

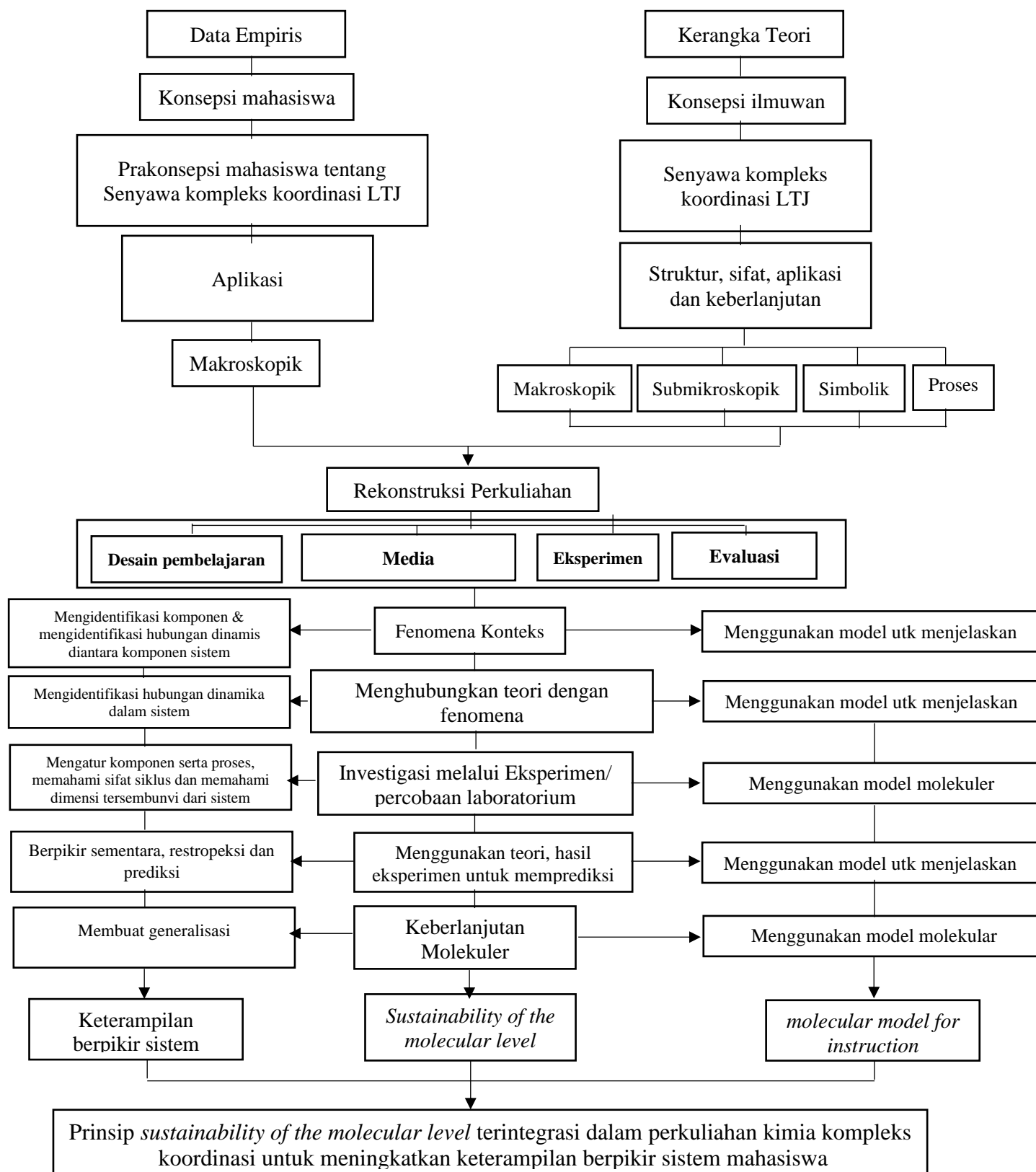
BAB III

METODE PENELITIAN

Bab III memaparkan secara terperinci mengenai teknis dari pengumpulan informasi sebagai jawaban untuk pertanyaan-pertanyaan penelitian. Bab ini menguraikan tentang paradigma penelitian, desain penelitian yang digunakan, subyek penelitian, instrumen penelitian, prosedur penelitian, teknik pengumpulan data dan teknik analisis data.

3.1 Paradigma Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan desain perkuliahan kimia koordinasi bagi mahasiswa Program Pendidikan Kimia yang dilandasi oleh kebutuhan mahasiswa Program Pendidikan Kimia dalam memahami konsep-konsep kimia. Disamping itu, menghasilkan model pembelajaran yang sesuai untuk diaplikasikan pada pembelajaran kimia di program studi pendidikan kimia pada salah LPTK di Kabupaten Cirebon. Gambar 3.1 menunjukkan paradigma penelitian.



Gambar 3.1. Paradigma Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa rekonstruksi materi pembelajaran dilakukan peneliti untuk mendekatkan konsepsi mahasiswa dengan konsepsi ilmuwan melalui tiga tahapan yang relevan : 1). Analisis konten sains, 2) klarifikasi konsepsi mahasiswa, dan 3) Pengembangan rangkaian pembelajaran. Para ilmuwan memiliki pandangan berpikir tentang sains pada level makroskopis, sub-mikroskopis, simbolik, dan proses. Sedangkan Sebagian besar mahasiswa berpikir pada level makroskopis.

Pada penelitian ini pembelajaran kimia koordinasi terintegrasi prinsip keberlanjutan pada tingkatan molekuler fokus menghubungkan pada struktur, sifat, aplikasi dan keberlanjutan. Berdasarkan fokusnya, mahasiswa perlu berpikir pada tingkat makroskopis, submikroskopis, simbolik, dan proses untuk memahami kimia koordinasi. Fenomena konteks digunakan untuk memotivasi mahasiswa. Mereka diminta mengidentifikasi komponen & hubungan dinamis diantara komponen sistem dalam konteks. Mengidentifikasi hubungan dinamika teori dengan fenomena. Mengatur komponen serta proses, memahami sifat siklus dan memahami dimensi tersembunyi dalam konteks dengan kegiatan penyelidikan melalui eksperimen. Berpikir sementara, restropeksi dari teori yang telah dipelajari sebelumnya untuk memprediksi sifat dan aplikasi konsep dalam konteks yang lebih kompleks untuk menambah pengetahuannya. Membuat generalisasi dari data yang didapat agar mahasiswa dapat menghubungkan konteks yang dipelajari dengan konten dan aplikasi. Mengubah pandangan mahasiswa terhadap aspek keberlanjutan pada tingkatan molekuler. Aktivitas tersebut memerlukan aktivitas pemodelan molekuler untuk pengajaran dan keterampilan berpikir sistem. Media, lembar kerja mahasiswa, buku ajar, kegiatan laboratorium disediakan untuk membantu mahasiswa selama proses pembelajaran.

