

**DESAIN TAHAPAN PEMBELAJARAN PADA TOPIK KIMIA UNSUR
LOGAM TANAH JARANG UNTUK MENGUATKAN BERPIKIR SISTEM
MAHASISWA CALON GURU KIMIA**

TESIS

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat untuk Memperoleh
Gelar Magister Pendidikan Kimia**



Oleh:

TITEN PINASTI

NIM 1906552

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

2022

Titen Pinasti, 2022

*DESAIN TAHAPAN PEMBELAJARAN PADA TOPIK KIMIA UNSUR LOGAM TANAH JARANG UNTUK
MENGUATKAN BERPIKIR SISTEM MAHASISWA CALON GURU KIMIA*

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

**DESAIN TAHAPAN PEMBELAJARAN PADA TOPIK KIMIA UNSUR
LOGAM TANAH JARANG UNTUK MENGUATKAN
BERPIKIR SISTEM MAHASISWA CALON GURU KIMIA**

Oleh
Titen Pinasti
S.T. Universitas Indonesia, 2016

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

© Titen Pinasti
Universitas Pendidikan Indonesia
Januari 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.

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**DESAIN TAHAPAN PEMBELAJARAN PADA TOPIK KIMIA UNSUR
LOGAM TANAH JARANG UNTUK MENGUATKAN BERPIKIR SISTEM
MAHASISWA CALON GURU KIMIA**

**Oleh:
TITEN PINASTI
1906552**

Disetujui dan disahkan untuk ditindaklanjuti maju sidang tesis tahap II.

DISETUJUI DAN DISAHKAN OLEH PEMBIMBING:

Pembimbing I,



Dr. rer. nat. Ahmad Mudzakir, M.Si.
NIP. 196611211991031002

Pembimbing II,



Dr. Hernani, M.Si.
NIP. 196711091991012001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Pendidikan Kimia



Dr. Hendrawah, M.Si
NIP. 196309111989011001

Tesis ini telah diuji pada sidang tahap I

Hari/Tanggal : Kamis/13 Januari 2022

Tempat : *Zoom meeting*

Penguji I / Pembimbing I :



Dr. rer. nat. Ahmad Mudzakir, M.Si

NIP. 196611211991031002

Penguji II / Pembimbing II :



Dr. Hernani, M.Si

NIP. 196711091991012001

Penguji III :



Dr. rer. nat. Asep Supriatna, M.Si

NIP. 196605021990031005

Penguji IV :

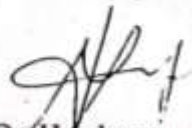


Dr. Sri Mulyani, M.Si

NIP. 196111151986012001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Pendidikan Kimia



Dr. Hendrawan, M.Si

NIP. 196309111989011001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Titen Pinasti

NIM : 1906552

Program Studi : Magister Pendidikan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul "Desain Tahapan Pembelajaran pada Topik Kimia Unsur Logam Tanah Jarang untuk Memperkuat Berpikir Sistem Mahasiswa Calon Guru Kimia" ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. 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 risiko/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,



Titen Pinasti

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala karunia yang telah diberikan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis dengan judul “*Desain Tahapan Pembelajaran pada Topik Kimia Unsur Logam Tanah Jarang untuk Memperkuat Berpikir Sistem Mahasiswa Calon Guru Kimia*”. Penulisan tesis ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Pendidikan pada Program Studi Magister Pendidikan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan akan pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan penulisan tesis ini. Semoga hasil penelitian ini bermanfaat bagi kita semua serta dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan pendidikan kimia di masa depan.

Penulis,

Titen Pinasti

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT atas berkah, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Tesis yang berjudul *“Desain Tahapan Pembelajaran pada Topik Kimia Unsur Logam Tanah Jarang untuk Menguatkan Berpikir Sistem Mahasiswa Calon Guru Kimia”* ini merupakan salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Magister di Program Studi Magister Pendidikan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia. Penulis menyadari bahwa didalam proses penyelesaian tesis ini banyak pihak-pihak yang terlibat dalam memberikan arahan, bimbingan, dan bantuan. Pada kesempatan ini penulis hendak menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. rer. nat. Ahmad Mudzakir, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, saran dan pemikiran dalam pembuatan tesis ini.
2. Dr. Hernani, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, bimbingan, saran dan pemikiran dalam pembuatan tesis ini.
3. Dr. rer. nat. Asep Supriatna, M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan arahan, bimbingan, saran dan pemikiran dalam penyempurnaan penulisan tesis ini.
4. Dr. Sri Mulyani, M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan arahan, bimbingan, saran dan pemikiran dalam penyempurnaan penulisan tesis ini.
5. Dr. Hendrawan, M.Si, selaku Ketua Program Studi Magister Pendidikan Kimia yang telah memfasilitasi penulis selama masa perkuliahan dan pembuatan tesis ini.
6. Seluruh Dosen di Program Studi Magister Pendidikan Kimia yang telah memberikan pengetahuan, pendidikan, dan pengalamannya selama penulis menempuh perkuliahan.
7. Mahasiswa S1 Pendidikan Kimia dan S2 Pendidikan Kimia sebagai subjek penelitian yang telah meluangkan waktunya untuk ikut berpartisipasi dalam penelitian ini.

