

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Saat ini aktivitas harian manusia lebih banyak dilakukan di dalam ruangan, umumnya bagi mereka yang berada di kantor dan sektor komersil (Qi, Lu, dan Yang, 2012). Alat pengkondisian udara (*Air Conditioner*) digunakan untuk menciptakan kondisi nyaman di dalam ruangan (Niemann dan Schmitz, 2020). Proses pengkondisian udara di dalam ruangan memiliki pengaruh penting pada kenyamanan termal manusia (Ge dan Wang, 2020). Kenyamanan termal diperoleh dengan cara mengatur temperatur, kelembaban, kecepatan, dan kebersihan udara disekitarnya (Buonocore et al., 2020). Indonesia yang berada di daerah tropis memiliki temperatur dan kelembaban yang tinggi sepanjang tahun (Subiantoro, 2019). Tingkat kelembaban yang tinggi dapat menurunkan kualitas udara dalam ruangan (Jing et al., 2013), memicu pertumbuhan jamur yang menyebabkan ketidaknyamanan pernapasan dan alergi (Kettleston et al., 2015), dan berkontribusi pada kerusakan bahan bangunan (Zítek et al., 2015). Untuk mengatasi kondisi tidak nyaman tersebut, banyak hunian di daerah tropis yang dilengkapi dengan *air conditioner* (mesin pengkondisian udara).

Pengetahuan dan keterampilan tentang pengkondisian udara bisa diperoleh dengan menempuh pendidikan dan latihan di institusi pendidikan vokasi bidang refrigerasi. Pendidikan vokasi, juga dikenal sebagai pendidikan kejuruan, adalah jenis pendidikan yang menekankan pada pengembangan keterampilan praktis yang spesifik untuk mempersiapkan individu dalam memasuki dunia kerja. Pendidikan vokasi biasanya berfokus pada pelatihan teknis, keahlian manual, dan pengetahuan praktis yang relevan dengan bidang pekerjaan tertentu. Tujuan utama pendidikan vokasi adalah untuk menghasilkan lulusan yang siap bekerja secara langsung setelah menyelesaikan program pendidikan mereka. Program pendidikan vokasi dirancang untuk memberikan pengetahuan dan keterampilan yang diperlukan agar siswa dapat dengan cepat beradaptasi dan berkontribusi dalam lingkungan kerja yang sesuai (Edmon dan Oluyi, 2014; Klotz, Billett, dan Winther, 2014). Pendidikan vokasi merupakan wadah untuk menempa kedewasaan dan keterampilan seseorang sehingga tidak bisa hanya dipikul oleh suatu kelompok melainkan menjadi tanggung jawab bersama. Pendidikan vokasi juga diarahkan untuk meningkatkan kemandirian individu dalam berwirausaha sesuai dengan kompetensinya (Kennedy, 2011).

