

Eksplorasi Kemampuan Penalaran Mahasiswa melalui Pemecahan Masalah Kimia secara Terstruktur

Fahyuddin

Hafiludin Sampradja

Universitas Halu Oleo

fahyuddinm@yahoo.com

Abstract: This study investigated the effectiveness of a structured chemistry problem solving strategy on students' reasoning abilities, including controlling of variables, proportional reasoning, analogy, and deduction. The study took place in one university at Kendari involving 67 semester-two chemistry students enrolled at chemistry mathematics course. A two-tier test was used to assess student reasoning ability to solve of chemistry problems. Every problem students responded to solve chemistry problems should be accompanied with correct mathematical reasoning. The results of analysis showed that students' reasoning on controlling variables, proportional, analogy, and deduction can be improved with a structured problem solving at a moderate category. The improvement of students' analogy reasoning with controlling variables was not significantly different, but was significantly greater than that of proportional reasoning and deduction. Analogy reasoning can be an initiation of another form of logical reasoning. The results of the analysis of the students' response revealed that students' reasoning ability in solving chemistry problems was influenced by both their understanding of chemistry concepts and their algorithm abilities.

Keywords: chemistry education, undergraduate students, reasoning, structured problem solving

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektifitas strategi pemecahan masalah kimia secara terstruktur dalam mengembangkan kemampuan berpikir mahasiswa kimia pada empat jenis penalaran, meliputi: pengendalian variabel, proporsional, analogi, dan deduksi. Subyek penelitian terdiri dari 67 mahasiswa pendidikan kimia semester dua dari salah satu universitas di Kendari yang sedang mengikuti mata kuliah "matematika kimia". Untuk mengakses kemampuan penalaran mahasiswa dalam memecahkan masalah kimia digunakan instrumen tes dua tingkat. Setiap jawaban yang diberikan oleh mahasiswa dalam pemecahan masalah kimia harus didukung dengan penalaran matematis yang benar. Hasil studi ini menunjukkan bahwa kemampuan mahasiswa kimia pada penalaran pengendalian variabel, proporsional, analogi, dan deduksi dapat ditingkatkan dengan pendekatan pemecahan masalah secara terstruktur pada kategori sedang. Peningkatan kemampuan penalaran analogi tidak berbeda secara berarti dengan pengendalian variabel, tetapi lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan penalaran proporsional dan deduksi. Penalaran analogi dapat menjadi inisiasi dari bentuk penalaran logis yang lain. Hasil analisis respon jawaban mahasiswa menunjukkan bahwa kemampuan penalaran mereka dipengaruhi oleh pemahaman konsep kimia dan kemampuan algoritma.

Kata kunci: pendidikan kimia, mahasiswa, penalaran, pemecahan masalah terstruktur

Penelitian dalam pendidikan kimia telah mengidentifikasi terjadinya miskonsepsi mahasiswa pada sejumlah konsep kimia (Chandarsegaran *et al.*, 2007), serta hambatan dan kesulitan belajar kimia (Nicoll & Francisco, 2001; Potgieter *et al.*, 2008). Berdasarkan miskonsepsi dan kesulitan tersebut sebenarnya telah dikembangkan sejumlah strategi dan inovasi pembelajaran untuk meningkatkan kualitas, efektifitas, dan efisiensi proses belajar mengajar kimia. Akan tetapi, hasil belajar mahasiswa

masih belum seperti yang diharapkan. Masih terdapat kesenjangan antara kemampuan mahasiswa dalam memecahkan pertanyaan algoritma (simbolik dan numerik) dan penyelesaian masalah konseptual (Niaz, 2005; Stamovlasis *et al.*, 2005). Penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa seringkali kesulitan memecahkan masalah kimia konseptual (Cracolice *et al.*, 2008). Penelitian lain menunjukkan bahwa mahasiswa kimia dapat menyelesaikan algoritma dengan benar, tetapi tidak memahami konsep kimia

yang mendasarinya (Gultepe *et al.*, 2013). Sebaliknya, mahasiswa yang mempunyai pengetahuan konseptual yang baik, kadang juga tidak mampu memecahkan masalah kimia kuantitatif dengan benar. Mahasiswa kimia tidak dapat menjelaskan makna penyelesaian aljabar yang dilakukan (McDermott, 1991).

Kesenjangan antara pemahaman konseptual dan kemampuan algoritma dapat disebabkan oleh belum berkembang maksimalnya keterampilan penalaran mahasiswa (Tsitsipis *et al.*, 2010), sebab interpretasi fenomena dalam sains (termasuk kimia) memerlukan keahlian penalaran. Sejumlah penelitian juga menunjukkan bahwa kemampuan penalaran merupakan prediktor yang kuat dalam prestasi belajar sains (Tobin & Capie, 1981), kimia umum (Valanides, 1997), dan kimia fisik (Niccol & Francisco, 2001). Mahasiswa dengan penalaran yang baik mampu melakukan prediksi dan spekulasi, menguji ide, dan membuktikan tugas pemecahan masalah dengan baik pula (Diezmann *et al* dalam Scusa & Yuma, 2008).

Penalaran merupakan proses berpikir dalam memberikan alasan (argumentasi) atau kesimpulan. Penalaran sering digunakan sebagai suatu proses analisis dalam pemecahan masalah, atau melakukan sintesis dalam merencanakan penjelasan, membuat kesimpulan, atau membuat generalisasi. Karena itu, kemampuan penalaran memang merupakan hal penting dalam pengembangan pengetahuan mahasiswa.

Kemampuan penalaran memiliki kedudukan penting dalam belajar Kimia. Obyek belajar Kimia yang mencakup kajian tentang materi, unsur-unsur penyusun materi, dan perubahannya (Repko, 2008), perlu dipahami pada tiga level representasi, yaitu makroskopik, submikroskopik, dan simbolik (Johnstone, 1991; Chandrasegaran *et al.*, 2007). Kemampuan penalaran akan membantu mahasiswa memahami obyek belajar Kimia tersebut dengan baik. Kemampuan penalaran akan meningkatkan pemahaman konseptual dan kemampuan pemecahan masalah algoritma. Secara khusus, mahasiswa perlu memiliki keterampilan penalaran seperti pengendalian variabel, proporsional, analogi, dan deduksi agar mereka mampu memecahkan masalah konseptual dan algoritma dengan benar.