8. Departemen Pendidikan Kimia yang telah memberikan bantuan kepada penulis untuk terselenggaranya penelitian tesis ini.
9. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan tesis ini.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah diberikan. Penulis juga berharap tesis ini dapat bermanfaat bagi yang membaca.

Bandung, Januari 2022

Penulis,

Titen Pinasti

ABSTRAK

Berpikir sistem dalam pendidikan kimia berkaitan dengan keberlanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan desain tahapan pembelajaran pada topik kimia unsur logam tanah jarang untuk menguatkan berpikir sistem mahasiswa calon guru kimia. Metode penelitian yang digunakan adalah *mixed method* dengan menggunakan kerangka berpikir *Model of Educational Reconstruction* (MER). Instrumen yang digunakan berupa pedoman wawancara, peta konsep, *repertory grid*, angket berpikir dinamis dan siklus dan angket respon terhadap pembelajaran. Desain tahapan pembelajaran dikembangkan berdasarkan hasil analisis konten terhadap 6 literatur dan hasil wawancara konsepsi awal 17 mahasiswa terhadap topik logam tanah jarang. Berpikir sistem yang digunakan mengadopsi model *System Thinking Hierarchy* (STH). Rancangan desain tahapan pembelajaran yang dihasilkan berisi 8 tahapan. Rancangan desain tahapan pembelajaran diimplementasikan kepada 27 mahasiswa calon guru kimia di salah satu Universitas Negeri di kota Bandung. Hasil penelitian diperoleh pola konstruksi pengetahuan mahasiswa dominan pada tipe penalaran (*reasoning*). Dari hasil implementasi terdapat satu berpikir sistem yang tidak tercapai yaitu berpikir retrospeksi. Hasil peta konsep menunjukkan adanya peningkatan jumlah konsep pada awalnya berjumlah 373 menjadi 734 konsep. Hasil *repertory grid* menunjukkan bahwa mahasiswa mengalami penurunan keterampilan tingkat analisis dan sintesis yang berkembang menjadi keterampilan implementasi dengan persentase 14,1% menjadi 22,2%. Namun, tidak ada perbedaan yang signifikan dari konstruk yang dibentuk mahasiswa sebelum dan setelah implementasi desain tahapan pembelajaran. Hasil angket berpikir dinamis dan berpikir siklus menunjukkan mahasiswa dapat memahami komponen pada topik logam tanah jarang berubah dan membentuk siklus. Konsepsi akhir diketahui bahwa 85,2% mahasiswa sangat setuju dan merasakan bahwa topik ini menarik untuk dipelajari.

Kata kunci: desain tahapan pembelajaran, kimia unsur, logam tanah jarang, berpikir sistem

ABSTRACT

Systems thinking in chemistry education is concerned with sustainability. This study aims to produce the design of a teaching-learning sequence (TLS) on the chemistry of rare earth elements topic to strengthen the system thinking of pre-service chemistry teachers. The research method used is a mixed-method using the Model of Educational Reconstruction framework. The instruments used were interview guidelines, concept maps, repertory grids, dynamic and cyclic thinking questionnaires and questionnaires about learning. The design of TLS was developed based on the results of content analysis from 6 literatures and the results of an initial conception interview from 17 students on the topic of rare earth elements. The system thinking used is the System Thinking Hierarchy model. The design of TLS resulted contains eight stages. The TLS design was implemented to 27 pre-service chemistry teachers at one of the state universities in Bandung. The results showed that student knowledge construction was dominant in reasoning. From the implementation results, one system thinking is not achieved, namely retrospective thinking. The results of the concept map show an increase in the number of concepts from 373 to 734 concepts. The repertory grid results show that student's system thinking decreases in the analysis and synthesis skills that develop into implementation skills with 14.1% to 22.2%. However, there is no significant difference between constructs formed by students before and after implementing the TLS design. The questionnaire results on dynamic thinking skills and cyclical thinking show that students can understand the components of rare earth elements changing and forming cycles. The final conception is that 85.2% of students strongly agree and feel that this topic is interesting to learn.

Keywords: teaching learning sequences, elemental chemistry, rare earth elements, system thinking.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Rumusan Masalah Penelitian	5
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Struktur Organisasi.....	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	8
2.1. Desain Tahapan Pembelajaran	8
2.2. Berpikir Sistem.....	11
2.3. Pendidikan untuk Pembangunan Berkelanjutan.....	18
2.4. <i>Technochemistry Education</i> Melalui Perkuliahan Kimia Unsur.....	20
2.5. Isu Keberlanjutan dalam Topik Logam Tanah Jarang	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1. Desain Penelitian.....	25
3.2. Partisipan dan Tempat Penelitian.....	26
3.3. Instrumen Penelitian.....	27
3.4. Prosedur Penelitian.....	28
3.5. Analisis Data	32
BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN	38
4.1. Konsepsi Ilmuwan Terkait Topik Kimia Unsur Logam Tanah Jarang dan Rekonstruksinya Sesuai dengan Berpikir Sistem.....	38
4.1.1. Pengumpulan Bahan.....	39
4.1.2. Analisis Deskriptif	39
4.1.3. Pemilihan Kategori.....	46
4.1.4. Evaluasi Materi	48

