

Demonstrasi Kimia yang Dimodifikasi untuk Membentuk Model Mental Mahasiswa pada Konsep Redoks dan Sel Elektrokimia

Muti'ah*, Lalu Rudyat Telly Savalas, Agus Abhi Purwoko

Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram

*Corresponding Author: mutiah_fkip@unram.ac.id

Article History

Received : May 09th, 2022

Revised : May 26th, 2022

Accepted : June 14th, 2022

Abstract: Telah dilakukan penelitian tentang pembentukan model mental siswa melalui media demonstrasi kimia yang dimodifikasi pada konsep reaksi redoks dan sel elektrokimia. Meskipun bukan merupakan topik baru, materi ini penting untuk dikuasai dengan baik oleh mahasiswa tingkat dua, sehingga mereka digunakan sebagai sampel penelitian. Model mental siswa diungkap menggunakan tes tertulis yang mengukur model mental pada level makroskopis, simbolik, dan submikroskopis. Pemberian tes dilakukan sebelum dan sesudah pembelajaran. Hasil penelitian menunjukkan: (1) Perubahan model mental untuk level makroskopis adalah dari *kurang sesuai* menjadi *sesuai*, level simbolik dari *kurang sesuai* menjadi *sesuai-sederhana*, dan level submikroskopis dari *tidak sesuai* menjadi *kurang sesuai* dengan model mental ilmiah, (2) Ada pengaruh yang signifikan model mental makroskopis terhadap model mental submikroskopis, dengan persamaan $Y = 0,429 X + 2,761$, $r = 0,395$, (3) Ada pengaruh yang signifikan model mental simbolik terhadap model mental submikroskopis dengan persamaan $Y = 0,870 X - 14,36$, $r = 0,712$. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa intervensi atau perlakuan yang diaplikasikan pada kelas eksperimen telah dapat berkontribusi terhadap pembentukan model mental ilmiah pada konsep sel elektrokimia baik pada level makroskopis, simbolik, maupun submikroskopis.

Keywords: Demonstrasi kimia yang dimodifikasi, model mental mahasiswa, sel elektrokimia.

PENDAHULUAN

Sebagaimana bidang-bidang ilmu lainnya, *mastery* atau literasi pada konsep fundamental dalam kimia dasar merupakan landasan untuk yang esensial untuk penguasaan konsep yang lebih kompleks di tingkat atas (Quilez, 2009). Topik-topik esensial dalam kimia dasar terutama meliputi stoikiometri, struktur atom dan molekul, termokimia, kesetimbangan kimia, dan sel elektrokimia (Quilez, 2009; Niaz, 2006; dan Ozkaya, 2002). Topik sel elektrokimia bagi mahasiswa tingkat dasar perlu dikuasai dengan benar sebab menjadi dasar pada matakuliah lanjut, misalnya kimia analitik dan kimia fisik.

Namun demikian hasil penelitian menunjukkan terjadinya miskonsepsi siswa terutama mengenai pengertian oksidasi dan reduksi, sifat dan peranan elektroda dalam sel elektrokimia (Niaz, 2002). Ozkaya (2002) mengidentifikasi miskonsepsi dalam menghitung nilai potensial sel elektrokimia. Dalam hal ini siswa belum memahami bahwa potensial sel galvanik bernilai positif. Cheyhun dan Karagogle (2005) menemukan miskonsepsi pada

aliran arus listrik pada rangkaian dalam maupun luar

Selanjutnya menurut Huddle dan Pillay (1996) miskonsepsi atau konsepsi alternatif dapat berakar dari perbedaan ranah visual makroskopis yang spontan dialami siswa dengan rana konseptual yang abstrak. Oleh karena itu dari aspek teori pembentukan konsep sebagaimana diungkap oleh Piaget dalam Suparno (1997) dan esensi ilmu kimia, maka dalam mempelajari konsep kimia tidak cukup dengan menggunakan kalimat. Hal ini terkait bahwa ilmu kimia mempelajari zat dari aspek komposisi, struktur, reaksi/proses dan energi yang menyertainya, sehingga seorang yang mempelajari ilmu kimia harus memiliki sebuah gambaran mental atau model mental tentang konsep kimia tersebut.

