

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Bab I menguraikan tentang pendahuluan penelitian yang berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, pembatasan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, definisi operasional, dan sistematika penulisan Disertasi. Isi dari semua sub bab menjelaskan secara detail arah penelitian yang dilakukan.

### **A. Latar Belakang**

Era revolusi industri 4.0 ditandai makin pesatnya transformasi peradaban menuju pemanfaatan teknologi informasi yang sejalan dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (Sebatana & Dudu, 2022; Gosper & Ifenthaler, 2014). Pada masa ini terjadi fenomena kehidupan yang baru, yaitu sebuah fenomena dimana terjadi kolaborasi antara teknologi siber dengan teknologi otomatisasi. Artinya telah terjadi transformasi komprehensif dari segala aspek kehidupan yang menekankan pada unsur kecepatan dan ketersediaan informasi, dimana segala entitas selalu terhubung dan mampu berbagi informasi yang mudah satu dengan yang lain. Teknologi dapat dinikmati oleh siapa saja, kapan saja, dan di mana saja dalam berbagai bentuk (Sutaphan & Yuenyong, 2023; Guisasola & Zuza, 2020; Williams, 2018) Secara psikologis, keadaan tersebut mengantarkan manusia pada perubahan peta kognitif, kemajemukan kebutuhan, pergeseran prioritas, dan pengembangan sumber daya manusia, termasuk didalamnya bidang pendidikan.

Perguruan tinggi memiliki peran yang sangat penting dalam mengembangkan potensi yang dimiliki oleh mahasiswa. Eksistensi tersebut menuntut adanya transformasi paradigma pendidikan modern. Pendidikan tidak hanya menekankan pencapaian ilmu sebagai produk, tetapi memberikan penekanan pada berbagai dimensi keterampilan melalui penerapan teknologi (Boud & Dawson, 2021; Deprez *et al.*, 2019; Barak, 2017; Dunne, 2015; Greca *et al.*, 2014). Pembelajaran di abad 21 ini menuntut pendidik lebih kritis dalam memecahkan masalah dengan memanfaatkan teknologi. Untuk itu, peningkatan kualitas pembelajaran yang mendukung peningkatan kemampuan kualitas berpikir peserta didik perlu diarahkan untuk

menggunakan model-model yang inovatif dengan memanfaatkan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi modern (Bahri *et al.*, 2021).

Pengembangan sumber daya manusia dalam bidang pendidikan diarahkan dalam rangka membekali mahasiswa kemampuan abad 21. Kemampuan berpikir yang menurut *Partnership for 21<sup>st</sup> Century Skills* terdiri dari berpikir kritis (*critical thinking*) dan pemecahan masalah (*problem solving*), berkomunikasi secara efektif (*effective communication*), bekerjasama (*collaboration*), kreasi (*creativity*) dan inovasi (*innovation*) (Boud & Dawson, 2021; Barak, 2020). Pembelajaran yang melatih mahasiswa kemampuan berpikir dan ke masa depan dapat menjadi bekal mahasiswa dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam dunia kerja. Hal ini dimaksudkan agar kemampuan mahasiswa untuk berpikir terasah dengan baik dalam rangka menghadapi perkembangan zaman yang semakin sulit ditebak (Mumba *et al.*, 2023; Kneubil & Robilotta, 2015). Fenomena tersebut menjadi tantangan nyata untuk meningkatkan kualitas dan mutu pembelajaran di perguruan tinggi.

Salah satu pembelajaran yang mendapat tantangan untuk meningkatkan kualitas adalah pembelajaran Fisika Matematika. Matakuliah ini telah menjadi kebutuhan di Jurusan Fisika. Sejalan dengan kebutuhan abad 21, keterampilan berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah berada pada level keterampilan berpikir tingkat tinggi (HOTS) (Bahri *et al.*, 2021; Walsh *et al.*, 2019; Vieira & Tenreiro-Vieira, 2016). Kebutuhan tersebut memungkinkan untuk terpenuhi didalam matakuliah fisika matematika yang mempelajari implementasi matematika untuk menyelesaikan permasalahan Fisika (fenomena fisika) (Klein *et al.*, 2018; Williams, 2018; Robertson *et al.*, 2017; Goedbloed & Poedts, 2004).

Matakuliah Fisika Matematika merupakan matakuliah yang wajib ditempuh oleh semua mahasiswa fisika. Perkuliahan fisika matematika memberikan bekal kepada mahasiswa dasar-dasar analisis matematis untuk memahami dan memecahkan persoalan fenomena fisika (Tim Dosen, 2020). Oleh karena itu, Fisika Matematika di salah satu perguruan tinggi LPTK di Malang dirancang untuk menyiapkan keterampilan matematika mahasiswa yang menempuh matakuliah lanjut pada semester berikutnya. Salah satu materi yang dibahas dalam perkuliahan Fisika Matematika ini adalah persamaan diferensial biasa (PDB) (Stewart, 2016; Riley &

Hobson, 2011; Tang, 2007; Boas, 2006). Konsep PDB sangat penting dipelajari bagi mahasiswa karena persamaan ini merupakan konsep dasar pengaplikasian gejala fisika yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari.