4.2. Konsepsi Awal Mahasiswa Calon Guru Kimia terkait Topik Kimia Unsur Logam Tanah Jarang	50
4.2.1. Pengetahuan Awal Tentang Konten Kimia, Konteks Terkait Unsur Tanah Jarang dan Hubungan Keduanya.....	51
4.2.2. Pentingnya Konten Kimia dan Manfaat Mempelajari Logam Tanah Jarang dalam Pembelajaran Kimia.....	63
4.2.3. Urgensi Adanya Desain Pembelajaran Terkait Unsur Tanah Jarang ..	65
4.3. Rancangan Desain Tahapan Pembelajaran untuk Membangun Berpikir Sistem pada Perkuliahan Kimia Unsur Logam Tanah Jarang.....	66
4.3.1. Tahapan Pembelajaran dengan Mempertimbangkan Hasil Analisis Konsepsi Ilmuwan dan Pre-Konsepsi Mahasiswa	66
4.3.2. Rumusan Tujuan Pembelajaran.....	75
4.3.3. Desain Tahapan Pembelajaran	79
4.3.4. Desain Lingkungan Belajar.....	81
4.4. Implementasi Desain Tahapan Pembelajaran	83
4.4.1. Analisis Pola Konstruksi Pengetahuan dan Berpikir Sistem	83
4.4.2. Hubungan Antara Pembelajaran dengan Kemampuan Kognitif	106
4.5. Profil Berpikir Sistem Mahasiswa Calon Guru Kimia.....	110
4.5.1. Analisis Berpikir Sistem Mahasiswa Berdasarkan Peta Konsep	110
4.5.2. Analisis Berpikir Sistem Mahasiswa Berdasarkan <i>Repertory Grid</i> ..	116
4.5.3. Analisis Berpikir Dinamis dan Berpikir Siklus Mahasiswa.....	127
4.6. Respon dan Tanggapan Mahasiswa Terkait Perkuliahan.....	130
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI	136
5.1. Simpulan	136
5.2. Implikasi.....	138
5.3. Rekomendasi	138
DAFTAR PUSTAKA	140

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Belah Ketupat Didaktik.....	9
Gambar 2.2 Berpikir Sistem Model Hirarki (STH)	15
Gambar 2.3 SOCME pada Proses Haber-Bosch	16
Gambar 2.4 17 Poin Tujuan Pembangunan Berkelanjutan	18
Gambar 2.5 Tiga Pilar Keberlanjutan	19
Gambar 2. 6 Aktivitas Chemical Design dalam Rekonstruksi Pengetahuan	21
Gambar 2.7 Studi Kimia Material.....	22
Gambar 2.8 Struktur asam levulinat dan kolin klorida	24
Gambar 3.1 Desain Penelitian Menggunakan Kerangka MER yang Disesuaikan dengan Mixed Method Research (MMR)	26
Gambar 3.2 Alur Penelitian.....	28
Gambar 3.3 Langkah-langkah Analisis Konten Kualitatif.....	29
Gambar 4.1 Peta Konsep untuk Logam Tanah Jarang.....	46
Gambar 4.2 Peta Konsep dengan Kategori Sains, Teknologi dan Rekayasa	47
Gambar 4.3 TLS Sebelum Perbaikan.....	49
Gambar 4.4 TLS Setelah Perbaikan	49
Gambar 4.5 Konfigurasi Elektron untuk Unsur Gadolinium	53
Gambar 4.6 Persentase Jawaban Mahasiswa untuk Kategori 1	58
Gambar 4.7 Tahap 0 Mengenai Isu Sosio-ekonomi-politik-saintifik.....	67
Gambar 4.8 Tahap 1 Mengenai Definisi Logam Tanah Jarang	68
Gambar 4.9 Tahap 2 Mengenai Konfigurasi Elektron	69
Gambar 4.10 Tahap 3 Mengenai Kontraksi Lantanida	70
Gambar 4.11 Tahap 4 Mengenai Sifat-Sifat Logam Tanah Jarang.....	70
Gambar 4.12 Tahap 5 Mengenai Kelimpahan Logam Tanah Jarang.....	71
Gambar 4.13 Tahap 6 Mengenai Proses Produksi	72
Gambar 4.14 Tahap 7 Mengenai Aspek-Aspek Lingkungan.....	73
Gambar 4.15 Tahap 8 Mengenai Aplikasi Logam Tanah Jarang.....	74
Gambar 4.16 Tahap 8 Mengenai Aplikasi Logam Tanah Jarang.....	74
Gambar 4.17 Tahap 10 Mengenai Aspek Keberlanjutan	75
Gambar 4.18 Tampilan Awal PREZI.....	82
Gambar 4.19 Pola Konstruksi Mahasiswa Pada Tahap 0	84
Gambar 4.20 Pola Konstruksi Mahasiswa Pada Tahap 1	86
Gambar 4.21 Pola Konstruksi Mahasiswa Pada Tahap 2	89
Gambar 4.22 Pola Konstruksi Mahasiswa Pada Tahap 3	91
Gambar 4.23 Pola Konstruksi Mahasiswa Pada Tahap 4	93
Gambar 4.24 Pola Konstruksi Mahasiswa Pada Tahap 5	97
Gambar 4.25 Pola Konstruksi Mahasiswa Pada Tahap 6	99
Gambar 4. 26 Pola Konstruksi Mahasiswa Pada Tahap 7	103
Gambar 4.27 Pola Dialog Diantara Pendidik dan Mahasiswa	105
Gambar 4.28 Persentase Jawaban Mahasiswa untuk Setiap Butir Pertanyaan ...	107

