BAB I
PENDAHULUAN

Bab I menguraikan latar belakang penelitian yang mencakup kondisi dan permasalahan yang menjadi dasar dilakukannya penelitian, serta *state of the art* yang menonjolkan aspek kebaruan penelitian. Selain itu, bab ini juga berisi rumusan masalah dan pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, definisi operasional, serta sistematika penulisan disertasi.

1.1. Latar Belakang

Pada konteks pendidikan tinggi, khususnya di program studi pendidikan kimia, praktikum merupakan bagian integral yang bertujuan tidak hanya untuk melatihkan keterampilan teknis di laboratorium, tetapi juga untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, serta kemampuan pemecahan masalah mahasiswa. Namun, praktik pembelajaran di lapangan menunjukkan bahwa kegiatan praktikum kimia, termasuk praktikum biokimia, masih cenderung bersifat ekspositori atau tradisional, di mana mahasiswa hanya mengikuti panduan prosedural yang telah ditentukan oleh dosen. Kondisi ini berimplikasi pada terbatasnya ruang bagi mahasiswa untuk mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi, baik dalam hal analisis, sintesis, maupun evaluasi (Quattrucci, 2018; Sandi-Urena, Cooper, & Stevens, 2012). Studi dokumentasi dan observasi menunjukkan bahwa pada mata kuliah Biokimia, yang terdiri dari Biokimia 1 dan Biokimia 2 dengan bobot 3(1) SKS, praktikum lebih banyak difokuskan pada materi karbohidrat, protein, dan lipid. Sementara itu, materi fotosintesis dan metabolisme belum pernah dilaksanakan dalam bentuk praktikum, meskipun keduanya memiliki relevansi yang tinggi dalam menjelaskan konsep biokimia (Unwakoly, Liliasari & Munawaroh, 2024).

Temuan studi pendahuluan memperkuat kondisi ini, di mana hasil evaluasi terhadap 38 mahasiswa calon guru kimia menunjukkan bahwa 45,20% memiliki keterampilan berpikir kritis dan 33,80% memiliki keterampilan berpikir kreatif pada kategori rendah. Hasil wawancara lebih lanjut mengindikasikan bahwa

praktikum yang selama ini dilakukan lebih berorientasi pada verifikasi prosedur daripada eksplorasi atau penyelidikan ilmiah. Penilaian pun lebih menekankan pada aspek prosedural dan laporan praktikum, tanpa mengakomodasi penalaran ilmiah maupun pengembangan ide. Hal ini berdampak pada rendahnya penguasaan konsep serta keterampilan berpikir kritis dan kreatif mahasiswa (Unwakoly, Liliasari & Munawaroh, 2024). Kondisi tersebut sejalan dengan temuan Domin (1999) sebagaimana dikutip oleh Quattrucci (2018), yang menyatakan bahwa praktikum tradisional lebih menekankan pada keterampilan berpikir tingkat rendah dalam taksonomi Bloom.

Sementara itu, tantangan global terkait isu energi dan lingkungan menuntut adanya pembelajaran yang lebih kontekstual dan berorientasi pada masalah nyata. Pengembangan energi terbarukan secara berkelanjutan merupakan salah satu perhatian paling signifikan di dunia saat ini. Penggunaan energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, terbukti mampu mengurangi emisi gas rumah kaca yang menjadi salah satu kontributor utama perubahan iklim (Jaiswal dkk., 2022). Namun, di Indonesia, penggunaan energi fosil masih sangat dominan. Berdasarkan data Dewan Energi Nasional (DEN) tahun 2023, konsumsi energi masih didominasi oleh batu bara (40,46%), minyak bumi (30,18%), dan gas alam (16,28%), sementara energi baru terbarukan hanya mencapai 13,09%. Dominasi ini terutama terjadi pada sektor industri yang menyerap 45,60% dari total kebutuhan energi, dengan penggunaan batu bara mencapai 56,90% (Handbook ESDM, 2023).