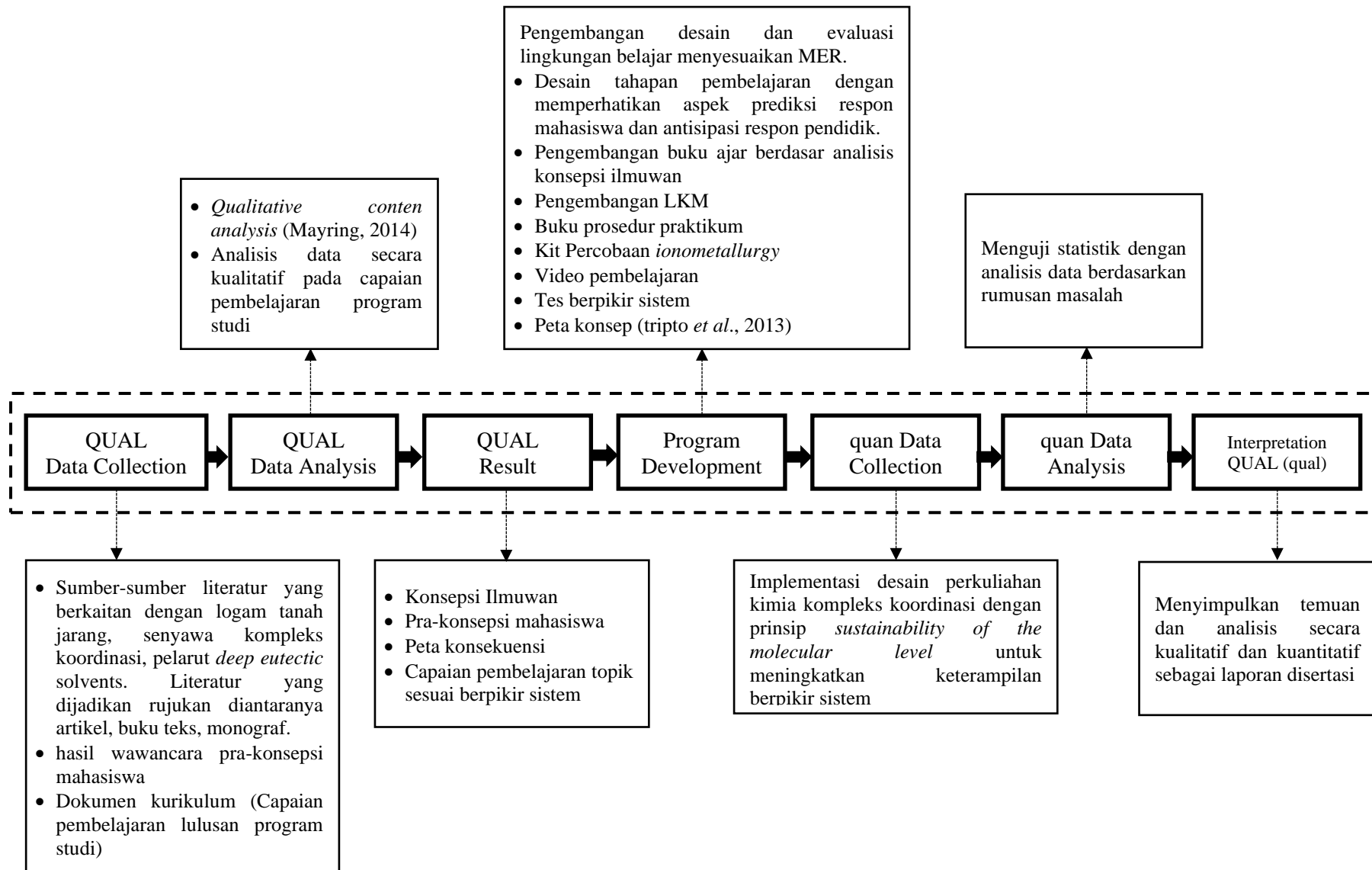
3.2 Desain Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode campuran (*mixed methods research*) menggunakan tipe *exploratory design* (Creswell & Clark, 2007). Pemilihan desain ini dilakukan berdasarkan kesesuaian dalam menjawab seluruh pertanyaan penelitian. Terdapat tiga bagian utama pada desain ini, diantaranya penelitian kualitatif, pengembangan dan penelitian kuantitatif. Tahapan pertama

dimulai dengan penelitian kualitatif, baik dari pengumpulan data kualitatif dan analisis data kualitatif. Hasil dari penelitian kualitatif menjadi dasar untuk tahapan penelitian pengembangan. Pada tahap pengembangan difokuskan untuk mengembangkan seluruh instrument penelitian yang digunakan. Tahap penelitian pengembangan ini dimulai dengan melakukan studi pendahuluan berdasarkan hasil penelitian kualitatif, mengembangkan instrumen, validasi instrument, dan revisi setelah beberapa kali melakukan validasi instrument. Tahap akhir adalah melakukan penelitian kuantitatif, merupakan implementasi dari program perkuliahan yang telah di desain serta penggunaan berbagai instrument yang telah divalidasi dan dinyatakan valid. Pada penelitian ini akan dilihat seberapa besar peningkatan kemampuan berpikir sistem mahasiswa sebelum dan sesudah implementasi program perkuliahan dilakukan.

Penelitian ini juga berpedoman pada kerangka *Model of Educational Reconstruction* (MER) yang dikembangkan oleh Duit, *et al.* (2012). MER terdiri dari tiga komponen utama, yaitu (1) *clarification and analysis of science subject matter* (klarifikasi dan analisis konten sains), (2) *research on teaching & learning* (penelitian pada proses belajar-mengajar), (3) *design and evaluation of teaching and learning environment* (desain dan evaluasi terhadap lingkungan belajar). Komponen-komponen pada kerangka MER tersebut implementasinya disesuaikan dengan model *sequential exploratory*.