Gambar 4.29 Perbandingan Persentase Komponen dan Proses	111
Gambar 4.30 Contoh Peta Konsep Mahasiswa (Pre-Test).....	115
Gambar 4.31 Contoh Peta Konsep Mahasiswa (Post-Test)	115
Gambar 4.32 Persentase Berpikir Sistem Mahasiswa.....	117
Gambar 4.33 Konstruk Mahasiswa Pada Tingkat Analisis Selama Pre-Tes	118
Gambar 4.34 Konstruk Mahasiswa Pada Tingkat Analisis Selama Pos-Tes	120
Gambar 4.35 Konstruk Mahasiswa Pada Tingkat Sintesis Selama Pre-Tes	121
Gambar 4.36 Konstruk Mahasiswa Pada Tingkat Sintesis Selama Pos-Tes.....	122
Gambar 4.37 Konstruk Mahasiswa Pada Tingkat Implementasi Selama Pre-Tes	123
Gambar 4.38 Konstruk Mahasiswa Pada Tingkat Implementasi Selama Pos-Tes	124
Gambar 4.39 Pohon Hubungan dari Repertory Grid Mahasiswa 6 (Pre-Test) ...	126
Gambar 4.40 Pohon Hubungan dari Repertory Grid Mahasiswa 6 (Post-Test)..	127
Gambar 4.41 Persepsi Mahasiswa Mengenai Perkuliahan Kimia Biasa.....	132
Gambar 4.42 Persepsi Mahasiswa Mengenai Perkuliahan Logam Tanah Jarang	134

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berbagai Alat Evaluasi Berpikir Sistem	17
Tabel 3.1 Instrumen dan Data Penelitian	27
Tabel 3.2 Format Analisis Konten	33
Tabel 3.3 Klasifikasi Jenis Respon	34
Tabel 3.4 Kategori Nilai Hasil Belajar Kognitif	35
Tabel 3.5 Pedoman Skor untuk Pernyataan Positif dan Negatif dalam Angket....	37
Tabel 4.1 Literatur yang Digunakan Untuk Analisis Konten	39
Tabel 4.2 Hasil Analisis Konten Untuk Definisi Logam Tanah Jarang.....	40
Tabel 4.3 Hasil Analisis Konten Untuk Konfigurasi Elektron	41
Tabel 4.4 Hasil Analisis Konten Untuk Kontraksi Lantanida.....	41
Tabel 4.5 Hasil Analisis Konten Untuk Sifat Magnetik Logam Tanah Jarang....	42
Tabel 4.6 Hasil Analisis Konten Untuk Sifat Luminesen Logam Tanah Jarang ..	43
Tabel 4.7 Hasil Analisis Konten Untuk Kelimpahan Logam Tanah Jarang	43
Tabel 4.8 Hasil Analisis Konten Untuk Proses Produksi Logam Tanah Jarang...	44
Tabel 4.9 Hasil Analisis Konten Untuk Daur Ulang Logam Tanah Jarang.....	45
Tabel 4.10 Aspek Pertanyaan Wawancara Pre-konsepsi Mahasiswa	52
Tabel 4.11 Daftar Pertanyaan Wawancara Sesuai dengan Berpikir Sistem.....	60
Tabel 4.12 Materi Pembelajaran pada Desain Tahapan Pembelajaran	75
Tabel 4.13 Capaian Pembelajaran Lulusan yang dibebankan pada Topik.....	76
Tabel 4.14 Analisis Komponen Penyusun Capaian Pembelajaran Lulusan	77
Tabel 4.15 Capaian Pembelajaran Topik	78
Tabel 4.16 Sub-Capaian Pembelajaran Topik.....	78
Tabel 4.17 Cuplikan Dialog Mahasiswa pada Tahap 0.....	84
Tabel 4.18 Cuplikan Dialog Mahasiswa pada Tahap 1.....	87
Tabel 4.19 Cuplikan Dialog Mahasiswa pada Tahap 2.....	89
Tabel 4.20 Cuplikan Dialog Mahasiswa pada Tahap 3.....	91
Tabel 4.21 Cuplikan Dialog Mahasiswa pada Tahap 4.....	93
Tabel 4.22 Cuplikan Dialog Mahasiswa pada Tahap 4.....	96
Tabel 4.23 Cuplikan Dialog Mahasiswa pada Tahap 5.....	98
Tabel 4.24 Cuplikan Dialog Mahasiswa pada Tahap 6.....	100
Tabel 4.25 Cuplikan Dialog Mahasiswa pada Tahap 7.....	103
Tabel 4.26 Rekapitulasi Hasil Belajar Mahasiswa.....	106
Tabel 4.27 Hasil Kategorisasi Konsep Mahasiswa	112
Tabel 4.28 Hasil Perhitungan Wilcoxon Sign Rank Test	113
Tabel 4.29 Elemen dan Konstruk dengan Korelasi $\geq 80\%$	124
Tabel 4.30 Hasil Perhitungan Wilcoxon Sign Rank Test	125
Tabel 4.31 Hasil Berpikir Dinamis	128
Tabel 4.32 Hasil Berpikir Siklus	129