Ketergantungan tinggi terhadap energi fosil menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca, yang berkontribusi pada pemanasan global. Konsentrasi CO_2, misalnya, telah meningkat dari 280 ppm pada era pra-industri menjadi 416 ppm, dan diperkirakan akan berlipat ganda pada tahun 2100 (Prentice dkk., 2001; Skendžić dkk., 2021). CO_2 dianggap sebagai gas rumah kaca karena secara kuat menyerap panjang gelombang tertentu dari radiasi inframerah termal yang dipancarkan dari permukaan bumi. Semakin banyak gas atmosfer menyerap radiasi inframerah termal dari permukaan bumi, semakin besar fraksi radiasi yang dipancarkan dari atmosfer ke permukaan bumi, yang mengakibatkan peningkatan suhu udara, mencairnya gunung-gunung es di kutub, meningkatnya tinggi

permukaan laut, kerusakan pantai karena meningkatnya abrasi laut, dan hilangnya pulau-pulau kecil karena abrasi air laut (Dandotiya & Sharma, 2022; Hui dkk., 2022). Kondisi ini menuntut adanya transisi energi menuju energi baru terbarukan yang lebih ramah lingkungan.

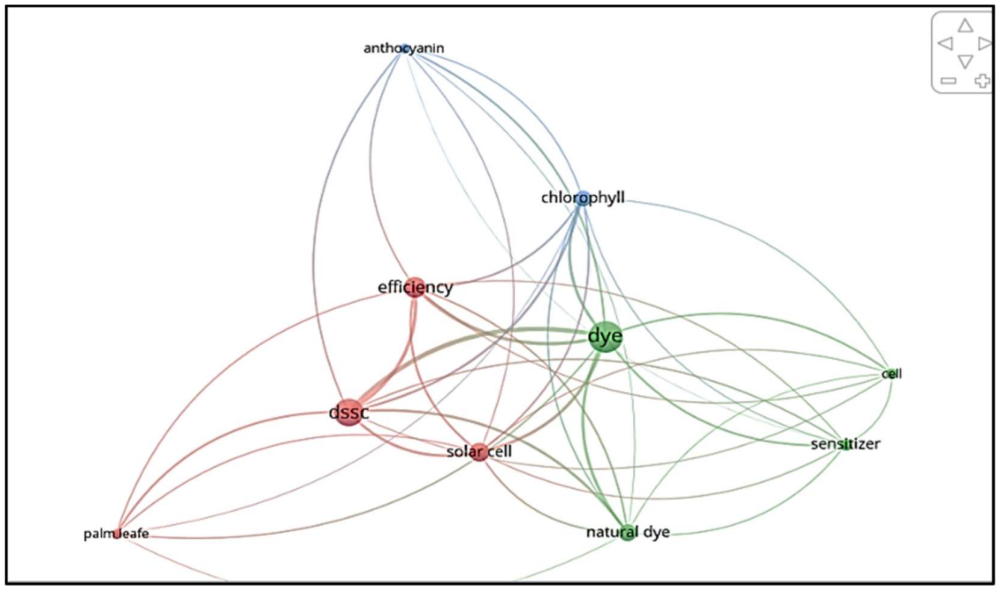
Indonesia menghadapi tantangan yang besar antara pemenuhan akan kebutuhan energi dalam negeri dan melestarikan lingkungan hidup. Negara harus memenuhi permintaan kebutuhan energi untuk transportasi, listrik dan rumah tangga yang setiap tahun meningkat akibat pertambahan jumlah penduduk yang sebagian besar dihasilkan dari bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak dan gas alam. Namun, penggunaan sumber energi ini memberikan dampak negatif terhadap lingkungan baik secara nasional maupun global akibat efek gas rumah kaca. Hal ini sangat bertentangan dengan komitmen internasional dan nasional Indonesia dalam mengurangi emisi gas rumah kaca di masa depan. Oleh sebab itu, solusi yang tepat dalam menghadapi tantangan ini adalah dengan mempercepat atau meningkatkan produksi energi baru dan terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi secara nasional. Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada tahun 2015 meluncurkan 17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*/SDGs) untuk memastikan kemakmuran manusia dan planet bumi, termasuk semua elemennya, yaitu biosfer, atmosfer, geosfer, dan hidrosfer (Cherp, Vinichenko, Tosun, Gordon, & Jewell, 2021). Inti dari SDGs ini adalah SDG-7 tentang "Energi yang Terjangkau dan Bersih", bersama dengan SDG-13 tentang "Aksi Iklim", di mana penyebaran sumber daya energi terbarukan secara luas harus memberikan kontribusi yang paling besar (Büyüközkan, Karabulut, & Mukul, 2018; Elavarasan dkk., 2021; Olabi dkk., 2022). Peningkatan adopsi daya energi terbarukan sangat diyakini dapat berkontribusi terhadap realisasi semua SDG, namun pada tingkat yang berbeda, dengan SDG-7 dan SDG-13 sebagai tujuan yang paling bermanfaat