Pada komponen pertama dan komponen kedua kerangka MER diimplementasikan dengan menggunakan metode kualitatif. Tujuan dari komponen pertama adalah memperjelas konsepsi sains dan struktur konten yang diteliti melalui analisis istilah-istilah yang disepakati oleh ilmuwan. Komponen kedua dilakukan dengan mengkaji terhadap konsepsi mahasiswa terkait konten yang diteliti. Komponen ketiga meliputi desain tahapan pembelajaran yang dikembangkan dengan memperhatikan konsepsi ilmiah dan konsepsi mahasiswa. Komponen ketiga, dilakukan pengumpulan data melalui metode kualitatif dan kuantitatif. Hubungan antara penelitian *mixed methods tipe exploratory design* dan MER dapat dilihat dalam desain penelitian pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Desain penelitian *mixed methods tipe exploratory design* (Creswell & Clark, 2007)

3.3. Subjek Penelitian

Penelitian ini dilakukan terhadap mahasiswa Program Pendidikan Kimia pada salah satu Perguruan Tinggi Swasta di Cirebon pada semester genap Tahun Akademik 2022/2023. Penelitian ini menggunakan desain “*pre-test and pos-test one group design*” yaitu penelitian hanya menggunakan satu kelas eksperimen saja. Terdapat 50 mahasiswa pendidikan kimia yang dijadikan sebagai sampel penelitian karena memenuhi syarat pemilihan sampel yang ditentukan. Sampel penelitian ini adalah mahasiswa semester 4 dan semester 6 pada Perguruan Tinggi tersebut. Teknik pengambilan sampel pada penelitian ini adalah *convenience sampling*, yaitu hanya mahasiswa yang bersedia secara penuh untuk mengikuti penelitian ini. Alasan pemilihan teknik tersebut karena mahasiswa program studi pendidikan kimia di LPTK ini hanya memiliki satu kelas setiap tahun akademiknya sehingga tidak memungkinkan menggunakan teknik penarikan sampel dengan cara lain. Disamping itu syarat sampel yang digunakan telah menempuh mata kuliah prasyarat yaitu kimia dasar 1, kimia dasar 2 dan kimia anorganik 1.

3.4. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian disesuaikan dengan kebutuhan jenis data yang dikumpulkan untuk menjawab pertanyaan penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan desain program perkuliahan kimia koordinasi dengan prinsip *sustainability of the molecular level* untuk meningkatkan berpikir sistem mahasiswa. Berikut adalah instrumen pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Instrumen dan Data Penelitian

No	Pertanyaan Penelitian	Instrumen	Deskripsi Instrumen	Data yang diperoleh
1.	Bagaimana rancangan didaktik dan implementasi dari tahapan pembelajaran untuk membangun keterampilan berpikir sistem pada perkuliahan kimia koordinasi dengan prinsip <i>sustainability of the molecular level</i> ?	• Format untuk mengidentifikasi konten unsur tanah jarang dan kimia koordinasi (Mayring, 2014).	• Format ini dirancang untuk membantu mengidentifikasi dan menganalisis konten berkaitan dengan unsur tanah jarang dan pembentukan senyawa kompleks koordinasinya.	• Konsepsi ilmuwan terkait topik kimia koordinasi logam tanah jarang yang sesuai dengan konsep berpikir sistem.

Tabel 3.1 Instrumen dan Data Penelitian (lanjutan)

No	Pertanyaan Penelitian	Instrumen	Deskripsi Instrumen	Data yang diperoleh
			Diawali dengan menentukan mengumpulkan sumber literatur yang relevan, menganalisis kimia koordinasi, menggabungkan konsep yang terkait antara unsur tanah jarang dan kimia koordinasi. Menghubungkan konsep kunci dengan berpikir sistem.	
		<ul style="list-style-type: none"> • Pedoman wawancara prakonsepsi mahasiswa. • Rancangan desain tahapan pembelajaran yang dikembangkan berdasarkan konsepsi ilmuwan, konsepsi mahasiswa dan keterampilan berpikir sistem. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pedoman wawancara prakonsepsi dirancang untuk menggali pemahaman awal mahasiswa terkait kimia koordinasi dengan fokus pada logam tanah jarang. • Pengembangan tahapan pembelajaran dengan mengintegrasikan konsepsi ilmuwan, konsepsi mahasiswa, dan memasukkan aspek berpikir sistem mahasiswa. Langkah-langkah pembelajarannya mengacu pada literasi sains. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transkrip wawancara mahasiswa terkait perkuliahan kimia koordinasi logam tanah jarang yang sesuai dengan konsep berpikir sistem. • Desain tahapan pembelajaran kimia koordinasi logam tanah jarang untuk menguatkan keterampilan berpikir sistem dan profil peningkatan domain pengetahuan.
2.	Bagaimana peningkatan kemampuan berpikir sistem mahasiswa sebagai efek dari implementasi program perkuliahan kimia koordinasi	Tes berpikir sistem (<i>Pre-test</i> dan <i>Post-test</i>).	Mengukur tingkat pemahaman dan keterampilan berpikir sistem peserta sebelum dan sesudah implementasi	Skor pre-test dan post-test berpikir sistem mahasiswa. Peningkatan kemampuan berpikir sistem setelah

Tabel 3.1 Instrumen dan Data Penelitian (lanjutan)

No	Pertanyaan Penelitian	Instrumen	Deskripsi Instrumen	Data yang diperoleh
	dengan prinsip <i>sustainability of the molecular level</i> ?		pembelajaran. Keterampilan berpikir sistem yang diukur meliputi kemampuan mengidentifikasi, mengatur komponen, memahami sifat siklus, membuat generalisasi, memahami dimensi tersembunyi, berpikir retrospeksi.	implementasi program.
3.	Bagaimanakah profil berpikir sistem mahasiswa dalam mengembangkan pembelajaran kimia koordinasi?	Peta konsep berorientasi sistem (Tripto <i>et al.</i> ,(2013).	Mahasiswa diminta untuk membuat peta konsep berorientasi sistem yang mencakup konsep-konsep utama kimia koordinasi. Mahasiswa mengidentifikasi dan menghubungkan elemen-elemen utama seperti sumber logam, ligan, geometri molekul, dan sifat kimia dan fisika yang terkait.	Konsep-konsep berupa komponen dan proses. Keterhubungan antara kompoenen dan proses yang membentuk peta konsep.

3.5. Prosedur Penelitian

3.5.1. Validasi Perangkat Penelitian

Pada tahap ini, validasi perangkat penelitian dilakukan oleh tiga dosen ahli yang bertindak sebagai validator. Validator 1 merupakan ahli di bidang konten kimia koordinasi, validator 2 merupakan ahli dalam bidang pedagogik, dan validator 3 merupakan ahli dalam bidang asesmen pembelajaran kimia. Ketiga validator ini menilai mengenai kelayakan desain tahapan pembelajaran, isi LKM

dan tes berpikir sistem. Tabel 3.3 menunjukkan ringkasan hasil validasi ahli pada kelayakan perangkat penelitian.

