

**PERBANDINGAN METODE KOLABORASI DENGAN CONTOH TUGAS
DAN BELAJAR INDIVIDUAL DALAM PENGEMBANGAN
KEMAMPUAN PEMECAHAN MASALAH KIMIA**

Fahyuddin¹, Liliyasi², Jozua Sabandar, Muhamad A. Martoprawiro³

¹FKIP Unhalu; ²FMIPA UPI, ³FMIPA ITB

email: fahyuddinm@yahoo.com

Abstrak: Penelitian ini berdasarkan pada teori belajar konstruktivis secara individual dan sosial. Tujuan utama penelitian adalah menyelidiki efektifitas metode kolaboratif dan belajar individual secara tradisional dalam mengembangkan keterampilan pemecahan masalah kimia secara matematis. Perbandingan kedua metode belajar menggunakan desain quasi eksperimen. Subjek penelitian terdiri atas 60 mahasiswa kimia yang sedang memprogramkan mata kuliah matematika kimia. Hasil analisis data mengindikasikan bahwa efektifitas kedua metode belajar dipengaruhi oleh jenis materi kimia yang dipelajari dan konsep matematika yang relevan. Kemampuan pemecahan masalah mahasiswa yang belajar individual lebih baik dibandingkan dengan belajar kolaboratif pada materi kinetika yang menggunakan konsep kalkulus. Akan tetapi, kedua lingkungan belajar memberikan pengaruh yang sama pada kemampuan pemecahan masalah kimia menggunakan konsep dasar matematika seperti logaritma dan aljabar. Selain pendekatan belajar, kemampuan mahasiswa kimia dalam pemecahan masalah dipengaruhi oleh sejumlah faktor meliputi: faktor kognitif dan pengalaman belajar. Temuan penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada pemilihan strategi belajar dengan pertimbangan sejumlah faktor yang berpengaruh.

Kata Kunci: *pendidikan kimia, mahasiswa, belajar kolaboratif dan individual, pemecahan masalah, materi matematika*

**A COMPARISON OF THE COLLABORATION METHOD
USING THE TASK SAMPLE AND INDIVIDUAL LEARNING
IN THE DEVELOPMENT OF CHEMISTRY PROBLEM SOLVING SKILLS**

Abstract: This study was based on the individual and social constructivist learning theory. This study was aimed to examine the effectiveness of the collaborative learning and traditional individual learning to improve the students' problem solving skills. This study used the quasi-experimental design. The subjects were 60 Chemistry students enrolling the Chemistry Mathematics course. The findings showed that the effectiveness of both methods was influenced by the type of the chemistry materials being studied and relevant mathematical concepts. The problem solving skills of the students learning individually was better than those of the students learning collaboratively in the kinetics concept using the calculus concept. However, both learning settings gave the same influence on the chemistry problem solving skills using the basic mathematics concepts such as logarithm and algebra. In addition to the learning approach, the students' problem solving skills were also influenced by several factors including: cognitive and learning experience factors. These findings can give contribution to the choice of learning strategies by taking into account of the influential factors.

Keywords: *chemistry education; undergraduate students; collaborative and individual learning; problem solving, mathematics content*

PENDAHULUAN

Penelitian pendidikan kimia merupakan ilmu pengetahuan yang fokus pada pemahaman dan peningkatan hasil belajar kimia (Heron, 1999). Menurut Eilks and Byers (2010), kuan-

titas dan kualitas belajar lebih banyak bergantung pada kompetensi dan usaha yang dilakukan oleh siswa, sedangkan kualitas pengajaran pada umumnya ditentukan usaha yang dilakukan oleh guru. Variabel-variabel yang telah

dieksplorasi dalam penelitian pendidikan kimia, dan memberikan pengaruh signifikan pada hasil belajar siswa, seperti: tahap perkembangan intelektual (Valanides, 1997) kemampuan berpikir logis (Nicol and Francisco, 2001), pengetahuan awal (Hailikari *et al.*, 2008), dan aktifitas belajar atau metode mengajar guru (Tai *et al.*, 2006; Kalender and Berberoglu, 2009).

Penelitian yang berfokus pada apa yang dilakukan guru dan siswa dalam kelas menunjukkan bahwa prestasi belajar siswa dapat ditingkatkan dengan pendekatan belajar secara kolaboratif (berpusat pada siswa). Metode belajar kolaboratif sangat direkomendasikan dalam pendidikan kimia untuk meningkatkan aktifitas belajar siswa (Arrington *et al.*, 2008). Harskamp and Ding (2006) melaporkan bahwa belajar memecahkan masalah secara kolaboratif dapat meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa dibandingkan belajar secara individu. Sama dengan hasil studi Blaye *et al.* (1991), yang menemukan bahwa siswa yang sudah terbiasa belajar kolaborasi pada pemecahan masalah fisika, memperoleh skor yang lebih tinggi secara signifikan pada tes pengetahuan dibandingkan dengan siswa yang belajar sendiri.

Kolaborasi merupakan proses interaksi antara siswa untuk mencapai tujuan bersama, dan setiap anggota kelompok bertanggung jawab untuk mencapai tujuan. Belajar kolaboratif memungkinkan siswa cenderung lebih banyak menghabiskan waktu pada kegiatan refleksi dan diskusi dalam memecahkan masalah dari pada siswa yang belajar secara individu (Blaye *et al.*, 1991). Interaksi antara siswa dalam menyelesaikan tugas atau masalah menyebabkan setiap siswa memproses informasi secara aktif, dan dapat dikonstruksi menjadi pengetahuan dan keterampilan individu masing-masing (Harskamp and Ding, 2006). Proses diskusi kelompok yang aktif, seperti temuan belajar memberikan contoh pada suatu topik, menjelaskan konsep, mendemonstrasikan suatu metode penyelesaian, atau memberikan argumen spesifik. Interaksi verbal antara anggota kelompok yang menuntut aktifitas kognitif yang disebut “elaborasi”, ketika terjadi dalam proses pemecahan masalah dengan cara-cara tertentu, maka dengan sendirinya da-

pat meningkatkan pengetahuan semua anggota kelompok (Avouris *et al.*, 2002). Hal ini diperegas oleh Slavin *et al.* (2003) bahwa memberikan penjelasan kepada teman lain dapat meningkatkan kemampuan dalam mengelaborasi materi dengan efektif. Akan tetapi, terdapat hasil penelitian menunjukkan hal yang berlawanan dengan potensi belajar kolaborasi dalam meningkatkan pemahaman siswa.