Menurut Wang (2007) model mental merupakan cara menyampaikan ide atau pikiran siswa untuk menggambarkan, menjelaskan, dan memprediksi sebuah fenomena. Model mental juga dapat digambarkan sebagai model konseptual, representasi mental/internal, gambaran mental, proses mental, suatu

konstruksi yang tidak dapat diamati, dan representasi kognitif pribadi (Chittleborough, 2005). Klasifikasi fenomena/konsep kimiawi Treagust *et al* (2003) menjelaskan bahwa sementara kejadian nyata pada tingkat makroskopis dapat disaksikan langsung dan dirasakan menggunakan panca indera, fenomena nyata pada tingkat submikroskopis membutuhkan teori untuk menjelaskannya pada tingkat molekuler dan atomik. Selain itu, fenomena nyata direpresentasikan pada tingkat simbolik melalui penggunaan gambar, simbol, rumus kimia, persamaan reaksi, grafik, dan mekanisme reaksi.

Menurut Kozma dan Russell (2005) dan Chandrasegaran, *et al.* (2007), representasi submikroskopik merupakan faktor kunci, dan dengan demikian, setiap kesulitan yang dihadapi ketika menyajikan data submikroskopik dapat menghambat kemampuan untuk membahas masalah yang berkaitan dengan fenomena makroskopis dan simbolik. Karena itu, Treagust *et al.* (2003) merekomendasikan penggunaan strategi dan kondisi kimia untuk pengajaran dalam bentuk representasi simultan/bersama dalam makroskopi, mikroskopi, dan simbolisme. Untuk mengatasi hal-hal tersebut di atas, maka perlu diterapkan pembelajaran kimia dengan media demonstrasi kimia yang *dipadukan* secara bersamaan suatu media. Salah satu media yang dapat digunakan adalah tampilan visual yang dilengkapi dengan ilustrasi, formula kimia, persamaan kimia serta kerangka konseptual yang menyertainya. Kerangka konstruksi media demikian dikenal sebagai media demonstrasi termodifikasi (Mutiah. *et al.* 2016). Menurut Chittleborough *et al.* (2004), konstruksi model mental siswa terkait dengan media demonstrasi kimia dan media power point/animasi pada level makroskopis, submikroskopis, dan simbolik. Hubungan antara strategi pengajaran ini dan menjernihkan miskonsepsi konsisten dengan temuan ini.

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah (1) Mengungkap model mental makroskopis, sub mikroskopis, dan simbolik mahasiswa dalam konsep sel elektrokimi, (2) Membuktikan apakah penggunaan media termodifikasi berkorelasi dengan perubahan model mental peserta kuliah pada materi sel elektrokimia.

METODE

Sampel

Sebanyak 30 mahasiswa peserta mata kuliah kimia dasar II Prodi Pendidikan Kimia PMIPA FKIP Unram berpartisipasi dalam studi ini.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahap awal adalah persiapan, yaitu: penyusunan RPP, pembuatan media demonstrasi kimia, power point, penyusunan model mental ilmiah, instrumen berupa tes yang mengungkap tiga level representasi kimia. Tahap berikutnya adalah pelaksanaan penelitian meliputi: pengambilan data awal, pelaksanaan pembelajaran pada topik sel elektrokimia dengan menerapkan media demonstrasi kimia yang dimodifikasi yang selanjutnya disebut media termodifikasi dalam naskah ini.

Analisis Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini merupakan data tentang model mental mahasiswa pada tingkat tiga level representasi. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan statistik regresi dan korelasi yang diselesaikan dengan komputer program excel. Untuk memberikan nilai yang lebih berarti, maka nilai kuantitatif tersebut dilengkapi dengan kriteria, yaitu: (1) tidak sesuai (0 - 25), (2) kurang sesuai (26 – 50), (3) sesuai-sederhana (51 – 75) dan (4) sesuai model mental ilmiah (76 – 100).

