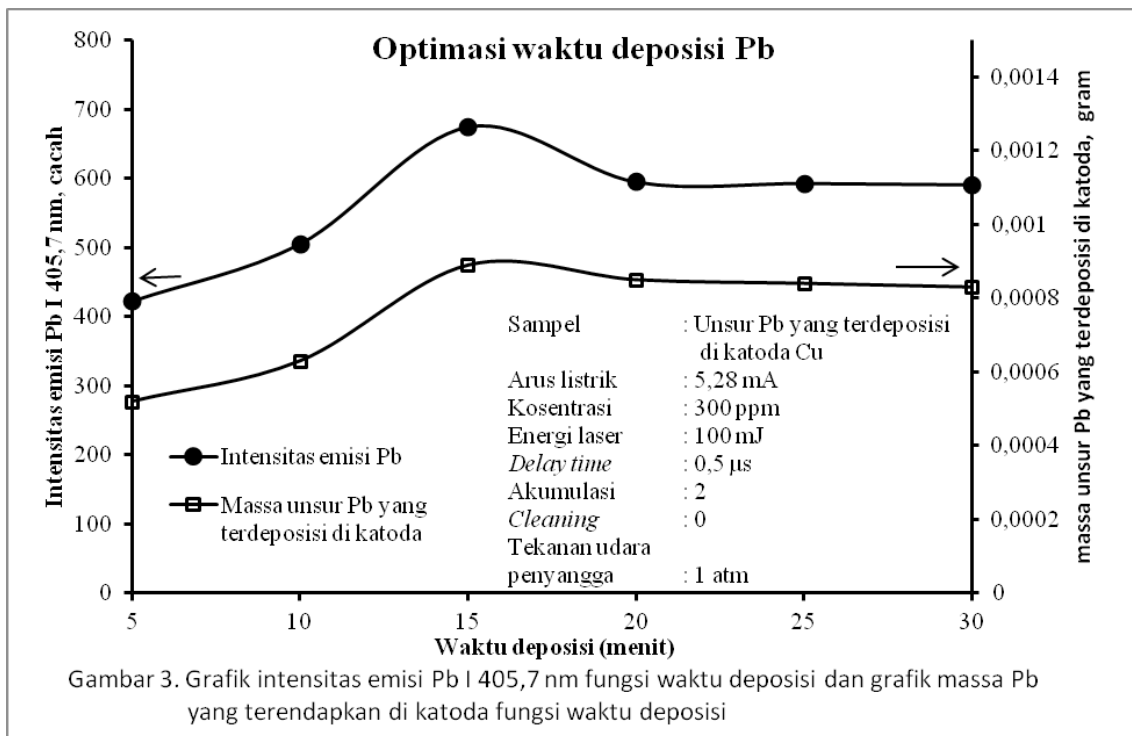
unsur Pb fungsi arus listrik dan grafik antara perubahan arus listrik terhadap jumlah massa total unsur yang terendapkan di katoda. Berdasarkan Gambar 2, bahwa intensitas emisi atom netral Pb I (405,7 nm) dan jumlah massa total yang terendapkan di katoda mempunyai kecenderungan yang sama yaitu meningkat dengan bertambah besarnya nilai arus listrik sampai 5,28 mA dan menurun pada arus listrik 6.75 mA. Penurunan ini disebabkan karena ketika diberikan arus listrik semakin besar maka dapat menyebabkan panas pada elektroda dan juga dalam larutan, yang mana menyebabkan kelarutan bertambah ke dalam larutan sehingga atom Pb yang menempel di katoda semakin berkurang atau lepas. Berdasarkan kondisi ini, maka arus listrik optimum yang digunakan pada proses elektrolisis untuk sampel Pb adalah 5,28 mA, yang mana memiliki intensitas emisi yang paling tinggi sebesar 591,33 cacah dengan massa Pb yang terendapkan sebesar 0,00083 gram.

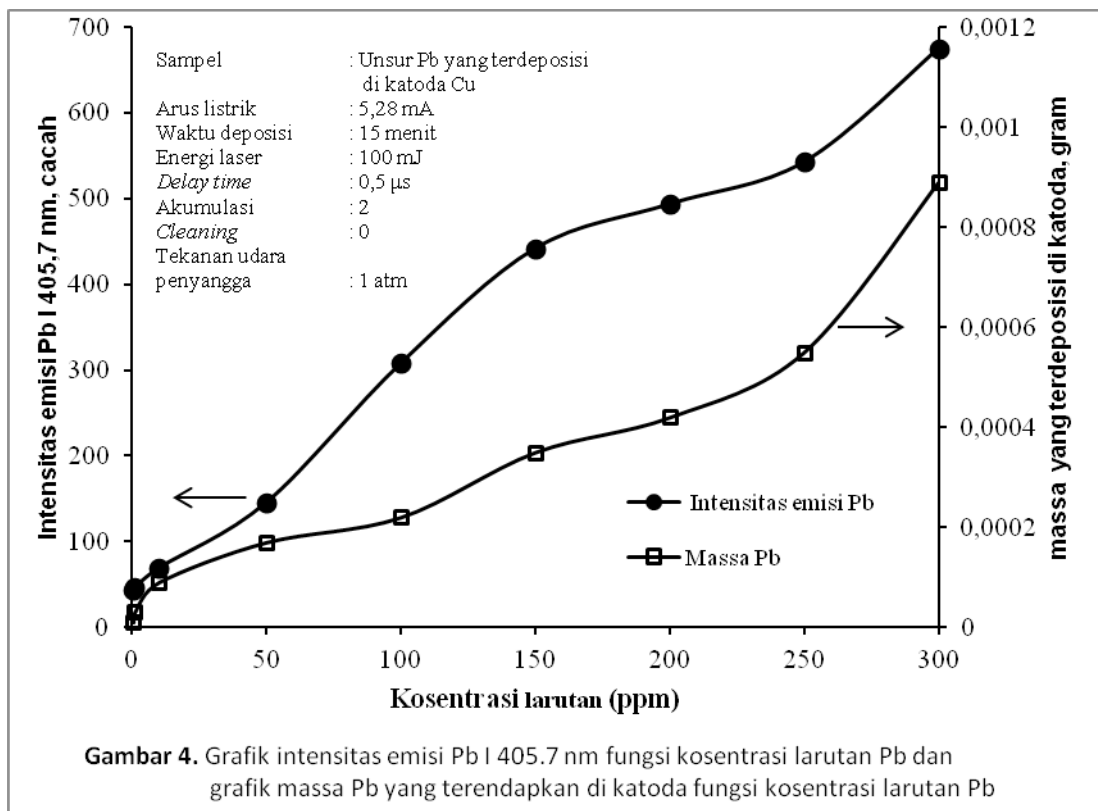
Langkah selanjutnya untuk menganalisis unsur Pb dalam sampel cair melalui proses elektrolisis adalah lama waktu deposisi. Penentuan optimasi waktu deposisi dalam analisis unsur Pb dilakukan pada sampel hasil elektrolisis larutan Pb dengan konsentrasi 300 ppm, arus listrik optimum 5,28 mA, dan waktu deposisi yang bervariasi mulai 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit sampai 30 menit. Massa Pb yang menempel pada katoda ditim-

bang (metode konvensional) dan kemudian diirradiasi dengan energi laser 100 mJ (metode LIBS) dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3, merupakan grafik intensitas emisi fungsi waktu deposisi dan grafik antara perubahan waktu deposisi terhadap jumlah massa Pb yang terendapkan di katoda. Gambar 3 menunjukkan bahwa intensitas emisi atom netral Pb I (405.7 nm) dan jumlah massa Pb yang terendapkan di katoda mempunyai kecenderungan yang sama yaitu meningkat dengan bertambah besarnya waktu deposisi sampai 15 menit dan menurun pada waktu 20 menit sampai 30 menit. Penurunan ini disebabkan karena lapisan atom Pb pada katoda sudah mengalami kejenuhan, sehingga semakin besar waktu yang diberikan, akan menyebabkan sebagian atom Pb yang sudah menempel lepas kembali ke larutan dan sebagai akibatnya intensitas emisi unsur Pb turun. Oleh karena itu waktu deposisi yang optimum pada sampel Pb ini adalah 15 menit, yang mana memiliki intensitas emisi yang paling tinggi yaitu 675 cacah dengan massa Pb yang terendapkan paling besar yaitu 0,00089 gram.

Setelah diketahui kondisi optimum eksperimen diantaranya energi laser, arus listrik dan lama waktu elektrolisis, maka metode ini dapat diuji keandalannya yaitu salah satunya digunakan untuk aplikasi analisis kuantitatif. Analisis ini digunakan untuk mengetahui kon-





sentralisasi suatu unsur dalam sampel baik dalam *part per million* (ppm) ataupun dalam persen (%). Ketelitian metode dalam analisis ini ditentukan oleh seberapa rendah konsentrasi yang dapat dianalisis yang disebut deteksi limit (*limit of detection*, LOD).

Penentuan deteksi limit konsentrasi larutan dalam analisis unsur Pb dilakukan pada sampel hasil elektrolisis larutan Pb dengan konsentrasi larutan bervariasi mulai konsentrasi 300 ppm sampai konsentrasi 0.5 ppm, menggunakan hasil optimum arus listrik 5,28 mA dan waktu deposisi optimum 15 menit. Massa Pb yang menempel di katoda ditimbang dan kemudian diirradiasi dengan laser berenergi 100 mJ, dan hasilnya ditampilkan pada gambar 4.