Penalaran analogi merupakan proses penarikan kesimpulan berdasarkan keserupaan sifat, pola atau kecenderungan data antara analog dengan target (Lazear, 2004). Dari hasil pemetaan antara analog dan target diperoleh sejumlah kesimpulan logis mengenai karakteristik, pola atau variabel yang

sama antara analog dan target. Jenis penalaran yang lain adalah penalaran proporsional. Penalaran proporsional sangat dibutuhkan dalam kimia karena menurut Guenther seperti dikutip oleh Hung & Jonassen (2006), *core* dari kimia kuantitatif yang banyak direpresentasikan ke dalam persamaan kimia adalah hubungan timbal balik antara variabel dalam model matematis.

Penelitian ini bertujuan melihat pengaruh penggunaan pembelajaran pemecahan masalah kimia yang terstruktur terhadap kemampuan penalaran mahasiswa, meliputi: pengendalian variabel, proporsional, analogi, dan deduksi. Hal ini sesuai dengan salah satu standar pembelajaran yang direkomendasikan oleh *National Council of Teacher of Mathematics* (2000), yaitu *mathematical reasoning and proof* (Penalaran Matematis dan Bukti). Melalui pemecahan masalah terstruktur, mahasiswa diharapkan memperoleh pengalaman belajar dalam menjelaskan setiap langkah atau manipulasi matematika yang mereka gunakan. Dengan mendorong keterlibatan mental mahasiswa secara mendalam dalam kegiatan pemecahan masalah, mahasiswa diharapkan mahasiswa dapat mengembangkan penalaran mereka (McDermott, 1991) dan berpikir lebih fleksibel (Costa & Kallick dalam Scusa & Yuma, 2008).

Untuk mengkaji efektifitas pembelajaran pemecahan masalah secara terstruktur dan keterampilan proses matematis dalam meningkatkan penalaran mahasiswa, maka sejumlah pertanyaan akan dijawab dalam penelitian ini adalah: a) bagaimana kemampuan penalaran mahasiswa kimia?; b) Apakah pembelajaran pemecahan masalah terstruktur menggunakan keterampilan proses matematik dapat meningkatkan kemampuan penalaran mahasiswa kimia?; dan c) bagaimana kemampuan mahasiswa kimia dalam penalaran pengendalian variabel, proporsional, analogi, dan deduksi terkait dengan konteks kimia?

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental semu dengan design *One Group Pre-test Post-Test Design*. Sebanyak 67 mahasiswa pendidikan kimia dari suatu Universitas di Kendari dilibatkan di dalam penelitian ini. Sebelumnya, mereka sudah menempuh matakuliah Matematika Dasar dan Kimia Dasar.

Penelitian berlangsung selama satu semester. Perlakuan yang diterapkan dalam eksperimen adalah melibatkan mahasiswa untuk memecahkan masalah

terstruktur selama proses perkuliahan. Pemecahan masalah yang dimaksud mencakup pemahaman masalah, membuat strategi penyelesaian, dan melaksanakan strategi penyelesaiannya. Gambar 1 menunjukkan contoh dari masalah terstruktur yang digunakan untuk mengembangkan kemampuan penalaran.

Untuk mengukur kemampuan penalaran mahasiswa, peneliti menggunakan tes pilihan ganda dua tingkat, mengikuti prosedur yang diadaptasi dari Treagust (1988). Sehubungan dengan itu, ada tiga tahap yang dilalui. *Pertama*, mengidentifikasi konsep-konsep kimia yang membutuhkan penalaran matematis, yaitu pengendalian variabel, proporsional, analogi, dan deduksi. Untuk tujuan ini, dipilih konsep kimia dasar yang bersifat kuantitatif dan telah dipelajari pada tingkat satu diperguruan tinggi. *Kedua*, menganalisis miskonsepsi mahasiswa pada sejumlah materi kimia dasar yang terkait dengan kemampuan penalaran secara matematis. Sebanyak 25 butir soal pilihan ganda dengan alasan terbuka diberikan kepada 35 mahasiswa pendidikan kimia. *Ketiga*, mengembangkan instrumen pilihan ganda dua tingkat yang terdiri atas 4 butir soal untuk setiap jenis penalaran. Miskonsepsi mahasiswa yang teridentifikasi dijadikan sebagai alternatif pilihan jawaban pada setiap butir soal yang dikembangkan.

Instrumen tes yang digunakan dan mempunyai kualitas baik dari hasil uji coba terdiri atas dua butir soal untuk masing-masing jenis penalaran, meliputi: pengendalian variabel, proporsional, analogi, dan deduksi. Validitas isi (konstruk) dari instrumen dilakukan oleh dua orang ahli di bidang matematika dan kimia (dokter matematika dan kimia fisik). Hasil evaluasi dari dua orang pakar menunjukkan hasil yang sama bahwa instrumen tes mempunyai validitas isi, dan valid digunakan untuk mengukur kemampuan penalaran mahasiswa. Salah satu contoh instrumen dua tingkat untuk mengakses kemampuan penalaran deduksi disajikan pada Gambar 2.

Jawaban yang diberikan oleh mahasiswa harus sesuai atau didukung dengan penalaran matematika yang benar. Butir soal pada Gambar 2 di atas menunjukkan bahwa jawaban yang benar adalah $E_{sel} = E_{sel}^0$ jika $[Cu^{2+}] = [Ni^{2+}]$ (pilihan B), dan penalaran matematikanya adalah "jika nilai Q sama dengan satu maka nilai logaritmanya akan menghasilkan nol, sehingga suku $-\frac{RT}{nF} \ln Q$ " pada persamaan menjadi nol" (penalaran nomor 4). Ketika mahasiswa memberikan jawaban benar, tetapi penalaran matematikanya salah menunjukkan kemampuan penalaran deduksi yang rendah.

Reliabilitas instrumen dengan metode *Cronbach's alfa* menghasilkan nilai yang bervariasi

Misalnya suatu reaksi orde satu adalah: $Z \rightarrow \text{produk}$,
 hubungan laju reaksi (v) dengan konsentrasi pereaksi adalah: $v = k [Z]$.