HASIL DAN PEMBAHASAN

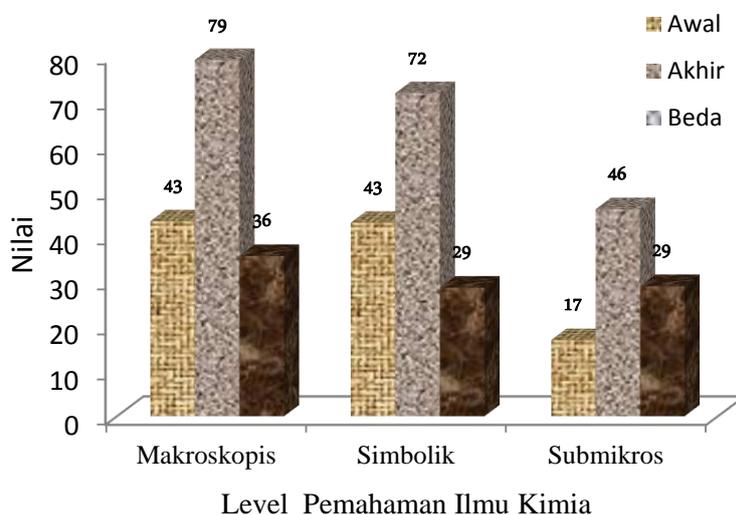
Tinjauan Kuantitatif Pengaruh Metode Demonstrasi Kimia yang Dimodifikasi terhadap Pembentukan Model Mental

Untuk mengungkap pengaruh media termodifikasi, maka dilakukan tes model mental pada 30 mahasiswa. Tes berbentuk pertanyaan tertulis yang bertujuan mengungkap model mental mahasiswa dalam konsep sel elektrokimia pada level makroskopis, simbolik, dan submikroskopis. Dari hasil analisis jawaban siswa diperoleh data kuantitatif dalam skala 0 – 100 sebagaimana disajikan dalam gambar 1. Berdasarkan gambar tersebut dapat diinformasikan bahwa di awal pembelajaran, rata-rata model mental mahasiswa pada level makroskopis 43 (kurang sesuai model mental

ilmiah), level simbolik 43 (kurang sesuai model mental ilmiah), dan level submikroskopis sebesar 17 (tidak sesuai model menatal ilmiah).

Pada akhir pembelajaran menunjukkan adanya peningkatan nilai, yaitu level

makroskopis menjadi sebesar 79 (sesuai model mental ilmiah), level simbolik sebesar 72 (sesuai tetapi sederhana), dan level submikroskopis sebesar 46 (kurang sesuai model mental ilmiah).



Gambar 1. Histogram nilai model mental mahasiswa pada level makroskopis, simbolik, dan submikroskopis

Apabila histogram gambar 1 diperhatikan, maka dapat diperoleh bahwa peningkatan sebesar 36 terjadi untuk level makroskopis, serta 29 untuk level simbolik dan submikroskopis. Oleh karena itu dapat dinyatakan bahwa media termodifikasi membantu siswa ke arah pembentukan model mental ilmiah pada topik sel elektrokimia.

Apabila skor model mental mahasiswa dinyatakan dalam kriteria, maka perubahan model mental mahasiswa setelah penerapan metode pembelajaran untuk level makroskopis adalah dari *kurang sesuai* menjadi *sesuai*, level simbolik dari *kurang sesuai* menjadi *sesuai tetapi sederhana*, dan level submikroskopis dari *tidak sesuai* menjadi *kurang sesuai*. Adanya kenaikan kriteria model mental siswa sesuai dengan prinsip pembelajaran di mana dengan media termodifikasi merepresentasi level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik secara simultan (Treagust *et al.*, 2003).

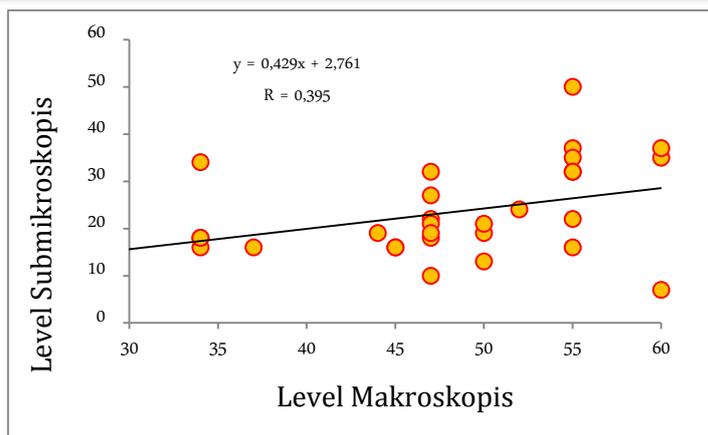
Hubungan Antar Level Model Mental Mahasiswa.