DAFTAR PUSTAKA

- Anastas, P. T., & Zimmerman, J. B. (2016). The Molecular Basis of Sustainability. *Chem*, 1(1), 10–12. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2016.06.016>
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2010). Kerangka Landasan Pembelajaran, Pengajaran, dan Asesmen; Revisi Taksonomi Pendidikan Bloom. *Terj. Agung Prihantoro. Yogyakarta: PustakaPelajar.*
- Anwar, B., Ernawati, S., Setiadi, R., & Wiji. (2012). Pengembangan Representasi Kimia Sekolah Berbasis Intertekstual Pada Sub-Konsep Konfigurasi Elektron Model Atom Bohr yang Diperluas dalam Bentuk Multimedia. *Jurnal Pengajaran Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam (JPMIPA)*, 17(278–285). <https://doi.org/https://doi.org/10.18269/jpmipa.v17i2.36108>
- Argarini, D. F., Sulistyorini, Y., Pembelajaran, M., & Vektor, A. (2018). *Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis PREZI*. 3(2), 209–222.
- Arianto, Sosidi, H., Prismawiryanti, & Pusptasari, D. J. (2020). Pemisahan Logam Tanah Jarang dari Limbah (Tailing) Emas Poboya dengan Metode Pengendapan. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 6(1), 9–17. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i1.13861>
- Arikunto, S. (2015). *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan* (Edisi 2). Jakarta: Bumi Aksara.
- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A definition of systems thinking: A systems approach. *Procedia Computer Science*, 44(C), 669–678. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050>
- Arvaja, M. (2007). *Contextual perspective in analysing collaborative knowledge construction of two small groups in web-based discussion*. 133–158. <https://doi.org/10.1007/s11412-007-9013-5>
- Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518–560. <https://doi.org/10.1002/tea.20061>
- Atwood, D. A. (2012). *The Rare Earth Elements: Fundamentals and Applications*. Wiley.
- Aubrecht, K. B., Bourgeois, M., Brush, E. J., Mackellar, J., & Wissinger, J. E. (2019). Integrating Green Chemistry in the Curriculum: Building Student Skills in Systems Thinking, Safety, and Sustainability. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2872–2880. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00354>
- Aubrecht, K. B., Dori, Y. J., Holme, T. A., Lavi, R., Matlin, S. A., Orgill, M., & Skaza-Acosta, H. (2019). Graphical Tools for Conceptualizing Systems

- Thinking in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2888–2900. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00314>
- Batzri, O., Ben Zvi Assaraf, O., Cohen, C., & Orion, N. (2015). Understanding the earth systems: Expressions of dynamic and cyclic thinking among university students. *Journal of Science Education and Technology*, 24(6), 761–775. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9562-8>
- Ben-Zvi-Assaraf, O., & Orion, N. (2010). Four case studies, six years later: Developing system thinking skills in junior high school and sustaining them over time. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(10), 1253–1280. <https://doi.org/10.1002/tea.20383>
- Biber, D., van Dijk, T. A., & Kintsch, W. (1986). Strategies of Discourse Comprehension. *Language*, 62(3), 664. <https://doi.org/10.2307/415483>
- Burmeister, M., Rauch, F., & Eilks, I. (2012). Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 59–68. <https://doi.org/10.1039/c1rp90060a>
- Chamizo, J. A. (2013). Technochemistry: One of the chemists' ways of knowing. *Foundations of Chemistry*, 15(2), 157–170. <https://doi.org/10.1007/s10698-013-9179-z>
- Constable, D. J. C., Jiménez-González, C., & Matlin, S. A. (2019). Navigating Complexity Using Systems Thinking in Chemistry, with Implications for Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2689–2699. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00368>
- Couso, D. (2014). *Analyzing Students' Learning Progressions Throughout a Teaching Sequence on Acoustic Properties of Materials with a Model-Based Inquiry Approach*. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y>
- Creswell, J. W., & Clark, V. L. P. (2011). *Designing and conducting mixed methods research*. California: Sage publications.
- Dahar, R. W. (2006). *Teori-Teori Belajar dan Mengajar*. Jakarta: Erlangga.
- Denzin, N. K. (2017). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods*. Transaction publishers.
- Dugger, W. E. (1993). The relationship between Technology, Science, Engineering and Mathematics. *Annual Conference of the American Vocational Association*, 18. Retrieved from <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED366795.pdf>
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction - a framework for improving teaching and learning science. *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective*, (July), 13–37.