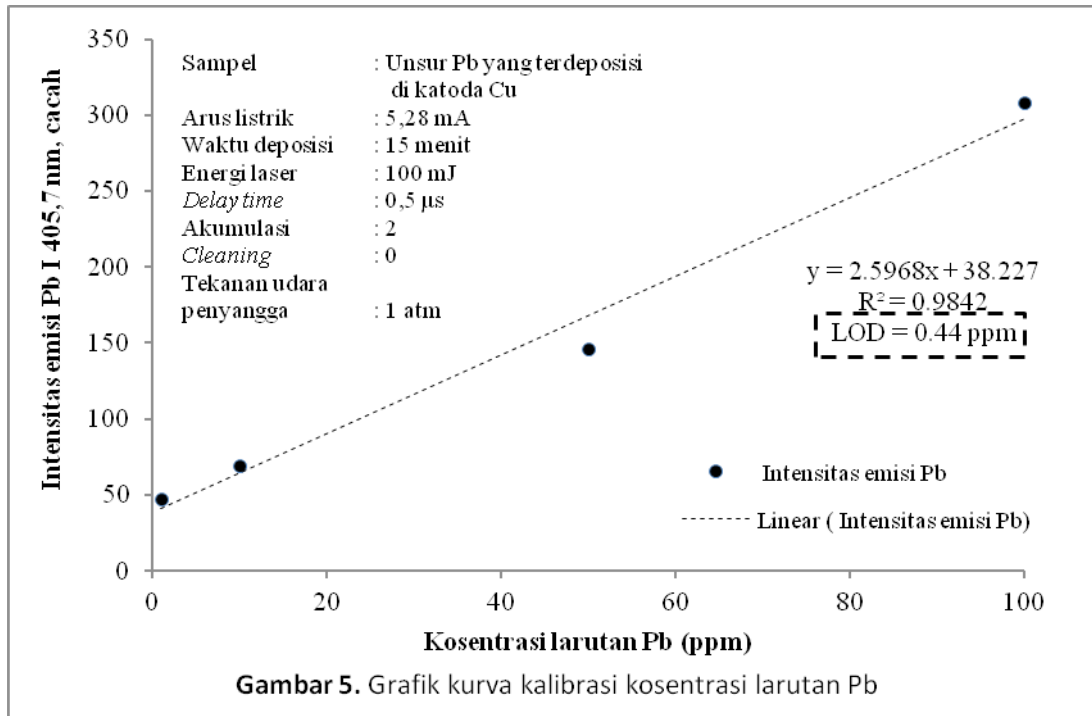
Gambar 4 merupakan grafik intensitas emisi fungsi konsentrasi larutan Pb dan grafik antara jumlah massa Pb yang terendapkan di katoda terhadap perubahan konsentrasi larutan Pb. Grafik menunjukkan bahwa intensitas emisi atom netral Pb I (405,7 nm) meningkat dengan bertambah besarnya nilai konsentrasi larutan mulai 0,5 ppm sampai 300 ppm, demikian juga untuk jumlah massa yang menempel pada katoda. Untuk konsentrasi rendah < 50 ppm grafik mempunyai kecenderungan slop yang sama antara intensitas emisi atom dengan jumlah massa yang terdeposisi pada katoda. Tetapi untuk konsentrasi di atas 50 ppm, slop kemir-

gan intensitas emisi atom lebih besar dibanding dengan jumlah massa yang terdeposisi. Ini disebabkan kerapatan unsur Pb tiap satuan luas yang menempel di katoda pada konsentrasi tinggi adalah lebih besar dibandingkan pada konsentrasi rendah, sehingga jumlah unsur Pb di luasan titik fokus laser lebih banyak dan sebagai akibatnya intensitas emisi unsur Pb meningkat tajam.

Untuk mengetahui konsentrasi minimum unsur Pb yang dapat dideteksi dengan metode LIBS ini, maka perlu dihitung deteksi limit melalui persamaan regresi linier dari empat data ppm terkecil dan hasilnya seperti pada Gambar 5. Pada Gambar 5, menunjukkan bahwa hasil regresi dari nilai konsentrasi larutan Pb dari 100 ppm sampai 0.5 ppm yang memiliki nilai R^2 yaitu 0,984. Berdasarkan persamaan regresi $y = 2,596x + 8,2$ dan diperoleh deteksi limitnya 0,44 ppm (Radziemski, 2006).

PENUTUP

Berdasarkan data – data hasil elektrolisis yang dianalisis dengan metode LIBS mempunyai korelasi yang sangat tinggi dengan hasil metode konvensional yang menghitung beda massa katoda sebelum dan sesudah elektrolisis. Sehingga metode LIBS merupakan salah



satu alternatif untuk analisis hasil elektrolisis. Kondisi optimum arus listrik dan waktu deposisi unsur Pb pada proses elektrolisis masing-masing adalah 5.28 mA dan 15 menit. Sedangkan kondisi optimum energi laser untuk analisis unsur Pb hasil elektrolisis dengan LIBS adalah 100 mJ. Aplikasi dari metode analisis ini telah diperoleh deteksi limit unsur Pb dalam larutan sebesar 0.44 ppm. Keunggulan metode analisis dengan LIBS terhadap metode konvensional dalam menganalisis hasil elektrolisis adalah metode LIBS dapat menganalisis kosentrasi masing-masing unsur yang terdeposisi pada elektroda yang mana akan bermanfaat untuk analisis pemisahan unsur dalam sampel cair. Data menunjukkan bahwa selain unsur Pb juga terdeposisi unsur-unsur lain meskipun jumlahnya cukup kecil (kurang dari 2%) yaitu unsur natrium Na, silicon Si yang mana unsur-unsur ini yang tidak bisa dibedakan atau dianalisis oleh metode konvensional. Ini disebabkan karena metode konvensional hanya mengetahui jumlah massa total unsur yang terdeposisi dan tidak mengetahui jenis unsurnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada lembaga penelitian dan pengabdian kepada masyarakat (LPPM) universitas udayana yang telah membantu dana untuk pelaksanaan penelitian ini melalui kontrak no:175A.15/UN14.2/PNL.01.03.00/2013 dan laboratorium riset ber-

sama FMIPA –Unud yang telah memberikan fasilitas peralatan LIBS

DAFTAR PUSTAKA

- Fredrick M. Phelps III (1982). *M.I.T. Wavelength Tables* Vol. 2. The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.
- Hobart H. Willard, Lynne L. Merritt, Jr, John A. Dean, and Frank A. Settle, Jr (1988). *Instrumental Methods of Analysis*. Seventh Edition, Wadsworth Publishing Company, Belmont, California.
- James D. Ingle, JR and Stanley R. Crough.(1988). *Spectrochemical Analysis*. Prentice-Hall, Inc. Englewood, New Jersey
- Kurniawan, K.H., May On Tjia, and K. Kagawa (2014). Review of Laser-Induced Plasma, Its Mechanism, and Application to Quantitative Analysis of Hydrogen and Deuterium. *Applied Spectroscopy Review*, 49(5).
- Kagawa, K., & Kurniawan, H. (1998) " Laser-Induced Shock Wave Plasma Spectroscopy " Trends in *Applied spectroscopy*, 2
- Laird, B. B. (2009). *University Chemistry*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Marincan Pardede, Hendrik Kurniawan, Tjia May On, Kazuhiro Ikezawa, Tadashi Mayurama and Kiichiro Kagawa (2001). Spectrochemical Analysis of Metal Elements Electrodeposited from water samples by Laser-Induced Shock Wave Plasma Spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 55(9)
- Radziemski L.J. and D.A Cremers. 2006. *Handbook of Laser Induced Breakdown Spectroscopy* . England: John Wiley and Sons Ltd.

Yonghoo Lee, Se-Wong Oh, Song-Hee Han. (2012). Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) of Heavy Metal Ions at the Sub-Part per Million Level in Water. *Appl. Spectrosc.* 66(12): 1385-1396

Yudiandika, P. (2010). Studi Pemisahan Logam Per-

ak (Ag) dari Limbah Fotografi Rumah Sakit dengan Metode Elektrolisis melalui Variasi Arus Listrik dan Bahan Elektroda. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Udayana, Karya Ilmiah

SINTESIS NANOSERAT POLI(VINIL ALKOHOL) DALAM BENTUK LEMBARAN DENGAN PEMINTAL ELEKTRIK MULTI NOZEL DAN KOLEKTOR DRUM

SYNTHESIS OF POLY(VINYL ALCOHOL) NANOFIBERS MEMBRANE VIA MULTI NOZZLE SPINNERET AND DRUM COLLECTOR

A. Y. Nuryantini¹, M. P. Ekaputra¹, M. M. Munir², T. Suciati³, Khairurrijal^{1*}

¹KK Fisika Material Elektronik,

²KK Fisika Teoretik Energi Tinggi & Instrumentasi, Fakultas Matematika & Ilmu Pengetahuan Alam,

³KK Farmasetika, Sekolah Farmasi,
Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Diterima: 1 Februari 2014. Disetujui: 2 Maret 2014. Dipublikasikan: Juli 2014

ABSTRAK

Sistem pemintalan elektrik jarum tunggal dan kolektor bidang memiliki kelemahan, yaitu laju produksi yang rendah. Untuk mengatasinya digunakan sistem jarum banyak yang berjejer (multi nozel) dan kolektor berbentuk silinder berputar (kolektor drum). Banyaknya jarum dimaksudkan untuk menambah laju produksi, kolektor drum berputar dimaksudkan agar dihasilkan nanoserat dalam bentuk lembaran yang seragam. Tujuan penelitian adalah untuk menguji pengaruh medan listrik pada proses pemintalan elektrik multi nozel dan kolektor drum berputar, serta mengontrol morfologi nanoserat poli(vinil alkohol)/PVA yang dihasilkan dengan cara mengubah laju alir larutan. Hasil penelitian yang didapat adalah: (1) telah berhasil dibuat nanoserat PVA dalam bentuk lembaran yang menumpuk di kolektor drum, (2) pada pemintalan elektrik dengan sistem multi nozel terjadi distorsi medan listrik pada ujung jarum yang menyebabkan serat pada kolektor tidak rata, (3) morfologi nanoserat PVA yang dihasilkan pada laju alir 0,4 dan 0,6 $\mu\text{l}/\text{jam}$ banyak mengandung butiran, sedangkan pada laju alir 0,8 $\mu\text{l}/\text{jam}$ jumlah butiran berkurang.

ABSTRACT

Electrospinning system with single needle and planar collector has the disadvantage of a low productivity. To overcome this problem drum collector and multi-nozzle system were employed. The multi-nozzle system was used to improve the production rate, while the drum collector was used for maintaining the uniformity of the size. The purposes of this study were to examine the influence of electric field in the electrospinning process and to control the morphology of the obtained poly(vinyl alcohol)/PVA nanofibers by changing the solution flow rate. The obtained results were: (1) PVA nanofibers membrane have been successfully produced stacked on the drum collector, (2) distortion of the electric field at the tip of the needle was occurred, which results in inhomogeneous thickness of the stacked nanofibers, and (3) the morphology of the obtained nanofibers at the flow rates of 0.4 and 0.6 $\mu\text{l}/\text{hour}$ have many beads while at 0.8 $\mu\text{l}/\text{hour}$ the number of beads decreased.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: drum collector; flow rate; multi nozzle; nanofibers membrane

*Alamat Korespondensi:
Jalan Ganesa 10, Bandung 40132
E-mail: krijal@fi.itb.ac.id

PENDAHULUAN

Nanoteknologi semakin banyak diminati oleh berbagai kalangan, baik di kalangan industri maupun kalangan peneliti. Salah satu bidang nanoteknologi yang banyak menarik perhatian adalah nanoserat. Pergeseran ukuran serat dari ukuran mikron menjadi ukuran nano disebabkan serat dalam ukuran nano memiliki keunggulan yang lebih kaya. Beberapa keunggulan nanoserat di antaranya memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan serat sejenis dalam ukuran besar. Nilai perbandingan untuk nanoserat lebih besar seribu kali (10^3) dibandingkan dengan mikroserat (Huang *et al.*, 2003). Kelebihan tersebut membuat nanoserat bersifat lebih reaktif karena atom-atom di permukaan serat dapat bersentuhan langsung dengan material lain (Abdullah *et al.*, 2008). Kelebihan lainnya adalah lembaran nanoserat memiliki sifat kelenturan dan sifat mekanik yang unggul seperti kekenyalan, fleksibilitas, dan kekuatan tariknya (Huang *et al.*, 2003), nanoserat juga memiliki porositas yang tinggi (Yoon *et al.*, 2006).