Hubungan antara model mental level makroskopis dan level submikroskopis mahasiswa pada topik sel elektrokimia disajikan dalam kurva pada gambar 2. Berdasarkan kurva regresi hubungan antara nilai model mental siswa pada level makroskopis dengan level submikroskopis diperoleh persamaan :

$$Y = 0,429 X + 2,761, \quad r = 0,395. \quad (1)$$

dimana Y = model mental level submikroskopis, X model mental level makroskopis.

Persamaan regresi tersebut menunjukkan ada pengaruh model mental makroskopis dengan model mental submikroskopis, walaupun tingkat hubungan tersebut tergolong rendah (Sugiyono, 2014).



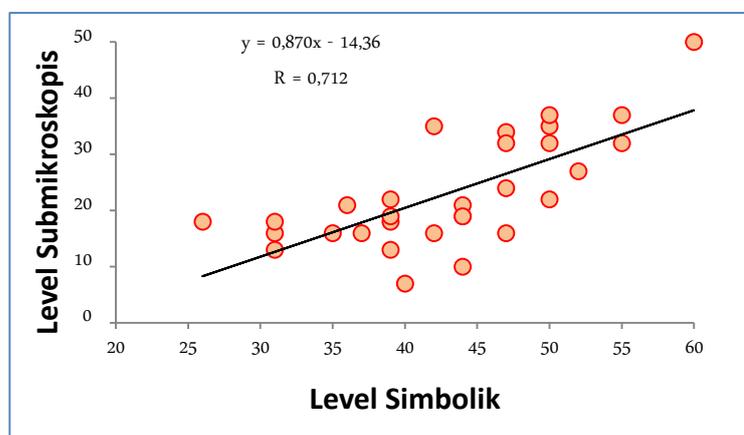
Gambar 2. Kurva hubungan model mental mahasiswa pada level makroskopis dan submikrtoskopis

Untuk membuktikan apakah persamaan regresi (1) dapat diandalkan yang artinya model regresi yang diperoleh menunjukkan bahwa hubungan X dan Y cukup bermakna atau ada pengaruh X terhadap Y, maka berikut ini disajikan hasil uji statistik anava regresi.

Dari hasil analisis varian garis regresi diperoleh F hitung sebesar 5,19 dan F Tabel α 0,05 sebesar 4,20 sehingga H_0 ditolak atau H_a diterima. Kesimpulan menunjukkan bahwa koefisien arah regresi berarti, artinya model

regresi yang diperoleh dapat diandalkan. Dengan pernyataan yang lebih jelas artinya ada pengaruh kemampuan mahasiswa pada level makroskopis terhadap kemampuan pada level submikroskopis. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa untuk memiliki pemahaman sel elektrokimia pada level submikroskopis diperlukan pemahaman yang baik pada level makroskopis.

Hubungan antara model mental level simbolik dengan level submikroskopis mahasiswa pada topik sel elektrokimia disajikan dalam kurva pada gambar 3.



Gambar 3. Kurva hubungan model mental mahasiswa pada level simbolik dan submikrtoskopis

Berdasarkan kurva regresi hubungan antara nilai model mental siswa pada level simbolik dengan level submikroskopis maka diperoleh persamaan **$Y = 0,870 X - 14,36$, $r = 0,712$** (2)

dimana Y = model mental level submikroskopis, X model mental level simbolik. Persamaan (2) menunjukkan bahwa hubungan antara model mental pada level simbolik dengan level

submikroskopis tergolong tinggi (0,720) (Sugiyono, 2014).

