

**ANALISIS KONSEPSI, *TROUBLESOME KNOWLEDGE*, DAN
THRESHOLD CONCEPT MAHASISWA CALON GURU KIMIA
MELALUI TES DIAGNOSTIK MODEL MENTAL *INTERVIEW-ABOUT-
EVENT* (TDM-IAE) PADA MATERI KESETIMBANGAN KIMIA**

TESIS

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat dalam Memperoleh Gelar
Magister Pendidikan Program Studi Pendidikan Kimia



Oleh:

Rini Hendrawati

1802827

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

ANALISIS KONSEPSI, *TROUBLESOME KNOWLEDGE*, DAN *THRESHOLD
CONCEPT* MAHASISWA CALON GURU KIMIA MELALUI TES
DIAGNOSTIK MODEL MENTAL *INTERVIEW-ABOUT-EVENT* (TDM-IAE)
PADA MATERI KESETIMBANGAN KIMIA

Oleh:

Rini Hendrawati

1802827

Sebuah tesis yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Pendidikan pada Program Studi Magister Pendidikan Kimia
Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Rini Hendrawati

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2022

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

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

RINI HENDRAWATI

ANALISIS KONSEPSI, *TROUBLESOME KNOWLEDGE*, DAN
THRESHOLD CONCEPT MAHASISWA CALON GURU KIMIA MELALUI
TES DIAGNOSTIK MODEL MENTAL *INTERVIEW-ABOUT-EVENT*
(TDM-IAE) PADA MATERI KESETIMBANGAN KIMIA

disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

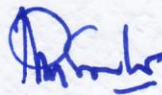
Pembimbing I



Dr. Sri Mulyani, M.Si.

NIP. 196111151986012001

Pembimbing II

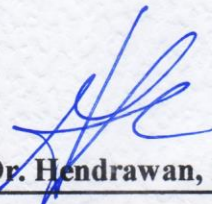


Dr. Wiji, M.Si.

NIP. 197204302001121001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Pendidikan Kimia



Dr. Hendrawan, M.Si.

NIP. 196309111989011001

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menggali konsepsi, *troublesome knowledge*, dan *threshold concept* pada materi kesetimbangan kimia dengan menggunakan tes diagnostik model mental *interview-about-event* (TDM-IAE). Desain penelitian yang digunakan adalah deskriptif-kualitatif. Subjek penelitian terdiri dari 12 orang mahasiswa calon guru kimia tingkat I sampai IV di salah satu Perguruan Tinggi Negeri di kota Bandung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada mahasiswa yang memiliki konsepsi dengan kategori Paham (P) pada materi kesetimbangan kimia. Konsepsi yang paling mendekati utuh, ditemukan pada kategori Paham Sebagian (PS). Hampir seluruh konsepsi yang ditemukan termasuk kategori Paham Sebagian dengan Miskonsepsi (PSM). Beberapa miskonsepsi yang ditemukan pada materi kesetimbangan kimia, yaitu pereaksi adalah zat yang ada dari keadaan awal, reaksi sebelum setimbang berjalan satu arah, komposisi setimbang ditentukan berdasarkan warna gas, kesetimbangan dicapai dari sisi pereaksi saja, laju reaksi maju sama dengan reaksi balik dari sebelum setimbang, nilai K_c dipengaruhi oleh konsentrasi awal. Berdasarkan analisis, ditemukan sepuluh konsep pada materi kesetimbangan kimia yang menunjukkan karakteristik *troublesome knowledge*, yaitu komposisi pereaksi dan hasil reaksi pada reaksi kesetimbangan; makna tetapan kesetimbangan; spesi pereaksi dan hasil reaksi pada reaksi kesetimbangan; sifat dinamis dari reaksi kesetimbangan; persamaan reaksi kesetimbangan; laju reaksi pada kesetimbangan; kesetimbangan dapat dicapai dari sisi pereaksi, hasil reaksi, dan campuran keduanya; perhitungan konsentrasi spesi saat setimbang; hubungan Q_c dengan K_c ; dan perubahan konsentrasi spesi sebelum kesetimbangan. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat dinamis dari reaksi kesetimbangan dan tetapan kesetimbangan merupakan *threshold concept* pada materi kesetimbangan kimia.