Banyak hasil studi yang melaporkan bahwa aktifitas belajar yang berpusat pada guru (belajar individual) lebih baik secara signifikan dalam meningkatkan prestasi belajar dibandingkan belajar kolaboratif. Gerstner and Bogner (2010); Kalender and Berberoglu, (2009) menemukan bahwa skor rata-rata hasil belajar siswa yang mengikuti pembelajaran yang berpusat pada guru lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan pembelajaran berpusat pada siswa dengan metode kooperatif. Secara tradisional, pengajaran berpusat pada guru umumnya merupakan transfer informasi (materi) dari guru kepada siswa. Siswa secara simultan mengerjakan tugas dengan mengikuti arahan guru (Daniels *et al.*, 2001). Dalam pendekatan berorientasi pada siswa, fokus guru dan pengajaran lebih banyak dialihkan pada mahasiswa.

Hasil penelitian yang saling kontradiksi merefleksikan adanya hambatan dan kelemahan dari masing-masing metode kolaboratif dan belajar individual. Beberapa kelemahan metode kolaboratif dijelaskan oleh Harskamp and Ding, (2006), bahwa sangat sulit menemukan cara menyusun lingkungan belajar yang dapat menstimulasi elaborasi antara siswa, dan belajar secara kolaborasi cenderung beresiko menjadi belajar percakapan dan kurang efektif. Sebaliknya, belajar secara individual memerlukan perhatian khusus dalam desain pembelajaran (Davis and Linn, 2000), seperti memahami bagaimana siswa belajar (Eilks and Byers, 2010), untuk dapat mendorong mereka belajar dengan efektif dan efisien.

Sejumlah penelitian yang membandingkan belajar kolaboratif dan individual di atas tidak mendiskusikan faktor lain, seperti tingkat kesulitan materi, faktor yang menghambat mahasiswa, dan organisasi materi pelajaran. Per-

timbangan kemampuan mahasiswa sangat penting sebab sekarang ini sebagian besar siswa yang masuk pada perguruan tinggi masih dalam tahap perkembangan kognitif konkret dan transisi (Childs, 2009). Kemampuan awal mahasiswa akan mempengaruhi perhatian yang mereka berikan pada materi atau tugas perkuliahan (Eilks and Byers, 2010) pada lingkungan belajar kolaboratif maupun belajar individual. Penelitian yang menghubungkan aktifitas belajar dengan variabel lain yang mempengaruhi hasil belajar siswa seharusnya mendapat perhatian untuk memberikan literatur yang komprehensif bagi pengajar dalam mendesain pembelajaran.

Tulisan ini berfokus pada belajar kolaborasi dan belajar individual (berpusat pada dosen) melalui pembelajaran berbasis masalah dengan tingkat kesulitan materi yang berbeda. Dalam Pembelajaran berbasis masalah, materi kimia dipresentasikan dalam bentuk skenario masalah (Overton and Bradley, 2010). Masalah kimia berfungsi sebagai pemandu belajar dan diperkenalkan sebelum belajar tentang konsep kimia dan matematika yang relevan. Untuk dapat memecahkan masalah, mahasiswa harus menggunakan pendekatan matematika. Keterampilan matematik merupakan hal yang esensial selain pemahaman konsep kimia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengumpulkan data mengenai kemampuan mahasiswa dalam pemecahan masalah kimia secara matematis setelah pembelajaran dengan metode kolaborasi dan belajar individual. Untuk mengeksplorasi efektifitas metode kolaborasi dan belajar individual, maka terdapat tiga pertanyaan yang akan dijawab dalam penelitian ini.

- Apakah belajar kolaboratif lebih baik dalam mengembangkan keterampilan pemecahan masalah dibandingkan dengan belajar individual dengan metode latihan dan tanya jawab?
- Apakah tingkat kesulitan konsep matematika yang digunakan dalam pemecahan masalah kimia berpengaruh pada efektifitas kedua metode belajar?
- Bagaimana peningkatan kemampuan pemecahan masalah mahasiswa setelah pembelajaran dengan metode kolaboratif dan individual?

METODE

Subjek dan Desain Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada mahasiswa jurusan kimia (semester tiga) yang berjumlah 60 orang dari dua kelas paralel. Mahasiswa dalam penelitian ini berumur antara 18-20 tahun. Mahasiswa dengan NIM angka ganjil sebagai kelas A (N = 30), sedangkan NIM angka genap dikelompokkan dalam kelas B (N=30). Pengelompokkan dengan cara tersebut tidak memenuhi kaidah *random assignment* sebagai syarat suatu penelitian eksperimen. Menurut Borg and Gall (2003), disain yang mempunyai validitas tinggi dalam penelitian pendidikan untuk membandingkan dua kelompok belajar yang sudah terbentuk adalah *pretest-posttest two group design*, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain Penelitian Perbandingan Dua Metode Belajar

Kelompok Belajar	Tes Awal	Intervensi	Tes Akhir
Kelas A	O ₁	BI	O ₂
Kelas B	O ₃	BK	O ₄

Keterangan:

BI = belajar individual dengan metode latihan dan tanya jawab

BK = belajar kolaboratif menggunakan contoh kerja

O₁ dan O₃ = pretes. O₂ dan O₄ = postes

Prosedur Pembelajaran

Materi kimia diorganisasi dalam bentuk permasalahan dan diberikan kepada masing-masing kelompok dalam bentuk lembar kerja mahasiswa (LKM) yang memuat prinsip matematika, contoh kerja, dan masalah kimia yang harus dipecahkan menggunakan pendekatan matematik. Gambar 1 mengilustrasikan salah satu contoh LKM sebagai sumber belajar mahasiswa dalam belajar kolaboratif. Dalam memecahkan setiap permasalahan kimia, menggunakan strategi heuristik dari Polya (1957) yang terdiri atas empat langkah meliputi: memahami masalah, merencanakan strategi, melaksanakan strategi, dan evaluasi.

Memahami masalah. Mahasiswa memahami masalah dengan mengidentifikasi infor-

masi yang diketahui dan tidak diketahui. Melalui diskusi kelompok mempelajari prinsip-prinsip matematika dan contoh kerja, dan menentukan konsep kimia dan matematika yang relevan untuk memecahkan masalah.