Permasalahan fisika dapat terjadi dengan merekayasa gejala alam (fenomena) fisika dengan mengadopsi matematika melalui simbol-simbol untuk menghasilkan pengetahuan baru. Kajian fisika mempelajari fenomena yang terjadi di alam dalam lingkup ruang dan waktu (Eshach & Kukliansky, 2018). Orang yang belajar fisika dapat menghadapi masalah ketika ada kejanggalan antara pengetahuan yang dimiliki dengan realitas (fenomena) yang terjadi di lingkungannya. Selanjutnya, mahasiswa berupaya menemukan pengetahuan baru dalam memecahkan masalah tersebut (Turner *et al.*, 2022). Salah satu upaya yang tepat dalam mengembangkan pengetahuan baru (sains modern) adalah memodelkan matematika. *Tools* matematika dalam berbagai mode merupakan bahasa sains yang mengomunikasikan pengetahuan fisika baru dalam bentuk representasi (Shin & Shim, 2021). Fenomena riil yang terjadi dalam kehidupan mahasiswa divisualisasikan menggunakan salah satu mode representasi yang konkret (verbal, grafik, visual, aksional, matematika, figuratif) dan cocok dengan keadaan. Karena gejala fisika seringkali dapat dengan mudah dipahami dengan memvisualisasikan menggunakan representatif konkret, misal animasi. Mahasiswa menggunakan bermacam-macam mode dan alat bantu yang salah satunya adalah memvisualisasikan dengan pemanfaatan teknologi komputer yang lebih mudah, modern, efektif, dan efisien (Jazby *et al.*, 2022; Lu *et al.*, 2020; Yarman *et al.*, 2020).

Pendekatan ini digunakan dalam rangka memperoleh deskripsi persoalan yang dapat digabungkan dengan mode yang lain untuk saling melengkapi. Pengetahuan mahasiswa sebelumnya sangat bermanfaat untuk mengonstruksi konsep dari fenomena riil ke konsep yang abstrak. Pengetahuan ini diharapkan dapat digunakan membahas fenomena riil yang banyak dibantu oleh *tools* matematika (Palmgren & Rasa, 2022; Hong *et al.*, 2016). Pada tahap ini mahasiswa dituntut untuk dapat membuat model dalam bentuk matematika yang menjelaskan fenomena riil (model matematika). Pengetahuan dan pemahaman menggunakan pendekatan prinsip dan pengetahuan fisika yang lebih spesifik diperlukan agar mahasiswa mudah memperoleh gambaran konsep yang berpengaruh dalam membentuk model matematika (Achmetli *et al.*,

2019). Dalam mempelajari fisika matematika diawali dengan mengkaji gejala fisika, kemudian mengembangkan metode matematika dalam rangka membentuk model matematika untuk memecahkan masalah (Legresley *et al.*, 2019; Ubuz & Erdoğan, 2019). Ada ruang yang luas dan nampak pada irisan antara matematika dan fisika, yaitu fisika matematika yang pembahasannya melingkupi metode dan teknik matematika dalam mempelajari fenomena fisika yang berkaitan erat dengan teori-teori fisika (Kalimbetov & Kulakhmetova, 2022; Bibi *et al.*, 2017; Kjeldsen & Lu, 2015). Persamaan diferensial digunakan untuk memodelkan beberapa proses fenomena fisika yang perumusannya dengan memodelkan masalah yang diselidiki.

Persamaan diferensial menghubungkan antara satu kelompok fungsi dengan turunannya. Persamaan diferensial yang menghubungkan satu kelompok fungsi dengan sebuah variabel terhadap bebas dinamakan persamaan diferensial biasa. Sedangkan, persamaan diferensial yang menghubungkan fungsi yang memiliki lebih dari satu variabel ke turunan parsialnya dinamakan dengan persamaan diferensial parsial (Mkhatshwa, 2023; Sijmkens *et al.*, 2022; Kwatra & Mudgil, 2020). Persamaan diferensial secara alamiah muncul dalam sains fisik, model matematika, dan dalam matematika itu sendiri (Palmgren & Rasa, 2022). Sebagai contoh, penggunaan persamaan diferensial biasa (PDB) dalam menjelaskan Hukum dua Newton. Hukum tersebut digunakan untuk mendeskripsikan hubungan yang terjadi antara percepatan benda yang bergerak dengan resultan gaya. Persamaan diferensial parsial digunakan untuk menjelaskan fenomena difusi kalor. Persamaan difusi kalor pada variabel satu ruang yang menggambarkan bagaimana kalor dapat berdifusi melalui satu batang logam yang lurus. Disamping itu, banyak analisis terhadap fenomena fisika memerlukan representasi yang dinyatakan menggunakan konsep turunan. Mahasiswa harus menguasai konsep PDB tersebut untuk merekonstruksi skema yang jelas tentang konsep turunan dan aplikasinya (Sujito, Liliari, Suhandi, *et al.*, 2021a; Sujito, Liliari, & Suhandi, 2021).

Hal ini didukung oleh beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa mahasiswa yang berhasil menguasai dengan baik mengenai dasar-dasar analisis matematis akan berpengaruh pada prestasinya (Nielsen & Nielsen, 2019). Kjeldsen dan Lu (2015) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa menerapkan logika matematika untuk

memecahkan permasalahan fenomena fisika yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari menjadi lebih aplikatif. Penelitian lain menjelaskan matematika merupakan ilmu yang mempelajari pola dan bagaimana hubungan timbal balik yang terjadi antar variabel, sehingga kemampuan berpikir mahasiswa dapat diberdayakan melalui perkuliahan fisika matematika (Villegas *et al.*, 2023; Hadjiachilleos *et al.*, 2013).

Senada dengan itu, Liliyasi (2009) menjelaskan bahwa disiplin ilmu, seperti sains dapat menjadi wadah dalam pengembangan kemampuan berpikir masalah fisika yang dinyatakan secara verbal (Liliyasi, 2009). Mahasiswa dapat mengoptimalkan dan memberdayakan potensi keterampilan kognitif mereka melalui pembelajaran terintegrasi seperti penalaran deduktif dan berpikir analogi dalam konteks fisika (Good *et al.*, 2019; Barzilai & Eilam, 2018; Caballero *et al.*, 2017; Kneubil & Robilotta, 2015). Pada proses pemecahan masalah materi Fisika Matematika, mahasiswa diharapkan menggunakan pengetahuan yang sudah tersedia untuk menyelesaikan masalah pada konteks baru. Hal ini sesuai dengan teori Dewey dalam menjembatani antar pengetahuan yang menelusurinya (Gifford & Finkelstein, 2020; Rodrigues & Oliveira, 2008; Dewey, 1993).