Karena memiliki sifat yang unggul tersebut, nanoserat sudah banyak diaplikasikan untuk berbagai macam kepentingan, pada bidang energi misalnya digunakan sebagai pembuatan sel surya (Iskandar *et al.*, 2010; Munir *et al.*, 2008a; Munir *et al.*, 2008b), penghematan energi melalui pemanfaatan fosfor untuk lampu hemat energi (Suryamas *et al.*, 2009; Suryamas *et al.*, 2010; Suryamas *et al.*, 2011; Munir *et al.*, 2007), pada bidang kimia berupa katalis (Widiyandari *et al.*, 2009), pada bidang elektronik yaitu dalam pengembangan piranti sensor (Munir *et al.*, 2011).

Pada tubuh manusia sebenarnya ada sejumlah wujud yang berdimensikananometer dan berbentuk nanoserat. Kita mengenal *double helix* DNA yang memiliki diameter sekitar 2 nm dan ribosom dengan diameter sekitar 25 nm. Jaringan dan organ tubuh manusia seperti kulit, tulang, dentin, kolagen dan tulang rawan merupakan nanoserat secara bentuk dan struktur (Abdullah, 2009). Karena memiliki bentuk dan struktur yang mirip dengan jaringan dan organ tubuh manusia, nanoserat dapat pula diaplikasikan pada bidang biomedika, seperti untuk penutup luka (Chellamani *et al.*, 2012), rekayasa jaringan (Lu & Ding, 2008), pembawa obat (Sill *et al.*, 2008), dan aplikasi lainnya.

Banyak teknik yang dilakukan oleh para ahli maupun peneliti untuk membuat nanoser-

at, di antaranya teknik penarikan (*drawing*), pencetakan (*template synthesis*), pemisahan fasa (*phase separation*), penyusunan (*self assembly*), dan pemintalan elektrik (*electrospinning*) (Ramakrishna *et al.*, 2005). Dari beberapa teknik pembuatan nanoserat di atas, pemintalan elektrik merupakan salah satu teknik yang memiliki kelebihan dibandingkan teknik lain. Kelebihan tersebut di antaranya proses pembuatan serat yang mudah, serat yang dihasilkannya sangat panjang dan kontinu, ukuran serat dapat dikontrol dengan mengubah parameter proses, dapat dibuat dari beragam material (Ramakrishna *et al.*, 2005; Munir *et al.*, 2008). Pembuatan nanoserat dengan teknik pemintalan elektrik dilakukan dengan cara memberikan muatan pada larutan yang akan dilewatkan pada medan listrik yang tinggi. Sistem pemintalan elektrik terdiri dari sumber tegangan tinggi, kolektor, pompa, penyemprot dengan jarum tunggal (Munir *et al.*, 2008). Pemintalan elektrik dengan jarum tunggal dan kolektor bidang dikenal dengan sistem konvensional.

Untuk menghasilkan nanoserat yang dapat diterapkan pada berbagai bidang, pemintalan elektrik perlu dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan. Sistem pemintalan elektrik dengan jarum tunggal memiliki kelemahan, yaitu laju produksi yang rendah (Chase *et al.*, 2011). Beberapa peneliti kemudian mengembangkan sistem pemintalan untuk meningkatkan laju produksi seperti Tomaszewski *et al.*, melaporkan sistem pemintalan elektrik banyak jarum dengan bentuk berjajar, eliptik, dan konsentrik (Tomaszewski *et al.*, 2005). Chase *et al.*, mengembangkan sistem pemintalan elektrik dengan tabung berpori (*porous tubes*), gelembung (*bubble launched*), dan lapisan tipis yang ditiup (*blown-film*) (Chase *et al.*, 2011). Senturk-Ozer *et al.*, menggunakan sistem jarum banyak dengan menggunakan skrup ganda (*twin screw extruder*) (Senturk *et al.*, 2012).

Pada penelitian kami, untuk mengatasi kelemahan rendahnya laju produksi, digunakan pemintalan elektrik dengan sistem jarum banyak yang berjejer (multi nozel) dan kolektor berbentuk silinder yang dapat berputar (kolektor drum). Banyaknya jarum dimaksudkan untuk menambah laju produksi, kolektor berbentuk silinder agar dihasilkan nanoserat dalam bentuk lembaran, sedangkan kolektor berputar berfungsi untuk mempertahankan keseragaman nanoserat yang dihasilkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji pengaruh medan listrik di dalam proses pemintalan ele-

trik multi nozel dan kolektor drum dan mengontrol morfologi nanoserat poli(vinil alkohol)/PVA yang dihasilkan. Selama proses pembuatan nanoserat tersebut, pengamatan pengaruh medan listrik dan pengontrolan morfologi nanoserat dilakukan dengan cara mengubah laju alir larutan. Nanoserat dalam bentuk lembaran yang dihasilkan memiliki potensi sebagai penutup luka.

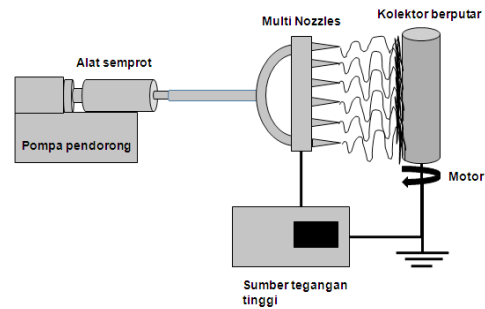
METODE

Untuk mengamati proses pemintalan elektrik dengan sistem jarum banyak dan kolektor drum berputar, digunakan bahan poli(vinil alkohol)/PVA. PVA dengan massa molekul 22.000 g/mol diperoleh dari Bratachem, Indonesia. Sebagai bahan pelarut digunakan aquades. PVA dilarutkan dalam aquades dan diaduk dengan menggunakan pengaduk magnetik selama 3 jam pada suhu 80°C, sehingga diperoleh larutan PVA 10 % berat yang homogen sebagai larutan awal (precursor).

Tahap selanjutnya dilakukan pemintalan dengan menggunakan sistem pemintal elektrik jarum banyak dan kolektor drum berputar. Skema sistem pemintalan elektrik jarum banyak dan kolektor drum berputar yang digunakan tampak pada Gambar 1. Cara pemintal diawali dengan memasukkan larutan awal pada penyemprot berupa kotak memanjang dengan jarum sebanyak enam buah berjajar dengan jarak antar jarum 2,5 cm. Jarak antara ujung jarum dan kolektor adalah 10 cm. Drum kolektor sebagai katoda dibungkus oleh aluminium foil tempat serat terdeposisi. Drum kolektor dihubungkan ke tanah. Penyemprot kemudian didorong oleh pompa dengan laju alir yang tetap dijaga. Tegangan tinggi dihubungkan pada ujung jarum. Larutan yang keluar dari ujung jarum ditarik medan listrik membentuk pancaran berupa Kerucut Taylor. Pancaran bergerak menuju kolektor sebagai penampung nanoserat yang dihasilkan.

Pengaruh medan listrik pada proses pemintalan elektrik pada sistem jarum banyak dan kolektor drum berputar diamati menggunakan kamera digital. Untuk mengamati pengaruh besarnya tegangan terhadap penyimpanan larutan yang keluar dari ujung jarum dilakukan variasi tegangan dari 7-11 kV. Untuk melakukan pengontrolan morfologi nanoserat, laju alir diubah-ubah dari 0,4 - 0,8 $\mu\text{l}/\text{jam}$. Untuk menganalisis struktur mikro nanoserat yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy*

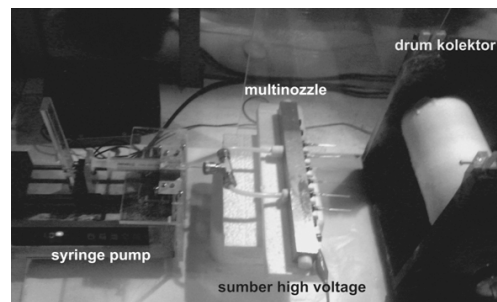
(SEM) tipe JEOL-JSM-6510LV.



Gambar 1. Skema sistem pemintal elektrik jarum banyak dan kolektor drum berputar.

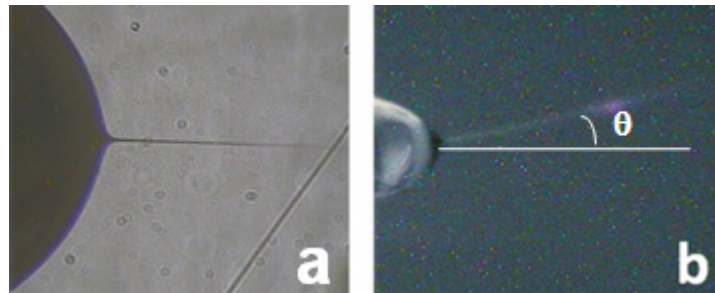
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kami telah berhasil membangun pemintal elektrik sistem jarum banyak dan kolektor drum yang dapat berputar. Jarum sebanyak enam buah diletakkan pada batang baja anti karat (*stainless steel*) berbentuk kotak. Jarum diletakkan berjajar dengan jarak antar jarum 2,5 cm. Bagian tengah batang baja dilubangi sebagai tempat larutan. Larutan didorong oleh pompa pendorong dengan laju alir yang dapat dikontrol. Kolektor berbentuk silinder terbuat dari aluminium pejal dan dipasang pada poros yang menahan putaran silinder. Kolektor dihubungkan pada motor untuk memutarinya. Kolektor berbentuk silinder dibuat dengan tujuan untuk menghasilkan nanoserat dalam bentuk lembaran.



Gambar 2. Sistem pemintal elektrik jarum banyak dan kolektor drum yang dapat berputar (Iskandar, 2014).