Salah satu sumber energi terbarukan yang sedang berkembang pesat adalah energi surya melalui pengembangan teknologi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC). DSSC merupakan sel surya generasi ketiga yang dikembangkan berdasarkan prinsip fotosintesis, yakni pemanfaatan pigmen untuk menyerap energi cahaya dan mengubahnya menjadi energi listrik (Davies, 2004; Iqbal, Ali, & Khan, 2019;

Mandal & Dutta, 2020). DSSC memiliki sejumlah keunggulan, seperti ramah lingkungan, fleksibel, dan lebih murah dibandingkan sel surya generasi sebelumnya (Richhariya dkk., 2017). Meski pewarna sintetis berbasis ruthenium mampu mencapai efisiensi tinggi, penggunaannya dinilai tidak berkelanjutan karena mahal, sulit diperoleh, serta berdampak negatif terhadap lingkungan (Tomar dkk., 2020). Oleh sebab itu, penggunaan pewarna alami, termasuk pigmen dari tumbuhan dan alga, menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Nnorom dkk., 2022; Willoughby dkk., 2021).

Dalam konteks ini, selain pewarna alami dari tumbuh-tumbuhan, makroalga merupakan salah satu jenis tanaman laut yang sebagian besar menghuni lingkungan perairan dangkal, telah menarik minat yang signifikan di bidang produksi sel surya peka warna. Makroalga menawarkan potensi besar sebagai *fotosensitizer* pada DSSC karena mengandung pigmen fotosintesis seperti klorofil, karotenoid, dan flavonoid dalam jumlah tinggi. Pigmen ini tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi primer bagi ekosistem laut, tetapi juga memiliki kemampuan menyerap cahaya yang sesuai untuk aplikasi DSSC (Mandal & Dutta, 2020).

Rancangan pengembangan praktikum biokimia bioenergi alternatif (pembuatan DSSC) di mulai dengan menganalisis perkembangan penelitian terkait bidang sel surya peka warna sepuluh tahun terakhir (2015-2025) menggunakan basis data dari *scopus*. Selain itu, analisis *Bibliometric Analysis* (*BA*) juga dilakukan untuk mengeksplorasi dan menganalisis data ilmiah yang besar serta menyoroti perkembangan bidang-bidang baru dalam bidang yang sudah ada (Donthu, Kumar, Mukherjee, Pandey, & Lim, 2021). Dengan menggunakan kata kunci "*natural dye as photosensitizer DSSC*" pada bagian *tittle*, *abstract* dan *keywords* dari basis data scopus dalam rentang waktu pencarian 2015-2025 ditemukan 791 dokumen. Dengan bantuan perangkat lunak Vosviewer 1.6.16 *overlay visualization* untuk kata kunci diatas diperlihatkan pada gambar 1.1.



Gambar 1.1: Hasil *overlay visualization* dari kata kunci *natural dye as photosensitizer DSSC*