Hubungan antara konstanta laju reaksi (k) dan suhu (T): $k = Ae^{\frac{\Delta E}{RT}}$
 Diketahui: A = konstanta Arrhenius, ΔE = konstant, dan R = tetapan gas). Jelaskan bagaimana hubungan antara laju reaksi dengan suhu?
 Pemecahan masalah kimia secara inkuiri

- 1) Jika suhu (T) diperbesar, apakah nilai konstanta laju reaksi (k) semakin besar? Jelaskan secara matematis!
- 2) Bagaimana hubungan antara konstanta k dengan laju reaksi v ? Jelaskan secara matematis!
- 3) Apakah semakin besar suhu, laju reaksi semakin meningkat? Jelaskan secara matematis!

Inkuiri keterampilan proses matematis adalah:

- 1) Bagaimana persamaan logaritma konstanta laju reaksi pada dua keadaan (pada suhu T_1 dan suhu T_2)?
- 2) Jika $T_2 > T_1$, apakah $(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}) > 0$? Jelaskan!
- 3) Jika suhu dinaikan atau $T_2 > T_1$, apakah nilai $\ln \frac{k_2}{k_1} > 1$? Jelaskan!
- 4) Jika: $\ln \frac{k_2}{k_1} < 0$, apakah nilai tetapan laju reaksi $k_2 > k_1$? Jelaskan!
- 5) Bagaimana hubungan konstanta laju reaksi (k) dengan suhu (T)?

Gambar 1. Contoh pemecahan masalah kimia menggunakan keterampilan proses matematis

berdasarkan jenis penalaran, yaitu dari 0,57 (penalaran deduksi) sampai nilai 0,64 (penalaran analogi). Akan tetapi, reliabilitas instrumen secara total termasuk kategori tinggi (0,73). Menurut Crocker and Algina (2008) nilai reliabilitas yang ideal untuk suatu tes adalah 0,70 (*Cronbach's alpha*). Daya pembeda bervariasi dari 0,35 sampai indeks 0,68. Menurut Lien (Othman *et al.*, 2008), indeks daya pembeda yang lebih besar dari 0,4 adalah sangat baik, sedangkan antara 0,2 dan 0,4 butir soal termasuk memuaskan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis skor rata-rata, standar deviasi dan analisis peningkatan kemampuan penalaran mahasiswa dirangkum pada Tabel 1. Skor rata-rata pretes menunjukkan bahwa mahasiswa kimia mempunyai kemampuan awal yang rendah pada keempat jenis penalaran yang diakses, yaitu: pengendalian variabel, proporsional, analogi, dan deduksi. Secara kuantitas, rata-rata kemampuan awal mahasiswa pada penalaran analogi lebih tinggi 22% dan 29% secara berturut-turut dari penalaran pengendalian variabel dan deduksi. Hasil analisis dengan metode Friedman memberikan nilai $Chi-square = 8,58$ dan $Asym.sig = 0,035$ yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan

yang signifikan antara skor rata-rata pretes pada keempat jenis penalaran. Untuk itu, perbandingan kemampuan berpikir mahasiswa antara jenis penalaran dari hasil pembelajaran dengan pemecahan masalah kimia secara terstruktur menggunakan data *N-gain* (Hake, 1989).

Hasil analisis uji t-berpasangan pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa skor rata-rata postes lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan skor pretes pada keempat jenis penalaran. Hal ini mengindikasikan bahwa strategi pemecahan masalah kimia secara terstruktur dapat meningkatkan kemampuan penalaran mahasiswa secara signifikan. Berdasarkan ukuran *effect size* dari Cohen (Leech *et al.*, 2005), perbedaan yang signifikan antara skor rata-rata postes dan pretes pada penalaran pengendalian variabel dan penalaran proporsional termasuk kategori tinggi, sedangkan penalaran analogi dan deduksi tergolong sedang.

Peningkatan kemampuan berpikir mahasiswa pada empat jenis penalaran berdasarkan kategori dari Hake (1998) termasuk kategori sedang. Dari sebaran skor *N-gain* (Gambar 3) menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan penalaran mahasiswa pada penalaran pengendalian variabel, analogi, dan deduksi terdistribusi dari nilai nol (0) sampai satu (1). Artinya, terdapat mahasiswa kimia yang

Contoh soal penalaran secara deduksi:

Reaksi sel elektrokimia adalah: $Cu^{2+}(aq) + Ni(s) \rightleftharpoons Cu(s) + Ni^{2+}(aq)$
 Persamaan untuk menghitung potensial sel (E_{sel}) reaksi menurut **Nernst**, yaitu:
 $E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q$; dan $Q = \frac{[Ni^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$. (R , T , n , dan F adalah konstanta bernilai positif)
 Berdasarkan dua persamaan di atas, pernyataan manakah yang benar di bawah ini?

A. $E_{sel} = E_{sel}^0$ jika $[Cu^{2+}] = [Ni^{2+}]$ B. $E_{sel} > E_{sel}^0$ jika $[Cu^{2+}] = [Ni^{2+}]$
 C. $E_{sel} > E_{sel}^0$ jika $[Cu^{2+}] < [Ni^{2+}]$ D. $E_{sel} = E_{sel}^0$ jika $[Cu^{2+}] > [Ni^{2+}]$

Penalaran Matematik:

1. Jika nilai Q sama dengan satu maka nilai logaritmanya akan negatif sehingga suku $-\frac{RT}{nF} \ln Q$ pada persamaan menjadi bernilai positif
2. Jika nilai Q sama dengan satu maka nilai logaritmanya akan menghasilkan nol, sehingga suku $-\frac{RT}{nF} \ln Q$ pada persamaan menjadi nol.
3. Jika nilai Q lebih besar satu, maka nilai logaritmanya akan negatif sehingga suku $-\frac{RT}{nF} \ln Q$ pada persamaan menjadi bernilai positif
4. Jika nilai Q lebih kecil satu, maka nilai logaritmanya akan menghasilkan nol, sehingga suku $-\frac{RT}{nF} \ln Q$ pada persamaan menjadi nol.