Kata kunci: konsepsi, *troublesome knowledge*, *threshold concept*, TDM-IAE, kesetimbangan kimia

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the conception, troublesome knowledge and threshold concepts in chemical equilibrium by using the interview-about-event mental model diagnostic test (IAE-MMDT). The research design used is descriptive-qualitative. This subjects of this study consisted of twelve prospective chemistry teachers from first-year until fourth-year undergraduate program at a state university in Bandung. The results showed that there were no students who had a Sound Understanding (SU) category in the topic of chemical equilibrium. The almost complete understanding was found in the Partial Understanding (PU) category. Almost all of them found belong to the category of Partial Understanding with Misconceptions (PUM). Some of the misconceptions found in chemical equilibrium, i.e reactants are substances that exist from the initial state, the reaction before equilibrium is not reversible, the equilibrium composition is determined based on the color of the gas, equilibrium is achieved from reactants only, the forward reaction rate and the reaction are the same from before equilibrium, the equilibrium constant is affected by the initial concentration. Based on the analysis, ten concepts in chemistry that show the characteristics of troublesome knowledge, there are the composition of reactants and reaction products in reactions; equilibrium constant signification; reactants and products in the equilibrium reaction; the dynamic nature of the equilibrium; equilibrium reaction equation; the rate of reaction in equilibrium; state of equilibrium can be achieved from any side; calculation of the concentration of the reactants and products at equilibrium; the relationship between Q and K ; and the change in concentration before the equilibrium. In addition, the results showed that the dynamic nature of the equilibrium and equilibrium constant is a threshold concept in chemical equilibrium.

Keywords: conception, troublesome knowledge, threshold concept, IAE mental model diagnostic test, chemical equilibrium

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Pembatasan Masalah	7
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	9
2.1 Model Mental	9
2.2 Hubungan Representasi Kimia dengan Model Mental	10
2.3 Cara untuk Menggali Model Mental	13
2.4 Tes Diagnostik Model Mental <i>Interview-About-Event</i> (IAE).....	14
2.5 Konsepsi	16
2.6 <i>Troublesome Knowledge</i>	17
2.7 <i>Threshold Concept</i>	19
2.8 Deskripsi Materi Keseimbangan Kimia	23
2.8.1 Sejarah Keseimbangan Kimia	24
2.8.2 Reaksi Keseimbangan Kimia	25
2.8.3 Tetapan Keseimbangan	34
2.8.4 Miskonsepsi pada Materi Keseimbangan Kimia	36

BAB III METODE PENELITIAN.....	40
3.1 Desain Penelitian	40
3.2 Prosedur Penelitian	40
3.3 Lokasi dan Subjek Penelitian	44
3.4 Instrumen Penelitian	45
3.4.1 Pengembangan Instrumen Penelitian	46
3.4.2 Validasi Instrumen	51
3.4.2.1 Hasil Validasi Kesesuaian Indikator Butir Pertanyaan Terhadap Indikator Capaian Pembelajaran	51
3.4.2.2 Hasil Validasi Kesesuaian Pertanyaan Utama Terhadap Indikator Butir Pertanyaan	56
3.4.2.3 Hasil Validasi Kesesuaian Pertanyaan <i>Probing</i> Umum Terhadap Pertanyaan Utama	59
3.4.2.4 Hasil Validasi Kesesuaian Pertanyaan <i>Probing</i> Khusus Terhadap <i>Probing</i> Umum	61
3.4.2.5 Hasil Validasi Kesesuaian Jawaban yang Diharapkan Terhadap Pertanyaan <i>Probing</i> Khusus	65
3.4.3 Uji Coba Terbatas Instrumen TDM-IAE	69
3.5 Teknik Pengumpulan Data	70
3.6 Teknik Analisis Data	72
 BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN	 79
4.1 Profil Model Mental Mahasiswa pada Materi Kesetimbangan Kimia	 79
4.1.1 Profil Model Mental Tiga Orang Mahasiswa Tingkat I pada Materi Kesetimbangan Kimia.....	 81
4.1.2 Profil Model Mental Tiga Orang Mahasiswa Tingkat II pada Materi Kesetimbangan Kimia.....	 84
4.1.3 Profil Model Mental Tiga Orang Mahasiswa Tingkat III pada Materi Kesetimbangan Kimia.....	 87
4.1.4 Profil Model Mental Tiga Orang Mahasiswa Tingkat IV pada Materi Kesetimbangan Kimia.....	 90

4.2	Konsepsi Mahasiswa pada Materi Keseimbangan Kimia	94
4.2.1	Konsepsi Mahasiswa dalam Menentukan Keberadaan Spesi Pereaksi dan Hasil Reaksi yang Terlibat pada Reaksi Keseimbangan	94
4.2.1.1	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham pada Submateri 1	96
4.2.1.2	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham Sebagian pada Submateri 1	97
4.2.1.3	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham Sebagian dengan Miskonsepsi pada Submateri 1	98
4.2.2	Konsepsi Mahasiswa dalam Menjelaskan Jumlah Spesi Pereaksi dan Hasil Reaksi yang Terlibat pada Reaksi Keseimbangan	101
4.2.2.1	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham Sebagian pada Submateri 2	104
4.2.2.2	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham Sebagian dengan Miskonsepsi (PSM) pada Submateri 2	109
4.2.3	Konsepsi Mahasiswa dalam Menjelaskan Keseimbangan Dapat Dicapai dari Sisi Pereaksi, Hasil Reaksi, maupun Campuran Keduanya	119
4.2.3.1	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham (P) pada Submateri 3	121
4.2.3.2	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham Sebagian (PS) pada Submateri 3	122
4.2.3.3	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham Sebagian dengan Miskonsepsi (PSM) pada Submateri 3	123
4.2.4	Konsepsi Mahasiswa dalam Menjelaskan Sifat Dinamis dari Reaksi Keseimbangan	125
4.2.4.1	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham Sebagian (PS) pada Submateri 4	127
4.2.4.2	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham Sebagian dengan Miskonsepsi (PSM) pada Submateri 4	131