<https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8>

- Fahlman, B. D. (2011). What is “materials chemistry”? In *Materials chemistry* (pp. 1–21). Springer.
- Fatimah, S. S., & Firdaus, M. Y. (2021). Pelarut Deep Eutectic Etalin Sebagai Agen Pelindian Logam Perak dari Limbah Printed Circuit Boards (PCB). *Chemica Isola, 1*(2), 37–41.
- Flanders, N. A. (1966). *Interaction Analysis in the Classroom: A Manual for Observers*. School of Education, University of Michigan. Retrieved from https://books.google.co.id/books/about/Interaction_Analysis_in_the_Classroom.html?id=nm4XnQEACAAJ&redir_esc=y
- Furqon, P. D. (2018). Statistika terapan untuk penelitian. In *Alfabeta*. Bandung: Alfabeta.
- Gagne, R. M., Briggs, L. J., & Wager, W. W. (1992). Principles of instructional design (4e éd.). *Fort Worth, TX: Holt*.
- Gilissen, M. G. R., Knippels, M. P. J., Joolingen, W. R. Van, Gilissen, M. G. R., Knippels, M. P. J., & Joolingen, W. R. Van. (2020). Bringing systems thinking into the classroom. *International Journal of Science Education, 0*(0), 1–28. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1755741>
- Goonan, T. G. (2012). Rare earth elements-end use and recyclability. In *Rare Earth Elements: Supply, Trade and Use Dynamics*.
- Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J., & Gutierrez-Berraondo, J. (2017). Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level. *Physical Review Physics Education Research, 13*(2), 1–14. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020139>
- 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. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1369a>
- Hakim, L. N. (2013). Ulasan Metodologi Kualitatif: Wawancara Terhadap Elit. *Aspirasi, 4*(2), 165–172. Retrieved from <https://jurnal.dpr.go.id/index.php/aspirasi/article/view/501>
- Hernández, M. I., & Pintó, R. (2016). The process of iterative development of a teaching/learning sequence on acoustic properties of materials. In *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences* (pp. 129–166). Springer.
- Hiller Connell, K., Remington, S., & Armstrong, C. (2012). Assessing systems thinking skills in two undergraduate sustainability courses: a comparison of teaching strategies. *Journal of Sustainability Education, 3*(March).

- Himpunan Kimia Indonesia. (2017). *Capaian Pembelajaran S1 Program Studi Pendidikan Kimia*.
- Ho, F. M. (2019). Turning Challenges into Opportunities for Promoting Systems Thinking through Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2764–2776. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00309>
- Holme, T. (2019). Incorporating elements of green and sustainable chemistry in general chemistry via systems thinking. In *Integrating Green and Sustainable Chemistry Principles into Education*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817418-0.00002-4>
- Hopper, M., & Stave, K. (2008). Assessing the effectiveness of systems thinking interventions in the classroom. *Proceedings of the 26th International Conference of the System Dynamics Society*, 1–26. Retrieved from <http://www.systemdynamics.org/conferences/2008/proceed/papers/STAVE390.pdf>
- Hrin, T. N., Milenković, D. D., Segedinac, M. D., & Horvat, S. (2016). Enhancement and assessment of students' systems thinking skills by application of systemic synthesis questions in the organic chemistry course. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 81(12), 1455–1471. <https://doi.org/10.2298/JSC160811097H>
- Huang, C. (2010). Rare Earth Coordination Chemistry: Fundamentals and Applications. In *Rare Earth Coordination Chemistry: Fundamentals and Applications*. <https://doi.org/10.1002/9780470824870>
- Iman, F., Anwar, I. F., Harahap, L. J., Ningsih, S., Miarsyah, M., Rianto, R. H., ... Jakarta, U. N. (2019). *Pengembangan Media Pembelajaran PREZI Berbasis Mnemonic pada Materi Klasifikasi Makhluk Hidup*. 4(1).
- Jankowicz, D. (2005). *The easy guide to repertory grids*. John wiley & sons.
- Jha, A. R. (2014). Rare earth materials: Properties and applications. In *Rare Earth Materials: Properties and Applications*. <https://doi.org/10.1201/b17045>
- Keraf, G. (1982). *Argumentasi dan narasi: komposisi lanjutan III* (Vol. 3). Jakarta: Gramedia.
- Keynan, A., Ben-Zvi Assaraf, O., & Goldman, D. (2014). The repertory grid as a tool for evaluating the development of students' ecological system thinking abilities. *Studies in Educational Evaluation*, 41, 90–105. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2013.09.012>
- Kornfeld, J., & Stokoe, S. (2019). Introducing Chemistry through the Lens of Earth's Systems: What Role Can Systems Thinking Play in Developing Chemically and Environmentally Literate Citizens. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2910–2917. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00263>