Merencanakan strategi penyelesaian. Secara individu, mahasiswa mempelajari masalah dan membuat strategi penyelesaian. Kemudian, membandingkan rencana strategi yang dibuat tiap individu dan mendiskusikan strategi yang memiliki tingkat ketepatan tinggi dapat menyelesaikan masalah dengan mempertimbangan contoh kerja.

Melaksanakan rencana. Mahasiswa menyelesaikan strategi yang disepakati secara bersama. Pada tahap ini, mahasiswa harus memperhatikan data yang akan ditranslasi, keseragaman satuan, manipulasi aljabar yang tepat.

Evaluasi. Hasil yang diperoleh dievaluasi mulai dari data yang ditranslasi ke dalam persamaan, perhitungan, dan manipulasi aljabar yang dilakukan. Selain itu, secara bersama mendiskusikan kelogisan hasil perhitungan yang diperoleh.

Pada belajar individual, setiap mahasiswa mendapatkan LKM yang hanya memuat permasalahan kimia. Sebelum mengerjakan latihan pemecahan masalah, mahasiswa yang belajar individual mendapatkan penjelasan dengan tanya jawab dari dosen cara penyelesaian masalah kimia secara matematik dengan empat langkah. Ketika mahasiswa mengerjakan latihan, dilakukan juga tanya jawab dengan menunjuk beberapa mahasiswa untuk memberikan makna terhadap penyelesaian matematik yang dilakukan.

Instrumen Penelitian dan Konsep yang Diukur

Instrumen penelitian menggunakan dua jenis tes, yaitu tes pilihan ganda dua tingkat dan tes esai tertstruktur. Tes pilihan ganda dua tingkat digunakan untuk mengakses kemampuan pemecahan masalah kimia menggunakan matematika dasar, seperti proporsi, logaritma, dan hukum aljabar. Prinsip kimia yang digunakan untuk menyusun pertanyaan meliputi: konsep massa atom relatif, hukum Proust, hipotesis

Avogadro, dan sel elektrokimia. Tes esai untuk mengakses kemampuan pemecahan masalah kimia materi “kinetika” yang membutuhkan penguasaan konsep “kalkulus”, dan terdiri atas tiga soal, yaitu masalah laju peluruhan inti radioaktif, laju reaksi, dan laju pelarutan zat padat yang sukar larut.

Data dan Teknik Analisis

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah hasil lembar kerja mahasiswa (LKM) selama pembelajaran, skor ujian pretes, skor ujian postes, dan jenis-jenis kesalahan dalam pemecahan masalah kimia secara matematik. Untuk mendeskripsikan sejumlah data yang diperoleh dianalisis secara statistik deskripsi, sedangkan untuk membandingkan efektifitas belajar kolaboratif dan individual digunakan analisis statistik parametrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Observasi

Mahasiswa dalam kelompok belajar kolaborasi menghabiskan banyak waktu dalam pemecahan masalah dibandingkan dengan kelompok mahasiswa belajar secara individu. Dari hasil observasi selama eksperimen, terlihat bahwa mahasiswa membutuhkan lebih banyak waktu untuk elaborasi. Selama kegiatan pembelajaran, semua kelompok belajar dimotivasi dan diberikan bantuan sesuai dengan jenis permasalahan yang dibutuhkan. Namun demikian, tidak semua kelompok yang mengalami hambatan dalam menyelesaikan masalah mendapatkan bantuan dari tutor. Hasil analisis LKM menunjukkan bahwa, secara rata-rata hanya terdapat empat kelompok dari 10 kelompok belajar yang dapat menyelesaikan semua tugas dengan benar. Bahkan, pada beberapa episode belajar, terdapat dua atau tiga kelompok yang tidak memberikan jawaban benar dari empat tugas yang diberikan. Dari hasil observasi selama mengerjakan tugas kelompok mengindikasikan bahwa kelompok belajar yang mempunyai teman belajar lebih ahli relatif aktif melakukan elaborasi, sedangkan kelompok belajar yang semua anggotanya terdiri dari mahasiswa dengan kemampuan sedang dan rendah lebih banyak pasif dan

terlihat kurang melakukan elaborasi. Dari hasil wawancara dengan mahasiswa dari kelompok belajar yang kurang aktif menunjukkan bahwa mereka tidak mempunyai kemampuan matematika dasar yang cukup untuk memahami contoh kerja yang ada.

Pada kelompok belajar individual, setiap siswa mendapat LKM untuk menyelesaikan masalah. Sebelum menyelesaikan tugas, mereka memperhatikan cara penyelesaian masalah yang dijelaskan tahap demi tahap melalui tanya jawab.

Penggunaan kegiatan latihan untuk menguatkan pemahaman yang mereka peroleh lewat pengajaran tradisional. Selama mengerjakan latihan, diberikan tanya jawab yang berhubungan dengan konsep matematika yang dibutuhkan untuk dapat menyelesaikan masalah. Sebagian besar mahasiswa tidak dapat menyelesaikan tugas dengan benar pada empat macam masalah yang diberikan dalam setiap pertemuan. Mahasiswa yang berkemampuan tinggi dalam lingkungan

Petunjuk.
Selesaikan soal-soal dibawah ini melalui diskusi kelompok dengan memperhatikan prinsip matematika dan contoh perhitungan

Aturan perpangkatan dan logaritma berbasis 10:

1. $\log 1 = 0$; $\log 10 = 1$; $\log 100 = 2$; $\frac{1}{B} = B^{-1}$, Cth. $\frac{1}{10} = 10^{-1}$
2. $\log A^b = b \log A$; Cth. $\log 1000 = \log 10^3 = 3 \log 10 = 3$
3. $\log \frac{1}{100} = \log \frac{1}{10^2} = \log 10^{-2} = -2 \log 10 = -2$
4. $\log A - \log B = \log \frac{A}{B}$; dan $\log A + \log B = \log AB$

Larutan Buffer

Persamaan matematik menghitung pH larutan *buffer* (pers. Henderson-Hasselbach), yaitu: $\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{garam}]}{[\text{asam lemah}]}$.

Jawablah pertanyaan dibawah ini.

- 1) Jika $[\text{garam}] > [\text{asam}]$, apakah nilai $\text{pH} < \text{pK}_a$? jelaskan
- 2) Bagaimana membuat larutan *buffer* agar pH larutan sama dengan pK_a ? jelaskan!
- 3) Bagaimana membuat larutan *buffer* agar konsentrasi ion H^+ sama dengan nilai K_a dari asam lemah?
- 4) Jika diketahui bahwa pK_a suatu asam lemah adalah 5, jelaskan bagaimana membuat larutan *buffer* dari asam lemah dan garamnya yang mempunyai pH 4 sebanyak 500 mL?