4.2.5	Konsepsi Mahasiswa dalam Menjelaskan Tetapan Kesetimbangan	137
4.2.5.1	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham (P) pada Submateri 5	139
4.2.5.2	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham Sebagian (PS) pada Submateri 5	142
4.2.5.3	Konsepsi Mahasiswa Kategori Paham Sebagian dengan Miskonsepsi (PSM) pada Submateri 5	145
4.3	<i>Troublesome Knowledge</i> pada Materi Kesetimbangan Kimia	151
4.3.1	Identifikasi Kemungkinan <i>Troublesome Knowledge</i> Berdasarkan Konsepsi Mahasiswa	151
4.3.2	Identifikasi Karakteristik <i>Troublesome Knowledge</i>	156
4.4	<i>Threshold Concept</i> pada Materi Kesetimbangan Kimia	164
4.4.1	Analisis Karakteristik Transformatif	165
4.4.2	Analisis Karakteristik Integratif	173
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI		175
5.1	Simpulan	175
5.2	Implikasi	177
5.3	Rekomendasi	177
DAFTAR PUSTAKA		178
LAMPIRAN		185

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Percobaan N_2O_4 dan NO_2 dengan Komposisi Awal yang Berbeda.....	33
Tabel 2.2	Data Percobaan untuk Sistem NO_2 dan N_2O_4 pada $25^\circ C$	35
Tabel 2.3	Beberapa Miskonsepsi pada Materi Keseimbangan Kimia	37
Tabel 3.1	Kriteria Kategori Pengelompokan Mahasiswa	45
Tabel 3.2	Hasil Pengelompokan Mahasiswa pada Setiap Angkatan Berdasarkan Kemampuan Akademik	45
Tabel 3.3	Hasil Validasi Kesesuaian Indikator Butir Pertanyaan Terhadap Indikator Capaian Pembelajaran	52
Tabel 3.4	Hasil Validasi Kesesuaian Pertanyaan Utama Terhadap Indikator Butir Pertanyaan	57
Tabel 3.5	Hasil Validasi Kesesuaian <i>Probing</i> Umum Terhadap Pertanyaan Utama	59
Tabel 3.6	Hasil Validasi Kesesuaian <i>Probing</i> Khusus Terhadap <i>Probing</i> Umum	62
Tabel 3.7	Hasil Validasi Kesesuaian Jawaban Terhadap <i>Probing</i> Khusus	66
Tabel 3.8	Pengelompokan Tingkat Pemahaman	75
Tabel 3.9	Pengelompokan Tipe <i>Troublesome Knowledge</i>	77
Tabel 3.10	Karakterisasi <i>Threshold Concept</i>	78
Tabel 4.1	Daftar Label Mahasiswa	80
Tabel 4.2	Konsepsi Mahasiswa dalam Menentukan Keberadaan Spesi Pereaksi dan Hasil Reaksi yang Terlibat pada Reaksi Keseimbangan	95
Tabel 4.3	Konsepsi Mahasiswa dalam Menjelaskan Jumlah Spesi Pereaksi dan Hasil Reaksi yang Terlibat pada Reaksi Keseimbangan	102
Tabel 4.4	Konsepsi Mahasiswa dalam Menjelaskan Keseimbangan Dapat Dicapai dari Sisi Pereaksi, Hasil Reaksi, maupun Campuran Keduanya	120
Tabel 4.5	Konsepsi Mahasiswa dalam Menjelaskan Sifat Dinamis dari Reaksi Keseimbangan Kimia	126