Pembuatan nanoserat dengan menggunakan pemintal elektrik sistem jarum banyak yang berjajar, terjadi fenomena berbeda dengan sistem pemintal elektrik konvensional. Pada sistem jarum banyak, ada interaksi medan listrik di sekitar seluruh ujung nozel. Interaksi medan listrik tersebut menyebabkan penyimpangan atau pembelokan larutan yang



Gambar 3. Kerucut Taylor pada (a) nozel tunggal, (b) multi nozel.

disemprotkan dari setiap nozel. Peristiwa ini dapat diamati dari Kerucut Taylor pada Gambar 3 (b) yang diperoleh dari hasil eksperimen pemintalan PVA 10 % berat dengan menggunakan nozel sebanyak enam buah yang diletakkan sejajar secara horizontal pada tegangan 10 kV.

Peristiwa pembelokan larutan yang dipancarkan oleh setiap nozel terjadi karena adanya interaksi muatan akibat kehadiran larutan bermuatan lain yang keluar dari jarum yang dijajarkan. Peristiwa serupa pernah dilaporkan oleh Angammana dan Jayaram dalam simulasi dua jarum yang dijejerkan (Angammana & Jayaram, 2011). Pembelokan larutan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada peristiwa pemintalan elektrik, larutan diberi muatan dan dilewatkan pada daerah yang memiliki medan listrik tinggi. Medan listrik adalah ruang di sekitar muatan listrik yang berpengaruh terhadap muatan yang lain. Besarnya medan listrik adalah:

$$E = \frac{F_E}{q} \quad (1)$$

dengan E adalah kuat medan listrik (N/C), q muatan listrik (C), dan F_E gaya listrik (N).

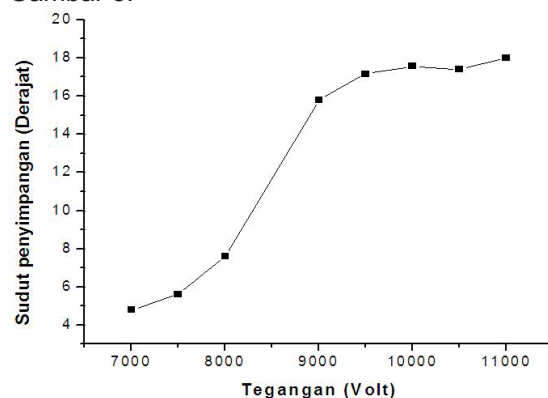
Ketika ada dua muatan atau lebih berdekatan, timbul gaya interaksi antar muatan tersebut. Gaya interaksi antara dua muatan atau lebih dapat dinyatakan dengan Hukum Coulomb yang diberikan oleh persamaan:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (2)$$

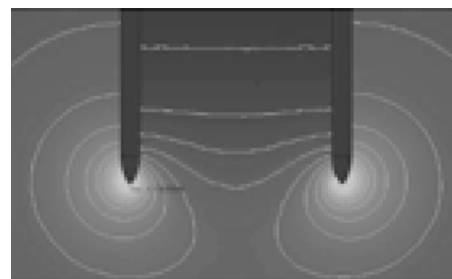
dengan k adalah sebuah konstanta (Nm^2/C^2), q besarnya muatan (C), dan r jarak kedua muatan (m).

Besarnya sudut penyimpangan pancaran larutan terhadap garis horizontal (θ), sangat dipengaruhi oleh besarnya tegangan. Semakin besar tegangan, semakin besar pula penyimpangannya (Angammana & Jayaram, 2011). Peristiwa ini dapat dilihat pada grafik pengaruh tegangan terhadap sudut penyimp-

pangan yang tampak pada Gambar 4. Pada tegangan 7 – 11 kV sudut penyimpangan cenderung naik. Kenaikan tegangan dari 8 kV menuju 9 kV menyebabkan sudut penyimpangan naik secara tajam. Akan tetapi, ketika tegangan dinaikkan lagi sampai 11 kV, sudut penyimpangan cenderung turun, bahkan mendekati saturasi. Terjadinya peristiwa saturasi disebabkan penyimpangan pancaran dari nozel mendapat gaya tolak dari muatan pada larutan yang keluar dari nozel lain di sampingnya. Peristiwa interaksi muatan dari pancaran dua nozel pada peristiwa pemintalan elektrik dapat dilihat dari Gambar 5.



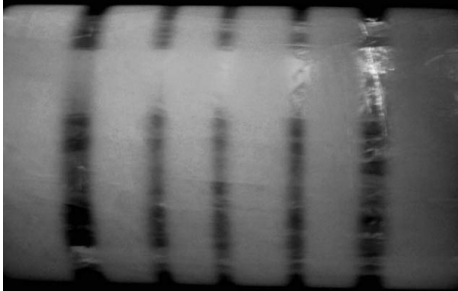
Gambar 4. Variasi sudut penyimpangan larutan PVA terhadap tegangan.



Gambar 5. Distribusi medan listrik pada dua jarum bermuatan (Angammana & Jayaram, 2011).

Akibat terjadinya penyimpangan pancaran larutan, nanoserat yang dihasilkan pada

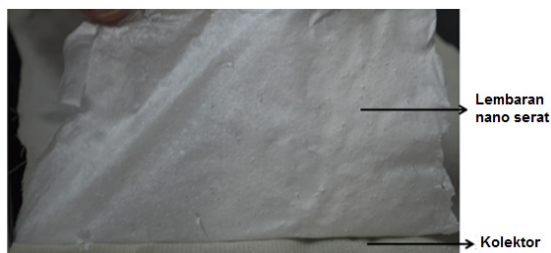
kolektor tidak rata, tetapi membentuk sebuah pola yaitu ada bagian kolektor yang terisi serat dan ada yang kosong, seperti yang telah dilaporkan sebelumnya (Nuryantini *et al*, 2014). Gambar 6 menunjukkan pola nanoserat pada kolektor yang dihasilkan oleh sistem jarum banyak.



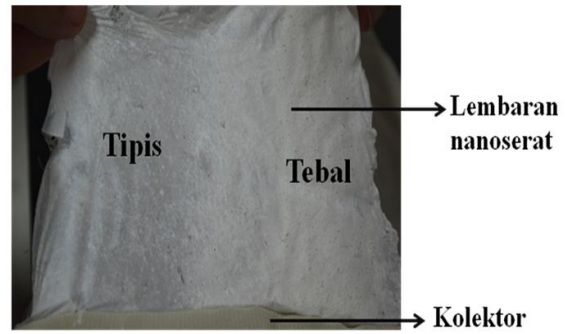
Gambar 6. Pola nanoserat pada kolektor yang dihasilkan oleh sistem jarum banyak.

Namun, secara sederhana, peristiwa tersebut dapat diatasi dengan cara menggeser kolektor dalam selang waktu tertentu. Hasilnya diperoleh nanoserat berupa lembaran dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan pemintalan elektrik konvensional. Lembaran yang dihasilkan tampak pada Gambar 7. Kelemahan menggeser kolektor secara manual diperlukan kecermatan dalam menentukan jarak pergeseran. Jika tidak cermat dalam menggeser kolektor akan diperoleh lembaran yang tidak rata ketebalannya, seperti tampak pada Gambar 8.

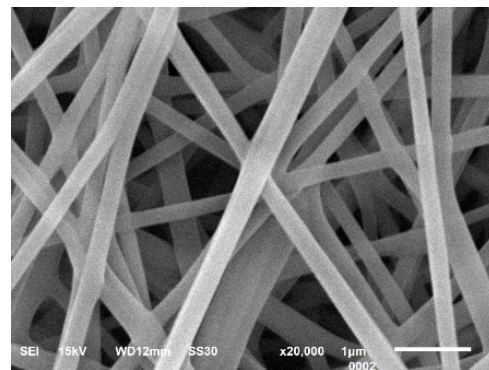
Morfologi nanoserat PVA yang dihasilkan dari pemintalan elektrik jarum banyak dan kolektor drum berputar ditunjukkan pada Gambar 9. Parameter pembentukan serat yaitu konsentrasi PVA 10 % berat, besarnya tegangan 15 kV, jarak antara ujung nozel dengan kolektor 10 cm, diameter luar jarum 0,6 mm, rotasi kolektor drum 50 rpm, dan laju alir 1 μ l/jam. Dari hasil citra SEM tampak bahwa nanoserat PVA ukurannya hampir seragam rata-rata (256 \pm 1,23) nm, dengan morfologi serat tanpa ada butiran.



Gambar 7. Lembaran nanoserat PVA yang dihasilkan dengan pemintalan elektrik multi nozel dan kolektor silinder berputar.



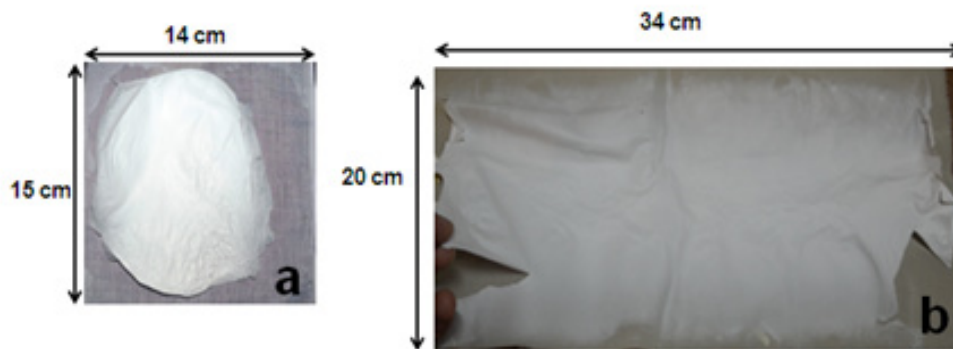
Gambar 8. Lembaran nanoserat PVA yang tidak merata ketebalannya akibat pergeseran yang tidak cermat dihasilkan dengan pemintalan elektrik multi nozel dan kolektor drum.