Berdasarkan studi pendahuluan yang dilakukan oleh Sujito *et al.*, menunjukkan bahwa konsep Fisika Matematika bisa memancing rasa ingin tahu lebih dalam, namun mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep materi PDB (Sujito & Liliyasi, 2020). Mahasiswa merasa bahwa materi PDB cukup kompleks, sulit diamati, kesulitan memberi makna atas pernyataan matematika, dan tidak ada media pembelajaran yang digunakan untuk menjelaskan materi. Hal ini menyebabkan kemampuan mahasiswa menyelesaikan konsep persamaan diferensial biasa tergolong rendah. Terlihat dari rendahnya persentase pemecahan masalah yang dimiliki mahasiswa. Hasil studi pendahuluan menunjukkan bahwa mahasiswa yang berhasil menjawab dengan benar saat menyelesaikan 3 soal persamaan diferensial biasa hanya sebanyak 23,90% mahasiswa (Sujito, Liliyasi, Suhandi, *et al.*, 2021a).

Hal ini didukung oleh hasil kuesioner terhadap mahasiswa yang menunjukkan bahwa motivasi belajar mahasiswa cukup tinggi untuk mengikuti perkuliahan Fisika Matematika 78,10%. Sebanyak 66,14% masih merasa kesulitan mempelajari fisika matematika. Berdasarkan hasil wawancara dan kuesioner mahasiswa serta alumni

diperoleh informasi bahwa materi turunan dan persamaan turunannya (persamaan diferensial biasa) merupakan sub materi fisika matematika yang sulit (Sujito, Liliyasi, & Suhandi, 2021). Hasil wawancara tersebut didukung hasil angket yang disebar kepada alumni dan mahasiswa yang pernah menempuh matakuliah Fisika Matematika. Hasilnya diperoleh bahwa 74,44% responden menyatakan bahwa matakuliah Fisika Matematika adalah matakuliah yang sulit, dan rata-rata kesulitan mereka terletak pada materi persamaan diferensial biasa (Sujito & Liliyasi, 2020). Sub materi ini menuntut mahasiswa mengabstraksikan fenomena riil menjadi sebuah model matematis. Oleh karena itu, persepsi yang kuat dapat mempengaruhi kognisi mahasiswa dalam rangka menghubungkan antar konsep yang terkandung dalam fenomena fisika dan memerlukan kemampuan berpikir kritis yang tinggi dalam menyelesaikannya (Turner *et al.*, 2022; Wilcox & Pollock, 2015).

Hasil studi pendahuluan lain dengan metode observasi dan wawancara kepada Dosen menemukan fakta bahwa kemampuan mahasiswa untuk menyelesaikan masalah masih rendah, sehingga keterampilan berpikir kritis mahasiswa perlu distimulasi agar dapat berkembang (Sujito, Liliyasi, Suhandi, *et al.*, 2021b). Mahasiswa sering menggunakan strategi pemecahan masalah yang berorientasi pada solusi, bukan mengembangkan pemahaman yang kuat terhadap prinsip-prinsip dan konsep fisika dari fenomena fisis (Klein *et al.*, 2019).

Pada penelitian pendahuluan juga dilakukan analisis materi, program perkuliahan, prosedur pembelajaran, mengidentifikasi Capaian Pembelajaran (CP) matakuliah Fisika Matematika. Hasil analisis materi menunjukkan bahwa sebagian fenomena fisika yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan diferensial biasa (PDB); perangkat matematika diperlukan untuk memecahkan semua persoalan fisika (Dachraoui *et al.*, 2023; Redfors *et al.*, 2013). Fisika dikenal sebagai ilmu yang mempelajari gejala (fenomena) alam yang memiliki dua cakupan, yaitu fisika sebagai produk dan fisika sebagai proses. Fisika sebagai produk ilmu pengetahuan alam atau ilmu sains, tentunya berkaitan erat dengan *empiris-teoritis*, sehingga pembelajaran fisika matematika bisa ditinjau melalui *empiris* dan *teoritis* (Mota *et al.*, 2019; Doran, 2017). Studi *empiris* menunjukkan bahwa perolehan produk fisika berdasarkan percobaan atau pengalaman pembelajaran peserta

didik, sedangkan studi *teoretis* menunjukkan bahwa perolehan produk fisika melalui kajian dan pernyataan teori. Pemahaman ilmu fisika yang diperoleh melalui *kajian teori* masih belum sempurna dalam menyelesaikan suatu permasalahan, diperlukan kajian *empiris* (praktik) yang mengkaji fenomena secara langsung sekaligus menguatkan apa yang didapat mahasiswa (Palmgren & Rasa, 2022; Tolga, 2015).

Oleh karena itu, mahasiswa diharuskan aktif untuk memperoleh pengetahuan sementara (*ide awal*) dan membuat inferensi logis (menarik kesimpulan dari informasi) sampai ditemukan solusi dalam bentuk prinsip. Studi *empiris* memberikan kesempatan pada mahasiswa dalam mengembangkan kemampuan psikomotorik dan keaktifan. Studi *teoretis*, diharapkan dapat mencegah terjadinya miskonsepsi peserta didik. Fenomena tersebut dapat diteliti dengan mengajukan beberapa pertanyaan mendasar secara intensif. Jawaban yang diperoleh dimaksudkan untuk memperluas pemahaman seseorang tentang fenomena subjek (Sujito, Liliarsari, Suhandi, *et al.*, 2021a; Dounas-Frazer *et al.*, 2016).