Gambar 2. Contoh instrumen dua tingkat untuk mengakses kemampuan penalaran deduksi

Tabel 1. Rata-rata (mean), standar deviasi SD), hasil uji t (perbandingan postes dan pretes), effect size, dan rata-rata N-gain etiap jenis penalaran

Jenis Penalaran	Hasil Pretes		Hasil Postes		Hasil uji-t		Effect	N-gain
	Mean	SD	Mean	SD	t_{hit}	sig.	Size (r)	Mean
Pengendalian variabel	18	19	52	33	12,8	0,00	0,79	0,48
Proporsional	21	18	50	22	23,7	0,00	0,91	0,40
Analogi	22	21	65	29	14,5	0,00	0,62	0,60
Deduksi	17	18	47	31	9,5	0,00	0,63	0,40
Rata-rata	19	16	54	26	17,7	0,00	0,85	0,47

Tabel 2. Perbandingan berganda (uji-Tukey) dan korelasi (produc momen) antara N-gain keempat jenis penalaran

	Hasil uji Tukey			Hasil analisis <i>Produc momemt</i>		
	Proporsional (sig.)	Analogi (sig.)	Deduksi (sig.)	Proporsional (r)	Analogi (r)	Deduksi (r)
Pengendalian Variabel	0,53	0,11	0,46	0,74**	0,73**	0,68**
Proporsional		0,00**	1,0		0,63**	0,71**
Analogi			0,00**			0,65**

Ket: ** signifikan pada taraf kepercayaan 99% ($p \leq 0,01$)

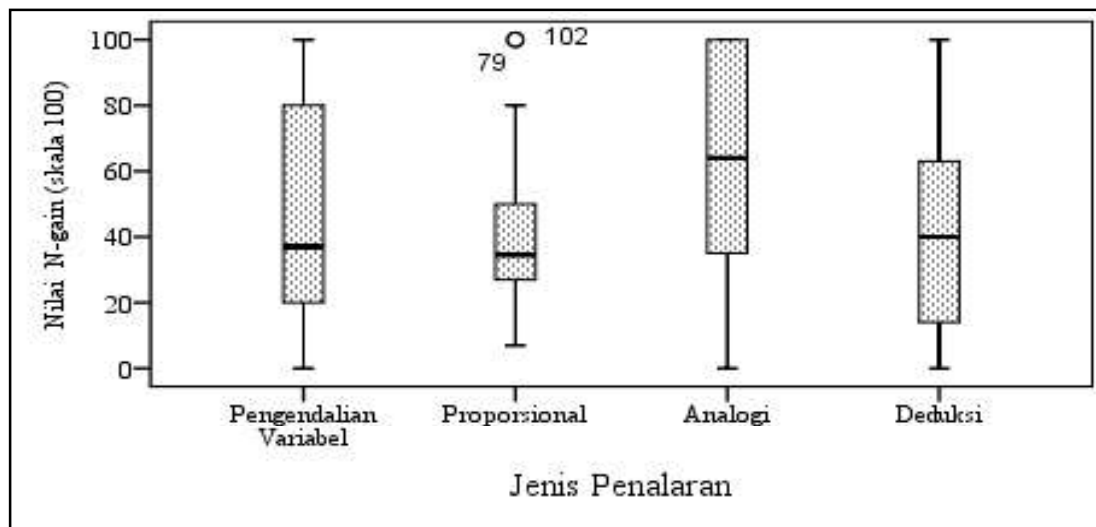
tidak dapat mengembangkan kemampuannya pada ketiga jenis penalaran tersebut selama pembelajaran dengan pemecahan masalah secara tertstruktur. Namun demikian, terdapat mahasiswa yang dapat mengembangkan kemampuannya secara maksimal ($N\text{-gain} = 1$) pada setiap jenis penalaran.

Distribusi skor $N\text{-gain}$ yang ditunjukkan pada Gambar 3, dan kuantitas peningkatan kemampuan penalaran mahasiswa yang diperlihatkan pada Tabel 2 berbeda antara jenis penalaran. Hal ini merefleksikan adanya perbedaan tuntutan kognitif yang diperlukan pada setiap jenis penalaran yang berbeda. Kemampuan penalaran analogi secara kuantitas mengalami peningkatan yang paling tinggi dibandingkan dengan tiga jenis penalaran yang lain. Hasil analisis varians antara $N\text{-gain}$ kemampuan penalaran mahasiswa menghasilkan nilai $F = 7,02$; dan $sig. = 0,00$ yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan. Tabel 2 merangkum hasil analisis perbandingan berganda (uji Tukey) antara $N\text{-gain}$ penalaran mahasiswa, dan memberikan kesimpulan meliputi: 1) peningkatan penalaran pengendalian variabel tidak berbeda secara berarti dengan tiga jenis penalaran yang lain, 2) peningkatan penalaran analogi berbeda signifikan dengan penalaran proporsional dan deduksi, dan 3) peningkatan kemampuan penalaran proporsional

mahasiswa tidak berbeda dengan penalaran deduksi mereka. Meskipun terdapat perbedaan, peningkatan kemampuan mahasiswa antar jenis penalaran saling berkorelasi secara signifikan seperti di tunjukkan pada Tabel 2 bagian kanan.

Hasil analisis korelasi mengindikasikan bahwa antara jenis penalaran membutuhkan aktifitas kognitif yang saling berhubungan. Kemampuan penalaran proporsional mahasiswa berhubungan dengan kemampuan penalaran yang lain, seperti analogi dan pengendalian variabel. Mahasiswa yang mempunyai kemampuan analogi melihat pola perbandingan nilai dan pola hubungan antara variabel akan mudah melakukan penalaran proporsional dan pengendalian variabel.