Gambar 1. Contoh Penyelesaian Masalah Kimia secara Matematika

Table 2. Skor Rata-rata (Mean) dan Standar Deviasi (SD) Hasil Pretes dan Postes pada Dua Kondisi Belajar dan Jenis Materi

Metode Belajar	Materi Kimia	Nilai Pretes		Nilai Postes	
		Mean	SD	Mean	SD
Belajar Kolaborasi	Prinsip kimia dan matematika dasar	22	17	57	23
	Kinetika dan Kalkulus	17	12	38	19
	Rata-rata	19	16	48	21
Belajar Individual	Prinsip kimia dan Matematika dasar	20	20	55	25
	Kinetika dan Kalkulus	13	11	46	20
	Rata-rata	17	15	52	23

Ket. Prinsip kimia: Hukum Proust, Hipotesis Avogadro, massa atom relatif, dan sel elektrokimia

Tabel 3. Persentase Mahasiswa pada setiap Kategori N-gain

Materi Kimia	Kondisi Belajar	Jumlah mahasiswa pada setiap Kategori N-gain			N-gain (Mean)
		Rendah (%)	Sedang (%)	Tinggi (%)	
Prinsip kimia dan matematika dasar	Kolaborasi	27	57	20	0,40
	Individual	20	60	20	0,41
Kinetika dan Kalkulus	Kolaborasi	77	17	7	0,27
	Individual	47	50	7	0,36

Ket. Prinsip kimia: Hukum Proust, Hipotesis Avogadro, massa atom relatif, dan sel elektrokimia
Skor N-gain < 0,3 (rendah) ; $0,3 \leq \text{N-gain} \leq 0,7$ (sedanga); dan > 0,7 (tinggi) (Hake, 1998).

belajar individual dapat menyelesaikan tugas dengan cepat dibandingkan dengan yang berkemampuan kognitif rendah. Secara rata-rata, terdapat 33% mahasiswa dapat menyelesaikan empat masalah yang diberikan dengan benar. Mahasiswa yang dapat menjawab 3 masalah dan 2 masalah secara berturut-turut adalah 26% dan 37%. Hasil observasi selama pembelajaran menunjukkan bahwa dalam dua pertemuan awal, kebanyakan mahasiswa mengalami kesulitan dalam menyelesaikan masalah setelah diberikan penjelasan tentang langkah penyelesaian dari setiap tugas.

Hasil Analisis Prestasi Belajar

Materi kimia dalam penelitian ini dibagi menjadi dua kategori: konsep/prinsip kimia yang membutuhkan pemahaman matematik dasar (misalnya, logaritma dan aljabar), seperti hukum Proust dan Dalton, dan konsep kimia yang membutuhkan kemampuan matematika lanjut (kalkulus), yaitu kinetika. Hasil analisis skor rata-rata dan standar deviasi dari pretes dan postes pada dua kondisi belajar dengan kategori materi kimia berbeda dirangkum pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa kemampuan awal mahasiswa tergolong rendah dalam pemecahan masalah kimia menggunakan prinsip matematika. Mahasiswa tidak dirandom untuk menjadi anggota salah satu kelompok, sehingga perlu dilakukan analisis perbedaan kemampuan awal antara kedua kelompok belajar menggunakan data pretes. Hasil perhitungan uji homogenitas varians dan uji-t antara skor rata-rata pretes dari kedua kelompok belajar menghasilkan nilai $F = 0,263$; $P = 0,74$; $t = 0,485$, $p = 0,62$, dan menunjukkan bahwa varians dan skor rata-rata pretes kedua kelompok belajar tidak berbeda secara signifikan. Artinya, keragaman dan kemampuan awal kedua kelompok belajar dalam pemecahan masalah kimia adalah sama.

Untuk menguji perbedaan pengaruh perlakuan, dilakukan analisis kovarians (Anakova). Kondisi belajar (kolaborasi dan individual) sebagai variabel bebas, nilai pretes sebagai kovariat, dan skor postes sebagai variabel terikat. Penggunaan skor pretes sebagai kovariat bertujuan untuk mengontrol perbedaan yang sangat kecil antara mahasiswa dari dua kondisi belajar

yang dapat mengaburkan efek dari kondisi hasil eksperimen (Harskamp and Ding, 2006). Hasil Anakova pada materi kimia yang membutuhkan matematika dasar menghasilkan nilai $F = 0,24$, $p = 0,62$, sedangkan pada materi kinetika yang menggunakan prinsip kalkulus menghasilkan nilai $F = 13,4$; $p = 0,00$. Hasil ini menunjukkan bahwa kemampuan pemecahan masalah materi kinetika dari kelompok mahasiswa yang belajar individual lebih besar secara signifikan dibandingkan dengan mereka yang belajar kolaboratif, sedangkan pada pemecahan masalah kimia yang menggunakan konsep dasar matematika, kedua kelompok belajar menunjukkan hasil yang sama.

Kemampuan mahasiswa kimia secara rata-rata dalam pemecahan masalah materi kinetika dari hasil belajar kolaboratif dan individual secara berturut-turut adalah 36 dan 48 (skala 100). Persentase mahasiswa yang memperoleh peningkatan kemampuan pemecahan masalah pada kategori rendah, sedang, dan tinggi dirangkum pada Tabel 3. Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa sebanyak 77% mahasiswa dari hasil belajar kolaboratif dan 47% dari kelompok belajar individual memperoleh peningkatan kemampuan pemecahan masalah kinetika pada kategori rendah. Mahasiswa yang memperoleh peningkatan kemampuan pemecahan masalah kinetika pada kategori tinggi selalu menjadi tutor dalam dalam belajar kolaborasi maupun individual.