Tabel 4.6	Konsepsi Mahasiswa dalam Menjelaskan Tetapan Kesetimbangan	138
Tabel 4.7	Rekapitulasi Konsepsi Mahasiswa pada Materi Kesetimbangan Kimia	150
Tabel 4.8	Identifikasi Kemungkinan <i>Troublesome Knowledge</i> Berdasarkan Kesulitan dan Miskonsepsi Mahasiswa	152
Tabel 4.9	Hasil Identifikasi Karakteristik <i>Troublesome Knowledge</i>	157
Tabel 4.10	Pola Persebaran <i>Troublesome Knowledge</i> 12 Orang Mahasiswa dari Tingkat I sampai IV	163
Tabel 4.11	Analisis Karakteristik Transformatif untuk Konsep-konsep pada Submateri Sifat Dinamis dari Reaksi Kesetimbangan Kimia	166
Tabel 4.12	Analisis Karakteristik Transformatif untuk Konsep-konsep pada Submateri Tetapan Kesetimbangan Kimia	171
Tabel 4.13	Penentuan <i>Threshold Concept</i>	175

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tiga Level Representasi yang Digunakan dalam Kimia	12
Gambar 2.2	Model ITLS Keterkaitan antara Tiga Level Representasi dengan Model Mental	12
Gambar 2.3	Sejarah Perkembangan Teori yang Mendasari Reaksi Kesetimbangan Kimia	24
Gambar 2.4	Percobaan Sistem Kesetimbangan Gas N_2O_4 dan NO_2	27
Gambar 2.5	Grafik Konsentrasi Terhadap Waktu untuk Sistem Kesetimbangan Gas N_2O_4 dan NO_2	27
Gambar 2.6	Grafik Laju Terhadap Waktu untuk Sistem Kesetimbangan Gas N_2O_4 dan NO_2	28
Gambar 2.7	Kesetimbangan Larutan Jenuh AgI dan Padatan AgI dengan Radioaktif I-131	30
Gambar 2.8	Perubahan Warna yang Dihasilkan dengan Menambahkan Berbagai Pereaksi ke Campuran Kesetimbangan	31
Gambar 2.9	Kesetimbangan dapat dicapai dari Sisi Reaktan maupun Produk	33
Gambar 2.10	Hubungan Q_c dengan K_c	36
Gambar 3.1	Alur Penelitian.....	43
Gambar 3.2	Ilustrasi Gambar Fenomena 1.....	49
Gambar 3.3	Ilustrasi Gambar Fenomena 2.....	50
Gambar 3.4	Peta Pertanyaan untuk Mengungkap Model Mental Mahasiswa pada Materi Kesetimbangan Kimia Menggunakan TDM-IAE ..	73
Gambar 3.5	Pembagian Jawaban dari Peta Pertanyaan Berdasarkan Kemampuan Akademik.....	74
Gambar 4.1	Pola Jawaban Tiga Orang Mahasiswa dari Tingkat I (Mahasiswa 1, 2, dan 3)	82
Gambar 4.2	Pola Jawaban Tiga Orang Mahasiswa dari Tingkat II (Mahasiswa 4, 5, dan 6)	85
Gambar 4.3	Pola Jawaban Tiga Orang Mahasiswa dari Tingkat III (Mahasiswa 7, 8, dan 9)	88

Gambar 4.4	Pola Jawaban Tiga Orang Mahasiswa dari Tingkat IV (Mahasiswa 10, 11, dan 12)	91
Gambar 4.5	Contoh Jawaban Persamaan Reaksi Kestimbangan pada Kategori Paham	95
Gambar 4.6	Contoh Jawaban Persamaan Reaksi Kestimbangan dari Kategori Paham Sebagian dengan Miskonsepsi (PSM)	100
Gambar 4.7	Contoh Jawaban Grafik Konsentrasi Terhadap Waktu dari Kategori Paham Sebagian pada Konsep Komposisi Sebelum Setimbang	106
Gambar 4.8	Contoh Jawaban Grafik Konsentrasi Terhadap Waktu dari Kategori Paham Sebagian pada Konsep Komposisi Sebelum dan Setelah Setimbang	107
Gambar 4.9	Contoh Jawaban Gambaran Keadaan Partikel Kategori Paham Sebagian pada Konsep Komposisi Setelah Setimbang	108
Gambar 4.10	Contoh Jawaban Gambaran Keadaan Partikel Kategori Paham Sebagian pada Konsep Komposisi Sebelum Setimbang	109
Gambar 4.11	Contoh Jawaban Grafik Konsentrasi Terhadap Waktu dengan Miskonsepsi Penentuan Komposisi Setimbang Berdasarkan Warna	111
Gambar 4.12	Contoh Jawaban Grafik Konsentrasi Terhadap Waktu dengan Miskonsepsi Komposisi Setimbang Produk Lebih Besar dari Reaktan	112
Gambar 4.13	Contoh Jawaban Grafik Konsentrasi Terhadap Waktu dengan Miskonsepsi Perubahan Konsentrasi Spesi Sebelum Setimbang Sama Besar	113
Gambar 4.14	Grafik Perubahan Konsentrasi NO_2 dan N_2O_4 terhadap Waktu	114
Gambar 4.15	Contoh Jawaban Gambaran Keadaan Partikel dengan Miskonsepsi pada Komposisi Setimbang	116
Gambar 4.16	Contoh Jawaban Gambaran Keadaan Partikel dengan Miskonsepsi pada Komposisi Sebelum Setimbang dan Penentuan Spesi Pereaksi	117