Berdasarkan jenis materi, mahasiswa kimia mengalami kesulitan paling besar dalam memecahkan masalah kimia yang terkait dengan hukum Proust, Hipotesis Avogadro, dan pembuktian persamaan Nernst. Untuk menyelesaikan masalah hukum Proust dan hipotesis Avogadro membutuhkan kemampuan penalaran proporsional, sedangkan pembuktian persamaan Nernst merupakan proses berpikir deduksi. Pada aplikasi hukum Proust, sebagian besar mahasiswa kimia tidak memahami secara konseptual bahwa perbandingan massa unsur Nitrogen dan Hidrogen dalam senyawa amoniak adalah tetap,



Gambar 3. Boxplot sebaran N-gain setiap jenis penalaran

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{82}{100} \times 4,1 \text{ gr} = 3,362 \text{ gr} \\
 H &= \frac{18}{100} \times 3,2 \text{ gr} = 0,576 \text{ gr} \\
 \text{Masa } \text{NH}_3 &= (3,362) + [3(0,576)] \\
 &= (3,362) + (1,728) \text{ gram} \\
 &= 5,09 \text{ gram } \text{NH}_3
 \end{aligned}$$

Gambar 4. Contoh kemampuan proporsional yang kurang memadai

yaitu 82:18 berapapun massa Hidrogen dan Oksigen yang direaksikan. Mereka tidak dapat membuat model matematis atau strategi penyelesaian untuk menghitung massa unsur Nitrogen dan Hidrogen yang bereaksi (seperti algoritma pada Gambar 4), ketika massa nitrogen atau hidrogen dibuat berlebihan. Sebagian mahasiswa kimia mempunyai penalaran bahwa massa nitrogen dan hidrogen yang bereaksi secara berturut-turut adalah 82% dan 18%. Hal ini sangat jelas merefleksikan kemampuan penalaran proporsional yang sangat rendah.

Hasil di atas menunjukkan bahwa pembelajaran kimia berbasis masalah secara terstruktur dapat meningkatkan aktifitas kognitif mahasiswa. Dalam proses pemecahan masalah, kemampuan representasi masalah secara kualitatif sangat penting untuk lebih meningkatkan pemahaman konseptual dan aspek kuantitatif (model matematik). Mahasiswa

harus terus didorong mengembangkan pemahaman konseptual dan kemampuan algoritma selama menyelesaikan masalah. Hasil analisis menunjukkan bahwa strategi pemecahan masalah kimia secara terstruktur dapat meningkatkan kemampuan penalaran mahasiswa dalam empat cara, yaitu meningkatkan pengetahuan dan pemahaman prinsip matematika secara umum, meningkatkan kemampuan aplikasi konsep matematika dalam pemecahan masalah kimia, pemilihan strategi penyelesaian dengan benar, dan mengurangi kecenderungan penyelesaian masalah dengan mencari rumus kimia. Hasil studi ini mendukung pendapat Van Heuvelen (1991) yang menyatakan bahwa mahasiswa dapat belajar berpikir seperti seorang ahli ketika diberikan kesempatan melakukan penalaran secara kualitatif dan mentransformasi antara bentuk representasi, seperti representasi verbal dan simbolik (persamaan

matematik) sebelum menyelesaikan masalah secara matematik.

Pemecahan masalah kimia secara terstruktur dengan mengembangkan pemahaman hubungan antara variabel merupakan pembelajaran berbasis masalah yang menerapkan pendekatan matematika. Penggunaan prinsip-prinsip matematika dalam mengeksplorasi hubungan antara variabel ketika memecahkan masalah kimia dapat meningkatkan kemampuan penalaran dan pemahaman konsep kimia. Temuan ini sejalan dengan pendapat Potgieter *et al.* (2008) yang menyatakan bahwa pembelajaran integrasi dapat meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam penalaran logis. Menurut Witten (2005), pemecahan masalah kimia menggunakan pendekatan matematis dapat meningkatkan motivasi belajar dan apresiasi mahasiswa terhadap manfaat matematika dalam kimia. Higgins *et al.* (2005) juga meyakini bahwa penyelesaian masalah kimia menggunakan keahlian berpikir matematis dapat meningkatkan motivasi dan minat mahasiswa dalam belajar.

Mahasiswa secara eksplisit memecahkan masalah kimia secara terstruktur dan berjenjang. Kemampuan penalaran mahasiswa berkembang mulai dari memahami hubungan antara dua variabel yang paling sederhana dengan memberikan penjelasan secara kualitatif. Selanjutnya, mahasiswa mengaplikasi pemahaman yang diperoleh untuk menyelesaikan pertanyaan yang lebih kompleks. Sejumlah peneliti menyatakan bahwa penggunaan pemecahan masalah sebagai proses dapat mengembangkan kemampuan penalaran dan berpikir tingkat tinggi (Scusa & Yuma, 2008). Sejalan dengan pendapat King *et al.* (2011), yang menyatakan bahwa kemampuan penalaran tingkat tinggi dapat dimulai dari penalaran sederhana. Hasil studi ini sejalan juga dengan temuan Gaigher *et al.* (2007) yang melaporkan bahwa pemahaman konseptual dapat dikembangkan melalui strategi pemecahan masalah secara eksplisit.

Studi ini menunjukkan bahwa pemecahan masalah terstruktur memberikan kemampuan penalaran kepada mahasiswa kimia ketika mereka dapat memberikan penjelasan dan membuat keputusan tentang apa yang harus dilakukan dalam masing-masing langkah penyelesaian masalah. Dengan demikian, kemampuan mahasiswa dalam komunikasi matematis akan berkembang ketika menjelaskan alasan dan argumentasi terhadap strategi yang dipilih. Schoenfeld (2007) mengemukakan bahwa lingkungan belajar yang menghasilkan keterampilan berpikir tingkat tinggi terjadi ketika

mahasiswa didorong untuk melakukan pemecahan masalah secara intelektual. Menurut Segurado seperti dikutip oleh Scusa and Yuma (2008), mahasiswa dengan kemampuan pemecahan masalah yang baik mempunyai keyakinan terhadap kemampuan mereka dan mengembangkan kemampuan komunikasi dan penalaran secara matematik. Keterampilan berpikir matematis saling berkorelasi dan saling memberikan penguatan satu sama lain. Artinya, peningkatan kemampuan komunikasi dan koneksi matematis dengan sendirinya dapat meningkatkan kemampuan penalaran dan pembuktian.