Hasil observasi dengan melakukan “*sit in*” di dalam kelas diketahui bahwa pembelajaran masih dilakukan menggunakan metode ceramah dengan menggunakan bantuan power point. Analisis terhadap prosedur diketahui bahwa pembelajaran fisika matematika dengan menggunakan metode praktikum belum pernah dilakukan, dan juga belum pernah dilakukan pembelajaran menggunakan bantuan *software* komputer. Temuan lain yang melibatkan penggunaan persamaan diferensial biasa (PDB) adalah tidak banyak fenomena fisika yang mengungkap kasus-kasus *real world* dalam pembelajaran dan penyajiannya kurang variatif (Sujito, Liliarsari, Suhandi, *et al.*, 2021a). Pembelajaran dimulai dari ceramah, penyelesaian kasus, pemberian contoh, dan penerapannya tidak *real world*. Hal ini memungkinkan menjadi penyebab mahasiswa merasa kesulitan menyelesaikan permasalahan fisika (Gifford & Finkelstein, 2020; Sujito & Liliarsari, 2020). Temuan lain adalah pada penyelesaian persoalan, jawaban yang diberikan mahasiswa sudah mengarah pada konsep fisika yang benar, namun masih mengalami kesalahan dalam tahap akhir pengerjaan. Kesulitan tersebut terutama dalam penyederhanaan persamaan, dan penyelesaian matematika yang berkaitan dengan diferensial. Hal ini menunjukkan bahwa

mahasiswa belum tepat dalam mengaitkan konsep fisika dengan *tools* matematika yang sesuai (Sujito, Pratiwi, *et al.*, 2021).

Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Habre (2021), Lu *et al.* (2020), Journal & West (2018) tentang konsep-konsep fisika matematika khususnya persamaan diferensial biasa yaitu sifatnya matematis, melibatkan prinsip-prinsip matematika untuk menggambarkan hubungan antar variabel fisika, menerjemahkan fenomena fisika ke dalam model matematika, dan penggunaan tool matematika untuk menyelesaikan masalah fisika. Hal ini mempengaruhi mahasiswa dalam memahami materi, membosankan, frustasi dalam menghadapi siklus selanjutnya, sehingga berdampak buruk terhadap hasil belajar mahasiswa. Pandangan ini didukung sejumlah hasil penelitian terkait kesulitan mahasiswa dalam memahami materi, diantaranya Eynde v.y., *et al.*, (2023); Xinema M., *et al.*, (2023); Elishakoff *et al.*, (2019); Ceuppens *et al.*, (2018) dan Gennemark *et al.*, (2014). Para ahli mengungkapkan bahwa banyak mahasiswa mengalami kesulitan ketika mempelajari simbol-simbol, postulat, aksioma, dan prinsip-prinsip yang diterapkan. Mahasiswa mengalami kesulitan tentang memformulasi sebuah fenomena fisis menjadi persamaan matematika.

Boyce, *et al.*, (2017) mengungkapkan kesulitan yang dialami mahasiswa dalam mengoperasionalkan fenomena fisika dengan menggunakan simbol-simbol matematika. Ott *et al.*, (2018) menyatakan bahwa mahasiswa tidak mampu dalam mengintegrasikan fenomena fisika, mengaitkannya dengan konsep-konsep fisika dan memformulasikan dalam bahasa matematika. Branchetty *et al.*, (2019) menyimpulkan bahwa mahasiswa mengalami kesulitan dalam menyusun persamaan dan menentukan strategi pemecahan masalah saat menyelesaikan persamaan diferensial khususnya kesulitan dengan fenomena transformasi, yaitu satu bentuk representasi ke bentuk representasi yang lain. Johnson & Almuna (2022), Kalimbetov & Kulakhmetova (2022), Nardini *et al.* (2021), dan Lu *et al.*, (2020) mendapatkan kesimpulan bahwa mahasiswa mengalami kesulitan dalam merepresentasikan konsep-konsep fisika kedalam matematika menjadi sebuah persamaan. Sementara itu, Taleyarkham *et al.*, (2018), menyatakan bahwa kesulitan mahasiswa dalam menerapkan konsep matematika dapat didekati dengan memanfaatkan aplikasi teknologi. Penggunaan



teknologi berbasis komputer dapat memfasilitasi pembelajaran yang berpusat pada mahasiswa.

Konsep matematika seperti persamaan diferensial biasa (PDB) yang sulit dapat dipahami oleh pemikiran mahasiswa dengan menggunakan perangkat lunak (simulasi) atau yang dikenal dengan *Computer Aided Design* (CAD). Untuk melatih konsep PDB dapat dilakukan dengan pendekatan masalah (*problem-based learning*). Perangkat pembelajaran tersebut terakumulasi dalam sebuah konsep PDB2MCAD, yaitu sebuah konsep pembelajaran persamaan diferensial biasa berbasis masalah menggunakan *computer aided design*. Perangkat PDB2MCAD menyajikan kerangka kerja dan ciri utama yaitu adanya interaksi antara mahasiswa dengan perangkat lunak CAD dalam konteks pembelajaran. Pembelajaran yang berpusat pada mahasiswa didesain berdasarkan teori konstruktivis untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah (Safitri *et al.*, 2019; Legresley *et al.*, 2019).

Lulusan perguruan tinggi diharapkan memiliki keterampilan berpikir kritis dalam menyelesaikan masalah, namun harapan tersebut belum sesuai dengan kenyataan di prodi salah satu perguruan tinggi di Malang Jawa Timur. Adanya kesenjangan antara keterampilan yang dibutuhkan di dunia kerja dengan keterampilan yang dipelajari di bangku kuliah masih menjadi problem. Hasil pengamatan pada proses pembelajaran menunjukkan bahwa perkuliahan masih menerapkan cara-cara yang tidak mengarahkan mahasiswa untuk aktif dalam pembelajaran. Pembelajaran yang digunakan didominasi metode tradisional menggunakan ceramah (*teacher centered*) yang terbukti gagal menghasilkan alumni yang berkualitas dengan keterampilan yang dibutuhkan di tempat kerja dan kehidupan sehari-hari (Sujito, *et al.*, 2021; Sujito & Liliyasi, 2020).