- Kumpulainen, K., & Mutanen, M. (1999). *The situated dynamics of peer group interaction : an introduction to an analytic framework*. 9, 449–473.
- Latour, B. (1987). *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Harvard university press.
- Leach, J., & Scott, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38(1), 115–142.
- Lijnse, P. L. (1995). “Developmental research” as a way to an empirically based “didactical structure” of science. *Science Education*, 79(2), 189–199.
- Mahaffy, P. G., Martin, B. E., Kirchoff, M., McKenzie, L., Holme, T., Versprille, A., & Towns, M. (2014). Infusing sustainability science literacy through chemistry education: Climate science as a rich context for learning chemistry. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2(11), 2488–2494. <https://doi.org/10.1021/sc500415k>
- Mahaffy, P. G., Matlin, S. A., Whalen, J. M., & Holme, T. A. (2019). Integrating the Molecular Basis of Sustainability into General Chemistry through Systems Thinking. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2730–2741. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00390>
- Mahaffy, P., & Matlin, S. (2019). *Next hundred years: systems thinking to educate about the molecular basis of sustainability*. (December).
- Marlina, L. (2016). Prinsip-prinsip Pembangunan Berwawasan Lingkungan dan Pengelolaan Lingkungan. *Modul I Manajemen Pembangunan Dan Lingkungan*.
- Mayring, P. (2015). Qualitative content analysis: Theoretical background and procedures. In *Approaches to qualitative research in mathematics education* (pp. 365–380). Springer.
- Méheut, M. (2005). Teaching-learning sequences tools for learning and/or research. *Research and the Quality of Science Education*, 195–207. https://doi.org/10.1007/1-4020-3673-6_16
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515–535. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- Miessler, G. L., & Tarr, D. (2013). *Inorganic Chemistry*. Pearson Education, Inc.
- Mudzakir, A., Liliyasi, L., Hernani, H., Widhiyanti, T., & Sarifudin, A. (2020). Ionic liquids in chemistry teacher education: An interactive simulation on their fundamental structure-property relationships. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(4). <https://doi.org/10.1088/1757->

899X/830/4/042065

- Muñoz-Campos, V., Franco-Mariscal, A. J., & Blanco-López, Á. (2020). 'Integration of scientific practices into daily living contexts: a framework for the design of teaching-learning sequences.' *International Journal of Science Education*, 42(15), 2574–2600. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1821932>
- Nentwig, P. M., Demuth, R., Parchmann, I., Gräsel, C., & Ralle, B. (2007). Chemie im Kontext: Situating learning in relevant contexts while systematically developing basic chemical concepts. *Journal of Chemical Education*, 84(9), 1439–1444. <https://doi.org/10.1021/ed084p1439>
- Niebert, K., & Gropengießer, H. (2013). The model of educational reconstruction: A framework for the design of theory-based content specific interventions. The example of climate change. *Educational Design Research – Part B: Illustrative Cases*, 511–532.
- Nursa'adah, E., Liliyasi, L., & Mudzakir, A. (2020). Designing Learning Sequence Metallic Bonding Concept Through Model of Educational Reconstruction Framework. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 5(2), 101. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v5i2.8423>
- Orgill, M. K., York, S., & Mackellar, J. (2019). Introduction to Systems Thinking for the Chemistry Education Community. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2720–2729. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00169>
- Pateli, I. M., Abbott, A. P., Binnemans, K., & Rodriguez, N. R. (2020). Recovery of yttrium and europium from spent fluorescent lamps using pure levulinic acid and the deep eutectic solvent levulinic acid–choline chloride. *Rsc Advances*, 10(48), 28879–28890.
- Pazicni, S., & Flynn, A. B. (2019). Systems Thinking in Chemistry Education: Theoretical Challenges and Opportunities. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2752–2763. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00416>
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (2015). Iterative design of teaching-learning sequences: Introducing the science of materials in European schools. *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*, 1–382. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>
- Rachmawati, D., & Rohaeti, E. (2017). Pengaruh Model Pembelajaran Sains, Teknologi, dan Masyarakat Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis dan Sikap Peduli Lingkungan Peserta Didik. *Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains*, 5(2), 98–105. <https://doi.org/10.21831/jpms.v5i2.14409>
- Rakhmawan, A., Setiabudi, A., & Mudzakir, A. (2015). Perancangan Pembelajaran Literasi Sains Berbasis Inkuiri Pada Kegiatan Laboratorium.

Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran IPA, 1(1), 143.
<https://doi.org/10.30870/jppi.v1i1.331>