Untuk membuktikan apakah persamaan regresi (2) dapat diandalkan yang artinya model regresi yang diperoleh menunjukkan hubungan X dan Y cukup bermakna atau ada pengaruh X terhadap Y, maka dilakukan uji statistik anava regresi. Dari hasil perhitungan menunjukkan F hitung

sebesar 28,79 > F Tabel α 0,05 sebesar 4,20, sehingga H_0 ditolak atau H_a diterima. Kesimpulannya koefisien arah regresi berarti, artinya model regresi yang diperoleh dapat diandalkan atau ada pengaruh kemampuan mahasiswa pada level simbolik terhadap kemampuan pada level submikroskopis.

Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa untuk memiliki pemahaman sel elektrokimia pada level submikroskopis diperlukan pemahaman yang baik pada level simbolik. Berdasarkan persamaan 2 juga menunjukkan bahwa apabila nilai $X = 0$ artinya pemahaman pada level simbolik nol, maka pemahaman pada level submikroskopis negatif 14,36. Hal ini menunjukkan bahwa apabila seorang siswa tidak memiliki pemahaman ditingkat simbolik, maka akan mengalami kesulitan untuk memahami pada level submikroskopis.

Berdasarkan hasil analisis statistik hubungan antara pemahaman pada level simbolik, makroskopis, dan submikroskopis menunjukkan bahwa ada korelasi antara pemahaman pada level simbolik dan makroskopis terhadap pemahaman pada level

submikroskopis. Dengan melakukan analisis yang berbeda dengan peneliti terdahulu (Kozma & Russell, 2005) maka hasil penelitian ini sesuai dengan pernyataan Chandrasegaran, *et.al.* (2008) bahwa representasi submikroskopik bersifat kritis dalam makna kemahiran siswa berpikir dalam level ini berkorelasi dengan penguasaan pada ranah makroskopik dan simbolik, dan sebaliknya demikian pula sebaliknya kesulitan dalam penguasaan aspek ini berakibat peserta didik terhambat dalam *mastery* dalam kedua ranah lainnya.

Model Mental Mahasiswa pada Subkonsep Sel Elektrokimia

Terkait dengan konsep-konsep yang menjadi topik sel elektrokimia adalah: reaksi redoks, sel galvani secara umum, anoda, katoda, kawat penghantar dan jembatan garam. Oleh karena itu hal yang dikaji adalah bagaimana perubahan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep terkait sel elektrokimia baik level makroskopis, simbolik, maupun submikroskopis setelah pembelajaran. Perubahan model mental mahasiswa pada level makroskopis dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Perubahan kriteria model mental level makroskopis

No	Konsep	Pretes		Post tes	
		Nilai	Kriteria*	Nilai	Kriteria
1	Redoks	25	Tidak sesuai	89	Sesuai
2	Sel galvani	50	Kurang sesuai	87	Sesuai
3	Anoda	55	Sesuai, sederhana	80	Sesuai
4	Katoda	42	Kurang sesuai	79	Sesuai
5	Kawat penghantar	57	Sesuai, sederhana	90	Sesuai
6	Jembatan garam	30	Kurang sesuai	51	Sesuai, sederhana
	Rata-rata Topik	43	Kurang sesuai	79	Sesuai

*Dibandingkan dengan model mental ilmiah

Berdasarkan data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa secara umum intervensi yang dilakukan dalam pembelajaran mampu meningkatkan model mental mahasiswa pada ranah makroskopis dari kriteria kurang sesuai menjadi sesuai dengan model mental ilmiah. Namun demikian untuk konsep jembatan garam, model mental mahasiswa masih sangat sederhana, artinya mahasiswa belum paham mengenai jembatan garam secara nyata. Adanya peningkatan model mental mahasiswa pada level

makroskopis perlakuan yang diaplikasi di kelas lebih mampu menjelaskan fakta kimia pada siswa. Hal ini sesuai dengan pendapat McKee *et al.* (2007) bahwa metode demonstrasi dalam pengajaran dapat menunjukkan sesuatu kepada siswa. Buncick *et al.* (2001) juga menyatakan bahwa demonstrasi kimia bertujuan untuk memperlihatkan konsep kimia tertentu secara nyata. Perubahan model mental level simbolik siswa setelah pembelajaran tercantum dalam Tabel 5.

