

ANALISIS KONSEPSI, *TROUBLESOME KNOWLEDGE*, DAN *THRESHOLD CONCEPT* MAHASISWA CALON GURU KIMIA MELALUI TES DIAGNOSTIK MODEL MENTAL *PREDICT-OBSERV-EXPLAIN* (TDM-POE) PADA MATERI KESETIMBANGAN KIMIA

TESIS

*diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Magister
Pendidikan Kimia*



oleh

Sisca Dwi Luviani

NIM 1802937

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN KIMIA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2022**

Sisca Dwi Luviani, 2022

ANALISIS KONSEPSI, *TROUBLESOME KNOWLEDGE*, DAN *THRESHOLD CONCEPT* MAHASISWA CALON GURU KIMIA MELALUI TES DIAGNOSTIK MODEL MENTAL *PREDICT-OBSERV-EXPLAIN* (TDM-POE) PADA MATERI KESETIMBANGAN KIMIA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

ANALISIS KONSEPSI, *TROUBLESOME KNOWLEDGE*, DAN *THRESHOLD CONCEPT* MAHASISWA CALON GURU KIMIA MELALUI TES DIAGNOSTIK MODEL MENTAL *PREDICT-OBSERV-EXPLAIN* (TDM-POE) PADA MATERI KESETIMBANGAN KIMIA

Oleh

Sisca Dwi Luviani

S.Pd. Universitas Pendidikan Indonesia, 2018

Sebuah Tesis yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Pendidikan (M.Pd.) pada Program Studi Pendidikan Kimia

Sisca Dwi Luviani 2022

Universitas Pendidikan Indonesia

Januari 2022

Hak Cipta dilindungi undang-undang,

Tesis ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

SISCA DWI LUVIANI

ANALISIS KONSEPSI, *TROUBLESOME KNOWLEDGE*, DAN *THRESHOLD CONCEPT* MAHASISWA CALON GURU KIMIA MELALUI TES DIAGNOSTIK MODEL MENTAL *PREDICT-OBSERV-EXPLAIN* (TDM-POE) PADA MATERI KESETIMBANGAN KIMIA

disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Dr. Sri Mulyani, M.Si.

NIP. 196111151986012001

Pembimbing II



Tuszie Widhiyanti, M.Pd., Ph.D.

NIP. 198108192008012014

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Pendidikan Kimia



Dr. Hendrawan, M.Si

NIP. 196309111989011001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sisca Dwi Luviani

NIM : 1802937

Program Studi : Magister Pendidikan Kimia Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul "**Analisis Konsepsi, Troublesome Knowledge, dan Threshold Concept Mahasiswa Calon Guru Kimia melalui Tes Diagnostik Model Mental *Predict-Observ-Explain* (TDM-POE) pada Materi Kesetimbangan Kimia**" ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya dan pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Januari 2022

Yang membuat pernyataan,



Sisca Dwi Luviani

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Analisis Konsepsi, *Troublesome Knowledge*, dan *Threshold Concept* Mahasiswa Calon Guru Kimia melalui Tes Diagnostik Model Mental *Predict-Observ-Explain* (TDM-POE) pada Materi Kesetimbangan Kimia”. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarganya, para sahabat, dan para umatnya hingga akhir zaman. Tesis ini disusun dalam rangka memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Magister Pendidikan di Program Studi Pendidikan Kimia Sekola Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini. Namun besar harapan, tesis ini dapat memberikan manfaat dan pengaruh baik bagi kemajuan ilmu pengetahuan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk meningkatkan kualitas penulisan karya ilmiah di masa mendatang.