Tabel 3.3 Hasil Penilaian Validasi Ahli Pada Kelayakan Perangkat Instrumen

Aspek	Indikator yang dinilai	Validator			Rata-rata
		1	2	3	
Desain tahapan pembelajaran	Capaian Pembelajaran dirumuskan dengan jelas	4	4	4	4
	Bahan kajian yang digunakan sesuai dengan kebutuhan setiap tahapan pembelajaran yang dirumuskan	4	3	4	3,67
	Setiap tahapan pembelajaran memuat kompetensi berpikir sistem yang dibekalkan	4	4	4	4
LKM	Sumber belajar sesuai dengan bahan kajian	4	3	4	3,67
	LKM memiliki tujuan kegiatan yang jelas	4	4	3	3,67
	LKM memiliki struktur yang lengkap (judul, petunjuk kegiatan, tujuan, informasi pendukung, aktivitas-aktivitas belajar)	4	3	4	3,67
	LKM sudah memiliki sistematika yang teratur	3	4	4	3,67
	LKM memiliki kesesuaian tata letak gambar, grafik maupun tabel	3	4	4	3,67
	Kesesuaian LKM dengan materi senyawa kompleks koordinasi logam tanah jarang	3	4	4	3,67
	Kesesuaian LKM dengan kebutuhan mahasiswa	4	4	4	4
	Kesesuaian LKM dengan kebutuhan bahan ajar	4	3	4	3,67
	LKM memunculkan masalah dan menduga konsekuensi berdasarkan bukti kontekstual	4	3	4	3,67
	LKM mengarahkan mahasiswa untuk menganalisis masalah untuk membangun konsep berpikir sistem berdasarkan pengetahuan awal yang telah dimilikinya (analisis)	4	4	4	4
	LKM mendorong mahasiswa memberikan penilaian dan solusi terbaik dari permasalahan yang diberikan (Evaluasi)	3	4	4	3,67
	LKM mendorong mahasiswa membentuk gagasan, alasan, hipotesis, prediksi, menghubungkan antar sistem serta menyimpulkan dari suatu permasalahan (Berpikir Sistem)	4	3	4	3,67
	LKM menghubungkan konsep dengan kehidupan sehari-hari	4	4	4	4
	Aktivitas mahasiswa dirumuskan dengan jelas dan operasional	3	4	4	3,67

Keterangan : 1= Kurang, 2=Cukup, 3=Baik, 4=Baik Sekali

Hasil penilaian ahli pada Tabel 3.3 menunjukkan bahwa seluruh indikator yang dinilai memperoleh nilai baik dan baik sekali. Meskipun demikian, terdapat beberapa masukan dari validator untuk penyempurnaan pada aspek materi pada LKM seperti yang tercantum pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Hasil Validasi dan Masukan Ahli

Aspek	Masukan Ahli
Desain Pembelajaran	<ul style="list-style-type: none"> • Perlu dibuat video pembelajaran mengenai fenomena limbah elektronik di lingkungan masyarakat, dampak limbah elektronik terhadap lingkungan dan kesehatan, tahapan daur ulang sampah elektronik berupa TV tabung, proses sintesis EILs, proses leaching, senyawa yang terbentuk dari hasil leaching. • kegiatan praktikum mahasiswa seharusnya masuk pada tahap elaborasi. • Tambahkan wacana atau artikel ilmiah yang berkaitan dengan cara mendaur ulang sampah elektronik untuk memberikan stimuli kepada mahasiswa dalam merancang praktikum.
LKM	<ul style="list-style-type: none"> • untuk setiap bagian dituliskan tujuan pembelajaran atau sub capaian pembelajaran mata kuliah. • Terdapat gambar yang belum jelas dan harus diganti. • Kalimat perintah dituliskan dengan padat dan jelas, agar menghindari makna ganda.

Kesimpulan dari masukan para ahli adalah bahwa Desain tahapan pembelajaran dan LKM yang disusun sudah baik sekali dan dapat digunakan dengan sedikit revisi. Selanjutnya Desain tahapan pembelajaran dan LKM direvisi sesuai hasil masukan para ahli untuk siap digunakan pada tahap uji coba.

3.5.2 Hasil Ujicoba Terbatas Desain Tahapan Pembelajaran Kimia Koordinasi dengan Prinsip *Sustainability of the Molecular Level*

Desain perkuliahan Kimia koordinasi dengan prinsip *sustainability of the molecular level* yang telah direvisi berdasarkan masukan validator, kemudian dilakukan uji coba program skala kecil kepada mahasiswa yang berjumlah 18 orang. Tahap uji coba program perkuliahan ini bertujuan untuk mengetahui kendala-kendala yang muncul ketika implementasi program perkuliahan, sehingga

dapat dilakukan perbaikan dan perencanaan antisipasi yang diperlukan. Selain itu, kegiatan uji coba juga bertujuan untuk mengetahui peningkatan keterampilan berpikir sistem, sekaligus kelebihan dan kelemahan desain perkuliahan yang dirancang.

Tahap uji coba ini dilakukan sebanyak tujuh pertemuan yang digunakan untuk melaksanakan uji coba penelitian. Topik yang dibahas pada pertemuan ini meliputi 1) limbah elektronik sebagai sumber *urban mining* dengan mempertimbangkan aspek keberlanjutan, 2) logam berharga dalam limbah elektronik, 3) sifat fisik, sifat kimia, dan sifat khusus pada logam tanah jarang, 4) daur ulang sampah elektronik, 5) cairan ionik eutektik, 6) senyawa kompleks koordinasi logam tanah jarang dan aplikasinya, 7) percobaan sintesis cairan ionik eutektik. Data hasil analisis uji coba dijadikan acuan untuk perbaikan dan penyempurnaan program perkuliahan ini. Adapun ringkasan tahapan perkuliahan yang diujicobakan disajikan sebagai berikut.

- a) Konten mengenai limbah elektronik sebagai sumber *urban mining* dengan mempertimbangkan aspek keberlanjutan.

Pada pertemuan ini mahasiswa diminta untuk mengidentifikasi komponen dan proses yang terlibat dalam limbah elektronik sebagai sumber *urban mining*. Aktivitas ini dipandu dengan menggunakan LKM, mahasiswa mempelajari dan memahami fenomena terkait isu lingkungan yang disajikan pada LKM. Selanjutnya mahasiswa mengidentifikasi komponen-komponen yang terlibat dalam limbah elektronik. Mahasiswa dilibatkan dalam mengembangkan berpikir sistem terkait pengambilan keputusan dan tindakan yang harus dilakukan untuk menangani permasalahan limbah elektronik dalam bidang pembelajaran kimia.

- b) Konten mengenai logam berharga dalam limbah elektronik.

Pada pertemuan ini mahasiswa diminta untuk mengidentifikasi komponen dan proses logam berharga dalam limbah elektronik. Kegiatan ini diisi dengan mendemostrasikan komponen-komponen yang terlibat dalamnya serta proses yang terjadi pada alat elektronik seperti TV tabung. Mahasiswa terlibat dalam

mengembangkan berpikir sistem untuk mengidentifikasi komponen dan proses. Mahasiswa terlibat aktif dalam proses konstruksi pengetahuan dengan mengidentifikasi terlebih dahulu sifat fisika yang dimiliki oleh logam-logam yang terkandung didalam elektronik. Sehingga mahasiswa mampu menjelaskan proses yang terjadi dalam alat elektronik tersebut. Aktivitas ini dipandu dengan menggunakan LKM .