Tabel 5. Perubahan kriteria model mental level simbolik

No	Konsep	Pretes		Post tes	
		Nilai	Kriteria	Nilai	Kriteria
1	Redoks	68	Sesuai, sederhana	83	Sesuai
2	Sel galvanik	76	Sesuai	95	Sesuai
3	Anoda	56	Sesuai, sederhana	90	Sesuai
4	Katoda	44	Kurang sesuai	90	Sesuai
5	Kawat penghantar	9	Tidak sesuai	43	Kurang sesuai
6	Jembatan garam	7	Tidak sesuai	33	Kurang sesuai
	Rata-rata Topik	43	Kurang sesuai	72	Sesuai sederhana

Berdasarkan data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa secara

umum bahwa aktivitas yang dilakukan mampu meningkatkan model mental mahasiswa pada level simbolik dari kriteria *kurang sesuai* menjadi *sesuai, tetapi sederhana* dibandingkan dengan model mental ilmiah. Namun demikian untuk konsep aliran elektron dalam kawat penghantar dan aliran ion dalam jembatan garam model mental siswa dalam kriteria *tidak sesuai* dengan model mental ilmiah.

Gambaran model mental level simbolik mahasiswa sebelum pembelajaran memiliki perbedaan yang cukup besar dibandingkan dengan model mental ilmiah sebagaimana yang telah dipublikasikan dalam buku-buku teks. Namun demikian dengan adanya pembelajaran menggunakan media power point yang menampilkan/menunjukkan keterkaitan antara konsep, fakta, dan simbol, maka model mental

siswa menuju ke model mental ilmiah. Adanya beberapa mahasiswa yang tetap menggambarkan simbol yang bertentangan dengan model ilmiah diduga adanya kesulitan dalam mengadaptasi hal baru sebagaimana diungkap oleh Piaget bahwa apabila dalam proses *gain of knowledge*, siswa yang kesulitan menginternalisasi pengalaman baru dengan *past experiences* atau dasar yang telah dipahami, maka akan mengadakan *akomodasi*. Dalam hal ini dapat diduga mahasiswa gagal dalam mengakomodasi hal baru.

Perubahan model mental level submikroskopis mahasiswa setelah pembelajaran tercantum dalam Tabel 6. Berdasarkan data pada Tabel 6 menunjukkan bahwa secara umum intervensi media berkorelasi dengan perubahan model mental, namun tidak serta merta merubah dari tidak sesuai menjadi sesuai, melainkan hanya sampai pada level model mental kurang sesuai.

Tabel 6. Perubahan kriteria model mental level submikroskopis

No	Konsep	Pretes		Post tes	
		Nilai	Kriteria	Nilai	Kriteria
1	Redoks	20	Tidak sesuai	61	Sesuai, sederhana
2	Sel galvanik	-		-	-
3	Anoda	20	Tidak sesuai	47	Kurang sesuai
4	Katoda	18	Tidak sesuai	43	Kurang sesuai
5	Kawat penghantar	17	Tidak sesuai	42	Kurang sesuai
6	Jembatan garam	10	Tidak sesuai	37	Kurang sesuai
	Rata-rata Topik	17	Tidak sesuai	46	Kurang sesuai

Hal ini terkait dengan sifat ilmu kimia sebagaimana dinyatakan oleh Huddle dan Pillay (1996) yang meneliti miskonsepsi pada materi stoikiometri dan kesetimbangan kimia bagi mahasiswa tingkat satu. Studi tersebut mengungkapkan miskonsepsi sistematis yang berakar dari studi pada tingkat sekolah menengah dan juga konsepsi alternatif yang timbul karena kesulitan mahasiswa dalam memahami konsep abstrak.

Berdasarkan analisis kualitatif model mental level submikroskopis mahasiswa menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa mengalami kesulitan dalam menggambarkan konsep kimia pada level submikroskopis (molekuler, atomi, ionik). Beberapa mahasiswa menggambarkan level submikroskopis menggunakan kata-kata atau kalimat. Sebagai contoh dalam menjelaskan pergerakan ion dalam larutan dan jembatan garam bahwa *partikel*

bermuatan positif bermigrasi dari salt bridge atau jembatan garam ke kutub negatif dan partikel bermuatan negatif bermigrasi dari salt bridge ke kutub positif. Hal tersebut menunjukkan masih kurangnya pengetahuan tentang struktur zat dan dinamika.

