

## **BAB 6**

### **SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI**

#### **5.1 Simpulan**

- a) Analisis literatur tentang konsepsi ilmuwan mengungkap konsep yang terkait dengan daur ulang material, logam, teknologi pemrosesan logam, cairan ionik eutektik, dan rekayasa molekuler. Konsep-konsep ini dapat dikategorikan menjadi sains, teknologi, dan rekayasa. Klasifikasi membantu memahami hubungan antara konsep-konsep ini dan digunakan untuk mengembangkan desain tahapan pembelajaran. Cairan ionik eutektik semakin dikenal sebagai alternatif yang layak untuk metode konvensional untuk ekstraksi logam. Para peneliti menggunakan kimia komputasional untuk meningkatkan pemahaman tentang interaksi molekuler, yang mengarah pada strategi daur ulang yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Inovasi berkelanjutan sangat penting untuk memenuhi permintaan logam yang terus meningkat sambil meminimalkan dampak ekologis. Topik ini sangat penting untuk mengembangkan keterampilan berpikir mahasiswa, melalui praktik pembelajaran berbasis konteks. Memahami bagaimana teori pembelajaran dan konteks sosial dan lingkungan berlaku untuk pengajaran kimia sangat penting untuk lebih memahami keberlanjutan di tingkat molekuler. Hasilnya dapat digunakan untuk menyusun program kuliah, seperti buku teks, tahapan pembelajaran, lembar kerja mahasiswa, dan perangkat eksperimen.
- b) Studi ini mengungkap bahwa mahasiswa memiliki pengetahuan dasar tentang logam tanah jarang tetapi kurang memahami teknik pemrosesan, cairan ionik eutektik, dan kimia komputasional. Mereka membutuhkan lebih banyak pendekatan pembelajaran terapan, visual, dan interaktif untuk meningkatkan pemahaman mereka. Mahasiswa juga perlu diperkenalkan dengan geologi kimia dasar dan pentingnya daur ulang. Studi ini menyarankan untuk mengintegrasikan topik tentang daur ulang logam, cairan ionik eutektik, dan

kimia komputasional ke dalam kurikulum, menggunakan metode pembelajaran berbasis proyek, dan menekankan dampak lingkungan, ekonomi, dan sosial dari daur ulang material.

- c) Rancangan desain tahapan pembelajaran dikembangkan berdasarkan analisis konten, prakonsepsi mahasiswa, dan hasil validasi ahli. Rancangan desain tahapan pembelajaran mengacu pada tujuan pembelajaran yang dirumuskan berdasarkan tahapan dalam CUREs. Desain tahapan pembelajaran diawali dengan pengantar materi daur ulang materi keberlanjutan dan diakhiri dengan presentasi hasil penelitian mahasiswa.
- d) Implementasi desain pembelajaran kimia material berbasis penelitian pada topik daur ulang logam tanah jarang dari limbah elektronik dengan cairan ionik eutektik menunjukkan peningkatan signifikan dalam keterampilan ilmiah dan pemahaman konsep 36 mahasiswa. Pembelajaran selama tujuh pertemuan melibatkan empat tahap utama: teknik eksperimental, perancangan eksperimen, pelaksanaan percobaan, dan komunikasi hasil. Mahasiswa menunjukkan pemahaman mendalam tentang pentingnya logam tanah jarang dan metode ekstraksinya, kemampuan berpikir kritis dan sistematis, serta keberhasilan dalam menyusun proposal penelitian dan melaksanakan sintesis cairan ionik untuk ekstraksi logam. Analisis data eksperimen dan komunikasi hasil menunjukkan kemampuan mahasiswa dalam menafsirkan data, mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan metode, dan menghubungkan penelitian mereka dengan aspek keberlanjutan dan ekonomi sirkular. Meskipun masih ada tantangan seperti optimasi efisiensi ekstraksi, pendekatan ini menunjukkan potensi besar dalam pembelajaran kimia material dan teknologi hijau yang berkelanjutan.
- e) Selama pre-test, mahasiswa lebih banyak berfokus pada teknik pemrosesan teknis dan material tertentu, tanpa mempertimbangkan interaksi kompleks antara elemen-elemen ini atau dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan yang lebih luas. Sebaliknya, hasil post-test mengungkapkan peningkatan signifikan dalam pemikiran kritis mahasiswa, yang menunjukkan pemahaman yang lebih

komprehensif tentang interaksi kompleks, seperti interaksi molekuler dan dampak kebijakan sosial-politik terhadap ekonomi dan lingkungan. Hal ini mencerminkan perkembangan substansial dalam pemikiran sistematis mahasiswa. Selain itu, analisis pemetaan konsep dalam post-test menunjukkan bahwa mahasiswa memilih konsep yang lebih spesifik dan relevan, lebih memahami hubungan multidimensi, dan menyusun peta mereka dengan lebih koheren. Terakhir, hasil tes menunjukkan peningkatan keseluruhan dalam kemampuan mahasiswa untuk mengidentifikasi komponen sistem, memahami hubungan yang dinamis dan siklus, dan membuat generalisasi, meskipun beberapa area masih perlu ditingkatkan. Secara keseluruhan, mahasiswa telah menunjukkan kemajuan yang nyata dalam mengintegrasikan dimensi teknis, ekonomi, dan sosial dalam analisis mereka.