- c) Konten mengenai sifat fisika, sifat kimia, dan sifat khusus pada logam tanah jarang.

Pada Pertemuan ini, mahasiswa diminta untuk mengidentifikasi hubungan dinamis antara sifat fisik, sifat kimia dan sifat khusus yang dimiliki logam tanah jarang. Mahasiswa diminta untuk mengidentifikasi hubungan dinamis antara sifat fisika, sifat kimia dan sifat khusus yang dimiliki logam tanah jarang. Mahasiswa diarahkan berpikir sistem dalam mengidentifikasi hubungan antara pengisian elektron pada orbital logam tanah jarang berbeda dengan logam transisi. Mahasiswa diberikan kesempatan untuk mengerjakan pengisian elektron pada orbital yang dimiliki logam tanah jarang yang terdapat pada LKM. Tujuan mahasiswa menuliskan pengisian elektron pada orbital logam tanah jarang adalah agar lebih memahami sifat fisika, sifat kimia dan sifat khusus berdasarkan jenis kulit terluar yang diisi oleh elektron valensi, jumlah elektron valensi yang mengisi pada kulit terluar, pasangan elektron atau elektron mandiri yang dimiliki kulit terluar serta kemungkinan adanya eksitasi yang terjadi pada elektron valensinya.

- d) Konten mengenai daur ulang sampah elektronik.

Pada pertemuan ini, mahasiswa diminta untuk mampu mencipatakan gagasan, ide untuk mendaur ulang sampah elektronik. Mahasiswa diajak untuk mengembangkan berpikir sistem khususnya dalam mengidentifikasi hubungan dinamika dalam sistem. Aktivitas ini dipandu dengan menggunakan LKM, mahasiswa mempelajari dan menjawab pertanyaan mengenai proses yang mendasari pemisahan logam tanah jarang. Selanjutnya mahasiswa mengidentifikasi hubungan dinamika yang terdapat dalam sampah elektronik, mahasiswa dapat mengidentifikasi bahan kimia yang tergolong berbahaya yang

dapat mencemari lingkungan dan logam berharga yang dapat dimanfaatkan kembali. Berdasarkan sifat-sifat yang dimiliki logam yang terkandung, mahasiswa mampu menciptakan gagasan untuk mendaur ulang sampah elektronik untuk mendapatkan logam tanah jarang.

e). Konten mengenai cairan ionik eutektik

Pada pertemuan ini, mahasiswa diminta untuk menganalisis sifat fisikokimia dari cairan ionik eutektik. Aktivitas ini dipandu dengan menggunakan LKM, selain itu mahasiswa juga memanfaatkan buku ajar yang telah disediakan. Pada tahap analisis, mahasiswa dapat memahami prinsip-prinsip dasar yang mendasari sifat fisikokimia dari cairan ionik eutektik, termasuk interaksi antara ion-ion penyusunnya. Dengan memanfaatkan pengetahuan dari buku ajar yang disediakan dan panduan LKM, mahasiswa diminta untuk menjelaskan mengapa cairan ionik eutektik menjadi pilihan yang relevan sebagai pelarut dalam proses ekstraksi limbah CRT pada perangkat elektronik. Selain itu, mahasiswa diajak untuk menerapkan konsep keterampilan berpikir sistem dengan mempertimbangkan aspek-aspek terkait, seperti dampak lingkungan.

f). Konten senyawa kompleks koordinasi logam tanah jarang dan aplikasinya.

Pada pertemuan ini, mahasiswa diarahkan untuk melakukan analisis terhadap senyawa yang diperoleh dari hasil ekstraksi logam tanah jarang menggunakan cairan ionik eutektik. Proses analisis dilakukan melalui pengukuran sampel hasil ekstraksi menggunakan uji Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Mahasiswa selanjutnya dapat menentukan gugus-gugus apa saja yang teridentifikasi, sehingga mahasiswa dapat mengambil kesimpulan senyawa yang terbentuk akibat interaksi antar ion maupun molekul. Setelah mahasiswa dapat mengidentifikasi senyawa baru yang terbentuk berupa senyawa koordinasi logam tanah jarang, dengan panduan LKM dan buku ajar mahasiswa diminta mempelajari struktur, isomerisasi, dan aplikasinya. Mahasiswa diminta presentasi untuk menyampaikan hasil analisis senyawa koordinasi logam tanah jarang. Setelah melakukan presentasi kemudian hasil pekerjaan mahasiswa dievaluasi oleh dosen untuk menyempurnakan menyempurnakan kekurangan hasil analisis.

g). Percobaan sintesis cairan ionik eutektik

Pada pertemuan ini, mahasiswa diarahkan untuk melakukan percobaan sintesis cairan ionik eutektik. Mahasiswa mensintesis dengan komposisi choline chloride dengan asam oleat. Aktivitas ini dipandu dengan buku prosedur praktikum. Mahasiswa diajak untuk mengembangkan berpikir sistem khususnya pada indikator mengatur komponen dan proses sistem dalam suatu kerangka hubungan. Mahasiswa mampu mengatur dan menghitung komposisi yang diperlukan pada choline chloride dengan asam oleat. Selanjutnya mahasiswa diminta untuk menganalisis struktur yang terbentuk dalam cairan ionik eutektik.

Proses uji coba program perkuliahan ini pada setiap pertemuan tentunya memiliki beberapa kendala. Beberapa kendala yang ditemukan pada ujicoba penelitian disajikan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Kendala dan solusi yang terjadi dalam ujicoba penelitian

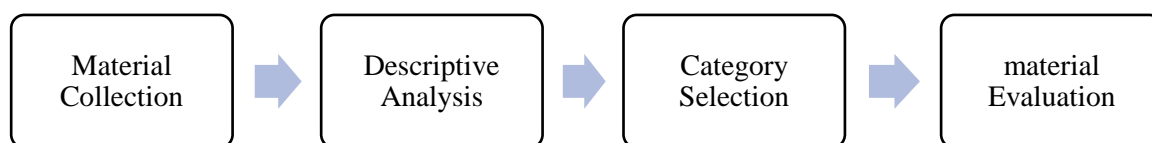
No	Aktivitas Perkuliahan	Masalah yang dihadapi	Solusi perbaikan
1	Mengidentifikasi komponen dan proses yang terlibat dalam limbah elektronik sebagai sumber <i>urban mining</i> (tambang kota) dengan mempertimbangkan aspek keberlanjutan.	Pada tahap awal perkuliahan mahasiswa kesulitan untuk mengidentifikasi komponen yang terdapat pada sampah elektronik	Menambahkan video pembelajaran pada desain pembelajaran agar informasi yang diperoleh mahasiswa tidak abstrak. Sistematisa berpikir mahasiswa dapat berjalan secara berjenjang. Pada LKM perlu ditambahkan petunjuk aktivitas untuk menyimak video pembelajaran.
2	Mengidentifikasi komponen dan proses logam berharga dalam limbah elektronik	Mahasiswa kesulitan dalam mengidentifikasi logam-logam yang terkandung dalam	Memberikan peta konsep yang menghubungkan sistem utama berupa limbah