Mahasiswa berkemampuan rendah mengalami kesulitan paling serius dalam pemecahan masalah kimia yang menggunakan prinsip kalkulus. Pada pembelajaran prinsip-prinsip kimia menggunakan konsep dasar matematika, kemampuan pemecahan masalah mahasiswa kimia mengalami peningkatan pada kategori sedang. Hasil analisis lembar jawaban mahasiswa dalam menyelesaikan masalah kinetika menunjukkan bahwa sebagian besar (68%) mahasiswa tidak dapat menyelesaikan masalah dengan benar secara lengkap. Jenis-jenis kesalahan yang teridentifikasi dari algoritma penyelesaian masalah materi laju pelarutan zat padat meliputi: representasi model matematis dari masalah, translasi data ke dalam strategi penyelesaian,

dan operasi matematik. Persentase mahasiswa pada setiap jenis kesalahan dalam menyelesaikan masalah laju pelarutan zat padat dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Persentase Mahasiswa pada Setiap Jenis Kesalahan dalam Pemecahan Masalah Materi Kinetika

Jenis Kesalahan	Jumlah Mahasiswa	
	Kolaborasi (%)	Individual (%)
Membuat persamaan matematik	31	20
Translasi data ke dalam persamaan	27	23
Operasi matematik	40	37
Tidak menjawab	3	7

Data pada Tabel 4 memperlihatkan bahwa jumlah mahasiswa pada setiap jenis kesalahan relatif lebih banyak pada kelompok belajar kolaborasi dibandingkan dengan kelompok mahasiswa yang belajar individual. Misalnya, terdapat 30% dan 20% mahasiswa secara berturut-turut pada kelompok belajar kolaborasi dan individual yang tidak dapat membuat model matematik dengan benar dalam mengkomunikasikan laju perubahan zat. Dengan demikian, hanya terdapat sekitar 70% mahasiswa dalam kelompok belajar kolaborasi yang dapat meneruskan proses penyelesaian masalah. Sebagian dari mereka yang dapat membuat strategi penyelesaian gagal mentranslasi data ke dalam persamaan dengan benar, yaitu terdapat 27% dan 23% mahasiswa secara berturut-turut pada kelompok belajar kolaborasi dan individual. Mahasiswa yang dapat mentranslasi data dengan benar, sebagian mengalami kesulitan dalam operasi matematis.

Gambar 2 mendeskripsikan salah satu contoh algoritma mahasiswa yang gagal mentranslasi data ke dalam persamaan dan operasi matematik yang tidak benar pada pemecahan masalah laju peluruhan zat radioaktif karbon-14 (^{14}C). Masalah dinyatakan secara verbal: “jika dibutuhkan waktu 5600 tahun agar inti ^{14}C meluruh sebanyak 50%, berapakah waktu yang diperlukan agar inti karbon yang telah meluruh adalah 60%, dan laju peluruhan inti sebanding dengan jumlah inti yang ada”.

$$\ln 60\% = \ln 100$$

$$\ln 600 = \frac{\ln 600}{\ln 100} = \frac{4.0944}{4.6052} = 0.88$$

$$\ln \frac{1}{2} = \ln 20 + \ln 2$$

$$\ln \frac{1}{2} = \frac{\ln 20}{\ln 2} = \frac{0.0001237}{0.0091} = 0.00013920 \text{ gram}$$

Gambar 2. Contoh Kesalahan dalam Translasi Data dan Operasi Matematik

Algoritma pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa data 60% yang dinyatakan dalam masalah peluruhan langsung ditransfer pada persamaan. Mahasiswa tidak mengkonversi menjadi jumlah yang tersisa (100%-60%). Arti fisis dari persamaan laju peluruhan menyatakan bahwa logaritma dari massa radioaktif yang tersisa, bukan logaritma dari yang massa yang telah hilang (meluruh). Kesalahan mentranslasi data dapat disebabkan oleh kurangnya kemampuan mahasiswa dalam memahami makna atau arti fisik persamaan. Kesalahan dalam translasi data diduga disebabkan mahasiswa menghafal persamaan matematis untuk penyelesaian masalah yang sejenis dengan yang sudah mereka pelajari.

Pembahasan

Belajar kolaboratif yang efektif membutuhkan sejumlah prasyarat seperti kemampuan awal mahasiswa dan sumber belajar yang memadai. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa belajar secara individual lebih baik dibandingkan dengan metode kolaboratif dalam mengembangkan kemampuan pemecahan masalah kimia secara matematis. Temuan ini mendukung hasil studi sebelumnya, seperti studi Gerstner and Bogner (2010); Kalender and Berberoglu, (2009); Pol *et al.*, (2005) yang melaporkan bahwa belajar individual lebih baik dari metode kolaboratif dalam meningkatkan prestasi belajar siswa. Belajar individual lebih baik diduga ka-

rena penjelasan dan tanya jawab yang efektif. Penjelasan pemecahan masalah kimia secara matematik dalam penelitian ini dilakukan tahap demi tahap untuk menunjukkan epistemologi dari persamaan kimia. Penggunaan prinsip matematika lebih ditekankan untuk memahami kimia kuantitatif. Prinsip matematika dijelaskan bersamaan dengan kebutuhan langsung dalam pemecahan masalah kimia. Belajar secara individual menjadi efektif dan efisien dengan memberikan *scaffolding* secara tepat terhadap apa yang harus dilakukan dalam setiap tahap penyelesaian masalah. Kegiatan ini mendukung temuan Harskamp and Ding, (2006), bahwa belajar individual dapat ditingkatkan dengan panduan secara terstruktur yang memberikan petunjuk secara detail terhadap apa yang harus dikerjakan dalam setiap tahap pemecahan masalah.

Contoh kerja dan masalah yang diberikan pada setiap proses belajar kolaboratif sebagian didesain agar mahasiswa mengembangkan pendekatan konseptual dalam menyelesaikan masalah. Mahasiswa menggunakan prinsip matematika, seperti aljabar dan aritmetika dalam melakukan manipulasi persamaan. Hasil penelitian ini menduga bahwa contoh kerja yang diberikan tidak efektif untuk menstimulus diskusi antara anggota kelompok dalam meningkatkan interaksi elaborasi dan penyatuan pengetahuan di antara mahasiswa. Diskusi kelompok dalam proses pemecahan masalah cenderung menjadi percakapan ketika mereka tidak mendapatkan bantuan yang memadai. Konsiderasi seperti ini sesuai dengan pendapat Eilks and Byers (2010), yang mengatakan bahwa siswa sering tidak dapat memberikan perhatian yang cukup pada tugas belajar disebabkan kemampuan kognitif dan pengetahuan awal mereka kurang memadai untuk dapat menginterpretasi informasi atau materi baru.