Permasalahan yang sama terjadi pada matakuliah fisika matematika yang menjadi dasar bagi matakuliah lanjut. Mahasiswa diharapkan menguasai materi fisika matematika yang mencakup integral biasa dan integral lipat, matriks dan determinan, turunan parsial dari fungsi, serta persamaan diferensial biasa (PDB), fungsi khusus, bilangan kompleks, solusi PD dengan deret, fungsi variabel kompleks, persamaan diferensial parsial (PDP), analisis tensor, dan probabilitas – statistik. Fisika matematika memiliki peran yang sangat vital bagi mahasiswa dalam mempelajari matakuliah

lanjut. Namun, penelitian pendahuluan yang mengambil tema pembelajaran fisika matematika menunjukkan bahwa mahasiswa mengalami kesulitan dalam mempelajari persamaan diferensial biasa (Sujito & Liliyasi, 2020). Kesulitan yang mereka alami dalam hal memahami konsep, prinsip, hubungan antar prinsip, dan formulasi persamaan.

Melatihkan kemampuan pemecahan masalah masih menjadi hal yang sulit bagi dosen, walaupun begitu tetap harus dilatihkan karena aspek ini merupakan salah satu faktor yang penting dalam pembelajaran fisika matematika (Velly, 2021; Mann *et al.*, 2021). Implementasi pembelajaran berbasis masalah diyakini mampu memecahkan permasalahan kesulitan yang dialami dosen (Devy Alvionita *et al.*, 2020; Suastra *et al.*, 2019). Dengan menerapkan model pembelajaran berbasis masalah, mahasiswa dapat menemukan masalah dan memiliki solusi yang tepat dari permasalahan (Gunawan *et al.*, 2020; Pierce & Jones, n.d., 2019; Ismail *et al.*, 2018; Gewurtz *et al.*, 2016). Sama halnya dengan melatih kemampuan pemecahan masalah, melatih keterampilan berpikir kritis bukanlah hal yang mudah. Hal ini menghadapkan mahasiswa pada fenomena nyata, menggali permasalahan, dan ruang diskusi secara terbuka (*open-ended*). Dalam hal ini, mahasiswa melakukan penyelidikan terhadap aspek yang mengkonstruksi masalah, dan membentuk formulasi yang tepat (Suhirman *et al.*, 2021; Matthee & Turpin, 2019; Boa *et al.*, 2018; Stupple *et al.*, 2017).

Beragam penelitian telah dilakukan oleh ahli pendidikan fisika matematika, antara lain Mkhathshwa (2023), Ayyildiz & Tarhan (2018), dan Ulger (2018). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan pembelajaran berbasis masalah mempunyai pengaruh yang positif terhadap keberhasilan pembelajaran. Pembelajaran berbasis masalah dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pada semua tingkat pendidikan, tetapi masih terbatas meneliti secara spesifik pembelajaran persamaan diferensial. Fokus penelitian selama ini dalam pembelajaran persamaan diferensial berbasis masalah diantaranya; 1) masalah yang disajikan tidak *real world*, 2) dinamika yang terjadi dalam kelompok, 3) dosen yang kurang memposisikan sebagai fasilitator, 4) *cognitive load* yang berlebihan. Kelemahan penelitian yang dilakukan tersebut adalah tidak mengakomodasi perkembangan teknologi komputer sebagai *tools* pembelajaran. Mahasiswa mengikuti pembelajaran di kelas tanpa terlibat secara

langsung. Hal ini mengakibatkan mahasiswa tidak mengalami interaksi langsung dengan pembelajaran (Johnson & Almuna, 2022).

Hal tersebut tidak jauh berbeda dengan situasi dan kondisi perkuliahan fisika matematika di salah satu perguruan tinggi di Malang. Berdasarkan hasil pengamatan menunjukkan 1) Matakuliah fisika matematika dibagi menjadi fisika matematika 1, fisika matematika 2, dan fisika matematika 3 yang masing-masing terdiri dari 2 SKS, 2) pembelajaran dalam kelas didominasi menggunakan metode tradisional (penyampaian informasi, pemberian contoh, penyelenggaraan latihan), jarang menggunakan *problem based learning*, 3) pembelajaran masih secara konvensional menggunakan *teacher centered*, 4) materi perkuliahan cukup padat dan proses perkuliahan berorientasi pada ketuntasan materi bukan berdasarkan ketercapaian tujuan pembelajaran, 5) pembelajaran secara eksplisit belum melatih keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Selain itu, dosen kurang memanfaatkan kemajuan teknologi komputer ketika mengajarkan fisika matematika di kelas. Padahal, pemanfaatan komputer dalam perkuliahan merupakan salah satu upaya cara untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis, logis, sistematis, dan meningkatkan kemampuan pemecahan masalah mahasiswa (Kumari, 2019; Journal & West, 2018).

Pada era modern ini adalah memanfaatkan kemajuan teknologi komputer dalam pembelajaran merupakan suatu keniscayaan yang tidak bisa dihindari. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ruhiawati, *et al*, (2021) yang menyatakan bahwa media interaktif yang disiapkan untuk perkuliahan merupakan cara terbaik dalam menyediakan media pembelajaran, dan menunjukkan fenomena dengan sangat jelas ketika sulit ditampilkan menggunakan media lain. Karena itu, penting untuk meningkatkan penelitian dalam bidang pembelajaran fisika matematika menggunakan aplikasi teknologi komputer. Penelitian yang memfokuskan dan memperkuat kombinasi aplikasi *software* komputer dalam mempelajari materi fisika matematika berbasis masalah.