Penalaran pengendalian variabel

Kemampuan mahasiswa kimia dalam pengendalian variabel masih tergolong sedang. Sebagian mahasiswa kimia tidak dapat mengurutkan senyawa garam mulai dari yang mudah larut sampai sukar larut berdasarkan nilai K_{sp} senyawa garam. Sekitar 24% mahasiswa mengalami miskonsepsi terhadap makna K_{sp} , sehingga tidak dapat menjelaskan dengan baik hubungan antara nilai K_{sp} dengan tingkat kemudahan garam untuk larut. Mahasiswa yang memahami konsep K_{sp} , sebagian tidak dapat mengurutkan senyawa garam berdasarkan nilai K_{sp} yang dinyatakan dalam notasi saintifik. Temuan ini mengindikasikan bahwa kemampuan penalaran pengendalian variabel dengan materi kimia dipengaruhi oleh pemahaman konseptual dan kemampuan algoritma (kuantitatif atau aritmetika).

Penalaran pengendalian variabel dipengaruhi juga oleh kemampuan seseorang dalam memisahkan tanda dari pengganggu secara efisien (Tsitsipis *et al.*, 2010). Sebagian mahasiswa kimia tidak dapat mengidentifikasi variabel dalam tabel yang bukan merupakan konsep penting yang berhubungan dengan variabel K_{sp} . Terdapat sekitar (17%) mahasiswa menghubungkan nilai K_{sp} garam dengan periode ion logam garam dalam sistem periodik. Mereka menyatakan bahwa semakin besar urutan periode ion logam dari garam, maka garam tersebut semakin mudah untuk larut dibandingkan dengan garam lain yang unsur logamnya berada pada periode yang lebih kecil pada sistem periodik.

Penalaran proporsional

Kemampuan proporsional mahasiswa lebih rendah dibandingkan dengan kemampuan penalaran analogi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa kimia mengalami kesulitan dalam mengaplikasi hukum Proust dan Avogadro untuk menghitung massa hasil reaksi dan

massa unsur lain yang dapat bereaksi. Hal ini dapat ditunjukkan dari skor rata-rata hasil tes kemampuan penalaran proporsional yang hanya mencapai nilai 50 (skala 100). Mahasiswa kimia tidak memahami makna perbandingan tetap yang merupakan perbandingan dua rasio yang ekuivalen (proporsi). Sebagian besar mahasiswa memberikan penalaran bahwa massa senyawa yang terbentuk sama dengan penjumlahan massa unsur-unsur yang bereaksi. Hasil studi ini sejalan dengan studi Akatugba and Wallace (2009), yang melaporkan bahwa bahasa yang digunakan dalam tugas mempengaruhi kemampuan pembelajar menggunakan penalaran proporsional.

Sebagian mahasiswa mentranslasi data secara langsung menjadi dua rasio yang tidak saling ekuivalen. Mereka hanya berfokus pada persamaan proporsi untuk menentukan massa unsur yang bereaksi. Temuan ini sejalan dengan hasil studi Hung & Jonassen (2006), bahwa strategi yang umum dilakukan mahasiswa adalah menerjemahkan nilai besaran secara langsung ke dalam rumus matematis. Pemecahan masalah hanya dipelajari secara kuantitatif, tanpa membangun pemahaman konseptual. Kemampuan proporsional membutuhkan pemahaman konseptual dan kemampuan algoritma. Mahasiswa yang tidak memahami hubungan fungsional dua rasio yang menyatakan perbandingan massa unsur nitrogen dan hidrogen mempunyai model mental bahwa semua massa yang direaksikan membentuk senyawa.

Pada aplikasi hipotesis Avogadro, mahasiswa kimia mengalami kesulitan menghitung massa salah satu gas, ketika diketahui jumlah partikel dan massa gas lain pada tekanan dan suhu yang sama. Mereka tidak dapat membuat model matematis (dua rasio) yang tepat untuk menghitung massa gas dari data gas lain yang diketahui. Temuan ini mendukung studi Coll *et al.* (2005), bahwa banyak mahasiswa yang tidak dapat menggunakan data untuk dapat melakukan perhitungan yang meliputi rasio, meskipun mereka dapat melakukan perhitungan angka dengan benar.

Kesulitan mahasiswa kimia dalam penalaran proporsional dapat disebabkan karena penalaran perbandingan bilangan merupakan keterampilan berpikir tingkat tinggi (Morisson *et al.*, 2009), dan termasuk berpikir abstrak (Tobin & Capie (1981). Sejalan dengan pendapat Taylor and Jones (2009), bahwa diperlukan keterampilan kognitif tingkat tinggi untuk dapat mengaplikasikan konsep rasio pada konsep kimia. Sementara, sebagian mahasiswa kimia masih dalam tahap pra-proporsional, yaitu

hanya dapat memahami persamaan yang sebanding tanpa mengerti atau memahami kesamaan struktur pada kedua persamaan. Mereka belum dapat secara fleksibel bertransisi dari pemahaman kongkrit tentang perbandingan bilangan ke pemahaman yang lebih abstrak tentang makna dari hukum perbandingan tetap yang dikemukakan oleh Proust.

Penalaran analogi

Kemampuan penalaran analogi mahasiswa kimia dalam melihat pola kesamaan variabel pada dua persamaan tergolong sedang. Mahasiswa kimia lebih mudah mengembangkan kemampuan penalaran analogi dibandingkan dengan penalaran proporsional dan deduksi. Penalaran analogi merupakan proses penalaran mencari pola kesamaan sifat, pola bilangan atau gambar. Hal ini menunjukkan bahwa dalam penalaran proporsional dan deduksi dibutuhkan juga penalaran analogi. Sebaliknya, dalam penalaran analogi diperlukan kemampuan proporsional untuk melihat pola-pola bilangan yang sebanding.

Berdasarkan hasil analisis lembar jawaban menunjukkan bahwa sebagian mahasiswa masih mengalami kesulitan menemukan kesamaan variabel dan konstanta dalam persamaan linear sederhana ($y = ax + b$) sebagai analog dan persamaan Clausius-Clapeyron ($\ln P = \left(\frac{-\Delta H_{vap}}{R}\right) \frac{1}{T} + C$) sebagai target. Mereka tidak dapat mengidentifikasi satuan-satuan informasi dalam analog seperti variabel x yang mempunyai kesamaan dengan variabel $\frac{1}{T}$ pada unit informasi target (persamaan Clausius-Clapeyron). Menurut Dahar (1996), pemahaman tentang unit-unit informasi merupakan dasar untuk membuat analogi. Kemampuan berpikir analogi dalam melihat pola hubungan antara dua persamaan membutuhkan pemahaman terhadap variabel dan konstanta dalam persamaan. Mahasiswa yang tidak dapat menemukan kesamaan antara dua persamaan umumnya disebabkan karena tidak dapat membedakan variabel bebas dan intersep pada persamaan analog dan target. Hasil temuan ini sejalan dengan studi Witten (2005) yang melaporkan bahwa mahasiswa kimia tidak dapat membedakan variabel dan konstanta. Kesulitan mahasiswa kimia dalam penalaran analogi ini dapat dijelaskan oleh Lazear, (2004), bahwa memahami hubungan timbal-balik diantara pola-pola yang ada merupakan proses berpikir abstrak.