Gambar 4.17	Contoh Jawaban Gambaran Keadaan Partikel dengan Miskonsepsi Reaksi Bukan Keseimbangan	118
Gambar 4.18	Gambaran Keadaan Partikel Pereaksi dan Hasil Reaksi Selama Menuju Proses Keseimbangan	118
Gambar 4.19	Contoh Jawaban Persamaan Reaksi untuk Fenomena 2 dari Mahasiswa dengan Kategori Paham Sebagian	128
Gambar 4.20	Contoh Jawaban Gambaran Keadaan Partikel Fenomena 2 pada Kategori Paham Sebagian	129
Gambar 4.21	Contoh Jawaban Gambaran Keadaan Partikel Fenomena 2 pada Kategori Paham Sebagian Tipe 2.....	130
Gambar 4.22	Contoh Jawaban Persamaan Reaksi untuk Fenomena 2 dari Mahasiswa dengan Miskonsepsi pada Posisi Pereaksi dan Hasil Reaksi	133
Gambar 4.23	Contoh Jawaban Gambaran Keadaan Partikel Fenomena 2 dengan Miskonsepsi pada Pembentukan Senyawanya	133
Gambar 4.24	Contoh Jawaban Gambaran Keadaan Partikel Fenomena 2 dengan Miskonsepsi pada Komposisi Setimbang	134
Gambar 4.25	Contoh Jawaban Gambaran Keadaan Partikel Fenomena 2 dengan Miskonsepsi pada Komposisi Setimbang	134
Gambar 4.26	Molekul Air yang Mengandung Isotop	135
Gambar 4.27	Contoh Jawaban Perhitungan Tetapan Keseimbangan pada Kategori Paham	139
Gambar 4.28	Contoh Jawaban Perhitungan Arah Reaksi pada Kategori Paham	140
Gambar 4.29	Contoh Jawaban Perhitungan Konsentrasi pada Kategori Paham	141
Gambar 4.30	Contoh Jawaban Perhitungan K_c pada Mahasiswa Kategori Paham Sebagian	142
Gambar 4.31	Contoh Jawaban Perhitungan Arah Reaksi pada Mahasiswa Kategori Paham Sebagian	143
Gambar 4.32	Contoh Jawaban Perhitungan Konsentrasi pada Kategori Paham Sebagian	144

Gambar 4.33	Contoh Jawaban Perhitungan Konsentrasi pada Mahasiswa yang Tidak Paham Stoikiometri	144
Gambar 4.34	Contoh Jawaban Perhitungan K_c dengan Miskonsepsi pada Persamaan Reaksi	145
Gambar 4.35	Contoh Jawaban Perhitungan Konsentrasi Setimbang dengan Miskonsepsi pada Stoikiometri-nya	147
Gambar 4.36	Contoh Jawaban Perhitungan Q_c untuk Arah Reaksi dengan Miskonsepsi pada Konsep Perhitungan Q_c	147
Gambar 4.37	Contoh Jawaban Perhitungan Q_c untuk Arah Reaksi dengan Miskonsepsi pada Rumus Q_c dan Stoikiometri	148
Gambar 4.38	Contoh Jawaban Perhitungan Konsentrasi Setimbang dengan Miskonsepsi pada Stoikiometri	148

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Transkripsi Wawancara Mahasiswa	185
Lampiran 2	Dokumentasi Penelitian	191