Bandung, Januari 2022

Penulis,

Sisca Dwi Luviani

UCAPAN TERIMA KASIH

Keberhasilan dalam penelitian dan penulisan tesis ini tidak terlepas dari doa, bantuan, dukungan, dan dorongan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penelitian dan penulisan tesis ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Ibu N.Rosilawati dan Bapak Maman Rukman selaku orang tua penulis yang selalu memberikan kasih sayang, semangat, dan dukungan baik moral maupun material sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di perguruan tinggi.
2. Ibu Dr. Sri Mulyani, M.Si. selaku dosen pembimbing I dan Ibu Dr. Tuszie Widhiyanti, M.Pd., Ph.D. selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya dalam mengarahkan, membimbing, motivasi, serta memberikan ilmu bagi penulis sehingga tesis ini dapat diselesaikan.
3. Ibu Dr. Sri Mulyani, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan motivasi, saran, dan nasihat kepada penulis selama menjalani pendidikan di perguruan tinggi.
4. Bapak Dr. Wiji, M.Si., Ibu Fitri Khoerunnisa, M.Si., Ph.D., dan Ibu Dr. Soja Siti Fatimah, M.Si. selaku validator penelitian yang telah bersedia meluangkan waktunya dan memberikan saran dalam menyempurnakan instrumen penelitian.
5. Bapak Dr. Hendrawan, M.Si. selaku ketua Program Studi S2 Pendidikan Kimia, Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia yang telah memberikan banyak bantuan selama masa studi.
6. Ibu Dr. Hernani, M.Si. selaku Sekretaris Program Studi S2 Pendidikan Kimia, Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia yang telah memberikan banyak bantuan selama masa studi.
7. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Pendidikan Indonesia yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan.
8. Seluruh staf dan karyawan program studi Pendidikan Kimia UPI.

ABSTRAK

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai konsepsi, *troublesome knowledge*, dan *threshold concept* pada materi kesetimbangan kimia. Desain penelitian yang digunakan adalah penelitian kualitatif-deskriptif. Penelitian ini melibatkan 67 orang mahasiswa calon guru kimia di salah satu universitas negeri di Bandung. Semua partisipan diberikan tes diagnostik model mental *predict-observ-explain* (TDM-POE) yang terdiri dari 4 soal dengan 4 siklus POE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsepsi mahasiswa calon guru kimia pada konsep keberadaan pereaksi dan produk saat setimbang, keadaan setimbang dapat dicapai dari sisi manapun, dan sifat dinamis reaksi kesetimbangan pada umumnya berada di level paham sebagian, sedangkan pada konsep tetapan kesetimbangan sebagian besar berada di level paham sebagian. Adapun miskonsepsi yang ditemukan, yaitu reaksi kesetimbangan sama seperti reaksi berkesudahan, konsentrasi pereaksi dan produk saat setimbang sama, konsentrasi gas yang lebih besar saat setimbang bergantung pada gas yang pertama kali ada, perbandingan konsentrasi saat setimbang sesuai dengan perbandingan koefisien dalam persamaan reaksi, dan gas yang menjadi pereaksi bergantung pada gas yang pertama kali ada dalam sistem $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}_2(\text{g})$. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa terdapat 7 *troublesome knowledge* pada materi kesetimbangan kimia. Selain itu, pada materi ini terdapat tiga *threshold concept*, yaitu sifat dinamis reaksi kesetimbangan, makna tetapan kesetimbangan, dan penyelesaian persamaan kuadrat 3 suku.

Kata kunci: konsepsi, *troublesome knowledge*, *threshold Concept*, tes diagnostik model mental POE, dan kesetimbangan Kimia

ABSTRACT

This study aims to obtain information about the conception, troublesome knowledge, and threshold concept in the chemical equilibrium. Design of this study is descriptive qualitative. This study involved 67 prospective chemistry teachers at a state university in Bandung. All participants were given a predict-observe-explain mental model diagnostic test consisting of 4 questions with 4 POE cycles. The result showed that prospective chemistry teacher's conceptions about existence of reactant and product, equilibrium approach, and dynamic nature in general were at partial understanding, while about equilibrium constant were mostly at partial understanding. The misconceptions found are equilibrium reaction is the same as a completed reaction, concentration of reactant and product at equilibrium are the same, a larger gas concentration at equilibrium depends on the gas that was first present concentration ratio of reactant dan product at equilibrium is in accordance with the ratio of the coefficients in reaction equation, and reagent is the first substance to exist in the equilibrium system $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}_2(\text{g})$. Further analysis showed that there were 7 troublesome knowledge on chemical equilibrium. In addition, there are 3 threshold concepts in this subject which are the dynamic nature of the equilibrium reaction, meaning of the equilibrium constant, and solution of a 3-term quadratic equation.

Keywords: conception, troublesome knowledge, threshold concept, POE mental model diagnostic test, and chemical equilibrium.