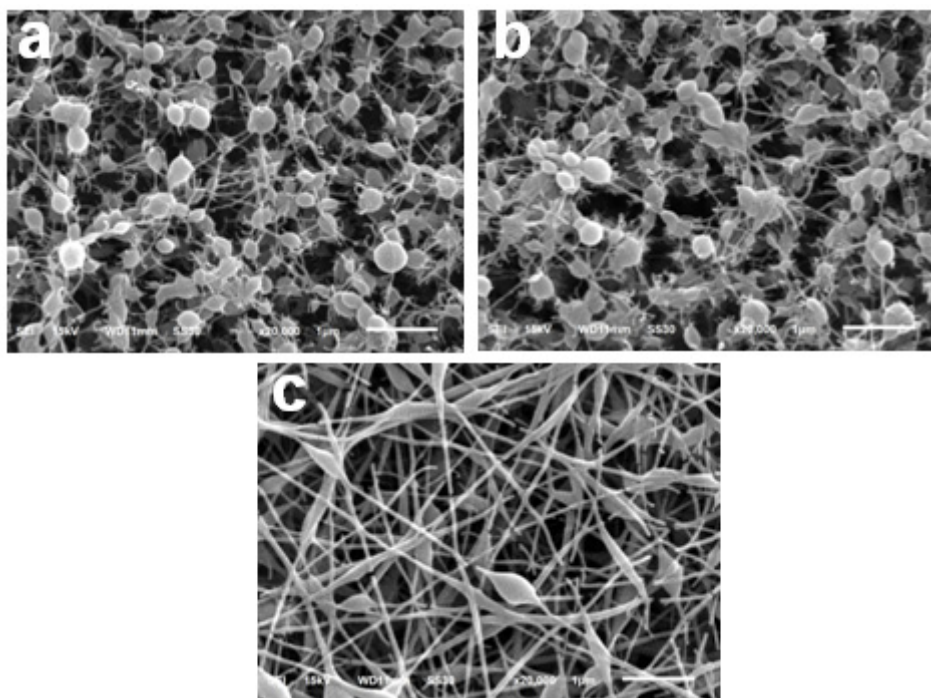
Gambar 9. Citra SEM PVA 10 % berat dengan besarnya tegangan yang digunakan 15 kV, laju alir 1 μ l/jam, jarak nozel-kolektor 10 cm, diameter luar jarum 0,6 mm.

Lembaran nanoserat yang dihasilkan oleh sistem jarum banyak dan kolektor drum berputar lebih luas dibandingkan dengan lembaran yang dihasilkan oleh sistem konvensional. Perbandingan luas lembaran nanoserat yang dihasilkan oleh masing-masing sistem tampak pada Gambar 10.

Nanoserat dalam bentuk lembaran memiliki potensi untuk diaplikasikan sebagai penutup luka. Kelebihan serat dalam ukuran nano sebagai penutup luka adalah memiliki luas permukaan dan volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan serat sejenis dalam ukuran besar, sehingga bersifat lebih reaktif karena atom-atom di permukaan serat dapat bersentuhan langsung dengan material lain (Abdullah *et al*, 2008). Nanoserat juga memiliki porositas yang tinggi (Yoon *et al*, 2006), sehingga nanoserat dapat memenuhi persyaratan perban ideal seperti permeasi gas yang lebih tinggi dan perlindungan luka dari infeksi dan dehidrasi. Dengan demikian, proses penyembuhan luka dapat dilakukan dengan lebih



Gambar 10. Perbandingan luas lembaran nanoserat yang dihasilkan oleh: (a) sistem konvensional, (b) sistem jarum banyak dengan kolektor drum.



Gambar 11. Citra SEM PVA 10 % berat yang dicampur dengan larutan kitosan 2 % berat dengan perbandingan 50 : 50 yang dipintal dengan tegangan 15 kV, jarak nozel dan kolektor 10 cm, diameter luar 0,6 mm, rotasi kolektor drum 50 rpm, dengan laju alir : (a) 0,4 (b) 0,6 (c) 0,8 $\mu\text{l}/\text{jam}$.

cepat dan lebih baik.

Untuk menghasilkan lembaran nanoserat dengan kualitas baik, maka perlu mengontrol morfologi dan jumlah butiran serat nano. Banyak faktor yang mempengaruhi pembentukan nanoserat agar diperoleh nanoserat yang halus tanpa butiran. Faktor-faktor tersebut adalah berat molekul, viskositas larutan, tegangan permukaan, konduktivitas larutan, tegangan yang digunakan, laju alir larutan, suhu, jenis kolektor, diameter nozel, jarak antara ujung nozel dan kolektor (Ramakrishna *et al.*, 2005). Pada penelitian ini, jumlah butiran dan morfologi serat diatur dengan cara yang mudah, yaitu

mengubah nilai laju alir. Besarnya laju alir berpengaruh pada diameter serat dan ukuran butiran (Ramakrishna *et al.*, 2005).

Gambar 11 merupakan citra SEM PVA 10 % berat yang dicampur dengan kitosan 2 % berat dengan perbandingan massa PVA : Kitosan = 50 : 50. Larutan dipintal dengan tegangan sebesar 15 kV, jarak antara ujung nozel dan kolektor 10 cm, diameter luar nozel 0,6 mm, rotasi kolektor drum 50 rpm, dengan laju alir yang divariasikan dari 0,4 - 0,8 $\mu\text{l}/\text{jam}$. Didapatkan bahwa pada laju alir yang rendah yaitu 0,4 dan 0,6 $\mu\text{l}/\text{jam}$, serat dengan morfologi yang baik belum terbentuk. Pada kondisi ini

morfologi serat masih berupa butiran. Pada laju alir 0,8 $\mu\text{l}/\text{jam}$ jumlah butiran berkurang, serat sudah mulai terbentuk dengan ukuran rata-rata ($88 \pm 1,29$) nm. Hal ini sejalan dengan yang dikemukakan oleh Miftah *et al.*, bahwa jumlah butiran berkurang sejalan dengan penambahan besarnya laju alir (Miftah *et al.*, 2009).

PENUTUP

Lembaran PVA yang terbentuk dari penumpukan nanoserat telah berhasil dibuat dengan menggunakan pemintalan elektrik sistem jarum banyak yang berjejer (*multi nozzle*) dan kolektor berbentuk silinder yang dapat berputar (kolektor drum). Pada pemintalan elektrik dengan sistem *multi nozzle* terjadi distorsi medan listrik pada ujung jarum, yang menyebabkan serat pada kolektor tidak rata. Morfologi nanoserat yang dihasilkan dapat dikontrol dengan mengubah parameter laju alir larutan. Agar nanoserat yang dihasilkan oleh pemintal elektrik sistem jarum banyak pada kolektor rata, perlu modifikasi kembali alat pemintal elektrik yang dapat menggeser kedudukan penyemprot bergerak secara otomatis ke samping kanan dan kiri. Lembaran nanoserat hasil pemintalan elektrik yang dihasilkan dengan alat pemintal elektrik sistem jarum banyak dan kolektor silinder berputar memiliki potensi untuk diaplikasikan sebagai penutup luka.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kegiatan penelitian ini didukung oleh Kementerian Negara Riset dan Teknologi, melalui insentif Riset Sistem Inovasi Nasional (SINas) tahun 2013 (No. Identitas RT-2013-1881).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Virgus, Y., Nirmin & Khairurrijal. (2008). Review: Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1: 33-57.
- Abdullah, M. 2009. *Pengantar Nanosains*. Bandung: Penerbit ITB.
- Angammana, C. J., Jayaram, S. H. (2011). Effects of Electric Field on the Multi-jet Electrospinning Process and Fiber Morphology. *IEEE Transaction*, 47:1-4.
- Beck, R., Guterres, S & Pohlmann, A. (2011). *Nanocosmetics and Nanomedicines: New Approaches for Skin Care*. New York: Springer.
- Chase, G. G., Varabhas, J. S., Reneker, D. H. (2011). New Methods to Electrospin Nanofibers. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 6: 32-38.
- Chellamani, K. P., Sundaramoorthy, P., Suresham, T. (2012). Wound Dressing Made Out of Poly Vinyl Alcohol/Chitosan Nanomembranes. *Journal of Academia and Industrial Research*, 1: 342-347.
- Fan, L-P., Zhang, K-H., Sheng, X-Y., He, C-L., Li, J., Mo, X-M., Wang, H-S. (2010). A Novel Skin-Care Product Based on Silk Fibroin Fabricated by Electrospinning. *Proceedings of 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE)*, 1- 4.
- Huang, Z.-M., Zhang, Y.-Z., Kotaki, M., dan Ramakrishna, S. (2003). A Review on Polymer Nanofibers by Electrospinning and Their Applications in Nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 63: 2223-2253.
- Iskandar, F., Suryamas, A. B., Kawabe, M., Munir, M. M., Okuyama, K., Tarao, T., dan Nishitani, T. (2010). Indium Tin Oxide Nanofiber Film Electrode for High Performance Dye Sensitized Solar Cells. *Japanese Journal of Applied Physics*, 49: 0102131- 0102133.
- Iskandar. (2014). *Sistem Elektrospinning Multinozel-Drum Kolektor dan Aplikasinya dalam Pembuatan Nanoserat Nikel Oksida untuk Material Anoda Baterai Li ion*. Tesis tidak diterbitkan. Bandung: SPS ITB.
- Lu, P. & Ding, B. (2008). Applications of Electrospun Fibers. *Nanotechnology*, 2: 169-182.
- Munir, M. M., Yun, K. M., Iskandar, F., Yabuki, A. & Okuyama, K. (2007). Heating Profile Effect on Morphology, Crystallinity, and Photoluminescent Properties of $\text{Y}_2\text{O}_3\text{:Eu}^{3+}$ Phosphor Nanofibers Prepared using an Electrospinning Method. *Japanese Journal of Applied Physics*, 46: 6705-6709.
- Munir, M. M., Widiyandari, H., Iskandar, F., dan Okuyama, K. (2008a). Patterned Indium Tin Oxide Nanofiber Films and Their Electrical and Optical Performance. *Nanotechnology*, 19: 3756011-3756017.
- Munir, M. M., Iskandar, F., Yun, K.M., Okuyama, K., dan Abdullah, M. (2008b). Optical and Electrical Properties of Indium Tin Oxide Nanofibers Prepared by Electrospinning. *Nanotechnology*, 19: 1456031-1456036.
- Munir, M. M., Iskandar, F., Khairurrijal, dan Okuyama, K. (2008c). A Constant-Current Electrospinning System for Production of High Quality Nanofibers. *Review of Scientific Instruments*, 79: 1- 4.
- Munir, M. M., Iskandar, F., Djamal, M., dan Okuyama, K. (2011). Morphology of Controlled Electrospun Nanofibers for Humidity Sensor Application. *AIP Conference Proceedings*, 1415: 223-226.
- Nuryantini, A. Y., Munir, M. M., Ekaputra, M. P., Suciati, T. & Khairurrijal. (2014). Electrospinning of Poly(Vinyl Alcohol)/Chitosan via Multi-Nozzle Spinneret and Drum Collector. *Advanced Materials Research*, 896: 41-44.
- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W-E., Lim, T-C., dan Ma, Z. (2005). *An Introduction to Electro-*