Berdasarkan gambar 1.1 di atas terdapat beberapa kata kunci yang memiliki hubungan dengan *natural dye as photosensitizer DSSC* seperti bulatan yang besar ke bulatan kecil diantaranya: *dye* (56 pengulangan), *dssc* (52 pengulangan), *solar cell* (32 pengulangan), *natural dye* (30 pengulangan), *chlorophyll* (13 pengulangan), *anthocyanin* (9 pengulangan), *sensitizer* (5 pengulangan). Banyaknya pengulangan kata kunci yang ditandai dengan bulatan besar menunjukkan telah banyak penelitian yang dilakukan pada area tersebut, sebaliknya sedikit pengulangan kata kunci menunjukkan belum banyak penelitian yang dilakukan pada area tersebut (Van Eck & Waltman, 2020). Dari analisis *bibliometric* diatas menunjukkan adanya perkembangan penelitian signifikan terkait penggunaan pigmen alami seperti klorofil sebagai *fotosensitizer* pada pembuatan DSSC masih bisa dikembangkan. Namun, belum ditemukan publikasi yang mengkaji penggunaan makroalga spesifik seperti *Caulerpa racemose*, *Gymnogongrus flabelliformis* dan *Gracilaria solicornia* sebagai bahan dasar pembuatan DSSC. Fakta ini menegaskan adanya gap penelitian sekaligus memberikan kebaruan bagi penelitian ini, yaitu pemanfaatan makroalga lokal sebagai *fotosensitizer* alami dalam pembuatan DSSC.

Lebih jauh, penelitian sebelumnya belum mengintegrasikan isu pembangunan berkelanjutan dan energi terbarukan dengan pengembangan penguasaan konsep, keterampilan berpikir kritis dan berpikir kreatif mahasiswa. Di wilayah 3T (tertinggal, terdepan, dan terluar), pengembangan pembelajaran kimia berbasis masalah pada topik energi terbarukan belum optimal. Proses pembelajaran harus menekankan pengembangan keterampilan berpikir kritis dan berpikir kreatif melalui eksperimen laboratorium secara berkesinambungan (Zhou, Huang, & Tian, 2013). Padahal, dalam konteks pendidikan sains, pembelajaran harus diarahkan tidak hanya pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pengembangan keterampilan laboratorium, desain eksperimen, argumentasi ilmiah, serta kemampuan menghubungkan sains dengan konteks sosial (Yoon dkk., 2014; Joseph G. Quattrucci, 2018). Oleh sebab itu, pengembangan praktikum biokimia berbasis laboratorium inkuiri dan model pembelajaran berbasis masalah dengan topik pembuatan DSSC dari makroalga sangat relevan. Melalui pendekatan ini, mahasiswa dapat mengajukan pertanyaan penelitian, melakukan eksperimen autentik, menganalisis data, dan menarik kesimpulan secara mandiri, sehingga memperoleh pengalaman belajar yang lebih bermakna (Chien dkk., 2021; Cowden & Santiago, 2016).

Dengan demikian, penelitian ini memiliki kebaruan pada dua aspek utama, yaitu: pertama, pemanfaatan pigmen makroalga lokal sebagai *fotosensitizer* dalam pembuatan DSSC yang belum banyak dieksplorasi dalam publikasi internasional. Kedua, integrasi pengembangan teknologi energi terbarukan dengan pendekatan pedagogik berbasis laboratorium inkuiri dan model pembelajaran berbasis masalah untuk meningkatkan penguasaan konsep, keterampilan laboratorium, keterampilan berpikir kritis dan keterampilan berpikir kreatif mahasiswa. Kombinasi ini diharapkan tidak hanya menghasilkan inovasi dalam pembelajaran biokimia, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana inovasi praktikum biokimia bionergi alternatif

berbasis masalah dapat meningkatan penguasaan konsep, keterampilan berpikir kritis dan kreatif mahasiswa?

Agar penelitian ini memberikan informasi data yang sistematis, maka rumusan masalah di atas dapat diuraikan dengan pertanyaan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah karakteristik praktikum biokimia bioenergi alternatif (DSSC) dari makroalga (*Caulerpa racemose, Gymnogongrus flabelliformis* dan *Gracilaria solicornia*) sebagai pewarna alami dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif mahasiswa?
2. Bagaimanakah praktikum biokimia bioenergi alternatif (DSSC) dengan makroalga (*Caulerpa racemose, Gymnogongrus flabelliformis* dan *Gracilaria solicornia*) sebagai pewarna alami dapat meningkatkan keterampilan laboratorium mahasiswa?
3. Bagaimanakah penguasaan konsep mahasiswa pada praktikum biokimia bioenergi alternatif (DSSC) dengan makroalga (*Caulerpa racemose, Gymnogongrus flabelliformis* dan *Gracilaria solicornia*) sebagai pewarna alami dalam DSSC?
4. Bagaimanakah peningkatan keterampilan berpikir kritis mahasiswa pada praktikum biokimia bioenergi alternatif (DSSC) dengan makroalga *(Caulerpa racemose, Gymnogongrus flabelliformis dan Gracilaria solicornia)* sebagai pewarna alami dalam DSSC?
5. Bagaimanakah peningkatan keterampilan berpikir kreatif mahasiswa pada praktikum biokimia bioenergi alternatif (DSSC) dengan makroalga *(Caulerpa racemose, Gymnogongrus flabelliformis dan Gracilaria solicornia)* sebagai pewarna alami dalam DSSC?
6. Bagaimanakah korelasi antara penguasaan konsep, keterampilan berpikir kritis dan keterampilan berpikir kreatif mahasiswa?
7. Bagaimanakah keunggulan dan keterbatasan praktikum biokimia bioenergi alternatif (DSSC) yang dipraktekkan dalam meningkatkan penguasaan konsep, keterampilan berpikir kritis dan berpikir kreatif mahasiswa?