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Manfaat Penelitian	8
1.5 Struktur Organisasi.....	9
BAB II KAJIAN PUSTAKA	10
2.1 Model Mental	10
2.2 Model Mental dan Multipel Representasi	14
2.3 Konsepsi pada Materi Keseimbangan Kimia.....	17
2.3 <i>Threshold Concept</i>	24
2.4 <i>Troublesome Knowledge</i>	30
2.5 Tes Diagnostik Model Mental POE (TDM-POE).....	33
2.6 Tinjauan Materi Keseimbangan Kimia	34

BAB III METODE PENELITIAN	47
3.1 Desain Penelitian	47
3.2 Partisipan Penelitian	47
3.3 Prosedur Penelitian	48
3.4 Instrumen Penelitian	51
3.5 Teknik Pengumpulan Data	63
3.6 Teknik Analisis Data	63
 BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN	 67
4.1 Konsepsi Mahasiswa pada Materi Keseimbangan Kimia	67
4.2 <i>Troublesome Knowledge</i> pada Materi Keseimbangan Kimia	182
4.3 <i>Threshold Concept</i> pada Materi Keseimbangan Kimia.....	188
 BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN	 198
5.1 Simpulan.....	198
5.2 Implikasi.....	199
5.3 Saran	199
 DAFTAR PUSTAKA	 200
LAMPIRAN.....	209

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Miskonsepsi Keseimbangan Kimia.....	21
Tabel 2.2	Penentuan nilai K Berdasarkan Hasil Percobaan untuk Sistem $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$	41
Tabel 3.1	Indikator Capaian Pembelajaran pada Mata Kuliah Kimia Dasar 2, Kimia Fisika 1, dan Kimia Sekolah 2	53
Tabel 3.2	Kesesuaian Indikator Soal dengan Indikator Capaian Pembelajaran Mata Kuliah Kimia Dasar 2	56
Tabel 3.3	Profil Konsepsi Mahasiswa	63
Tabel 3.4	Penentuan Kelas Modus	64
Tabel 3.5	Analisis <i>Troublesome Knowledge</i>	64
Tabel 3.6	Analisis Karakteristik Transformatif.....	66
Tabel 3.7	Karakterisasi <i>Threshold Concept</i>	66
Tabel 4.1	Profil Konsepsi Mahasiswa pada Konsep Keberadaan Pereaksi dan Produk saat Keadaan Setimbang.....	68
Tabel 4.2	Jawaban Mahasiswa yang Tidak Paham Konsep Keberadaan Pereaksi dan Produk saat Setimbang	68
Tabel 4.3	Jawaban Mahasiswa dengan Miskonsepsi Reaksi Keseimbangan Sama seperti Reaksi Berkesudahan.....	73
Tabel 4.4	Jawaban Mahasiswa dengan Miskonsepsi saat Setimbang Konsentrasi Pereaksi dan Produk sama.....	78
Tabel 4.5	Jawaban Mahasiswa dengan Miskonsepsi pada Reaksi $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}_2(\text{g})$, Konsentrasi Gas yang Lebih Besar pada saat Setimbang Bergantung pada Gas yang Pertama kali ada.....	82
Tabel 4.6	Jawaban Mahasiswa dengan Miskonsepsi pada Reaksi $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}_2(\text{g})$, Perbandingan Konsentrasi saat Setimbang sesuai dengan Perbandingan Koefisien pada Persamaan Reaksi	88
Tabel 4.7	Jawaban Mahasiswa yang Tidak Paham Konsep Perbandingan Konsentrasi Pereaksi dan Produk saat Setimbang.....	93
Tabel 4.8	Profil Konsepsi Mahasiswa pada Konsep Keadaan	