- spinning and Nanofibers*. Singapore: World Scientific.
- Sill, T. J. & Von Recum, H. A. (2008). Electrospinning: Applications in Drug Delivery and Tissue Engineering. *Biomaterials*, 29: 1989-2006.
- Senturk-Ozer, S., Ward, D., Gevgilili, H., Kalyon, D. M. (2012). Dynamics of Electrospinning of Poly(caprolactone) via a Multi-Nozzle Spinneret Connected to a Twin Screw Extruder and Properties of Electrospun Fibers. *Polymer Engineering and Science*, 10: 1-12.
- Suryamas, A. B., Munir, M. M., Iskandar, F., dan Okuyama, K. (2009). Photoluminescent and Crystalline Properties of $Y_{3-x}Al_5O_{12} : Ce_{-x}^{(3+)}$ Phosphor Nanofibers Prepared by Electrospinning. *Journal of Applied Physics*, 105: 0643111-0643115.
- Suryamas, A. B., Munir, M. M., Ogi, Hogan, C. J., Okuyama, K. (2010). Photoluminescent ZrO(2) Eu(3+) Nanofibers Prepared via Electrospinning. *Japanese Journal of Applied Physics*, 49: 1150031-1150036.
- Suryamas, A. B., Munir, M. M., Ogi, T., Khairurrijal, dan Okuyama, K. (2011). Intense Green and Yellow Emissions from Electrospun BCNO Phosphor Nanofibers. *Journal of Materials Chemistry*, 21: 12629-12631.
- Taylor, G. (1969). Electrically Driven Jets. *Proceedings of the Royal Society of London Series a-Mathematical and Physical Sciences*, 313(1515): 453-475.
- Tomaszewski, W., Szadkowski, M. (2005). Investigation of Electrospinning with the Use of a Multi-jet Electrospinning Head. *Fibres & Textiles In Eastern Europe*, 13: 22-26.
- Widiyandari, H., Munir, M. M., Iskandar, F. & Okuyama, K. (2009). Morphology-Controlled Synthesis of Chromia-titania Nanofibers via Electrospinning Followed by Annealing. *Materials Chemistry & Physics*, 116: 169-174.
- Yoon, K., Kim, K., Wang, X., Fang, D., Hsiao, B. S., Chu, B. (2006). High Flux Ultrafiltration Membranes Based on Electrospun Nanofibrous PAN Scaffolds and Chitosan Coating. *Polymer*, 47: 2434-2441.

DESIGN OF ELECTROPHORESIS DEVICE FOR OPTIMIZATION OF DNA VISUALIZATION AND DNA CONCENTRATION USING SOFTWARE

DESAIN ALAT ELEKTROFORESIS UNTUK OPTIMASI VISUALISASI DAN KONSENTRASI DNA MENGGUNAKAN SOFTWARE

H.P. Kusumaningrum*¹, W. S. Budi², M. Azam³, A. Bawono⁴

¹Genetics Laboratory, ^{2,3,4}Physics Laboratory
Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Diponegoro University, Semarang, Indonesia

Diterima: 10 Mei 2014. Disetujui: 21 Mei 2014. Dipublikasikan: Juli 2014

ABSTRAK

Molekul DNA menunjukkan polarisasi yang kuat sehingga memungkinkan baik gerak elektroforesis berdasarkan muatan negatifnya maupun gerak dielektroforesis berdasarkan induksi polarisasi. Perancangan alat menggunakan kombinasi prinsip elektroforesis dan dielektroforesis dilengkapi perangkat lunak untuk mengukur konsentrasinya sangat diperlukan. Utamanya mengingat uji kualitatif DNA berbasis visualisasi pada gel elektroforesis bersifat sangat subyektif dan kurang terukur. Pengukuran konsentrasi DNA menggunakan spektrofotometer UV/VIS sangat tergantung oleh ketersediaannya di laboratorium. Penelitian bertujuan untuk mendesain piranti untuk mengukur konsentrasi DNA berdasarkan visualisasinya pada gel elektroforesis menggunakan perangkat lunak berbasis MatLab. Pengukuran konsentrasi DNA didasarkan visualisasinya pada gel elektroforesis lalu dibandingkan dengan hasil penghitungan spektrofotometer UV/VIS. Hasil penelitian menggunakan piranti tersebut memperlihatkan visualisasi DNA yang lebih optimal. Hasil pengukuran jumlah DNA menggunakan spektrofotometer memiliki kecenderungan yang sama dengan hasil pengukuran menggunakan perangkat lunak berbasis MatLab meskipun terdapat perbedaan nilai kuantitatif.

ABSTRACT

Molecules of deoxyribo nucleic acid (DNA) show a strong polarization allowing for both motions of the dielectrophoresis induced by polarization and electrophoresis based on its negative charge. Considering high subjective and less quantifiable result of the visualization based qualitative test of DNA on gel electrophoresis, designing the tool using a combination of the principles of electrophoresis and dielectrophoresis completed with a software for optimization of DNA visualization and to measure the concentration of small and large-sized DNA fragment is very needed. Accuracy of measurement of DNA concentration using a spectrophotometer UV/VIS is depend on its availability in the laboratory. The aim of this study was to design device for optimization of DNA visualization and measuring the concentration in the gel electrophoresis using MatLab-based software. Experiment using this software measured the concentration of DNA based on its visualization and compared it with calculation obtained from spectrophotometer UV/VIS. The research results showed that the amount of DNA analysed using a spectrophotometer tend to similar with the measurement results using the MatLab-based software although there was differences in quantitative values.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: DNA concentration; visualization; electrophoresis

*Alamat Korespondensi:
Jl. Prof. Soedarto, UNDIP, Tembalang, Semarang. 50275
E-mail: gandasakti@yahoo.com

INTRODUCTION

Currently, the study of micrometer-scale biological particles from 10 nm to 100 μ m as cells, proteins, viruses and DNA intensified considering its application in various fields. For the detailed understanding of the physical properties of DNA and for the realization of a variety of novel devices

such as an integrated lab-on-a-chip, the ability to stretch, orient or sort DNA molecules is a key prerequisite (Hoeb *et al.*, 2007). The researchers do that by developing the potential electrostatic power using electrophoresis, dielectrophoresis, electroosmosis and electrofusion (Chou *et al.*, 2002). Dielectrophoresis is a technique that utilizes non-uniform electric field to induce a dipole in the polarisation particle (Lapizco-Encinas *et al.*, 2004; Castellarnau *et al.*, 2006). Dielectrophoresis is usually used for large cells whereas DNA fragments of smaller size can be more easily concentrated using electrophoresis. This technique works in a pushing motion of neutral particles, but can be used on charged particles such as DNA that normally uses electrophoresis. Several studies have shown that DNA can be collected on the metal electrode on dielectrophoresis (Hoeb *et al.*, 2007). Electrophoresis and dielectrophoresis potential growing demand for the use of DNA, proteins and viruses along with the discovery microelectrode (Kua *et al.*, 2004; Bakewell and Morgan, 2006). Although this technique encourages neutral particle motion, but can be used on the charged particles. DNA molecules can accumulate on the electrode metal on dielectrophoresis. Hoeb *et al.* (2007) study the frequency dependence of the dielectrophoretic movement of DNA and compare it to the predictions of theory and the movement of polystyrene beads under identical conditions. Since dielectrophoresis works equally in field Alternating Current (AC), thereby reduce small ions trapping and electrochemical effects on the electrode, it tends to be used only for large DNA fragments in deionized water and Tris Ethylene diamine tetra acetic acid (EDTA) (Miles *et al.*, 1989). The tool design uses a combination of dielectrophoresis phenomena and electrophoresis to gaining better visualization of large and small DNA bands.

During this time, qualitative tests for DNA visualization commonly used agarose and polyacrylamide gel. These assays determine the size of DNA band based on comparisons with a known concentration markers. Sometimes it

is also used for measuring DNA concentration which is highly subjective and less scalable. Measurements of an accurate concentration of DNA is usually done using a spectrophotometer UV / VIS. A spectrophotometer is an instrument for measuring the transmittance (light that is passed) or absorbance (absorption to light) of an object as a function of wavelength. Measurement of a single wavelength on a series of samples can be based on a spectral region that is called infrared spectrophotometer, ultra violet, and so on. The UV spectrophotometer has a wavelength of 190-380 nm (Miles *et al.*, 1989; Day and Underwood, 2002). The absence of a laboratory spectrophotometer often causes measurements of DNA concentration not easy to do. The research we've done, provide an alternative way of measuring DNA-based visualization on agarose gel after the run on devices combined electrophoresis and dielectrophoresis applications without using a spectrophotometer. The measurement results will compared further with measurements using a spectrophotometer UV / VIS.

METHODS

This research will be conducted at the Genetics Laboratory Biology Department, Laboratory of Instrumentation and Electronics Department of Physics, State University of Diponegoro.

The materials used in this study were Janjan fish (*Oxyurichthys microlepis*), Bloso fish (*Glossogobius circumpectus*) and green crab (*Scylla serrata*). Buffers used in this research were digestion buffer (100 mM Sodium Chloride, 10 mM Tris Cl pH 8, 25 mM Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA) pH 8), 10% Sodium Dodesyl Sulphate (SDS), phenol, chloroform, sodium acetate 3M pH 5.2, Tris EDTA buffer (TE) pH 8, absolute ethanol, ethanol 70%, gel electrophoresis, Tris acetate EDTA buffer (TAE) 0.5 x, the lysozyme enzyme, agarose gel, loading buffer, ethidium bromide, ice cubes, toilet paper, and distilled water.

Steps of DNA isolation and electrophoresed was modified from (Sambrook *et al.*, 1989; Ausubel *et al.*, 1995). The DNA material taken from the fresh or frozen fish meat. A sample of 1 g of cell walls are digested using 6 ml of digestion buffer, 1 mL lysozyme enzyme 10 mg / ml and 1 ml 10% SDS. The suspension was incubated at 50 ° C for 12 hours and homogenized every 30 minutes. The supernatant as a results of incubation in the lysis stage then

added with phenol: chloroform with a ratio of 1:1. Suspension was homogenized for 10 seconds and centrifuged at 6,000 rpm for 5 minutes. Supernatant was added with 3M sodium acetate pH 5.2 as much as 1 / 10 volume of the supernatant obtained then homogenized. Supernatant was added with absolute ethanol as much as 2 times the volume of the supernatant and sodium acetate and homogenized thoroughly and incubated at - 20 ° C for two days. All the suspension was centrifuged again at 10,000 rpm for 5 minutes. Supernatant was added with 70% ethanol at room temperature (30°C) and centrifuged again. DNA pellets were air dried and added with TE buffer pH 8. DNA solution was stored at a temperature of -20°C.