Studi dokumentasi terhadap kurikulum Jurusan Refrigerasi dan Tata Udara pada satu politeknik di Indonesia, diketahui bahwa dasar tata udara merupakan mata kuliah yang wajib ditempuh dan dikuasai oleh mahasiswa. Supaya kompetensi pada kuliah ini dapat dikuasai, pemahaman tentang proses psikrometrik sangat penting guna sepenuhnya memahami berbagai proses yang terlibat dalam pengkondisian udara. Psikrometrik adalah ilmu yang mempelajari dan mengukur hubungan antara udara dan uap air di dalamnya. Psikrometrik sangat penting dalam pengkondisian udara karena berhubungan langsung dengan pengaturan suhu dan kelembaban udara di dalam ruangan (Madu, 2018). Parameter psikrometrik biasanya diamati oleh perubahan suhu bola kering (*dry bulb*), suhu bola basah (*wet bulb*), suhu titik embun (*dew point*), kelembaban relative (*relative humidity*), rasio kelembaban (*grain of moisture*), entalpi spesifik, dan sebagainya (Erdélyi dan Rajkó, 2016). Proses psikrometrik menjelaskan banyak fenomena sehari-hari yang diterapkan diberbagai aplikasi rumah tangga dan industri. Proses psikrometrik yang umum digunakan meliputi proses *sensibel cooling* dan *heating, cooling* dan *dehumidification, cooling* dan *humidification, heating* dan *humidification, chemical dehumidification* dan *mixing* aliran udara (Mago dan Long, 2016). Penguatan teori-teori dasar pada mata kuliah dasar tata udara harus disesuaikan dengan kondisi nyata agar mahasiswa dapat menyadari bahwa materi yang mereka pelajari relevan dengan pekerjaan yang akan dilakukan setelah mereka lulus. Di pendidikan vokasi, materi kuliah tersebut dilaksanakan secara teori dan praktik. Komposisi pembelajaran praktik lebih dominan untuk memfasilitasi mahasiswa memperoleh pengalaman langsung (Berman et al., 2020). Pengalaman pertama bagi mahasiswa dalam belajar, berpikir, dan memecahkan masalah (*problem solving*) dapat diperoleh melalui kegiatan praktikum di laboratorium (Ma dan Nickerson, 2006). Kegiatan praktikum di laboratorium merupakan kegiatan yang sangat krusial dalam pendidikan kejuruan (Scott et al., 2015). Praktikum psikrometrik bertujuan untuk mengajarkan mahasiswa tentang pemahaman dasar dan penggunaan alat-alat psikrometrik dalam konteks sistem AC. Selama praktikum psikrometrik, mahasiswa belajar menggunakan alat-alat seperti termometer, higrometer, dan anemometer untuk mengukur suhu, kelembaban, dan aliran udara. Mereka juga menggunakan psikrometrik *chart*, yang digunakan untuk menganalisis kondisi termal udara.

Praktikum merupakan kegiatan untuk memperkenalkan pengetahuan konseptual, prosedural, dan keterampilan. Pengalaman di laboratorium adalah kunci untuk mencapai tujuan pembelajaran karena mahasiswa dapat terlibat dan belajar dari setiap kegiatan

praktis dan memperoleh keterampilan yang dibutuhkan untuk komunitas ilmiah serta kemungkinan tugas kerja di industri (Rosina et al., 2021; Van De Heyde dan Siebrits, 2019). Selain itu, praktikum bermanfaat dalam memperkuat, mengkonstruksi, dan merekonstruksi pengetahuan ilmiah (Chacon et al., 2017; Leite dan Dourado, 2013). Praktikum juga dapat membekali mahasiswa dengan keterampilan praktis (Lampon, Costa-Castello, dan Dormido, 2016) dan dapat digunakan sebagai media untuk mengatasi prasangka mahasiswa (Srisawasdi dan Kroothkeaw, 2014). Kegiatan praktikum di laboratorium dapat terlaksana apabila didukung oleh fasilitas yang lengkap, sumber daya manusia yang kompeten, dan komponen pendukung yang sesuai (Berman et al., 2021).

Di negara-negara maju proses belajar mengajar biasanya didukung oleh perangkat pembelajaran yang modern untuk melakukan proses pembelajaran teori dan praktik pada kondisi ideal. Namun, di beberapa negara berkembang seperti Indonesia ketersediaan peralatan yang memadai, ruang yang sesuai, waktu yang cukup, dan ketersediaan sumber belajar selalu menjadi hambatan dalam proses pembelajaran (Tazkia dan Suherman, 2016). Mahasiswa lebih banyak menghafal konsep tanpa pemahaman mendalam tentang masalah yang dihadapinya dan mereka sering mengalami kesulitan dalam memperoleh pengalaman kontekstual dalam proses pembelajarannya (Kukliansky dan Eshach, 2014). Padahal penguatan kompetensi mahasiswa dengan cara memberikan pengalaman langsung (praktik) dapat membantu untuk mengajarkan konsep yang sulit dan menguatkan mahasiswa untuk mampu melakukan pekerjaan secara komprehensif yang ditindaklanjuti dengan diskusi secara mendalam tentang teori yang relevan (Clough, 2002; Gunasekaran dan Potluri, 2012). Pembelajaran praktik dapat memberikan pengalaman bagi mahasiswa dalam belajar, berpikir, dan menyelesaikan masalah (Coller, 2008). Kegiatan praktik di laboratorium meningkatkan kompetensi dan minat mahasiswa pada subjek materi yang dibahas di kelas dan selanjutnya membantu pembelajaran mereka (Tüysüz, 2010). Keterbatasan sumber belajar dan peralatan laboratorium selalu menjadi masalah utama yang menyebabkan mahasiswa tidak mendapatkan pengalaman praktis dalam belajar (Tawfik et al., 2013; Zafeiropoulos, Kalles, dan Sgourou, 2014). Proses pembelajaran menjadi tidak optimal karena ketersediaan peralatan laboratorium/bengkel yang minim (Somantri et al., 2012). Ditambah lagi rasio jumlah alat dan mahasiswa yang tidak sebanding sehingga mereka melaksanakan praktik secara berkelompok (Taylor, Eastwood, dan Jones, 2014). Selain itu, peralatan fisik untuk praktikum yang dibeli dari produk komersial harganya sangat mahal dan sulit untuk pengadaannya (Abdullah et al., 2018). Harga produk komersial untuk media praktikum