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, M.R., Williamson, V.M., & Westbrook, S.L. (1994). A Cross-age Study of the Understanding Five Concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(2), 147-165.
- Akin, F.N., & Uzuntiryaki-Kondakci, E. (2018). The Nature of the Interplay Among Components of Pedagogical Content Knowledge in Reaction Rate and Chemical Equilibrium Topics of Novice and Experienced Chemistry Teachers. *Chemistry Education Research and Practice*, 19, 80-105.
- Arikunto, S. (2006). *Dasar-dasar Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Bain, K. & Towns, M.H. (2018). Investigation of Undergraduate and Graduate Chemistry Students' Understanding of Thermodynamic Driving Forces in Chemical Reactions and Dissolution. *Journal of Chemical Education*, 95(4), 512-520.
- Ballen, A.B. & Ospina, Y.L. (2019). Assessment: A Suggested Strategy for Learning Chemical Equilibrium. *Education Sciences*, 9(174), 1-19.
- Banerjee, A.C. (1991). Misconceptions of Students and Teachers in Chemical Equilibrium. *International Journal of Science Education*, 13(4), 487-494.
- Bonello, M. (2008). *Sixth Grade Students' Mental Models of Physical Education Concepts: A Framework Theory Perspective*. (Disertasi). The Faculty of the Graduate School of the University of Maryland.
- Bowen, C.W. (1998). Item Design Considerations for Computer-Based Testing of Student Learning in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 75, 1172-1175.
- Brown, T.L. dkk. (2012). *Chemistry: The Central Science 12th Edition*. United States of America: Pearson Prentice Hall.
- 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), 422-33.
- Chandrasegaran, A.L., Treagust, D.F., & Mocerino, M. (2007). The Development of A Two-Tier Multiple-Choice Diagnostic Instrument for Evaluating Secondary School Students' Ability to Describe and Explain Chemical Reactions Using Multiple Levels of Representation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 293-307.
- Chang, R. & Overby, J. (2011). *General Chemistry*. New York: McGraw-Hill.
- Chen, T.L., Liu, Y.L., Yueh, H.P., & Sheen, H.J. (2010). Identifying the Threshold Concept of Learning Nano-science and Nano-technology in Material Engineering by Curriculum Map. *International Journal of Technology and Engineering Education*, 7(3), 25-32.

- Chi, M.T.H. (2008). Three Types of Conceptual Change: Belief Revision, Mental Model Transformation, and Categorical Shift. Dalam S. Vosniadou (Penyunting), *Handbook of Research on Conceptual Change*, 61-82. Hillsdale: Erlbaum.
- Chittleborough, G.D. (2004). *The Role of Teaching Models and Chemical Representations in Developing Students' Mental Models of Chemical Phenomena*. (Disertasi). Science and Mathematics Education Centre, Curtin University of Technology, Australia.
- Chittleborough, G.D. & 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. (2005). A National Survey of Students' Conceptions of Chemistry in Taiwan, *Chemical Educational International*, 6(1), 1-8.
- Cohen, E. R., dkk. (2007). *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry, IUPAC Green Book, 3rd Edition*. Cambridge: IUPAC & RSC Publishing.
- Cruz, S., Lencastre, J.A., Coutinho, C., Clough, G., & Adams, A. (2016). The Problem Distiller Tool: Supporting Teachers in Uncovering Why Their Students Have Problems Understanding Threshold Concepts. Dalam *International Conference on Computer Supported Education* (380-401). Cham: Springer.
- Davies, P. (2003). Threshold Concept: How Can We Recognize Them?. Dalam *The EARLI Conference* (1-16). Italia: Padova.
- Davies, P. & Mangan, J. (2007). Threshold Concepts and the Integration of Understanding in Economics. *Studies in Higher Education*, 32(6), 711-726.
- Demircioğlu, G., Demircioğlu, H., & Yadigaroglu, M. (2013). An Investigation of Chemistry Student Teachers' Understanding of Chemical Equilibrium. *International Journal on New Trends in Education & Their Implications*, 4(2), 192-199.
- Departemen Pendidikan Nasional. (2007). *Tes Diagnostik*. Jakarta: Depdiknas.
- Devetak, I. & Glažar, S.A. (2010). The Influence of 16-Year-Old Students' Gender, Mental Abilities, and Motivation on Their Reading and Drawing Submicrorepresentations Achievements. *International Journal of Science Education*, 32(12), 1561-1563.
- Driver, R. (1981). Pupils' Alternative Frameworks in Science. *European Journal of Science Education*, 3(1), 93-101.
- Entwistle, N. (2003). *Concepts and Conceptual Frameworks Underpinning the ETL Project*. Dalam *ETL Project Occasional Report 3*. Edinburgh: University of Edinburgh School of Education.
- Erduran, S. (2007). Breaking the Law: Promoting Domain-Specificity in Chemical Education in the Context of Arguing about the Periodic Law. *Foundations of Chemistry*, 9(3), 247-263.

- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., dan Hyun, H. H. (2012). *How to Design and Evaluate Research in Education, 8th Edition*. San Fransisco: McGraw-Hill.
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning Through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.
- Garnett, P.J., Garnett, P.J., & Hackling, M. W. (1995). Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 25(1), 69–96.
- Gentner, D. (2012). Mental Models, Psychology of. Dalam N. J. Smelser & P. B. Bates (Ed.) *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, 9683-9687.
- Gilbert, J.K., Osborne, R.J., & Fensham, P.J. (1982). Children's Science and Its Consequences for Teaching. *Science Education*, 66(4), 623–633.
- Gilbert, J.K. & Treagust, D. (2009). *Multiple Representations in Chemical Education*. Australia: Springer.
- 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., Eryilmaz, A., & McDermott, L.C. (2015). A Review and Comparison of Diagnostic Instruments to Identify Students' Misconceptions in Science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(5), 989–1008.
- Hackling, M.W. & Garnett, P.J. (1985). Misconceptions of Chemical Equilibrium. *European Journal of Science Education*, 7(2), 205-214.
- Helm, H. (1980). Misconceptions in Physics Amongst South African Students. *Physics Education*, 15(2), 92–105.
- Hill, S. (2019). The Difference Between Troublesome Knowledge and Threshold Concepts. *Studies in Higher Education*, 1–12.
- Holley, K.A. (2018). The Role of Threshold Concepts in an Interdisciplinary Curriculum: A Case Study in Neuroscience. *Innovative Higher Education*, 43(1), 17-30.
- Huddle, P.A. & Pillay, A.E. (1996). An In-depth Study of Misconception in Stoichiometry and Chemical Equilibrium at a South African University. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 65-77.
- 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.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter*. United States of America: John Wiley and Sons.
- Johnstone, A.H. (1982), Macro- and Micro-chemistry. *School Science Review*, 64(227), 377-379.

- 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.
- 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.
- Körhasan, N.D. & Wang, L. (2016). Students' Mental Models of Atomic Spectra. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(4), 743–755.
- Kozma, R.B. & Russell, J. (1997). Multimedia and Understanding: Expert and Novice Response Responses to Different Representations in Chemical Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949–968.
- Kozma, R.B. & Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. Dalam John K. Gilbert (Penyunting), *Visualization in Science Education* (121-146). Netherlands: Springer.
- Land, R., Glynis C., Meyer, J.H.F., & Davies, P. (2005). Threshold Concepts and Troublesome Knowledge: Implications for Course Design and Evaluation. *Improving Student Learning Diversity and Inclusivity*, 3, 53–64.
- Locaylocay, J., Van den Berg, E., & Magno, M. (2005). Changes in College Students' Conceptions of Chemical Equilibrium. Dalam K. Boersma dkk. (Penyunting). *Research and the Quality of Science Education* (459-470). Netherlands: Springer.
- 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 Third Edition*. California: Addison-Wesley Publishing Company.
- Male, S. & Baillie, C. (2011). Engineering Threshold Concepts. Dalam *SEFI-Annual Conference of European Society for Engineering Education* (251-257). Australia: UWA Academics.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B. (1980). Curvilinear Motion in the Absence of External Forces: Naive Beliefs About the Motion of Objects. *Science*, 210(4474), 1139–1141.
- McMurry, J. & Fay, R.C. (2003). *Chemistry: Fourth Edition*. New York: Pearson Prentice Hall.
- Meyer, J.H.F. & Land, R. (2003). Threshold Concepts and Troublesome Knowledge: Linkages to Ways of Thinking and Practising within the Disciplines. Dalam *Enhancing Teaching-Learning Environments in Undergraduate Courses Project, Occasional Report 4* (412–424). Edinburgh: University of Edinburgh.
- Moss, K., Greenall, C., Rockcliffe, A., Crowley, M., & Mealing, A. (2007). Threshold Concepts, Misconceptions, and Common Issues. Dalam *Proceeding Science Learning Teaching Conference*, 190-196.

- Nakhleh, M.B. (1992). Why Some Students Don't Learn Chemistry: Chemical Misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196.
- Nakhleh, M.B. & Krajcik, J.S. (1994). Influence of Levels of Information as Presented by Different Technologies of Students' Understanding of Acid, Base, and pH Concepts. *Journal of Research in Science Teaching*. 31(10), 1077-1096.
- 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.
- Özalp, D., & Kahveci, A. (2015). Diagnostic Assessment of Student Misconceptions about the Particulate Nature of Matter from Ontological Perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(3), 619-639.
- 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., & Mason, T. (2008). Identifying Threshold Concepts in Learning Nanoscience by Using Concept Maps and Students' Responses to an Open-ended Interview. *National Center for Learning & Teaching in Nanoscale Science and Engineering*, 1-3.
- 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.
- Pedrosa, M.A. & Dias, M.H. (2000). Chemistry Textbook Approaches to Chemical Equilibrium and Student Alternative Conception. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1(2), 227-236.
- Perkins, D. (1999). The Many Face of Constructivism. *Educational Leadership*, 57(3), 6-11.
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, J.D., & Bissonnette, C. (2011). *General Chemistry: Principles and Modern Application, Tenth Edition*. Toronto: Pearson Canada Inc.
- Quilez-Pardo, J. & Solaz-Portoles, 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.
- Quilez, J. (2017). The Historical Development of the Basic Ideas Concerning Chemical Equilibrium. *ChemTexts*, 3(3), 1-10.
- Rodriguez, J.M.G., Diaz, S.S., Bain, K., & Towns, M.H. (2018). Using Symbolic and Graphical Forms to Analyze Students' Mathematical Reasoning in Chemical Kinetics. *Journal of Chemical Education*, 1-12.