1.3. Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan menghasilkan analisis yang akurat serta relevan, maka penelitian perlu dibatasi pada pada sel surya peka warna yang menggunakan pewarna alami klorofil dari makroalga (*Caulerpa racemose, Gymnogongrus flabelliformis* dan *Gracilaria solicornia*).

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan diatas, tujuan penelitian ini yang ingin dicapai adalah menghasilkan dan mengimplementasikan praktikum bioenergi alternatif (DSSC) berbasis masalah dalam meningkatkan penguasaan konsep, keterampilan berpikir kritis dan keterampilan berpikir kreatif mahasiswa.

1.5. Kebaruan dan Kontribusi Penelitian

Penelitian ini menawarkan kebaruan dalam pendekatan pembelajaran dengan memanfaatkan makroalga sebagai pewarna alami dalam praktikum pembuatan *Dye-Sensitized Solar Cells* (DSSC) yang merupakan salah satu bentuk pengembangan praktikum untuk membelajarkan konsep fotosintesis pada praktikum biokimia kepada mahasiswa secara nyata. Secara spesifik, penelitian ini memanfaatkan pewarna alami klorofil yang diekstraksi dari makroalga *Caulerpa racemose, Gymnogongrus flabelliformis* dan *Gracilaria solicornia,* pada teknologi DSSC. Berbeda dari penelitian sebelumnya, inovasi ini mengintegrasikan penggunaan pewarna alami yang ramah lingkungan dan mendukung *Sustainable Development Goals* (SDGs) nomor 7 yang berfokus pada energi bersih dan terjangkau dengan integrasi pendekatan laboratorium inkuiri dan model pembelajaran berbasis masalah (PBL). Kombinasi pendekatan ini memberikan cara baru untuk mengajarkan konsep energi terbarukan sekaligus memanfaatkan sumber daya alam lokal yang melimpah. Selain itu, penelitian ini juga menjembatani gap antara pengembangan teknologi yang ramah lingkungan dan pembelajaran berbasis masalah, yang belum banyak diterapkan pada tingkat pendidikan formal, khususnya di bidang sains (kimia, fisika dan biologi). Dengan demikian, penelitian ini memberikan perspektif baru dalam inovasi praktikum yang tidak hanya relevan

secara ilmiah tetapi juga kontekstual bagi mahasiswa dan mendukung pembangunan teknologi ramah lingkungan yang berkelanjutan.

1.6. Definisi Operasional

Agar semua variabel ini dapat terukur, maka diperlukan untuk membuat definisi operasional