- Reinfried, S., Aeschbacher, U., Kienzler, P. M., & Tempelmann, S. (2015). The model of educational reconstruction - A powerful strategy to teach for conceptual development in physical geography: The case of water springs. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 24(3), 237–257. <https://doi.org/10.1080/10382046.2015.1034459>
- Richmond, B. (1994). Systems thinking/systems dynamics: Let's just get on with it [Lecture notes]. *International Systems Dynamic Conference*, 25. Retrieved from <https://iseesystems.com/resources/articles/download/lets-just-get-on-with-it.pdf>
- Riduwan, A. (2012). *Rumus dan Data dalam Aplikasi Statistika Cetakan 1*. Bandung: Alfabeta.
- Rim, K. T. (2016). Effects of rare earth elements on the environment and human health: A literature review. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 8(3), 189–200. <https://doi.org/10.1007/s13530-016-0276-y>
- Rivai, M. (2006). *Identifikasi Jenis Uap Pelarut Organik Berdasarkan Perubahan Frekuensi Resonansi Kristal SiO₂ Terlapis Polimer*. Universitas Airlangga.
- Rosenkränzer, F., Kramer, T., Hörsch, C., Schuler, S., & Rieß, W. (2016). Promoting Student Teachers' Content Related Knowledge in Teaching Systems Thinking: Measuring Effects of an Intervention through Evaluating a Videotaped Lesson. *Higher Education Studies*, 6(4), 156. <https://doi.org/10.5539/hes.v6n4p156>
- Rumata, V. M. (2017). Analisis Isi Kualitatif Twitter “#TaxAmnesy” dan “#AmnestiPajak.” *Jurnal Penelitian Komunikasi Dan Pembangunan*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.31346/jpkp.v18i1.840>
- Ruseffendi, E. T. (2005). Dasar-dasar penelitian pendidikan dan bidang non-eksakta lainnya. *Bandung: Tarsito*.
- Sdgsindonesia. (2020). Apa Itu SDGs? Retrieved from <http://sdgsindonesia.or.id/>
- Senge, P. (1990). Peter Senge and the learning organization. *Rcuperado De*.
- Seuring, S., Müller, M., Westhaus, M., & Morana, R. (2016). Conducting a Literature Review — The Example of Sustainability in Supply Chains. In *Research Methodologies in Supply Chain Management* (pp. 91–106). Heidelberg: Physica-Verlag. https://doi.org/10.1007/3-7908-1636-1_7
- Sibanda, D., & Hobden, P. (2015). Planning a teaching sequence for the teaching of chemical bonding. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 19(1), 23–33. <https://doi.org/10.1080/10288457.2014.1002298>

- Sjöström, J., Rauch, F., & Eilks, I. (2015). Chemistry education for sustainability. *Relevant Chemistry Education: From Theory to Practice*, 163–184. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-175-5_9
- Slamet, S., & Maarif, S. (2014). Pengaruh bentuk tes formatif asosiasi pilihan ganda dengan reward dan punishment score pada pembelajaran matematika siswa SMA. *Infinity Journal*, 3(1), 59–80.
- Stavrou, D., Michailidi, E., & Sgouros, G. (2018). Development and dissemination of a teaching learning sequence on nanoscience and nanotechnology in a context of communities of learners. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(4), 1065–1080. <https://doi.org/10.1039/c8rp00088c>
- Suprpto, S. J. (2009). Tinjauan Tentang Unsur Tanah Jarang. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 4(1), 36–47. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v4i1.173>
- Suseno, I. (2017). *Komparasi Karakteristik Butir Tes Pilihan Ganda Ditinjau Dari Teori Tes Klasik*. 4(1), 1–8.
- Suwarni, E. (2013). *Pengembangan Buku Ajar Berbasis Lokal Materi Keanekaragaman Laba-Laba Di Kota Metro Sebagai Sumber Belajar Alternatif Biologi untuk Siswa SMA Kelas X*. 86–92.
- Taber, K. S. (2018). *The Use of Cronbach ' s Alpha When Developing and Reporting Research Instruments in Science Education*. 1273–1296. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>
- Tala, S. (2009). Unified view of science and technology for education: Technoscience and technoscience education. *Science and Education*, 18(3–4), 275–298. <https://doi.org/10.1007/s11191-008-9145-7>
- Testa, I., Lombardi, S., Monroy, G., & Sassi, E. (2016). Integrating science and technology in school practice through the educational reconstruction of contents. In *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences* (pp. 101–125). Springer.
- Tripto, J., Assaraf, O. B.-Z., & Amit, M. (2013). Mapping What They Know: Concept Maps as an Effective Tool for Assessing Students' Systems Thinking. *American Journal of Operations Research*, 03(01), 245–258. <https://doi.org/10.4236/ajor.2013.31a022>
- Viennot, L., & Ranson, S. (1999). Design and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of electric field. *International Journal of Science Education*, 21(1), 1–16.
- Viiri, J., & Savinainen, A. (2008). Teaching-learning sequences: a comparison of learning demand analysis and educational reconstruction. *Latin-American Journal of Physics Education*, 2(2), 1.

- Voncken, J. H. L. (2016). *The Rare Earth Elements*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26809-5>
- Watratan, A. F., & Moeis, D. (2020). Implementasi Algoritma Naive Bayes Untuk Memprediksi Tingkat Penyebaran Covid-19 Di Indonesia. *Journal of Applied Computer Science and Technology*, 1(1), 7–14.
- Wiersma, W., & Jurs, S. G. (2009). *Research methods in education: An introduction*. London: Pearson.
- Woldeamanuel, M. M. (2019). Motivation and attitude towards learning chemistry. *African Journal of Chemical Education*, 9(2), 70–88.
- York, S., Lavi, R., Dori, Y. J., & Orgill, M. K. (2019). Applications of Systems Thinking in STEM Education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2742–2751. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00261>
- Zowada, C., Gulacar, O., Siol, A., & Eilks, I. (2020). Phosphorus - A “political” element for transdisciplinary chemistry education. *Chemistry Teacher International*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.1515/cti-2018-0020>
- Zuza, K., De Cock, M., Van Kampen, P., Kelly, T., & Guisasola, J. (2020). Guiding students towards an understanding of the electromotive force concept in electromagnetic phenomena through a teaching-learning sequence. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 20110. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020110>