Visualization of DNA performed using electrophoresis in a current of 110 V for 10-15 minutes based on Sambrook *et al.*, 1989 and Ausubel *et al.*, 1995. The DNA samples viewed using agarose gel with a concentration of 1%. Agarose dissolved in 0.5 X TAE buffer. The results of gel electrophoresis observed by UV transilluminator. Visualization of DNA bands is documented with a digital camera.

Measurement of DNA concentration using Spectrophotometer

Spectrophotometric done by diluting the DNA pellet with 1:1000 dilution to volume of 3 ml and put into cuvet. Shells are made using the same diluent. Cuvet placed into the spectrophotometer and tested at a wavelength of 260 nm to measure the concentration of DNA (Sambrook *et al.*, 1989; Ausubel *et al.*, 1995).

RESULTS AND DISCUSSION

The idea to create our own instrument for molecular electrophoresis separation of DNA fragments of cells that had been imported, have inspired the design and construction of electrophoresis device. Employment potential of these instruments need to be tested and optimized through the isolation and visualization applications on the bacterial DNA in order to obtain the best results as expected and refine existing ones. Optimization of DNA visualization conducted with dielectrophoresis phenomenon was in accordance with the initial study in 1950 by Pohl. Dielectrophoresis (DEP) was used to move neutral polarizable matter in a nonuniform electric field. Starting with Washizu *et al.* in 1990 in Hoeb *et al.*, (2007) numerous groups have demonstrated that DNA can aggregate on planar metallic electrodes or insulating con-

strictions via dielectrophoresis

Software Design

Development of new methods can be done based on literature studies include a theoretical and mathematical study accomplished with adaptation, innovation and synthesis appropriate to the problems emerge. In this research, the development of image restoration methods using statistical mechanism approach could be applied for complex images to improve the performance of image restoration. The main reason of using statistical methods due to difficulties of restored the random noise by ordinary filters. It is necessary to develop stochastic and statistical methods to restore complex image, which has a magnitude and phase components (Goldfarb and Yin, 2005). Statistical methods models according to model the energy function in a complex pixel image will be updated with the energy value of its neighbors. While in this study, statistical methods model is assumed as Markov random field (MRF), because the MRF can be used as an estimate of the probability distribution of the object by comparing the pixels that will be updated with 8 pixel neighbors. Selection of Metropolis Hastings algorithm Markov Chain Monte Carlo (MH-MCMC) is done because these algorithms can be implemented on a probabilistic sample and to estimate parameters (Gemen and Gemen, 1984; Tanaka and Yoshiike, 2003). In addition to the Metropolis Hastings will serve as a decision-making process (accept and decline) of pixels that will be updated by performing calculations on the energy difference between neighboring pixels are pixels that will be updated. As an optimization of this algorithm by using simulated annealing able to estimate the free energy and optimization of Markov Chain Monte Carlo (MCMC) to achieve convergence (Haario *et al.*, 2004; Murthy, 2005). Image restoration in this study were done separately between magnitude and phase components.

The testing method made by the implementation of Metropolis-Hastings algorithm, Markov Chain Monte Carlo (MH-MCMC) into the model of statistical methods and then analyzed the results (Haario *et al.*, 2004; Murthy *et al.*, 2005). After the implementation of the algorithm was examined by using a binary image, gray scale images, and complex imagery (InSAR or MRI). The test here is done subjectively and objectively, subjectively testing done by asking the opinions of the user (expert) by showing the image before restoration and after

restoration. While objectively by looking at parameters that have been generated at the image restoration process.

Design of Electrophoresis Instrument

Electrophoresis is a separation technique based on the size of DNA molecules, using an electric field. The electric field will cause the negatively charged DNA moves toward the positive pole through a medium such as agarose gel. Electrophoresis instrument as illustrated in Fig 1. designed to be easily used in laboratories in accordance with student needs. Dielectrophoresis device is constructed using local components which are available in Indonesia market.

The main part of this instrument as illustrated on Fig. 2 consists of system power supply 5v, 12v and 100V dc; system programmable counter timer. The 2-digit system of the viewer as well as systems with adjustable pulse amplitude of 100V.

The electrophoresis bath as shown in Fig. 3 was made of transparent acrylic. This material will facilitating visualization of DNA fragments.

Design of electrophoresis instrument was viewed on Fig. 4. The instrument scheme consists of the black and white color scheme. Both schemes use the existing components in the diagram block of electrophoresis. In the color scheme, design of 4 x 16 LCD module is done as a timer or time display, menu instrument and other information. Modules that have been created are then connected with the AVR 8535 minimum system module kit. Further tests carried out with AVR 8535 minimum system and 4 x 16 LCD display by making the program listing. This is done to display text and characters on the 4 x 16 LCD using a AVR 8535 microcontroller. Tests have been able to display text on the LCD screen and the word sharpness can be adjusted by turning its VR 10 K Ω .

Design and simulation of the oscillator

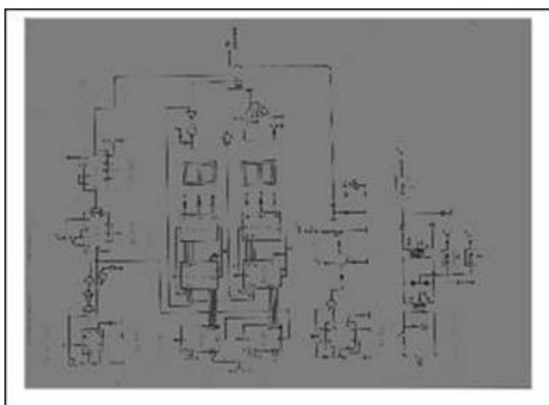


Figure 1. The design of the dielectrophoresis instrument



Figure 2. The main part of the instrument

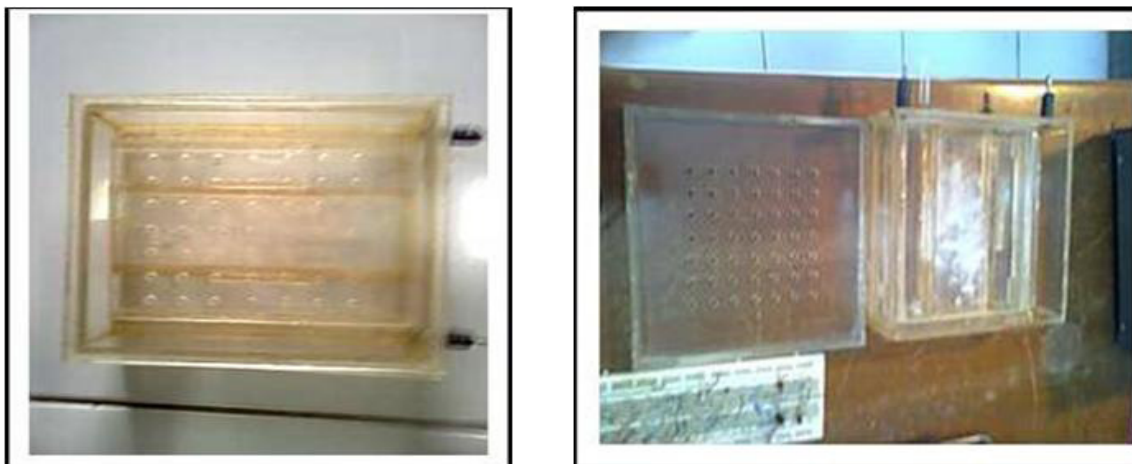


Figure 3. The electrophoresis bath

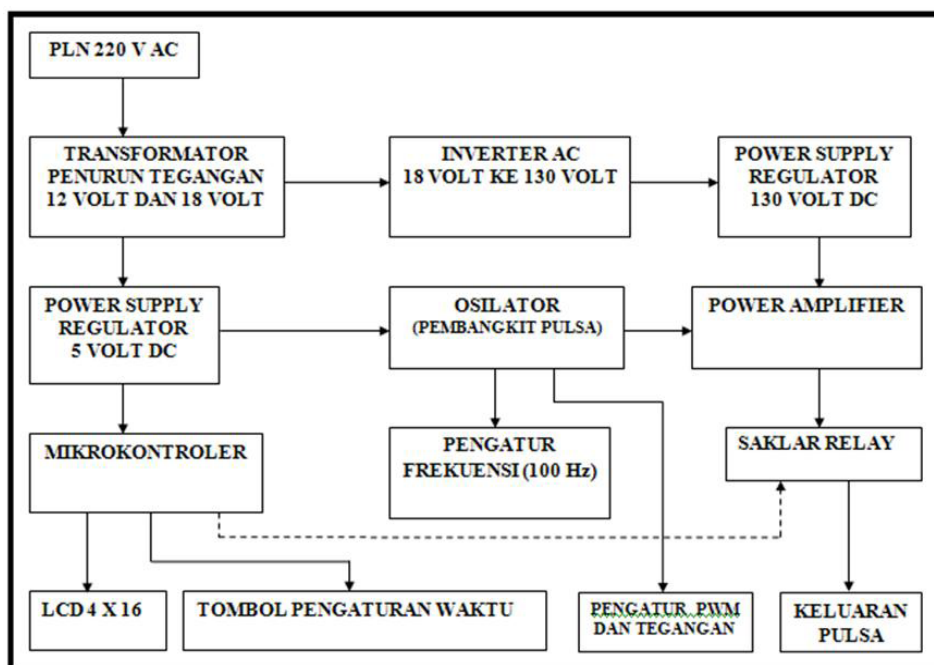


Figure 4. Design of electrophoresis instrument

pulse basic circuit was the next stage performed on instrument design. This is done by adjusting the frequency and PWM pulse width using a 1 C 555. The following step is to manufacture a box pulse oscillator module for electrophoresis with the 1C circuit 555 in accordance with the specified circuit. The research results obtained the box of oscillator module that can be set their width pulse. The next steps is manufacturing the inverter circuit or voltage towing and 130 volt voltage regulator circuit equipped with the lowering voltage. The result is the completion of the power supply regulator and voltage towing of 130 volts DC.

The next stage of instrument design is

the creation of a power amplifier circuit to strengthen the pulse of the oscillator pulse 1 C L555. Design of a series of relay switches and button settings do afterwards followed by creating a pointer scale voltmeter circuit voltage.

Stage of instrument completion and optimization is done by making electrophoresis program listings comprehensively that include the timer, discs and minutes of the instrument. Once this phase is completed and then will followed by the performance test for programs and instruments, primarily using multimeter and oscilloscope. The characterization of instrument design was illustrated on Table 1.