Penelitian yang hampir sama telah banyak dilakukan mengenai penggunaan aplikasi *software* komputer dalam pembelajaran fisika matematika khususnya materi persamaan diferensial. Peter Gennemark dan Dag Wedelin, (2014) meneliti tentang pengembangan modul perangkat lunak komputasi ODEion. Hasil penelitiannya

memberi kesimpulan bahwa modul tersebut mampu digunakan mengidentifikasi struktural ion bagi mahasiswa biologi khususnya mengidentifikasi model dinamis sebagai sistem ODE. Christopher Rackauckas dan Qing Nie, (2017) menggunakan *software* DifferentialEquations.jl (DiffEq.jl). Penggunaan *software* ini berhasil memecahkan dan menganalisis berbagai bentuk persamaan diferensial tanpa mengorbankan fitur atau kinerja. Taleyarkhan, *et al.*, (2018) menggunakan simulasi *Computer Aided Design* (CAD) berbantuan *software* Matlab. Taleyarkhan berhasil mengkarakter strategi desain yang dilakukan mahasiswa teknik dengan menggunakan *project-based learning* (memahami tantangan desain, membangun pengetahuan, menimbang pilihan dan membuat pengorbanan, dan merenungkan prosesnya). Mamta Kumari, (2019) melatih persamaan diferensial biasa menggunakan matlab dan mampu memberikan solusi langsung untuk persamaan panjang yang sulit sekalipun. Belland *et al.*, (2019) menyatakan bahwa komputasi adalah aspek sentral dari praktik pembelajaran fisika abad ke-21, digunakan untuk memodelkan sistem yang rumit seperti persamaan diferensial. Beverly West, (2021) merevolusi pengajaran persamaan diferensial biasa (ODE) di tempat ia mengajar. Meski masih menggunakan metode tradisional, Beverly West berhasil mengajarkan persamaan diferensial biasa (ODE) dengan membawa grafik ke komputer. Utesov & Bazarkhanova, (2022) menekankan bahwa komputasi menjadi bagian yang semakin penting dalam pembelajaran fisika. Teknologi komputer digunakan untuk mensimulasikan eksperimen yang tidak mungkin, dan untuk menganalisis data yang menumpuk. Namun demikian, belum ditemukan penelitian yang membelajarkan persamaan diferensial biasa berbasis masalah (fenomena riil) dengan menggunakan *computer aided design* dengan bantuan *software* Maple.

Penggunaan teknologi komputer digunakan untuk mengatasi kesulitan-kesulitan yang dihadapi mahasiswa ketika menyelesaikan masalah fenomena fisika terkait dengan PDB. Kesulitan-kesulitan mahasiswa yang didapat dari hasil studi pendahuluan antara lain; a) kesulitan menyelesaikan tahapan-tahapan kerja rutin penyelesaian PDB yang cukup panjang mulai dari menurunkan, menghitung, menemukan solusi secara detail, memvalidasi, memvisualisasi, dan menginterpretasi solusi persamaan yang berpotensi terjadi kesalahan, b) kesulitan dalam

mengintegrasikan saat menemukan proses pemecahan masalah secara analitik, c) kesulitan memvisualisasikan solusi akhir dalam bentuk grafik, d) kesulitan dalam menginterpretasikan grafik yang bermakna secara fisika. Aplikasi software Maple memungkinkan proses visualisasi solusi dalam bentuk grafik dapat dilakukan dengan akurat, efisien, mudah dan tepat sehingga makna dari grafik dapat disampaikan secara jelas. Karena itu, muncul gagasan untuk menerapkan komputer dalam pembelajaran Fisika Matematika materi persamaan diferensial biasa yang didesain dalam CAD (*Computer-Aided Design*). Sebuah konsep pemikiran pembelajaran baru yang diterapkan pada persamaan diferensial biasa dengan menggunakan perangkat lunak yang dikenal dengan *Computer-Aided Design* (CAD) dengan bantuan *software* Maple. *Software* Maple dipilih daripada *software* lain (Matlab ataupun Mathematica) karena fitur simbolik pada *software* Maple lebih mudah, *software* Maple juga menyajikan animasi grafik dalam satu dimensi, dua dimensi dan tiga dimensi (Journal & West, 2018; Bibi *et al.*, 2017). Selain itu, pemanfaatan fungsi standar dalam *software* Maple selalu mengacu pada fungsi *help* dari menu jika menemui kesulitan menjalankan fungsi. Pada *software* Maple ada juga terdapat tutorial dengan *help* yang membantu (Brahmia *et al.*, 2021).

Disamping itu, masih jarang para peneliti yang menggunakan *Computer-Aided Design* (CAD) untuk mengatasi kesulitan mahasiswa terkait dengan persamaan diferensial biasa. Kenyataan tersebut dibuktikan menggunakan analisis bibliometrik bahwa belum ada penelitian yang mengaitkan ketiga aspek penyusun (PDB, PBL, CAD) dengan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Selama ini penelitian terkait persamaan diferensial hanya dikaitkan dengan pemecahan masalah yang perhatiannya khusus pada wilayah abstrak dengan membuat asumsi, premis, postulat, dan aksioma (van den Eynde *et al.*, 2023; Chassy & Jones, 2019; Liu *et al.*, 2019; Ceuppens *et al.*, 2018). Penelitian ini juga menguatkan posisi peta jalan pentingnya integrasi teknologi komputer dan pedagogi dalam sebuah pembelajaran menjadi satu kesatuan utuh untuk mengeksplorasi kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Eksplorasi pembelajaran persamaan diferensial biasa berbasis masalah didukung CAD menggunakan Maple terhadap kemampuan berpikir kritis dan