	Setimbang Dapat Dicapai dari Sisi Manapun	98
Tabel 4.9	Jawaban Mahasiswa yang Tidak Paham Keadaan Setimbang Dapat Dicapai dari Sisi Manapun.....	98
Tabel 4.10	Jawaban Mahasiswa dengan Miskonsepsi pada Reaksi $N_2O_4(g) \rightleftharpoons NO_2(g)$, Pereaksi Bergantung pada Gas yang Pertama kali Dimasukkan dan Keadaan Setimbang Tercapai saat Konsentrasi Tetap dan Sama.....	105
Tabel 4.11	Jawaban Mahasiswa dengan Miskonsepsi Reaksi Kesetimbangan sama seperti Reaksi Berkesudahan	112
Tabel 4.12	Jawaban Mahasiswa Tidak Paham Makna Persamaan Reaksi	118
Tabel 4.13	Jawaban Mahasiswa yang Tidak Paham Laju Reaksi saat Menuju Setimbang	125
Tabel 4.14	Jawaban Mahasiswa dengan Miskonsepsi Keadaan Setimbang Tercapai saat Konsentrasi Pereaksi dan Produk Sama.....	134
Tabel 4.15	Jawaban Mahasiswa dengan Miskonsepsi pada Reaksi $N_2O_4(g) \rightleftharpoons NO_2(g)$, Pereaksi Bergantung pada Gas yang Pertama kali Dimasukkan.....	141
Tabel 4.16	Profil Konsepsi Mahasiswa pada Konsep Tetapan Kesetimbangan	149
Tabel 4.17	Jawaban Mahasiswa pada Level Tidak Paham Konsep	150
Tabel 4.18	Jawaban Mahasiswa 1 pada Level Paham Sebagian Konsep.....	156
Tabel 4.19	Jawaban Mahasiswa 2 pada Level Paham Sebagian Konsep.....	161
Tabel 4.20	Profil Konsepsi Mahasiswa pada Konsep Sifat Dinamis Reaksi kesetimbangan	167
Tabel 4.21	Jawaban Mahasiswa pada Level Tidak Paham Konsep Sifat Dinamis Reaksi Kesetimbangan.....	168
Tabel 4.22	Jawaban Mahasiswa pada Level Paham Sebagian Konsep Sifat Dinamis Reaksi Kesetimbangan.....	172
Tabel 4.23	Jawaban Mahasiswa pada Level Paham Konsep Sifat Dinamis Reaksi Kesetimbangan.....	177
Tabel 4.24	Penentuan Kelas Modus Konsepsi Mahasiswa pada Setiap	

Konsep.....	181
Tabel 4.25 Jumlah Mahasiswa yang Mengalami Kesulitan dalam Konsep pada Materi Keseimbangan Kimia.....	182
Tabel 4.26 Analisis <i>Troublesome Knowledge</i>	183
Tabel 4.27 Analisis Karakteristik Transformatif pada Konsep dalam Submateri Sifat Dinamis Reaksi Keseimbangan	190
Tabel 4.28 Analisis Karakteristik Transformatif pada Konsep dalam Submateri Tetapan Keseimbangan	194
Tabel 4.29 Penentuan <i>Threshold Concept</i>	197

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Deskripsi dan Gambaran Kimia	15
Gambar 2.2	Kesetimbangan antara NO_2 dan N_2O_4 yang Dimulai dari N_2O_4 ...	35
Gambar 2.3	Kondisi gas NO_2 yang dibiarkan seiring berjalannya waktu pada suhu dan tekanan tetap.....	36
Gambar 2.4	Perubahan Konsentrasi NO_2 dan N_2O_4 Terhadap Waktu dalam 3 Keadaan	37
Gambar 2.5	(a) Larutan Jenuh AgI Radioaktif Ditambahkan ke dalam Larutan Jenuh AgI	39
Gambar 2.5	(b) Ion Radioaktif Terdistribusi ke Seluruh Larutan dan Padatan AgI	
	Jenuh AgI	39
Gambar 2.6	Perubahan Warna Larutan $\text{Fe}(\text{SCN})_3$	40
Gambar 2.7	Arah untuk Mencapai Kesetimbangan	45
Gambar 3.1	Alur Penelitian.....	50
Gambar 4.1	Sistem Kesetimbangan gas NO_2 dan N_2O_4	71
Gambar 4.2	Keadaan Setimbang Dapat Dicapai dari Sisi Manapun.....	140

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Rekapitulasi Hasil Validasi Kesesuaian Indikator Soal dengan Indikator Capaian Pembelajaran Mata Kuliah Kimia Dasar 2.....	209
Lampiran 2	Rekapitulasi Hasil Validasi Kesesuaian Soal dengan Indikator	211
Lampiran 3	Rekapitulasi Hasil Validasi Kesesuaian Soal dengan Jawaban	236