No	Aktivitas Perkuliahan	Masalah yang dihadapi	Solusi perbaikan
		layar tv tabung. Kesulitan kedua merupakan dampak dari kesulitan yang pertama, yaitu mahasiswa kesulitan dalam mengidentifikasika sifat fisikokimia dari logam berharga berupa logam tanah jarang	elektronik sampai ke sub sistem logam berharga dalam sampah elektronik. Menambahkan video pembelajaran yang menampilkan proses pungut ulang yang pernah dilakukan oleh negara maju.
3	Mengidentifikasi hubungan dinamis antara sifat fisika, sifat kimia dan sifat khusus pada logam tanah jarang	Mahasiswa kesulitan menuliskan sifat fisika, sifat luminesen unsur tanah jarang.	Menampilkan tabel sifat magnetik unsur tanah jarang dan konfigurasi elektronnya. Selain itu, menampilkan gambar tingkat energi orbital serta kestabilan menurut aturan Madelung.
4	Menciptakan gagasan, ide untuk mendaur ulang sampah elektronik	Mahasiswa tidak mengalami kesulitan berarti. Mahasiswa mampu menunjukkan gagasan yaitu dengan mengolah sampah elektronik melalui pemanfaatan logam-logam yang berguna dan bernilai. Namun, mahasiswa belum mengetahui gambaran dalam mendau ulang sampah elektronik melalui pemisahan logam.	Dosen perlu menambahkan KIT percobaan ionometallurgy untuk kegiatan praktik di laboratorium

No	Aktivitas Perkuliahan	Masalah yang dihadapi	Solusi perbaikan
5.	Menganalisis senyawa yang diperoleh dari hasil <i>leaching</i> logam tanah jarang menggunakan cairan ionik eutektik sebagai pelarut ramah lingkungan.	Mahasiswa mengalami kesulitan dalam menganalisis senyawa yang terbentuk dari inetraksi antara spesi logam tanah jarang dengan spesi cairan ionik eutektik yang digunakan sebagai pelarut.	Memberikan arahan kepada mahasiswa untuk mempelajari artikel yang relevan, yaitu senyawa kompleks koordinasi dalam ekstraksi logam.
6.	Menggeneralisasi hubungan antara sifat-sifat senyawa kompleks koordinasi logam tanah jarang dengan aplikasinya.	Mahasiswa mengalami kesulitan dalam menggeneralisasikan senyawa kompleks koordinasi tanah jarang yang memanfaatkan sifat khas yang dimiliki.	Menyediakan gambar produk-produk yang terbuat dari senyawa kompleks koordinasi logam tanah jarang.
7.	Kelas praktikum	Sintesis cairan ionik eutektik berbasis choline chloride dengan asam oleat membutuhkan waktu yang cukup panjang setiap fraksi mol. Sedangkan mahasiswa harus membuat sebanyak sembilan variasi fraksi mol, sehingga waktunya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan sintesis memerlukan waktu yang sangat panjang.	Mengeliminasi kegiatan percobaan pada reaksi Eu dengan cairan ionik eutektik serta proses vakum pada sampel hasil leaching.

3.5.3. Klarifikasi dan Analisis Konten Sains

Pada tahap ini difokuskan pada klarifikasi dan analisis konten sains. Konten sains yang dikaji adalah kimia koordinasi logam tanah jarang. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode analisis isi kualitatif atau *qualitative content analysis* (QCA) yang dikembangkan oleh Mayring (2014). Tipe yang digunakan dalam metode QCA ini mengadaptasi pada tipe induktif. Dalam menerapkan metode ini ada langkah-langkah yang harus dilewati secara berurutan. Langkah pertama yang dilakukan pada metode ini yaitu mengumpulkan sumber-sumber literatur baik itu artikel penelitian, buku teks, maupun monograf. Literatur yang terkumpul dibatasi berdasarkan kriteria tertentu, yaitu materi yang relevan dengan tema kajian. Pemilihan sumber literatur dilakukan berdasarkan kesesuaian dengan topik yang diteliti. Langkah kedua adalah analisis deskriptif, Langkah ini memberikan gambaran terhadap latar belakang, metodologi penelitian, dan hasil penelitian yang dilakukan, selanjutnya memaparkan aspek formal materi yang sudah ditelaah yang merupakan langkah ketiga. Langkah ketiga, pemilihan kategori untuk penataan awal konsep penting pada analisis isi, kategori yang dipilih memiliki bidang kajian yang berhubungan dengan bidang utama lainnya langkah keempat, evaluasi materi hasil analisis literatur. Secara sistematis langkah-langkah analisis isi kualitatif ini dapat digambarkan melalui bagan proses seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Tahapan-tahapan Analisis Konten Kualitatif (Mayring, 2014)

3.5.2. Studi Pra-konsepsi Mahasiswa

Penelitian terhadap proses pembelajaran dilakukan pada tahap ini. Tahap ini dilakukan untuk memperoleh konsepsi awal mahasiswa terkait dengan topik pembelajaran yang dikembangkan. Wawancara terstruktur digunakan dalam tahap ini yang bertujuan untuk memperoleh data konsepsi awal mahasiswa. Wawancara terstruktur merupakan prosedur yang digunakan untuk menggali informasi dari

responden dengan satu set pertanyaan yang urutannya telah disiapkan oleh pewawancara dan jawabannya direkam dalam bentuk yang terstandarisasi (Hakim, 2013). Pengambilan data menggunakan wawancara dipandang memberikan manfaat karena dapat memperoleh informasi yang sangat mendalam (Gurel *et al.*, 2015). Terdapat 18 pertanyaan wawancara yang telah direncanakan. Setiap responden dibatasi oleh waktu antara 45 – 60 menit. Rekaman jawaban mahasiswa yang diperoleh melalui wawancara diterjemahkan dalam bentuk transkrip wawancara.