KESIMPULAN

Serangkaian penelitian yang telah dilakukan membawa pada kesimpulan : (1) Pembelajaran menggunakan media demonstrasi kimia termodifikasi dapat membantu mahasiswa dalam pembentukan model mental ilmiah pada konsep sel elektrokimia baik pada level makroskopis, simbolik, maupun submikroskopis. (2) Perubahan model mental mahasiswa secara umum untuk level makroskopis adalah dari kurang sesuai menjadi sesuai dengan model mental ilmiah, level simbolik dari kurang sesuai menjadi sesuai-sederhana, dan level submikroskopis dari tidak sesuai menjadi kurang sesuai model mental ilmiah. (3) Dari hasil analisis regresi menunjukkan ada pengaruh yang signifikan antara model mental makroskopis dan submikroskopis dengan korelasi tergolong rendah, dengan persamaan $Y = 0,429 X + 2,761$, $r = 0,395$. (4) Dari hasil analisis regresi menunjukkan ada pengaruh yang signifikan antara model mental simbolik dan submikroskopis dengan korelasi tergolong tinggi, dengan persamaan $Y = 0,870 X - 14,36$, $r = 0,712$.

REFERENSI

- Buncick, M.C., Betts, P.G., & Horgan, D.D. (2001). Using demonstrations as a contextual road map: enhancing course continuity and promoting active engagement in introductory college physics. *International Journal of Science Education*, 23(12), 1237-1255.
- Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2008). An evaluation of a teaching intervention to promote students' ability to use multiple levels of representation when describing and explaining chemical reactions. *Research in Science Education*, 38(2), 237-248.
- Ceyhun, I. & Karagolge, G. (2005). Chemistry Student's misconception in electrometry. *Aust. J. Ed. Chem.* 65: 14 – 29
- Chittleborough, G. D., Treagust, D. F., Mamiala, T. L., & Mocerino, M. (2005). Students' perceptions of the role of models in the process of science and in the process of learning. *Research in Science and Technological Education*, 23(2), 195-212.
- Chittleborough, G. D. (2004). *The role of teaching models and chemical representations in developing students' mental models of chemical phenomena* (Doctoral thesis)
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949-968.
- McKee, E., F.M., Williamson, & L.E. Ruebush (2007). Effects of a Demonstration Laboratory on Student Learning. *J. Sci Educ Technol*, 16:395–400
- Meyer, L. S., Schmidt, S., Nozawa, F., Panee, D., & Kisler, M. (2003). Using demonstrations to promote student comprehension in chemistry. *Journal of Chemical Education*. 80(4), 431-435.
- Muti'ah, Siahaan J., & Sukib.(2016).Efek Demonstrasi Kimia yang Dimodifikasi Terhadap Pemahaman Mahasiswa Pada Topik Elektrokimia, *J. Pijar MIPA*, XI (2), September 2016: 81-86
- Niaz, M. (2006). Can the study of thermochemistry facilitate students' differentiation between heat energy and temperature?. *Journal of Science Education and Technology*, 15(3), 269-276.
- Ozkaya, A. R. (2002). Conceptual difficulties experienced by prospective teachers in electrochemistry: Half-cell potential, cell potential, chemical, and electrochemical equilibrium in galvanic cells. *Journal of Chemical Education* 79: 735–738.
- Quilez, J. (2009). From Chemical Forces to Chemical Rates: A Historical/Philosophical Foundation for the Teaching of Chemical Equilibrium. *Science & Education*, 18:1203–1251
- Quílez, P & P. Solaz. (2004). Changes in concentration and in partial pressure in chemical equilibria: Students' and teachers' misunderstandings. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 281–300.

Suparno, P. (1997). *Filsafat konstruktivisme dalam pendidikan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.

Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education* 25(11), 1353-1368 Inc.

Wang, Ch. Y., (2007). The role of mental-modelling ability, content knowledge, and

mental model in general chemistry students' understanding about molecular polarity. A *Dissertation presented to the Faculty of the Graduate School University of Missouri – Columbia*

Zumdahl, S. S., & Zumdahl, S. A. (2007). *Chemistry (7th ed.)*. Boston, MA: Houghton Mifflin