Efektifitas lingkungan belajar kolaboratif dan individual dipengaruhi oleh faktor tingkat kesulitan materi kimia. Hasil ini mendukung pendapat Herron (1999), bahwa konten kimia merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi prestasi belajar kimia. Elaborasi dalam belajar kelompok lebih mudah dilakukan dalam memecahkan masalah kimia yang memerlukan

konsep-konsep matematika dasar, seperti logaritma, aritmetika dan aljabar dasar. Lingkungan belajar kolaboratif mengkonversi strategi pemecahan masalah Polya ke dalam urutan-urutan aktivitas yang harus dikerjakan dalam kelompok belajar. Penelitian ini menunjukkan adanya hubungan antara penjelasan dan diskusi suatu masalah antara siswa dengan peningkatan kemampuan mereka dalam pemecahan masalah. Akan tetapi, hal ini tidak dapat dijelaskan secara eksplisit.

Kemampuan Mahasiswa dalam Pemecahan Masalah Kimia

Berdasarkan hasil penelitian ini ditemukan sejumlah faktor yang mempengaruhi kemampuan mahasiswa dalam menyelesaikan masalah kimia, meliputi faktor kognitif dan pengalaman belajar dalam memecahkan masalah. Faktor kognitif terdiri dari kemampuan proporsional, pemahaman konseptual dan kuantitatif, bahasa tugas, proses informasi. Faktor-faktor tersebut berkontribusi pada setiap langkah dari empat tahap penyelesaian masalah menurut Polya (1957).

Faktor penalaran proporsional. Mahasiswa kimia mengalami kesulitan dalam menyelesaikan masalah aplikasi hukum Proust. Mereka tidak dapat menerjemahkan makna hukum Proust ke dalam kalimat matematika. Hubungan proporsional yang selalu tetap antara massa unsur-unsur dalam senyawa masih sulit dipahami oleh sebagian mahasiswa kimia. Temuan ini sejalan dengan Coll *et al.* (2005), yang melaporkan bahwa banyak mahasiswa yang tidak dapat melakukan perhitungan yang meliputi rasio yang dinyatakan secara verbal. Namun demikian, jika permasalahan hukum Proust adalah menghitung massa salah satu unsur, semua mahasiswa dapat menyelesaikan dengan benar. Keadaan ini dapat diduga bahwa sebagian mahasiswa kimia belum mengerti tentang kesamaan struktur dari dua rasio yang sebanding, sehingga tidak dapat memahami hubungan fungsional antara massa unsur nitrogen dan hidrogen dalam amoniak, karena menurut Akatugba and Wallace (2009), untuk dapat menyelesaikan

masalah proporsi diperlukan pemahaman hubungan fungsional antara variabel.

Kombinasi pemahaman konseptual dan kuantitatif. Hasil analisis algoritma menunjukkan bahwa sebagian mahasiswa kimia tidak memahami hipotesis Avogadro dengan baik karena pemahaman konseptual dan kuantitatif yang kurang memadai. Hasil ini mendukung pendapat Hung and Jonassen (2006), yang menyatakan bahwa kemampuan komputasi dan pemahaman konseptual merupakan dua atribut kognitif yang sangat diperlukan dalam proses pemecahan masalah. Kedua atribut kognitif tersebut saling berkomplemen, khususnya untuk menyelesaikan masalah kimia yang membutuhkan prinsip matematika yang bersifat kuantitatif.

Dalam penyelesaian masalah hipotesis Avogadro, sebagian besar mahasiswa kimia tidak dapat menghitung massa salah satu gas, ketika diketahui jumlah partikel dan massa gas lain pada tekanan dan suhu yang sama. Mereka tidak dapat menghubungkan besaran densitas dengan massa. Mahasiswa kimia mempunyai pemahaman konseptual yang kurang memadai mengenai hipotesis Avogadro. Pemahaman konseptual akan memberikan kemampuan dalam merepresentasikan masalah kimia yang dinyatakan secara verbal ke dalam bentuk simbol/notasi dan model matematis dengan tepat. Hal ini dijelaskan oleh Hung and Jonassen (2006), pengetahuan konseptual berpengaruh pada kesuksesan dalam membuat strategi pemecahan masalah. Sementara itu, kemampuan komputasi diperlukan untuk dapat menyelesaikan strategi atau persamaan matematis hubungan dua gas yang dinyatakan dalam masalah, seperti prinsip aritmetika, logaritma, dan aljabar. Menurut McCloskey *et al.* (1985), dalam proses perhitungan diperlukan pemahaman menyeluruh dari operasi matematis (sifat komutatif, asosiatif, pembagian dan perkalian) dan prosedur pelaksanaan perhitungan.

Pemahaman konseptual yang kurang memadai akan berpengaruh pada proses translasi data ke dalam persamaan. Proses translasi nilai-nilai variabel ke dalam persamaan kimia membutuhkan pemahaman konseptual dan

komputasi, seperti konversi satuan. Mahasiswa yang tidak memahami secara konseptual makna variabel atau besaran dalam persamaan kimia tidak dapat melakukan proses PM dengan baik. Senada dengan pendapat Tai, *et al.* (2005), kemampuan pemecahan masalah perhitungan dipengaruhi oleh kombinasi pemahaman konseptual dan pemanggilan informasi yang diperlukan secara akurat.

Sebagian besar mahasiswa kimia mengalami kesulitan melakukan translasi data sebagai pengganti besaran pada persamaan matematika. Data yang dinyatakan secara eksplisit langsung digunakan tanpa dikonversi terlebih dahulu sesuai dengan makna persamaan. Temuan ini sejalan dengan hasil studi Hung and Jonassen (2006), bahwa strategi yang umum dilakukan mahasiswa adalah menerjemahkan nilai besaran secara langsung ke dalam rumus matematis. Mahasiswa lebih banyak berorientasi dalam menemukan rumus atau persamaan pada proses pemecahan masalah. Hasil yang sama juga dilaporkan oleh Maloney, *et al.* (2001) bahwa mahasiswa yang menerapkan strategi translasi langsung, mereka umumnya gagal mengkonstruksi pemahaman konseptual dari masalah dengan konsep yang sama.