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Halim, N. D., Ali, M. B., Yahaya, N., & Said, M. N. H. M. (2013). Mental model in learning chemical bonding: A preliminary study. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 97, 224-228.
- Akaygun, S. (2016). Is the oxygen atom static or dynamic? The effect of generating animations on students' mental models of atomic structure. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(4), 788-807.
- Banerjee, A. C. (1991). Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 13(4), 487-494.
- Bilgin, İ., Uzuntiryaki, E., & Geban, Ö. (2003). Student's misconceptions on the concept of chemical equilibrium.
- Bongers, A., Northoff, G., & Flynn, A. B. (2019). Working with mental models to learn and visualize a new reaction mechanism. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(3), 554-569.
- Brady, J. E., Jespersen, N. D., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry the molecular nature of matter*. United State: John Wiley and Sons, Inc.
- Brown, R. J. C. (1990). Solving quadratic equations. *Journal of Chemical Education*, 67(5), 409.
- Brown, T. E., LeMay, H. E., & Bruce E. (2012). *Chemistry: the central science*. New York: Pearson Prentice Hall.
- Buchori, M. L., Suryadharma, I. B., & Fajaroh, F. (2013). Identifikasi Tingkat, Jenis, dan Faktor-faktor Penyebab Kesulitan Siswa MA Negeri Wlingi dalam Memahami Materi Indikator dan pH Larutan Asam-Basa. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 2(2), 2-11.
- Çalik, M., Kolomuç, A., & Karagölge, Z. (2010). The effect of conceptual change pedagogy on students' conceptions of rate of reaction. *Journal of Science Education and Technology*, 19(5), 422-433.
- Chang, R. & Overby, J. (2011). *General chemistry*. New York: McGraw-Hill.

- Chittleborough, G. D., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2002). Constraints to the development of first year university chemistry students' mental models of chemical phenomena. *Focusing on the student*, 43-50.
- Chittleborough, G., & Treagust, D. F. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry education research and practice*, 8(3), 274-292.
- Chiu, M. H., Chou, C. C., & Liu, C. J. (2002). Dynamic processes of conceptual change: Analysis of constructing mental models of chemical equilibrium. *Journal of research in science teaching*, 39(8), 688-712.
- Chiu, M. H. (2007). A national survey of students' conceptions of chemistry in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29(4), 421-452.
- Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2003). Investigation of secondary school, undergraduate, and graduate learners' mental models of ionic bonding. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 40(5), 464-486.
- Davies, P. (2003). Threshold concepts: how can we recognise them? 2003. In *EARLI conference, Padova*. [http://www.staffs.ac.uk/schools/business/iepr/docs/etcworkingpaper\(1\).doc](http://www.staffs.ac.uk/schools/business/iepr/docs/etcworkingpaper(1).doc) (accessed 25 August 2006).
- Demircioğlu, G., Demircioğlu, H., & Yadigaroglu, M. (2013). An investigation of chemistry student teachers' understanding of chemical equilibrium. *International Journal on New Trends in Education and Their Implications*, 4(2), 192-199.
- Departemen Pendidikan Nasional. (2007). *Tes Diagnostik*. Jakarta: Dirjen Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Ganaras, K., Dumon, A., & Larcher, C. (2008). Conceptual integration of chemical equilibrium by prospective physical sciences teachers. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(3), 240-249.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to Design and Evaluate Research in Education 8th Edition*. New York: Mc. Graw Hill.

- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses?. *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. In *Multiple representations in chemical education* (pp. 1-8). Springer, Dordrecht.
- Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2011). Development and application of suitable criteria for the evaluation of chemical representations in school textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(1), 5-14.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International journal of science education*, 22(1), 1-11.
- Green, D. A., Loertscher, J., Minderhout, V., & Lewis, J. E. (2017). For want of a better word: unlocking threshold concepts in natural sciences with a key from the humanities?. *Higher Education Research & Development*, 36(7), 1401-1417.
- Gurel, D.K., Eryılmaz, A., dan McDermott, L.C. (2015). A Review and Comparison of Diagnostic Instruments to Identify Students' Misconceptions in Science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(5), pp. 989-1008.
- Glynn, S. M., & Duit, R. (Eds.). (1995). *Learning science in the schools: Research reforming practice*. Routledge.
- Hackling, M. W., & Garnett, P. J. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. *The European Journal of Science Education*, 7(2), 205-214.
- Hesterman, D. C., Male, S. A., & Baillie, C. A. (2011, December). Some potential underlying threshold concepts in engineering dynamics. In *Proceedings of 22nd Annual Conference for the Australasian Association for Engineering Education, Fremantle WA: Engineers Australia* (pp. 619-625).