Penelusuran lebih lanjut terhadap hasil penelitian dari tahun 2013 sampai dengan 2023 ditemukan penelitian lain yang meneliti mengenai bagaimana memecahkan persamaan diferensial pada persoalan fisika. Namun, kajian mereka terbatas pada mengembangkan metode matematika yang sesuai untuk diterapkan pada kasus-kasus fisika dan mengembangkan formulasi berdasarkan teori fisika (Alsina & Salgado, 2021; Gifford & Finkelstein, 2020; Fang & Guo, 2016). Padahal matematika merupakan bagian penting dalam menuntun seseorang untuk memahami konsep dan fenomena fisis. Sifatnya yang abstrak membutuhkan aktivitas berpikir atau penalaran untuk memanipulasi formal yang bergantung pada pengidentifikasian konsep dengan simbol-simbol (Dogruer & Akyuz, 2020; Kuo *et al.*, 2017; Alpaslan *et al.*, 2016; Bajracharya & Thompson, 2016). Penelitian yang mengaitkan antara *computer aided design* atau penggunaan *software* dengan persamaan diferensial biasa yang berbasis masalah masih sedikit dilakukan oleh para ahli. Secara umum menunjukkan bahwa komponen penyusun (persamaan diferensial biasa, *computer aided design*, *problem-based learning*) belum memiliki saling keterkaitan baik antar variabel penyusun maupun dengan variabel terikat. Penelitian dan publikasi terkait implikasi komponen penyusun terhadap terhadap keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah belum pernah dilakukan sehingga kabaruan penelitian ini sangat tinggi.

Posisi penelitian ini didasarkan pada analisis kajian teoritik dan analisis kajian empiris. Peneliti melakukan kajian untuk mengetahui kelebihan, kekurangan dan implikasi dari CAD, persamaan diferensial biasa, dan *problem-based learning*. Penelitian mengenai implikasi PBL, dan persamaan diferensial biasa dalam pembelajaran telah banyak dilakukan. Tetapi, penelitian mengenai pemanfaatan aspek teknologi komputer masih berpeluang besar untuk dilakukan dalam pembelajaran khususnya berkaitan dengan *software* Maple. Peneliti juga mulai meneliti bagaimana implikasi dari PBL dan *Computer Aided Design* (CAD) menggunakan Maple terhadap keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Hasil analisis menunjukkan bahwa belum ada penelitian yang mengabungkan PBL, CAD dan persamaan diferensial kedalam satu komponen utuh dalam sebuah penelitian. Disamping itu,

implikasi dari ketiga komponen penyusun tersebut terhadap keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah juga belum diteliti.

Hal ini menunjukkan bahwa *originality* dari penelitian ini sangat tinggi. Karena penelitian ini memposisikan ketiga komponen penyusunnya ke dalam sebuah peta jalan yang sama untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Walaupun selama ini penelitian masing-masing aspek penyusun secara terpisah sudah banyak dilakukan dan memiliki banyak dampak positif dalam pembelajaran, sebagaimana sudah diulas di atas. Kajian terkait konsep, integrasi teknologi dalam pembelajaran, dan model pembelajaran dalam mengeksplorasi keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah dapat menjadi fondasi dasar dalam mengembangkan penelitian serupa.

Dengan demikian, penelitian ini berpotensi menjadi fondasi bagaimana pembelajaran persamaan diferensial berbasis masalah dengan mengintegrasikan teknologi komputer (*software* Maple) dalam prosesnya. Model ini memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk melakukan observasi dan menyelidiki masalah. Penelitian ini mampu menjadi fondasi untuk memadukan aspek pedagogi dan teknologi. Penelitian ini juga dapat menjadi salah satu fondasi bagaimana melakukan eksplorasi keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah dengan menggunakan pembelajaran berbasis masalah dan teknologi komputer.

Berdasarkan fenomena tersebut, perlunya dirancang suatu program pembelajaran dalam matakuliah Fisika Matematika materi persamaan diferensial biasa dengan pola dan cara baru yang inovatif serta mendukung peningkatan kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Dengan demikian, arah penelitian adalah untuk menyusun dan menerapkan program pembelajaran matakuliah fisika matematika pada materi persamaan diferensial biasa (PDB) berbasis masalah didukung *Computer-Aided Design* (CAD) dengan menggunakan bantuan *software* Maple (PDB2MCAD) sebagai salah satu pendekatan inkuiri. Program pembelajaran diharapkan mampu meningkatkan keterlibatan mahasiswa secara aktif agar dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan memecahkan permasalahan.



## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, masalah dalam penelitian dapat dirumuskan melalui pertanyaan “Bagaimanakah program perkuliahan fisika matematika didukung *computer aided design* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah?” Masalah penelitian tersebut selanjutnya dijabarkan dalam pertanyaan penelitian sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik program perkuliahan fisika matematika didukung *computer aided design* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah?
2. Bagaimana peningkatan kemampuan berpikir kritis mahasiswa yang mendapatkan perkuliahan PDB2MCAD dibandingkan dengan mahasiswa yang mendapatkan perkuliahan PDB tanpa CAD?
3. Bagaimana peningkatan pemecahan masalah mahasiswa yang mendapatkan perkuliahan PDB2MCAD dibandingkan dengan mahasiswa yang mendapatkan perkuliahan PDB tanpa CAD?
4. Bagaimana dampak perkuliahan PDB2MCAD dalam memfasilitasi capaian keterampilan berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah?
5. Bagaimana efektivitas perkuliahan PDB2MCAD dibandingkan dengan perkuliahan PDB tanpa CAD dalam memfasilitasi capaian keterampilan berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah?
6. Bagaimana kekuatan dan keterbatasan perkuliahan PDB2MCAD untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah?