Penalaran analogi terhadap pola kesamaan variabel pada dua persamaan dipengaruhi juga kompleksitas variabel dalam persamaan kimia yang menjadi target. Sebagian mahasiswa kimia

memahami bahwa variabel terikat (y) dan variabel bebas (x) dalam persamaan umum linear sebagai analog, tetapi tidak dapat mengidentifikasi variabel bebas ($\frac{1}{T}$) dan variabel terikat ($\ln P$) dalam persamaan Clausius–Clapeyron. Hasil ini sejalan dengan pendapat Lazear, (2004) yang menyatakan bahwa kemampuan penalaran dipengaruhi oleh konteks masalah yang akan diselesaikan.

Penalaran Deduksi

Kemampuan mahasiswa kimia dalam penalaran deduksi dalam konteks kimia mengalami peningkatan yang paling rendah dibandingkan dengan tiga penalaran lain. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mahasiswa kimia mengalami kesulitan paling serius dalam penalaran deduksi dibandingkan dengan penalaran pengendalian variabel dan analogi. Hasil ini sesuai dengan pendapat Jonassen (2011), yang menyatakan bahwa setiap jenis penalaran yang berbeda membutuhkan kemampuan kognitif yang berbeda, seperti perbedaan pengetahuan yang dibutuhkan dan perbedaan bentuk representasi. Kesulitan mahasiswa kimia dalam penalaran deduksi ini sejalan dengan studi Oehrtman & Lawson, (2008), yang melaporkan bahwa pemahaman guru sains dan matematika pada pembuktian masih tergolong rendah.

Penalaran deduksi merupakan proses pengambilan kesimpulan melalui pembuktian pernyataan atau persamaan menggunakan prinsip-prinsip matematika. Faktor yang mempengaruhi kemampuan mahasiswa kimia dalam berpikir deduksi adalah pemahaman konseptual dan kemampuan kuantitatif. Mahasiswa yang mempunyai pengetahuan konseptual dan kemampuan kuantitatif dapat melakukan penalaran deduksi dengan baik. Misalnya, untuk dapat membuktikan hubungan antara k_1 dan k_2 dalam persamaan van'Hoff ($\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$) dibutuhkan kemampuan kuantitatif. Tanpa itu mereka tidak dapat menentukan nilai ekspresi matematik $-\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$ pada kondisi $T_2 > T_1$. Sebaliknya, tanpa pemahaman konseptual, maka mahasiswa tidak dapat menentukan nilai ΔH pada reaksi ekstremen. Sejalan dengan hasil studi Ploetzner yang dikutip oleh Hung & Jonassen, (2006), bahwa mahasiswa yang hanya melakukan salah satu pendekatan (konseptual atau kuantitatif) tidak dapat memecahkan masalah yang membutuhkan pemahaman keduanya Sejalan juga dengan McCloskey *et al.* (Hung & Jonassen, 2006) yang menyatakan bahwa dalam proses perhitungan

diperlukan pemahaman menyeluruh dari operasi matematis (sifat komutatif, asosiatif, pembagian dan perkalian), prosedur pelaksanaan perhitungan dan pencarian informasi dari fakta aritmetika.

SIMPULAN

Pendekatan pemecahan masalah kimia secara terstruktur dapat menguatkan pemahaman mahasiswa pada konsep kimia, dan melatih keterampilan penalaran. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kemampuan mahasiswa pada empat jenis penalaran (pengendalian variabel, penalaran proporsional, analogi, dan deduksi) dapat ditingkatkan melalui pemecahan masalah kimia secara terstruktur dengan kategori sedang. Kemampuan penalaran analogi mahasiswa mengalami peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penalaran proporsional dan deduksi. Semakin tinggi keterampilan kognitif yang dibutuhkan dalam pemecahan masalah kimia, kesulitan mahasiswa semakin meningkat, dan kemampuan penalaran mereka semakin menurun. Meskipun, mengalami peningkatan yang berbeda, kemampuan mahasiswa kimia pada empat jenis penalaran saling berkorelasi secara signifikan satu sama lain. Artinya, sebagian besar mahasiswa dengan kemampuan penalaran pengendalian variabel yang tinggi, cenderung mempunyai kemampuan proporsional yang tinggi. Bahkan, penalaran analogi dapat mengaktifasi penalaran proporsional dan deduksi.

Pemahaman konseptual dan algoritma saling komplemen, dan keduanya mempengaruhi kemampuan mahasiswa dalam memecahkan masalah kimia pada level simbolik dan submikroskopik. Oleh karena itu, setiap pembelajaran kimia harus dapat mengembangkan pemahaman algoritma dan konseptual yang seimbang dan kemudian memperkuat hubungan keduanya. Kedua kemampuan ini dapat dicapai dengan mengembangkan kemampuan penalaran mahasiswa kimia melalui pemecahan masalah secara terstruktur.

IMPLIKASI

Tujuan paling penting dari pendidikan kimia adalah mengembangkan pemahaman konseptual dan kemampuan algoritma. Tujuan ini dapat dicapai dengan menekankan pembelajaran pada keterampilan penalaran yang dapat dikembangkan melalui pemecahan masalah kimia secara terstruktur. Oleh karena itu, strategi pemecahan masalah harus mendapat perhatian dalam pembelajaran

diperguruan tinggi. Mahasiswa yang mengalami kesulitan dengan penalaran secara konseptual dan algoritma harus secara kontinyu diberikan latihan untuk dapat mengembangkan kemampuannya secara maksimal. Hal ini dapat dilakukan dengan mendorong mahasiswa untuk berpikir dan memberikan penjelasan atas prinsip matematika yang digunakan dalam pemecahan masalah kimia.