- Hill, S. (2019). The difference between troublesome knowledge and threshold concepts. *Studies in Higher Education*, 1-12.
- Hoe, K. Y., & Subramaniam, R. (2016). On the prevalence of alternative conceptions on acid–base chemistry among secondary students: insights from cognitive and confidence measures. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(2), 263-282.
- Jansoon, N., Coll, R. K., & Somsook, E. (2009). Understanding Mental Models of Dilution in Thai Students. *International Journal of Environmental and Science Education*, 4(2), 147-168.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of computer assisted learning*, 7(2), 75-83.
- Justi, R., Gilbert, J. K., & Ferreira, P. F. (2009). The application of a ‘model of modelling’ to illustrate the importance of metavisualisation in respect of the three types of representation. In *Multiple representations in chemical education* (pp. 285-307). Springer, Dordrecht.
- Karamustafaoğlu, S., & Mamlok-Naaman, R. (2015). Understanding electrochemistry concepts using the predict-observe-explain strategy. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(5), 923-936.
- Karpudewan, M., Treagust, D. F., Mocerino, M., Won, M., & Chandrasegaran, A. L. (2015). Investigating High School Students' Understanding of Chemical Equilibrium Concepts. *International Journal of Environmental and Science Education*, 10(6), 845-863.
- Katmiati, S., & Mulyani, S. (2017). Students' Mental Model on the Chemical Reaction Concept. *Applied Science and Technology*, 1(1), 546-555.
- Körhasan, N. D., & Wang, L. (2016). Students' mental models of atomic spectra. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(4), 743-755.
- Lambert, V. A., & Lambert, C. E. (2012). Qualitative descriptive research: An acceptable design. *Pacific Rim International Journal of Nursing Research*, 16(4), 255-256.

- Land, R., Cousin, G., Meyer, J. H., & Davies, P. (2005). Threshold concepts and troublesome knowledge (3): implications for course design and evaluation. *Improving student learning diversity and inclusivity*, 4, 53-64.
- Lewis, R. & Wynne E. (2006). *Chemistry 3rd edition*. New York: Palgrave Macmillan.
- Loertscher, J., Green, D., Lewis, J. E., Lin, S., & Minderhout, V. (2014). Identification of threshold concepts for biochemistry. *CBE—Life Sciences Education*, 13(3), 516-528.
- Mahan, B. H. (1975). *University Chemistry 3rd Edition*. California: Addison-Wesley Publishing Company.
- McMurry, J. & Fay, R.C. (2003). *Chemistry (fourth edition)*. New York: Pearson Prentice Hall.
- Mensah, A., & Morabe, O. N. (2018). Strategies used by grade 12 physical sciences students in solving chemical equilibrium problems. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 22(2), 174-185.
- Meyer, J., & Land, R. (2003). *Threshold Concepts and Troublesome Knowledge: Linkages to Ways of Thinking and*.
- Mossley, D. (2017). Reflecting on threshold concepts: an introductory tool. *Higher Education Academy, UK*.
- Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of chemical education*, 79(6), 739.
- NAHUM, T. L., Hofstein, A., MAMLOK-NAAMAN, R., & Ziva, B. D. (2004). CAN FINAL EXAMINATIONS AMPLIFY STUDENTS' MISCONCEPTIONS IN CHEMISTRY?. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 301-325.
- Orgill, M., & Sutherland, A. (2008). Undergraduate chemistry students' perceptions of and misconceptions about buffers and buffer problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(2), 131-143.