- Ross, P.M., Taylor, C.E., Hughes, C., Whitaker, N., Lutze-Mann, L., & Tzioumis, V. (2010). Threshold Concepts : Challenging the Way We Think, Teach and Learn in Biology and Science. Dalam J. H. F. Meyer, R. Land, & C. Baillie (Penyunting), *Threshold Concepts and Transformational Learning*, 165-177.
- Ryan, A.M., & Gass, S.E. (2017). Quantitative Reasoning: Exploring Troublesome Thresholds. *Discussions on University Science Teaching: Proceedings of the Western Conference on Science Education*, 1(1), 1-15.
- Scott, J.B., Harlow, A., Peter, M., & Cowie, B. (2010). Threshold Concepts and Introductory Electronics. Dalam *Proceedings of the 2010 AaeE Conference: Past, Present, Future- the 'Keys' to Engineering Education Research and Practice*, (409-416). Sydney: University of Technology.
- Sendur, G., Toprak, M., & Pekmez, E.S. (2010). Analyzing of Students' Misconceptions about Chemical Equilibrium. Dalam *International Conference on New Trends in Education and Their Implications* (1-7). Antalya: Dokuz Eylül University.
- Sirhan, G. (2007). Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. *Journal of Turkish Science Education*, 4(2), 2-20.
- Stains, M. & Sevian, H. (2015). Uncovering Implicit Assumptions: a Large-Scale Study on Students' Mental Models of Diffusion. *Research in Science Education*, 45(6), 807-840.
- Sunarya, Y. (2000). *Kimia Dasar Jilid 1*. Bandung: Alkemi Grafisindo Press.
- Sukmadinata, N.S. (2012). *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Talanquer, V. (2014). Threshold Concepts in Chemistry: The Critical Role of Implicit Schemas. *Journal of Chemical Education*, 92(1), 3-9.
- Treagust, D.F., Chittleborough, G. & Mamiala, T. (2003). The Role of Submicroscopic and Symbolic Representations in Chemical Explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- Treagust, D.F. (2006). Diagnostic Assessment in Science as a Means to Improving Teaching, Learning and Retention. *UniServe Science Assessment Symposium Proceedings* (1-9).
- Tümay, H. (2014). Prospective Chemistry Teachers' Mental Models of Vapor Pressure. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(3), 366-379.
- Tümay, H. (2016). Reconsidering Learning Difficulties and Misconceptions in Chemistry: Emergence in Chemistry and Its Implications for Chemical Education. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(2), 229-245.
- Tyson, L., Treagust, D.F., & Bucat, R.B. (1999). The Complexity of Teaching and Learning Chemical Equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 554-558.

- Van Driel, J.H. & Graber, W. (2002). The Teaching and Learning of Chemical Equilibrium. Dalam John K. Gilbert (Penyunting), *Chemical Education: Towards Research-Based Practice* (271-292). Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- 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*, 37(2), 160-176.
- Wang, C.Y. (2007). *The Role of Mental-Modeling Ability, Content Knowledge, and Mental Models in General Chemistry Students' Understanding about Molecular Polarity*. (Disertasi). The Faculty of the Graduate School University of Missouri, Columbia.
- Whitten, K.W., Davies, R.E., Peck, M.L., & Stanley, G.G. (2014). *Chemistry, Tenth Edition*. United States of America: Cengage Learning.
- Wiji. (2010). *Pengembangan Desain Perkuliahan Kimia Sekolah Berbasis Model Mental untuk Meningkatkan Pemahaman Materi Subyek Mahasiswa Calon Guru Kimia*. (Disertasi). Sekolah Pascasarjana, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Wilson, A., Akerlind, G., Francis, P., Kirkup, L., McKenzie, J.A, Pearce, D., & Sharma, M. (2010). Measurement Uncertainty as a Threshold Concept in Physics. *Proceeding of the 16th UniServe Science Annual Conference* (98-103). Sydney: Uniserve Science.
- Worsley, S., Bulmer, M., & O'Brien, M. (2008). Threshold Concepts and Troublesome Knowledge in A Second-Level Mathematics Course. Dalam A. Hugman & K. Placing (Penyunting), *Symposium Proceedings: Visualisation and Concept Development* (139-144). Sydney: UniServe Science.
- Yoshimura, R., Kohtoku, M., Fujii, K., Sakamoto, T., & Sakai, Y. dkk. (2014). Highly Sensitive Laser Based Trace-gas Sensor Technology and Its Application to Stable Isotope Ratio Analysis. *NTT Technical Review*, 12(4), 1-6.
- Zarkadis, N., Papageorgiou, G., & Stamovlasis, D. (2017). Studying the Consistency Between and Within the Student Mental Models for Atomic Structure. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 893-902.