## **C. Tujuan penelitian**

Tujuan penelitian ini untuk menghasilkan program perkuliahan fisika matematika topik persamaan diferensial biasa berbasis masalah didukung *computer aided design* yang valid dan teruji dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis, dan kemampuan pemecahan masalah mahasiswa.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini menghasilkan perkuliahan fisika matematika topik persamaan diferensial biasa didukung *computer aided design* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah. Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Manfaat praktis, a) menjadi alternatif pembelajaran yang dapat digunakan secara langsung oleh dosen pengampu mata kuliah fisika matematika topik persamaan diferensial biasa dalam merancang pembelajaran menggunakan komputer berbantuan *software* Maple, b) Menjadi salah satu rujukan program pembelajaran di perguruan tinggi yang membantu mengatasi *missing link* antara dunia pendidikan dengan dunia kerja, c) Perkuliahan PDB2MCAD yang dihasilkan dapat diterapkan pada matakuliah lain yang mempunyai karakteristik sama, d) Menjadi referensi baru dalam pembelajaran dimana integrasi aspek pedagogi dan teknologi dalam pembelajaran berpotensi meningkatkan kemampuan mahasiswa terutama kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah.
2. Manfaat teoretik: a) perkuliahan PDB2MCAD yang dihasilkan dapat memperkaya khasanah program perkuliahan fisika matematika topik persamaan diferensial biasa untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah bagi mahasiswa dalam mempelajari fenomena fisika, b) Memberi kontribusi tentang pembelajaran fisika matematika topik persamaan diferensial biasa yang mengakomodasi kemampuan komputer mahasiswa dengan mengintegrasikan *software* Maple dalam proses perkuliahan.

#### **E. Definisi Operasional**

Definisi operasional yang digunakan dalam penelitian ini meliputi

1. Perkuliahan fisika matematika pokok bahasan persamaan diferensial biasa (PDB) berbasis masalah didukung *Computer-Aided Design* (CAD) (PDB2MCAD) adalah program perkuliahan persamaan diferensial biasa diawali dengan fenomena fisika untuk menemukan pemodelan matematika berbantuan *software* Maple. Pengambilan data dilakukan menggunakan lembar pertanyaan dalam kegiatan

mahasiswa (LKM). Analisis data secara kualitatif dilakukan dengan mengelompokkan ketercapaian pembelajaran.

2. Keterampilan berpikir kritis adalah kegiatan berpikir yang berorientasi konstruktif untuk menemukan penyelesaian masalah yang meliputi indikator memberikan penjelasan sederhana (*elementary clarification*), membangun keterampilan dasar (*basic support*), menyimpulkan (*interference*), memberikan penjelasan lebih lanjut (*advanced clarification*), dan mengatur strategi dan taktik (*strategy and tactics*). Keterampilan berpikir kritis diukur dengan menggunakan tes pilihan ganda. Peningkatan keterampilan berpikir kritis dianalisis menggunakan konsep gain ternormalisasi (N-Gain). Ukuran pengaruh program PDB2MCAD diuji menggunakan *effect size* (d) dengan kriteria didasarkan pada besarnya nilai d dikonfirmasi terhadap kriteria cohen. Efektivitas program PDB2MCAD dihitung berdasarkan jumlah mahasiswa yang mencapai skor  $\geq 80$  dalam skala 100. Jumlah mahasiswa yang mencapai nilai tersebut dijadikan dasar kriteria efektivitas pembelajaran (tinggi, sedang, rendah).
3. Kemampuan pemecahan masalah adalah kemampuan mahasiswa untuk menerapkan pengetahuan yang diperoleh sebelumnya kedalam situasi baru yang belum dikenal guna menyelesaikan masalah fenomena fisika yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari (kontekstual). Kemampuan memecahkan masalah fisika diukur berdasarkan skor kemampuan mahasiswa dalam mengerjakan soal essay dengan indikator; kemampuan mendeskripsikan fenomena (*Usefull Description*), melakukan pendekatan fisika (*Physics Approach*), menggunakan konsep (*Specific Application of Physics*), melakukan perhitungan matematika (*Mathematical Procedures*), dan kemampuan membuat kesimpulan logis (*Logical Progression*). Peningkatan keterampilan berpikir kritis dianalisis menggunakan konsep gain ternormalisasi (N-Gain) yang dikategorikan berdasar tingkat prosentase N-gain. Ukuran pengaruh program PDB2MCAD diuji menggunakan *effect size* (d) dengan kriteria dikonfirmasi terhadap kriteria yang diajukan oleh cohen. Efektivitas program PDB2MCAD dihitung berdasarkan jumlah mahasiswa yang mencapai skor  $\geq 80$  dalam skala 100. Jumlah mahasiswa yang mencapai nilai tersebut dijadikan dasar kriteria efektivitas pembelajaran.

## **F. Sistematika Penulisan Disertasi**

Penulisan disertasi ini diuraikan menjadi 5 (lima) bab ditambah dengan daftar Pustaka dan lampiran penelitian. Pada Bab I diuraikan tentang deskripsi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, definisi operasional, dan sistematika penulisan. Bab II memuat deskripsi Kajian Pustaka memuat tentang teori-teori yang melandasi penelitian. Kajian pustaka tersebut berkaitan erat dengan permasalahan yang diteliti yakni keterampilan berpikir kritis, kemampuan pemecahan masalah, peran matematika dalam fisika, peran persamaan diferensial dalam mengkaji fenomena fisika, persamaan diferensial biasa (PDB), model pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL), *Computer Aided Design* (CAD), Maple, dan sintesis dari sub-sub bab (perkuliahan PDB2MCAD, KBK dan pemecahan masalah). Bab III diawali dengan kerangka berpikir penelitian. Pembahasan dalam bab ini meliputi metode dan desain penelitian, prosedur penelitian, instrumen penelitian, dan analisis data. Bab IV menjelaskan tentang deskripsi hasil penelitian dan temuan serta pembahasan. Deskripsi tersebut mulai dari tahap hasil penelitian dan temuan penelitian (studi pendahuluan, pengembangan program perkuliahan PDB2MCAD, ujicoba, implementasi, dan hasil implementasi), dan pembahasan yang memaparkan jawaban atas pertanyaan dalam penelitian. Bab V memaparkan tentang simpulan, implikasi dan rekomendasi untuk penelitian lanjutan.