3.5.3. Desain dan Evaluasi Lingkungan Belajar

Untuk memperoleh desain pembelajaran pada perkuliahan kimia koordinasi berbasis logam tanah jarang dengan prinsip *sustainability of the molecular level* dan desain praktikum tervalidasi dilakukan melalui tahapan sebagai berikut :

- 1) Tahap pengembangan dilakukan terhadap buku ajar kimia koordinasi logam tanah jarang dapat menguatkan keterampilan berpikir sistem. Buku ajar yang telah dikembangkan diberikan judul “Sustainable Urban Mining : Buku Ajar Kimia koordinasi”. Hasil rancangan buku ajar disusun berdasarkan hasil analisis konsepsi ilmuwan. Sistematika konten materi pada buku ajar disusun berdasarkan peta konsep yang telah tervalidasi.
- 2) Analisis terhadap capaian pembelajaran lulusan program studi sarjana pendidikan kimia sehingga diperoleh capaian pembelajaran topik. Capaian pembelajaran topik dijadikan sebagai dasar untuk membuat sub-capaian pembelajaran yang disesuaikan dengan berpikir sistem. Produk yang dihasilkan pada tahap ini berupa desain program perkuliahan kimia koordinasi dengan prinsip *sustainability of the molecular level* dan Modifikasi RPS yang selanjutnya divalidasi.
- 3) Tahap pengembangan dilakukan terhadap Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) pada pungut ulang logam tanah jarang dari limbah *cathode ray tube* (CRT) dengan metode ionometalurgi. LKM dikembangkan dengan menekankan berpikir sistem dalam mengolah limbah CRT menjadi senyawa kompleks koordinasi logam tanah jarang yang memiliki banyak aplikasi. Selain itu, LKM lebih mengarahkan mahasiswa untuk melakukan kegiatan studi kasus terkait

isu lingkungan (sampah elektronik) dan melaksanakan praktikum di laboratorium.

- 4) Tahap pengembangan dilakukan terhadap buku prosedur praktikum. Buku prosedur praktikum dikembangkan berdasarkan hasil optimasi dari peneliti. Buku prosedur praktikum memuat serangkaian kegiatan penelitian mahasiswa dalam topik pungut ulang logam tanah jarang dari limbah CRT yang bertujuan untuk memperoleh senyawa kompleks koordinasi logam tanah jarang.
- 5) Tahap pengembangan dilakukan terhadap KIT percobaan *ionometallurgy* (pungut ulang logam berharga dari limbah *cathode ray tube*). Kit percobaan ini juga dikembangkan berdasarkan analisis kebutuhan pada saat optimasi praktikum dari peneliti. Kit percobaan terdiri dari alat-alat kimia yang khusus digunakan pada praktikum sintesis EILs maupun proses *leaching* logam tanah jarang. Buku panduan kit percobaan disusun sebagai prosedur dalam mengoperasikan rangkaian alat yang benar.
- 6) Tahap pengembangan tes keterampilan berpikir sistem yang digunakan mengacu pada model hirarki berpikir sistem (STH) yang dikembangkan oleh Ben-Zvi-Assaraf & Orion (2010) melalui delapan indikator berpikir sistem. Indikator berpikir sistem meliputi : (1) kemampuan untuk mengidentifikasi komponen dari suatu sistem dan proses dalam sistem; (2) kemampuan untuk mengidentifikasi hubungan dinamis diantara komponen sistem; (3) kemampuan untuk mengidentifikasi hubungan dinamika dalam sistem; (4) kemampuan untuk mengatur komponen dan proses sistem dalam suatu kerangka hubungan; (5) kemampuan untuk memahami sifat siklus dari banyak sistem; (6) kemampuan untuk membuat generalisasi; (7) memahami dimensi tersembunyi dari sistem; (8) berpikir sementara, termasuk retrospeksi dan prediksi dan selanjutnya divalidasi. Produk yang dihasilkan berupa tes berpikir sistem kimia yang digunakan untuk *pre-test* dan *post-test*. Soal *pre-test* dan *post-test* dalam penelitian ini menggunakan tes pilihan ganda jenis asosiasi. Soal pilihan ganda asosiasi adalah soal yang berbentuk pernyataan tidak lengkap dengan kemungkinan jawaban berupa pilihan 1, 2, 3 dan 4 (Slamet & Maarif, 2014). Tes pilihan ganda asosiasi merupakan butir tes pilihan ganda yang

kompleks karena peserta didik tidak hanya diberikan satu pilihan jawaban yang benar saja, namun dapat dua atau bahkan tiga pilihan jawaban yang benar. Hal ini menjadi sebab variansi tes pilihan ganda asosiasi lebih sulit dan lebih mampu memberikan perbedaan hasil belajar yang dicapai oleh peserta didik (Suseno, 2017). Soal pre-tes dan post-tes dalam penelitian ini berjumlah sebanyak 18 pertanyaan yang dibuat mengacu pada indikator pencapaian kompetensi.

- 7). Tahap pengembangan asesmen profil keterampilan berpikir sistem mahasiswa berupa peta konsep. Peta konsep dibuat melalui tiga langkah seperti yang dijelaskan oleh Tripto *et al.* (2013): Pertama, mahasiswa diminta untuk menuliskan minimal 15 konsep yang berhubungan dengan sampah elektronik, logam tanah jarang dan senyawa kompleks koordinasi logam tanah jarang. Kedua, setelah memilih minimal 15 konsep, mahasiswa diminta untuk membuat kalimat logis yang berisi 2 konsep dengan ketentuan bahwa 1 konsep dapat digunakan berulang-ulang. Hubungan antara 2 konsep dibuat menggunakan kata penghubung. Ketiga, mahasiswa membuat peta konsep yang berhubungan sampah elektronik, logam tanah jarang, daur ulang, dan senyawa kompleks koordinasi.

3.5.4. Implementasi Pembelajaran

Setelah mengembangkan desain pembelajaran tervalidasi maka dilakukan implementasi desain pembelajaran kimia koordinasi dengan prinsip *sustainability of the molecular level*. Kegiatan pembelajaran dilaksanakan secara luring di kelas dan di laboratorium kimia. Pelaksanaan implementasi dilakukan sebanyak enam belas (16) pertemuan, terbagi menjadi 2 pertemuan untuk kegiatan pretes dan postes (pada awal dan akhir pembelajaran) dan 14 pertemuan untuk proses pembelajaran. Selama proses pembelajaran mahasiswa dibekali dengan LKM, buku prosedur praktikum, kit percobaan ionometalurgi, dan buku ajar. Untuk tahapan pembelajaran menggunakan desain tahapan pembelajaran topik senyawa kompleks koordinasi logam tanah jarang yang telah dikembangkan dan divalidasi.

3.5.5. Tahap Akhir

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data kuantitatif dan kualitatif. Pengumpulan data kuantitatif meliputi data tes berpikir sistem mahasiswa terdapat pada Lampiran 8. Pengambilan data berpikir sistem dilakukan dua kali, yaitu sebelum implementasi program perkuliahan (pretes) dan setelah implementasi program perkuliahan (postes). Pengumpulan data kualitatif berupa data peta konsep mahasiswa mengenai kimia koordinasi logam tanah jarang sebelum dan sesudah implementasi program perkuliahan.