1. Praktikum biokimia bioenergi alternatif (DSSC) adalah kegiatan pembelajaran di laboratorium biokimia yang dirancang untuk melatihkan keterampilan eksperimen mahasiswa dengan tahapan ekstraksi pigmen, pembuatan semikonduktor TiO_2, elektroda balik dan elektrolit, perakitan komponen DSSC serta pengukuran kinerja sel surya melalui parameter efisiensi konversi energi. Semua tahapan praktikum berbasis laboratorium inkuiri ini dinilai menggunakan lembar kerja mahasiswa (LKM).
2. Penguasaan konsep pada praktikum biokimia merupakan tingkat kemampuan mahasiswa dalam memahami, mengintegrasikan, dan menerapkan prinsip-prinsip dasar biokimia yang diperoleh melalui kegiatan eksperimen di laboratorium. Indikator penguasaan konsep pada eksperimen ini mencakup pemahaman terhadap fotosintesis dan hubungan teknologi DSSC. Dalam penelitian ini, penguasaan konsep diukur melalui LKM dan tes tertulis.
3. Keterampilan berpikir kritis adalah kemampuan mahasiswa untuk mengidentifikasi masalah, merumuskan pertanyaan, menginterpretasi data eksperimen, memberikan alasan yang rasional, serta menarik kesimpulan yang valid sesuai dengan prinsip-prinsip biokimia. Dalam penelitian ini, keterampilan berpikir kritis diukur menggunakan tes berupa 5 soal uraian berdasarkan indikator keterampilan berpikir kritis menurut Ennis, yang meliputi: (1) memberikan penjelasan sederhana, (2) membangun keterampilan dasar, (3) menyimpulkan, (4) memberikan penjelasan lebih lanjut, dan (5) mengatur strategi dan taktik berpikir.
4. Keterampilan berpikir kreatif adalah kemampuan mahasiswa untuk menghasilkan gagasan baru, orisinal, dan bermanfaat dalam memecahkan masalah atau mengembangkan solusi berdasarkan hasil praktikum biokimia.

Keterampilan ini mencakup aspek kelancaran (*fluency*) dalam mengemukakan ide, keluwesan (*flexibility*) dalam berpikir dari berbagai sudut pandang, orisinalitas (*originality*) dalam menghasilkan solusi yang unik, dan elaborasi (*elaboration*). Keterampilan berpikir kreatif mahasiswa diukur melalui tes kognitif berupa 5 soal uraian dan melalui rubrik penilaian lembar kerja mahasiswa yang memuat indikator keterampilan berpikir kreatif.

1.7. Sistematika Penulisan Disertasi

Sistematika penulisan disertasi ini terdiri dari lima bagian utama yaitu: Bab I sebagai Pendahuluan yang berisi latar belakang penelitian. Latar belakang penelitan pada Bab I menjelaskan tentang permasalahan dikembangkannya praktikum biokimia bioenergi alternatif (DSSC) untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan berpikir kreatif mahasiswa. Pada bagian ini juga dijelaskan rumusan masalah, tujuan penelitian, kebaruan dan kontribusi penelitian, definisi operasional dan sistematika penulisan.

Pada Bab II berisi tentang tinjauan pustaka yang membahas studi literatur tentang teori-teori yang mendukung penelitian ini di antaranya: fotosintesis, energi terbarukan dan *dye sensitized solar cells* (DSSC), keterampilan abad 21 yang terdiri dari keterampilan berpikir kritis dan keterampilan berpikir kreatif, serta model pembelajaran *problem based learning* (PBL).

Pada Bab III berisi tentang metodologi penelitian yang mendeskripsikan tentang paradigma penelitian, metode dan desain penelitian, prosedur penelitian, lokasi dan sampel penelitian, pengembangan praktikum berbasis masalah, teknik analisis data dan hasil uji coba instrumen penelitian.

Bab IV berisi tentang hasil-hasil penelitian. Hasil penelitian yang diperoleh dari data sebelum intervensi berupa hasil uji coba, hasil penelitan praktikum berbasis masalah berupa data selama tahap intervensi yang mendeskripsikan temuan seperti hasil pekerjaan mahasiswa dari LKM, perhitungan statistik penelitian serta keunggulan dan keterbatasan praktikum yang dikembangkan.

Bab V berisi tentang pembahasan hasil penelitian yang meliputi tahapan uji coba praktikum, karakteristik praktikum berbasis masalah yang dikembangkan

untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis, keterampilan berpikir kreatif dan pemahaman konsep mahasiswa

Bab VI berisi simpulan berdasarkan analisis hasil penelitian, memaparkan implikasi dan rekomendasi sebagai tindak lanjut hasil penelitian.

Pada bagian akhir dari disertasi ini terdapat daftar pustaka dan lampiran. Lampiran dalam penelitian ini berisi informasi tambahan yang relevan namun tidak dimasukkan ke dalam bagian utama atau tubuh penelitian.