Instrument characterization results have

Table 1. Characterization of instrument design

Input Block 1 (Step down)		
Input (220 volt)	Output AC (12 volt)	Output AC (18 volt)
228	12,68	18,46
Block 2 (Regulator)		
Input AC (12 volt)	Output penyearah	Output (regulator 5 volt)
12,68	14,88	4,98
Block 3 (Inverter)		
Input AC (18 volt)	Output AC (130 volt)	
18,46	136,7	
Block 4 (Regulator 130 volt DC)		
Input AC (130 volt)	Output DC (volt)	Output Regulator DC (volt)
136,7	177,8	147,5
Block 5 (Oscillator)		
Input regulator dc (5 volt)	Output silator (Hz)	
4,98	100,97	
Block 6 (Microcontroller)		
Timer stopwatch (minutes)	Timer microcontroller (minutes)	
1	1,0056	
Block 7 (Pulse output)		
Output frequency (Hz)	Output tegangan AC square wave (volt)	
101,62	0-140	

**Figure 5.** The performance of electrophoresis instrument design (The air bubbles was marked by white arrow).

produced the expected electrophoretic devices. Test electrophoresis using timing devices for 10 minutes and a current of one hundred volts on electrophoresis tank filled with buffer Tris acetic acid EDTA (TAE) has shown that the electrophoresis instrument capable of running properly marked by air bubbles on the edge of the tank that the instrument performance can be seen on Fig. 5. The TAE buffer is a solution that is able to mediate the migration of DNA so that the negatively charged DNA will move toward the positive pole.

Optimization of DNA Visualization

Electrophoresis process will separate the DNA from other components based on differences in size. The DNA molecules colored transparent and makes it difficult to be seen visually. Optimization of DNA visualization was done using electrophoresis device. Ethidium bromide (EtBr) was a commonly chemical substances coloring the DNA. Ethidium bromide will intercalated (insert into the DNA) so that the DNA will be casting a transparent colored fluorescent orange (fluorescent) in the ultra-violet rays that can be visualized using a UV

transilluminator. The addition of loading buffer with dye ethidium bromide in electrophoresis process serves to increase the density, so that the DNA will be at the bottom of agarose gel wells. Bands of the DNA molecules will move along the gel after electrophoresis. The DNA measurements performed qualitatively by visualization on electrophoresis. This device will running DNA as negatively charged molecules migrate toward the positive pole in an electric field through a gel medium. Smaller size of the DNA molecule move faster. The DNA conformation not only affect the speed of electrophoretic migration of DNA but also affected by dielectrophoresis dipole (Albert *et al.*, 1991, Regtmeier *et al.*, 2007; Regtmeier *et al.*, 2010). An orange color that looks at the visualization of DNA on gel electrophoresis as shown in the visualization of DNA bands in the UV transilluminator electrophoresis (Fig. 6) is the result of the fluorescence mechanism for DNA irradiated with ultraviolet light. The brighter of the color indicates the concentration of DNA (mg / ul) were higher. The brightness of the color indicates the concentration of DNA in a qualitative way.

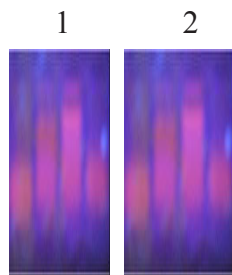


Figure 6. The DNA visualization using ethidium bromide dye (1 : DNA Janjan fish (*Oxyurichthys microlepis*), 2 : DNA green crabs (*Scylla serrata*))

The DNA concentration based on spectrophotometer UV/VIS

The concentration of deoxyribonucleic acid (DNA) were measured using a spectrophotometer UV / VIS at a wavelength of 260 nm would indicate the maximum absorbance of UV light by the DNA molecule. Table 2. and Table 3. shows the DNA measurement results obtained using MatLab software compared with the measurements using a spectrophotometer UV / VIS.

Table 2. The quantity of DNA using MatLab software application

Color intensity		MatLab Program	
		a value	b value
Color	R	188,039	175,453
	G	96,514	76,275
	B	152,337	166,646

Table 3. The quantity of DNA using Spectrophotometer

DNA Band	Spectrophotometer measurement (µg/ml)
Band-1(a)	2550
Band-2 (b)	2250

Quantitative application using a MatLab program was following qualitative methods of measuring DNA-based visualization on agarose gel (Tables 1). This is specifically to overcome the limited availability of spectrophotometers in the laboratory. MatLab is a language for technical computing with high ability. They combines computing, visualization, and programming in a single unit that is easy to use where the problem and the solution is expressed in mathematical notation known. The research result shows that the interface concentration with R, G, B turns red indicates an increase and a decrease in the value of the corresponding measurement results due to DNA concentration using a spectrophotometer light beam results in the area of the fluorescence was red (Tables 2). Calculation of the DNA concentration is visually based on the intensity of the red color. The greater DNA concentrations marked by the red orange glow that indicates the number of ethidium bromide intercalated into the DNA chain. Compare to the results of measurements using MatLab-based software program, it is consistent with the fact that ultraviolet radiation at a wavelength of 254 nm is absorbed by the DNA will be transmitted to the orange-red dye ethidium bromide. Thus, energy is re-emitted by the radiation spectrum in the orange-red region at a wavelength of 590 nm. All molecules can absorb radiation in the UV-visible because they contain electrons, either single or in groups, which can excited a higher energy level. Wavelength at which absorption took place, depending on how strong the electrons bound in a molecule (Sambrook *et al.*, 1989; Riyadi, 2009). The concentration of deoxyribonucleic acid (DNA) measured by spectrophotometer UV / VIS at a wavelength of 260 nm indicated the maximum absorbance

of UV light by the DNA molecule. The DNA molecules can only absorb wavelengths of 260-280 as a wave UV excitation.

Appearance concentration of the R, G, B turned out to be complex though is quantitative. Rated R will show an increase when the concentration of DNA are also getting bigger, while the value of B on the downside when the DNA concentration increases. This further reinforces the above results that the greater concentration of ethidium bromide in the DNA will cause the blue and ultraviolet increasingly absorbed thereby increasing the intensity of the fluorescent emission in the red-orange region. The results obtained show that the measurements of DNA amount using a spectrophotometer have the same trend with the DNA concentration determined by the program based on MatLab.

CONCLUSION

The results of the DNA concentration measurements based on visualization was in accordance with the calculation of the spectrophotometer. The concentration of the DNA indicated by the red orange luminescence is absorb more UV. The measurement of DNA concentration based on their visualization using the software showing coherent result with spectrophotometer calculations.

ACKNOWLEDGEMENTS

These research were funded by Directorate General of Higher Education, Ministry of National Education, according to Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian Strategis Nasional dan Hibah Penelitian Multi Tahun (Desentralisasi) Tahun Anggaran 2010, Number : 2466/H7.P/KP/2010, date 21 April 2010. Special thanks to Nurul Sekar Pawestri and Aris Nuryana for their help.

REFERENCES

- Alberts B, D.Bray, J Lewis, M. Ralf, K. Roberts, and JD Watson. (1991). *Molecular Biology of The Cell*. Garland Publ. London.
- Ausubel, F., R. Brent, R.E. Kingston, D.D. Moore, J.G. Seidman, J.A. Smith, K. Struhl. (1995). *Short Protocols in Molecular Biology*. A Compendium of Methods from Current Protocols in Molecular Biology. 3rd Ed. Wiley & Sons. Inc. USA. 2-10.
- Bakewell D.J. and H. Morgan. (2006). Dielectrophoresis of DNA: time- and frequency-dependent collections on microelectrodes. *IEEE Trans Nanobioscience* 5(2) : 139 – 146
- Castellarnau M., Errachid A., Madrid C., Juárez A. and J. Samitier. (2006). Dielectrophoresis as a Tool to Characterize and Differentiate Isogenic Mutants of *Escherichia coli*. *Biophysical Jour.*, 91(10) : 3937-3945
- Chou, C., Tegenfeldt J.O., Bakajin O., Chan S.S., Cox E.C, Darnton N., Duke T. and R.H. Austin. (2002). Electrodeless Dielectrophoresis of Single- and Double-Stranded DNA. *Abstract. Biophysical Jour.* 83 (4) : 2170-2179
- Day, R. A. dan A. L. Underwood. (2002). *Analisa Kimia Kuantitatif*. Erlangga, Jakarta.
- Gemen S. and D. Gemen. (1984). Stochastic Relaxation, Gibbs distributions and Bayesian Restoration. *IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 6 721
- Goldfarb D and Yin W (2005). Second-Order Cone Programming Methods For Total Variation Based Image Restoration. *AMS*.
- Haario, H., Laine, M., Lehtinen, M., Saksman, E. and Tamminen, J. (2004). Markov chain Monte Carlo methods for high dimensional inversion in remote sensing. *J. R. Statist. Soc. B* 66(3), 591-608
- Hoeb M., Rädler J.O., Klein S., Stutzmann M. and M.S. Brandt. (2007). Light-Induced Dielectrophoretic Manipulation of DNA. *Biophysical Jour.*, 93(3): 1032-1038
- Kua, C.H, Lam Y.C., Yang, C. and K. Youcef-Toumi. (2004). Review of bio-particle manipulation using dielectrophoresis. Nanyang Tech Univ, Singapore.; Massachusetts Inst. of Tech., Cambridge, Massachusetts.p. 1-7
- Lapizco-Encinas, B.H., Simmons, B.A, Cummings, E.B. and Y. Fintschenko. (2004). Insulator-based dielectrophoresis for the selective concentration and separation of live bacteria in water. *Electrophoresis* 25 : 1695–1704
- Miles R., Wang A., Bettencourt K., Nasarabadi S., Belgrader P., Davidson J.C. and R.P. Mariella Jr. (1989). Manipulation of DNA for Use in Microfluidic Devices. UCRL-JC-132459 Preprint. Lawrence Livermore. Nat. Lab.
- Murthy K. P. N. (2005). Bayesian Restoration of Digital Images Employing Markov Chain Monte Carlo", *eprint arXiv:cs/0504037*
- Regtmeier J., Duong T.T., Eichhorn R., Anselmetti R, and A. Ros. (2007). Dielectrophoretic Manipulation of DNA: Separation and Polarizability. *Anal. Chem.*, 79(10) : 3925 -3932
- Regtmeier J., Eichhorn R., Bogunovic L., A. Ros and Anselmetti D. (2010). Dielectrophoretic Trapping and Polarizability of DNA : The Roll of Spatial Conformation. *Anal. Chem.*, 82:7141-7149
- Sambrook, J., Fritsch, E. R. & T. Maniatis.(1989). *Molecular Cloning A Laboratory Manual*. Second Edition. Cold Spring Harbor Laboratory Press, USA.
- Tanaka K and N Yoshiike. (2003). *Statistical-Me-*

chanical Approach to Probabilistic Image
Processing. *Workshop on Statistical Me-*

chanical Approach to Probabilistic Informa-
tion Processing.