- Özmen, H. (2008). Determination of students' alternative conceptions about chemical equilibrium: a review of research and the case of Turkey. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(3), 225-233.
- Park, E. J., & Light, G. (2009). Identifying atomic structure as a threshold concept: Student mental models and troublesomeness. *International journal of science education*, 31(2), 233-258.
- Park, E. J. (2015). Impact of Teachers' Overcoming Experience of Threshold Concepts in Chemistry on Pedagogical Content Knowledge (PCK) Development. *Journal of The Korean Chemical Society*, 59, 308-319.
- Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia No. 37 Tahun 2018 Tentang Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar Pelajaran pada Kurikulum 2013 pada Pendidikan Dasar dan Pendidikan Menengah.
- Petrucci, R. H. dkk. (2011). *General chemistry: principles and modern application*. Toronto: Pearson Canada Inc.
- Quílez-Pardo, J., & Solaz-Portolés, J. J. (1995). Students' and teachers' misapplication of Le Chatelier's principle: Implications for the teaching of chemical equilibrium. *Journal of Research in Science teaching*, 32(9), 939-957.
- Raviolo, A. (2001). Assessing students' conceptual understanding of solubility equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 78(5), 629.
- Ross, P. M., Taylor, C., Hughes, C., Whitaker, N., Lutze-Mann, L., & Tzioumis, V. (2010, August). Threshold Concepts: Challenging the Way We Think, Teach and Learn in Biology and Science. In *Proceedings of The Australian Conference on Science and Mathematics Education (formerly UniServe Science Conference)* (Vol. 16).
- Rusli, A. (2018). *Profil Model Mental Siswa SMA Pada Materi Keseimbangan Kimia Menggunakan Tes Diagnostik Model Mental Dengan Predict-Observ-Explain*. Skripsi. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Sendur, G., Toprak, M., & Pekmez, E. S. (2010, November). Analyzing of students' misconceptions about chemical equilibrium. In *International*

Conference on New Trends in Education and Their Implications. Antalya, Turkey.

- Sesen, B. A. (2013). Diagnosing pre-service science teachers' understanding of chemistry concepts by using computer-mediated predict–observe–explain tasks. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(3), 239-246.
- Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(1), 32-45.
- Silberberg, M. S. (2007). *Principle of general chemistry*. New York: McGraw-Hill.
- Stojanovska, M. I., Soptrajanov, B. T., & Petrusevski, V. M. (2012). Addressing misconceptions about the particulate nature of matter among secondary-school and high-school students in the Republic of Macedonia. *Creative Education*, 3(05), 619.
- Sudjana. (2013). *Metoda Statistika Edisi Ke-7*. Bandung: Tarsito
- Sukmadinata, N. S. (2012). *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Sunyono, S., Leny, Y., & Muslimin, I. (2015). Supporting students in learning with multiple representation to improve student mental models on atomic structure concepts. *Science Education International*, 26(2), 104-125.
- Supasorn, S. (2015). Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 393-407.
- Suwarto, S. (2010). Pengembangan the two-tier diagnostic tes pada bidang biologi secara terkomputersisasi. *Jurnal Penelitian Dan Evaluasi Pendidikan*, 14(2).
- Taber, K. S. (2008). Exploring conceptual integration in student thinking: Evidence from a case study. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1915-1943.

- Talanquer, V. (2014). Threshold concepts in chemistry: The critical role of implicit schemas. *Journal of Chemical Education*, 92(1), 3-9.
- Thomas, P. L., & Schwenz, R. W. (1998). College physical chemistry students' conceptions of equilibrium and fundamental thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 35(10), 1151-1160.
- Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), hlm. 1353-1368.
- Tümay, H. (2014). Prospective chemistry teachers' mental models of vapor pressure. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(3), 366-379.
- Van Maaren, J. (2020). Transformative Concepts and Troublesome Knowledge: Toward a Threshold Concept Framework for Biblical Studies. *The Wabash Center Journal on Teaching*, 1(1), 61-78.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and instruction*, 4(1), 45-69.
- Voska, K. W., & Heikkinen, H. W. (2000). Identification and analysis of student conceptions used to solve chemical equilibrium problems. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 37(2), 160-176.
- Wang, C. Y., & Barrow, L. H. (2013). Exploring conceptual frameworks of models of atomic structures and periodic variations, chemical bonding, and molecular shape and polarity: a comparison of undergraduate general chemistry students with high and low levels of content knowledge. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(1), 130-146.
- Whitten, K.W. dkk. (2010) *General chemistry 10th edition*. Philadelphia: Saunders College Publishing.
- Worsley, S., Bulmer, M., & O'Brien, M. (2012, September). Threshold concepts and troublesome knowledge in a secondlevel mathematics

course. In *Proceedings of The Australian Conference on Science and Mathematics Education (formerly UniServe Science Conference)*.

Wuetherick, B. (2011). Forget about process; Let's focus on content! Threshold Concepts in the Disciplines. *Bridges*, 9(2).

Yayla, R. G., & Eyceyurt. (2011). Mental models of pre-service science teachers about basic concepts in chemistry.

Zumdahl, S. S., Zumdahl, S. L. (2010). *Chemistry (eighth edition)*. United States of America: Cengage Learning.