3.6. Teknik Analisis Data

Data hasil penelitian yang diperoleh berupa data kuantitatif dan kualitatif. Untuk menjawab pertanyaan penelitian, data kuantitatif dianalisis dan dibandingkan antara sebelum dan setelah intervensi. Data kuantitatif yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan statistik deskriptif. Sedangkan data kualitatif yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan analisis isi kualitatif. Data kuantitatif yang diperoleh dalam penelitian ini meliputi tes berpikir sistem (*pre-test* dan *post-test*). Data kualitatif yang diperoleh dalam penelitian ini meliputi konsepsi ilmiah, prakonsepsi mahasiswa melalui wawancara prakonsepsi dan data konsep-konsep (komponen dan proses) yang dibuat oleh mahasiswa. Teknik analisis data dilakukan berdasarkan pertanyaan penelitian. Beberapa teknik analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan sebagai berikut :

3.6.1. Analisis Konsepsi Ilmuwan

Konsepsi ilmuwan terkait topik kimia koordinasi logam tanah jarang dianalisis dengan menggunakan metode analisis konten kualitatif (*qualitative content analysis/ QCA*) yang dikembangkan oleh Mayring (2015). Analisis ini dilakukan terhadap 8 literatur yang terdiri dari 1 buku, 3 monograf, 4 artikel hasil penelitian yang dipublikasikan pada jurnal internasional bereputasi. Hasil analisis konsepsi ilmuwan menggunakan metode QCA dan hasil analisis konsep-konsep yang dipilih terkait kimia koordinasi logam tanah jarang dikelompokkan ke dalam tabel. Format tabel pengelompokan hasil analisis kualitatif disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Format hasil analisis konten

No	Hasil Analisis Konten	Konsep-Konsep Kimia koordinasi Terkait	Komponen Berpikir Sistem

3.6.2. Analisis Konsepsi Awal Mahasiswa

Teknik pengambilan data konsepsi awal mahasiswa dilakukan dengan wawancara prakonsepsi mahasiswa. Wawancara dilakukan terhadap 20 mahasiswa Program Pendidikan Kimia pada salah satu perguruan tinggi swasta di Cirebon. Instrumen yang digunakan dalam wawancara yaitu lembar pedoman wawancara untuk pewawancara dan lembar pedoman wawancara prakonsepsi mahasiswa untuk responden tentang senyawa kompleks koordinasi logam tanah jarang.

Transkrip hasil wawancara dianalisis menggunakan metode QCA (Mayring, 2015). Tahapan analisis data yang dilakukan sebagai berikut : mempertajam keterbacaan dengan mengedit teks pada transkrip, menginterpretasi pernyataan terhadap konsepsi yang mendasari dan memformulasikan jawaban ke dalam kategori (Niebert & Gropengießer, 2013). Total jumlah pertanyaan yang diajukan oleh responden sebanyak 18 butir. Jawaban dari responden dikategorikan dan diberi skor 0, 1 dan 2. Responden diberikan skor 0 apabila responden menyatakan tidak tahu, menjawab salah atau tidak meyinggung sama sekali konsep kunci. Responden diberikan skor 1 apabila responden memberikan jawaban sebagian benar maupun miskonsepsi. Responden diberikan skor 2 apabila responden memberikan jawaban konsep yang benar dan mampu memberikan jawaban sesuai dengan konsepsi ilmuwan.

3.6.3. Analisis Peningkatan Berpikir Sistem Mahasiswa

Sebelum dilaksanakan implementasi perkuliahan kimia koordinasi logam tanah jarang yang terintegrasi prinsip keberlanjutan pada tingkatan molekuler, mahasiswa diberikan *pretest* kemampuan berpikir sistem. Jenis pretes yang digunakan berupa tes pilihan ganda beralasan. Setelah mahasiswa menyelesaikan program perkuliahan kimia koordinasi logam tanah jarang yang terintegrasi prinsip keberlanjutan pada tingkatan molekuler, mahasiswa diberikan *post-test*

kemampuan berpikir sistem. Soal yang digunakan pada saat *post-test* sama dengan jenis soal pada *pretest*.

Peningkatan kemampuan berpikir sistem dihitung dengan menggunakan N-Gain peningkatan skor pretes dan *post-test* menggunakan persamaan dari Coletta & Steinert (2020). Seperti ditunjukkan pada persamaan 3.1 Gain yang dinormalisasi merupakan ukuran keefektifan sebuah perlakuan, dalam hal ini adalah mengintegrasikan prinsip keberlanjutan pada tingkatan molekuler pada perkuliahan kimia koordinasi logam tanah jarang.

$$\langle g \rangle = \frac{\text{Skor Posttest} - \text{Skor Pretest}}{\text{Skor Maksimum} - \text{Skor Pretest}} \quad (3.1)$$

Intepretasi N-gain $\langle g \rangle$ menggambarkan kriteria perbedaan dampak sebelum dan sesudah dari penerapan perkuliahan kimia koordinasi logam tanah jarang terintegrasi prinsip keberlanjutan pada tingkatan molekuler, dapat menggunakan kriteria seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Kriteria Peningkatan N-Gain

Nilai N-Gain	Kategori
$g < 0,30$	Rendah
$0,30 \leq g \leq 0,70$	Sedang
$g > 0,70$	Tinggi

3.6.4. Analisis Profil Berpikir Sistem Mahasiswa

Analisis pada keterampilan berpikir sistem mahasiswa dilakukan baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Instrumen yang digunakan untuk memperoleh data keterampilan berpikir sistem mahasiswa diantaranya peta konsep. Mahasiswa menuliskan peta konsep yang ditugaskan oleh dosen baik sebelum maupun sesudah implementasi program perkuliahan. Hasil peta konsep mahasiswa dianalisis secara kualitatif untuk memetakan keterampilan berpikir sistem mahasiswa. Metode yang dilakukan dalam menganalisis peta konsep mengikuti penelitian yang dilakukan Tripto *et al.* (2013). Langkah-langkah dalam mengidentifikasi komponen dan proses dalam sistem dilakukan dengan cara 5 tahapan, diantaranya konsep yang dibuat oleh mahasiswa, membuat kategori yang sesuai untuk topik, membagi dan mengurutkan konsep-konsep yang ditulis oleh mahasiswa ke dalam masing-masing

kategori , menghitung jumlah keseluruhan konsep yang dituliskan dan menghitung jumlah konsep yang masuk ke dalam kategori komponen dan proses. Untuk mengetahui adanya perbedaan antara jumlah konsep yang dituliskan mahasiswa sebelum dan sesudah implementasi program perkuliahan, dapat digunakan uji z jika data berdistribusi normal dan menggunakan uji mann whitney jika data berdistribusi tidak normal.