- f) Indikator literasi keberlanjutan menunjukkan pemahaman mahasiswa yang cukup terhadap biosfer, ekosistem, dan siklus pendukung kehidupan. Namun, mereka masih perlu memahami konsep keberlanjutan dan pentingnya konsep tersebut dari perspektif ekologi. Mahasiswa juga menunjukkan pemahaman yang baik tentang sistem ekonomi lokal dan global, air, energi, dan pangan. Mereka memahami pentingnya kontribusi individu tetapi membutuhkan lebih banyak pelatihan dalam hal empati, kasih sayang, dan solidaritas. Mereka juga perlu meningkatkan keterampilan kerja sama tim dan partisipatif, konsep berpikir sistem, dan pemikiran strategis. Secara keseluruhan, mahasiswa memiliki pemahaman yang baik tentang keberlanjutan tetapi membutuhkan dukungan lebih lanjut.
- g) Studi tersebut menemukan bahwa 86% mahasiswa menganggap daur ulang material berkelanjutan menarik, yang menunjukkan metode pengajaran yang efektif. Namun, 69% mahasiswa merasa materi pengajaran tidak jelas, yang menunjukkan adanya ruang untuk perbaikan. Peluang penelitian kolaboratif sangat dihargai, dan sumber daya multimedia sangat dihargai. Eksperimen yang selaras dengan prinsip keberlanjutan penting, dan mahasiswa melaporkan peningkatan keterampilan berpikir sistemik. Kursus tersebut meningkatkan

kesadaran akan isu keberlanjutan dan meningkatkan pemahaman tentang daur ulang. Namun, perbaikan dapat mencakup klarifikasi materi pengajaran, diversifikasi sumber daya pembelajaran, dan peningkatan eksperimen langsung.

## 5.2 Implikasi

Penelitian tentang aktivitas rekayasa molekuler dalam mata kuliah kimia material berbasis penelitian ini memiliki implikasi signifikan bagi literasi keberlanjutan mahasiswa melalui pembelajaran berpikir sistem. Penelitian ini menunjukkan bahwa mengintegrasikan konsep rekayasa molekuler ke dalam kurikulum dapat meningkatkan pemahaman dan penerapan praktik daur ulang berkelanjutan oleh mahasiswa. Hal ini dapat mengarah pada terciptanya materi pendidikan yang komprehensif, termasuk buku teks, tahapan pembelajaran, dan lembar kerja praktik. Pendekatan pembelajaran interaktif, visual, dan terapan dapat meningkatkan keterlibatan mahasiswa dan meningkatkan pemahaman mereka terhadap materi yang kompleks. Pendekatan berpikir sistem juga dapat meningkatkan literasi keberlanjutan, yang memungkinkan mahasiswa untuk menganalisis dan mengintegrasikan berbagai dimensi keberlanjutan dalam proses pemecahan masalah mereka. Meskipun mahasiswa memiliki pemahaman dasar tentang konsep keberlanjutan, dukungan berkelanjutan diperlukan untuk memperdalam pengetahuan mereka, khususnya dalam perspektif ekologi dan berpikir sistem. Metodologi pengajaran harus ditingkatkan, dengan lebih banyak eksperimen langsung yang selaras dengan prinsip keberlanjutan. Peluang penelitian kolaboratif dapat mendorong proyek yang bermakna, meningkatkan keterampilan praktis dan pemahaman tentang konsep keberlanjutan. Dampak pendidikan jangka panjang dari penelitian ini melampaui konteks pendidikan langsung, yang berkontribusi pada pengembangan pemimpin masa depan yang mampu membuat keputusan yang tepat dalam kehidupan profesional dan pribadi mereka.

### 5.3 Rekomendasi

Penelitian mendatang tentang penggabungan aktivitas rekayasa molekuler ke dalam mata kuliah kimia material harus difokuskan pada penciptaan pengalaman belajar yang lebih mendalam dan terintegrasi yang mengatasi kesenjangan yang diidentifikasi dalam penelitian ini. Penekanan pada materi instruksional yang jelas dan eksperimen langsung yang disempurnakan akan sangat penting dalam menjembatani kesenjangan antara pemahaman teoritis dan aplikasi praktis. Lebih jauh, memperkenalkan modul pelatihan berkelanjutan yang berfokus pada empati, kolaborasi, dan pemikiran strategis dapat meningkatkan kesadaran dan kemampuan mahasiswa untuk mengatasi tantangan keberlanjutan yang kompleks secara holistik. Mengembangkan proyek penelitian kolaboratif dan memanfaatkan beragam sumber daya multimedia juga akan membantu dalam mempertahankan tingkat keterlibatan yang tinggi dan menumbuhkan lingkungan belajar yang berorientasi pada penelitian. Dengan secara konsisten menangani area-area ini, kurikulum dapat berkembang untuk mempersiapkan mahasiswa secara komprehensif untuk tidak hanya memahami tetapi juga secara aktif berkontribusi pada praktik pembangunan berkelanjutan.