Faktor Proses informasi. Membuat representasi mental terhadap masalah merupakan kemampuan dalam memproses informasi yang ada dalam ruang masalah. Sejalan dengan pendapat Akatugba and Wallace (2009) bahwa kemampuan memproses informasi merupakan faktor kognitif yang mempengaruhi kemampuan siswa dalam melakukan penalaran. Setiap jenis masalah yang berbeda membutuhkan kemampuan kognitif yang berbeda, seperti perbedaan pengetahuan, perbedaan bentuk representasi, sehingga membutuhkan keahlian dalam proses informasi. Kemampuan dalam menganalisis masalah dan membuat koneksi antara berbagai informasi sangat diperlukan dalam pemecahan masalah (Tsaparlis and Papaphotis, 2009).

Faktor Bahasa tugas. Kemampuan membuat strategi penyelesaian yang benar dipengaruhi juga pemahaman bahasa matematis dan struktur simbolik dalam ruang masalah. Mahasiswa yang tidak memahami arti kata “perban-

dingan tetap”, dan makna dari hukum Proust akan mengalami kesulitan dalam membuat model mental terhadap masalah. Senada dengan Chiu (2007), representasi model mental mahasiswa dipengaruhi oleh representasi eksternal (seperti bahasa dan simbol).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mahasiswa kesulitan dalam memahami bahasa matematik dalam tugas pemecahan yang diberikan. Mereka juga tidak dapat melakukan penalaran dalam melihat hubungan antara variabel. Melalui penalaran dan argumentasi yang diberikan oleh mahasiswa selama kegiatan tanya jawab, dapat diberikan bantuan yang tepat sehingga pembelajaran menjadi efektif dan efisien.

Faktor pengalaman. Mahasiswa kimia tingkat dua yang menjadi subjek penelitian sudah memperoleh perkuliahan matematika dasar dan kimia pada tingkat satu. Bahkan, pada waktu yang sama dengan pembelajaran materi MSK, mereka juga mengikuti perkuliahan materi kimia fisik dan analitik yang banyak melibatkan penggunaan konsep-konsep matematika. Kemampuan berpikir matematis mereka seharusnya sudah dapat berkembang melalui pembelajaran matematika dasar dan kimia kuantitatif. Akan tetapi, kemampuan tersebut secara rata-rata masih tergolong rendah. Dengan demikian, diduga bahwa mahasiswa kimia yang menjadi subyek penelitian tidak terbiasa dengan tugas-tugas yang dapat merangsang kemampuan berpikir melalui pemecahan masalah yang kompleks. Hal ini dijelaskan oleh Dhillon (Gaigher, *et al.*, 2007), bahwa mahasiswa yang baru belajar tentang pemecahan masalah sering mengalami kesulitan dalam menghubungkan kuantitas yang ada, merepresentasikan masalah dengan simbol yang tepat, dan membuat model matematis yang benar.

Hasil analisis algoritma mahasiswa dalam penyelesaian masalah, mengindikasikan juga bahwa mereka tidak terbiasa memberdayakan pola-pola berpikir logis, pemecahan masalah secara efektif. Mereka mempunyai sedikit pengalaman dalam memecahkan masalah yang berbeda dengan yang biasa mereka kerjakan. Hal ini menunjukkan bahwa mahasiswa kimia jarang mentransfer pengetahuan yang mereka

pelajari dalam situasi baru serta menggunakan prinsip-prinsip kerja dalam pemecahan masalah, seperti strategi heuristik dari Polya.

PENUTUP

Simpulan

Kondisi belajar yang berbeda akan memberikan pengalaman belajar yang berbeda. Hasil analisis data mengindikasikan bahwa kemampuan mahasiswa dalam pemecahan masalah kinetika yang memperoleh pembelajaran secara individual lebih baik secara signifikan dibandingkan dengan belajar kolaboratif. Pada pemecahan masalah kimia menggunakan konsep-konsep dasar matematika, seperti logaritma dan aljabar, kedua kondisi belajar memberikan efek yang sama. Pemecahan masalah kinetika membutuhkan prinsip-prinsip kalkulus yang merupakan materi lanjut dalam matematika. Mahasiswa yang berkemampuan rendah kesulitan melakukan elaborasi dalam belajar belajar kelompok. Mahasiswa dengan kemampuan yang tinggi lebih mendominasi kegiatan belajar kelompok maupun individual. Hasil penelitian ini menunjukkan juga bahwa efektifitas metode belajar dipengaruhi oleh tingkat kesulitan materi. Secara rata-rata, peningkatan kemampuan mahasiswa kimia dalam pemecahan masalah kinetika dari hasil belajar kelompok tergolong rendah, sedangkan pada kegiatan belajar individual meningkat dengan kategori sedang. Pada pembelajaran materi kimia yang menggunakan konsep-konsep dasar matematika, kedua kondisi belajar dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah mahasiswa pada kategori sedang. Hasil analisis lembar kerja mahasiswa mengindikasikan bahwa terdapat sejumlah faktor yang mempengaruhi kemampuan pemecahan masalah mereka seperti, seperti tingkat kesulitan materi, faktor kognitif dan pengalaman belajar mahasiswa.

Implikasi dari hasil penelitian adalah penjelasan pemecahan masalah dalam pembelajaran diikuti dengan tanya jawab dan disesuaikan dengan pengetahuan awal mahasiswa. Tanya jawab dapat memberikan gambaran mengenai kemampuan awal mahasiswa dan jenis *scaffolding* yang harus diberikan. Jenis pertanyaan yang di-

berikan sangat bergantung pada respons siswa dan jenis tugas yang diberikan. Dalam pembelajaran, tanya jawab bukan merupakan suatu teknik yang statis, tetapi sangat dinamis yang bertujuan untuk memberikan bantuan yang tepat dalam proses penjelasan pemecahan masalah.

Rekomendasi

Terkait dengan metode kolaborasi, penelitian lanjut dibutuhkan untuk mengenal cara meningkatkan transmisi pengetahuan antara anggota kelompok melalui elaborasi pada subjek belajar dengan kemampuan awal rendah. Masalah yang dipecahkan secara berkelompok hendaknya disesuaikan dengan pengetahuan awal mahasiswa, dan mereka harus dilatih untuk bekerja dengan contoh dan petunjuk. Mahasiswa yang diwawancarai merasa lebih baik jika mereka yang menentukan anggota kelompok sendiri. Dalam setiap pembelajaran, masing-masing mahasiswa menghabiskan beberapa menit untuk saling memahami satu sama lain dalam bekerja dengan anggota kelompok yang dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- Akatugba, A. H. and 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.
- Antil, L. R., Jenkins, J. R., Wayne, S. K., and Vadasy, P. F. 1998. "Cooperative Learning: Prevalence, Conceptualizations, and the Relation between Research and Practice". *American Educational Research Journal*, 35(3), 419–454.
- Arrington, C. A., Hill, J. B., Radfar, R., Whisnant, D. M., and Bass, C. G. 2008. "Peer Mentoring in the General Chemistry and Organic Chemistry Laboratories". *Journal of Chemical Education*, 85(2), 288–290.