DAFTAR PUSTAKA

- Akatugba, A. H. & Wallace, J. 2009. An Integrative Perspective on Students' Proportional Reasoning in High School Physics in a West African Context. *International Journal of Science Education*, 31(11), 1473–1493.
- Chandrasegaran, A.L., Treagust, D.T., and Mecerino, M. 2007. The Development of a Two-tier Multiple-choice Diagnostic Instrument for Evaluating Secondary School Students' Ability to Describe and Explain Chemical Reactions Using Multiple Levels of Representation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8 (3), 293-307.
- Coll, R. K., Ali, A., Bonato, J., & Rohindra. D. 2005. Investigating First-Year Chemistry Learning Difficulties in the South Pacific: A Case Study from Fiji. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4(2), 241-268.
- Cracolice, M. S., Deming, J. C., & Ehlert, B. 2008. Concept learning versus problem solving: A cognitive difference. *Journal of Chemical Education*, 85(6), 873–878.
- Crocker, L. & Algina, J. 2008. *Introduction to Classical and Modern Test Theory*. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- Dahar, R.W. 1996. *Teori-Teori Belajar*. Jakarta: Erlangga
- Gaigher, E.; Roga, J.M. & Braun, M. W. H. 2007. Exploring The Development of Conceptual Understanding Through Structured Problem-Solving In Physics. *International Journal of Science Education*, 29(9), 1089–1110.
- Gultepe, N., Celik, A.Y., & Kilic, Z. 2013. Exploring Effects of High School Students' Mathematical Processing Skills and Conceptual Understanding of Chemical Concepts on Algorithmic Problem Solving. *Australian Journal of Teacher Education*, 38(10).
- Higgins, S., Hall, E., Baumfield, V., & Moseley, D. 2005. *A meta-analysis of the impact of the implementation of thinking skills approaches on pupils*. In Research evidence in education library. London: EPPI-Centre, Social Science Research Unit, Institute of Education, University of London.
- Hung, W. & Jonassen, D. H. 2006. "Conceptual Understanding of Causal Reasoning in Physics. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1601–1621.
- Johnstone, A. H. 1991. Why is Science Difficult to Learn? Things are Seldom Like They Seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.
- Jonassen, D. H. 2011. *Learning to Solve Problems: A Handbook For Designing Problem-Solving Learning Environments*. Routledge: Madison Avenu, New York, NY.
- King, F. I., Goodson, L., & Rohani, F. 2011. *Higher Order Thinking Skills*. Virginia USA: ASCD Alexandria.
- Lazear, D. 2004. *Higher-Order Thinking: The Multiple Intelligences Way*. Chicago: Zephyr Press.
- Leech, N. L., Barrett, K. C., & Morgen, G. A. 2005. *SPSS for Introductory Statistics: Use and interpretation*. (Second Edition). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- McDermott, L. C. 1991, Millikan lecture 1990: What we teach and what is learned-closing the gap. *American Journal of Physics*, 59, 301–315.
- Morisson, J., & McDuffie, A. R. 2009. Connecting Science and Mathematics: Using Inquiry Investigations to Learn about Data Collection, Analysis, and Display. *Journal of School Science and Mathematics*, 109 (1).
- NCTM (National Council of Teachers of Mathematics). 2000. *Curriculum and evaluation standards for school mathematics*. Reston: Author.
- Niaz, M. 2005. How to facilitate students' conceptual understanding of chemistry? A history and philosophy of science perspective. *Chemical Education International*, 6(1), 1-5
- Nicoll, G. & Francisco, J. S. 2001. An Investigation of the Factors Influencing Student Performance in Physical Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 78(1), 99 – 102.
- Oehrtman, M. & Lawson, A.E. 2008. Connecting Science and Mathematics: The Nature of Proof and Disproof In Science and Mathematics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 377- 403.
- Othman, J., Treagust, D.F. and Chandrasegaran, A.L. 2008. An Investigation Into The Relationship Between Students' Conceptions of The Particulate Nature of Matter and Their Understanding of Chemical Bonding. *International Journal of Science Education*, 30 (11), 1531–1550.
- Potgieter, M., Harding, A., & Engelbrecht, J. 2008. Transfer of Algebraic and Graphical Thinking between Mathematics and Chemistry. *Journal of*

- Research In Science Teaching*, 45(2), 197–218.
- Repko, A. F. 2008. *Interdisciplinary Research: Process and Theory*. Los Angeles: Sage Publications, Inc.
- Schoenfeld, A. H. 2007. Problem solving in the United States, 1970-2008: research and theory, practice and politics. *ZDM Mathematics Education*, 39, 537-551.
- Scusa, T. & Yuma, C.O. 2008. *Five Processes Of Mathematical Thinking: Math in the Middle Institute Partnership*. University Of Nebraska – Lincoln: Summative Projects For Ma Degree
- Stamovlasis, D., Tsaparlis, G., Kamilatos, C., Papaoikonomou, D., & Zarotiadou, E. 2005. Conceptual understanding versus algorithmic problem solving: Further evidence from a national chemistry examination. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(2), 104-118.
- Taylor, A. & Jones, G. 2009. Proportional Reasoning Ability and Concepts of Scale: Surface Area to Volume Relationships in Science. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1231–1247.
- Tobin, K. & Capie, W. 1981. The Development and Validation of a Group test of Logical Thinking. *Educational and Psychological Measurement*, 41, 413-423
- Tsitsipis, G., Stamovlasis, D., & Papageorgiou, G. 2010. The Effect of Three Cognitive Variables on Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter and its Changes of State. *International Journal of Science Education*, 32(8), 987–1016.
- Treagust, D. F. 1988. The Development and Use of Diagnostic Instruments to Evaluate Students' Misconceptions in Science. *International Journal of Science Education*, 10, 159–169.
- Valanides, N. 1997. Formal Reasoning Abilities and School Achievement. *Studies in Educational Evaluation*, 23(2), 169-185.
- Witten, G. Q. 2005. Designing A Mathematics Course for Chemistry and Geology Students. *Educational Studies in Mathematics*, 58, 1–19.
- Van Heuvelen, A. 1991. Learning to think like a physicist: A review of research based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59, 891–897.