- Ausubel D. P., 1968. *Educational Psychology: a Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Avouris, N., Dimitracopoulou, A., and Komis, V. 2002. "On Analysis of Collaborative Problem Solving: An Object-oriented Approach". *Computers in Human Behavior*, 19, 147–167.
- Blaye, A., Light, P. H., Joiner, R., and Sheldon, S. 1991. "Joint Planning and Problem Solving on A Computer-Based Task". *British Journal of Developmental Psychology*, 9, 471–483.
- Borg, W.R. and Gall, M.D. 2003. *Education Research: An Introduction*. Seventh Edition. New York: Longman Inc.
- Childs, P. 2009. "Improving Chemical Education: Turning Research Into Effective Practice". *Chem. Educ. Res. Pract.*, 10, 189-203.
- Chiu, Mei-Hung, Guo, Chorng-Jee, and Treagust, D. F. 2007. "Assessing Students' Conceptual Understanding in Science: An Introduction about A National Project in Taiwan". *International Journal of Science Education Education*, 29(43), 79–390.
- Coll, R. K., Ali, A., Bonato, J., and 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.
- Daniels, D. H., Kalkman, D. L., and McCombs, B. L. 2001. "Young children's Perspectives on Learning and Teacher Practices in Different Classroom Contexts: Implications for Motivation". *Early Education and Development*, 12, 253–273.
- Davis, E. A., and Linn, M. C. 2000. "Scaffolding Students' Knowledge Integration: Prompts for Reflection in KIE". *International Journal of Science Education*, 22(8), 819–837.
- Eilks, I., and Byers, B. 2010. "The Need for Innovative Methods of Teaching and Learning Chemistry in Higher Education – Reflections from a Project of The European Chemistry Thematic Network". *Chem. Educ. Res. Pract.*, 11, 233-240.
- Gaigher, E., Roga, J.M., and 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.
- Gerstner, S., and Bogner 2010. "Cognitive Achievement and Motivation in Hands-on and Teacher-Centred Science Classes: Does an Additional Hands-on Consolidation Phase (concept mapping) Optimise Cognitive Learning at Work Stations?" *International Journal of Science Education*, 32(7), 849-870.
- Gillies, R. M. 2003. "Structuring Cooperative Group Work in Classrooms". *International Journal of Educational Research*, 39, 35–49.
- Hailikari, T., Nevgi, A., and Komulainen, E. 2008. "Academic Self-Beliefs and Prior Knowledge as Predictors of Student Achievement in Mathematics: A Structural Model". *Educational Psychology*, 28(1), 59–71.
- Hake, R. R. 1998. "Interactive-engagement Versus Traditional Methods: A six-Thousand-student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics courses." *American Journal of Physics*, 66(1), 64 – 74.
- Harskamp, E., and Ding, N. 2006. "Structured Collaboration versus Individual Learning in Solving Physics Problems". *International Journal of Science Education*, 28(1), 59–71.

- tional Journal of Science Education*, 28(14), 1669-1688.
- Herron, J.D. 1999. "Improving Chemistry Learning". *Journal of Chemical Education*, 76(10), 1354-1361.
- Huber, G.L. 2003. "Processes of Decision-Making in Small Learning Groups". *Learning and Instruction*, 13, 255-269.
- Hung, W. and Jonassen, D. H. 2006. "Conceptual Understanding of Causal Reasoning in Physics". *International Journal of Science Education*, 28(13), 1601-1621.
- Kalender, I. and Berberoglu, G. 2009. "An Assessment of Factors Related to Science Achievement of Turkish Students". *International Journal of Science Education*, 31(10), 1379-1394.
- Maloney, D. P., O'Kuma, T. L., Hieggelke, C. J., and van Heuvelen, A. 2001. "Surveying Students' Conceptual Knowledge of Electricity and Magnetism". *American Journal of Physics, Supplement*, 69(7), 12.
- McDermott, L. C. 1991. Millikan Lecture 1990: "What We Teach and What is Learned-closing the Gap". *American Journal of Physics*, 59, 301-315.
- Nicoll, G. and Francisco, J. S. 2001. "An Investigation of the Factors Influencing Student Performance in Physical Chemistry". *Journal of Chemical Education*, 78(1), 99-102.
- Pol, H., Harskamp, E., and Suhre, C. 2005. "The Solving of Physics Problems: Computer Assisted Instruction". *International Journal of Science Education*, 27, 451-469.
- Polya, G. 1957. *How to Solve It*. (2nd ed.). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Overton, T.L., and Bradley, J. S. 2010. "Internationalisation of the Chemistry Curriculum: Two Problem-based Learning Activities for Undergraduate Chemists". *Chem. Educ. Res. Pract*, 11, 124 - 126.
- Slavin, R.E., Hurley, E.A., and Chamberlain, A. 2003. "Cooperative Learning and Achievement: Theory and Research". In W.M. Reynolds, and G. E. Miller (Eds.), *Handbook of Psychology: Educational Psychology*, 7, 177-197. New York: Wiley.
- Sözbilir, M. 2004. "What Makes Physical Chemistry Difficult?" *Journal of Chemical Education*, 81(4), 573-578.
- Tai, R.H., Sadler, P.M., and Loehr, J.F. 2005. "Factors Influencing Success in Introductory College Chemistry". *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 987-1012.
- Tai, R.H., Ward, R.B., and Sadler, P.M. 2006. "High School Chemistry Content Background of Introductory College Chemistry Students and Its Association with College Chemistry Grades". *Journal of Chemical Education*, 83, 1703-1711.
- Tsaparlis, G. and Papaphotis, G. 2009. "High-school Students' Conceptual Difficulties and Attempts at Conceptual Change: The Case of Basic Quantum Chemical Concepts". *International Journal of Science Education*, 31(7), 895-930.
- 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.
- Zoller, U., and Tsaparlis, G. 1997. "Higher and Lower-order Cognitive Skills: The Case of Chemistry". *Research in Science Education*, 27, 117-130.