tata udara yang ada di pasaran pada kisaran harga di atas USD 25,000 (Lampiran 1). Sedangkan perolehan pengetahuan di laboratorium akan terjadi ketika mahasiswa dapat mengembangkan ide tentang apa yang akan mereka pelajari dan amati, serta apa yang diharapkan dari mereka selama praktikum di laboratorium (Gunasekaran dan Potluri, 2012; Lal et al., 2017). Ketersediaan peralatan laboratorium yang memadai untuk pembelajaran praktik di pendidikan vokasi dapat membantu mahasiswa mencapai kompetensi yang ditargetkan.

Studi pendahuluan tentang pelaksanaan praktikum tata udara (materi psikrometrik) di pendidikan vokasi dilakukan pada salah satu politeknik negeri di Kota Bandung. Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara kepada dosen dan mahasiswa, kemudian dilanjutkan observasi lingkungan belajar praktikum tata udara. Berdasarkan hasil wawancara diperoleh informasi bahwa tahapan praktikum yang dilakukan mahasiswa meliputi: 1) persiapan: mahasiswa diberikan penjelasan mengenai tujuan praktikum, alat-alat yang digunakan, serta instruksi keselamatan yang perlu diikuti. 2) pengenalan alat dan bahan: mahasiswa diperkenalkan dengan alat-alat yang digunakan dalam praktikum psikrometrik, seperti termometer, hygrometer, sling psychrometer, dan chart psikrometrik. Mereka juga belajar mengenai bahan yang digunakan, seperti udara, air, dan uap air. 3) pengukuran parameter: mahasiswa melakukan pengukuran parameter psikrometrik menggunakan alat-alat yang telah disediakan. Mereka mengukur suhu udara kering dan udara basah (*dry bulb* dan *wet bulb*), kelembaban relatif, dan aliran udara. 4) pengolahan data: Setelah melakukan pengukuran, mahasiswa belajar mengolah data yang diperoleh. Mereka mempelajari cara menginterpretasikan data psikrometrik dan memahami hubungan antara suhu, kelembaban, dan aliran udara. 5) analisis dan interpretasi: mahasiswa menganalisis data yang telah diolah dan menginterpretasikannya. Mereka mempelajari bagaimana menggambar dan membaca psikrometrik *chart* untuk memahami kondisi termal udara. 6) pelaporan: setelah praktikum selesai, mahasiswa diminta untuk membuat laporan praktikum. Laporan tersebut mencakup langkah-langkah yang dilakukan, hasil pengukuran, analisis data, dan kesimpulan praktikum. Selama praktikum psikrometrik, mahasiswa diajarkan tentang prinsip-prinsip psikrometrik dan bagaimana menerapkannya dalam situasi dunia nyata. Pengalaman dalam menerapkan pengetahuan dapat memudahkan mahasiswa dalam memecahkan masalah di dunia kerja di kemudian hari (Posadas dan Villar, 2016). Praktikum ini bertujuan untuk memberikan pengalaman praktis kepada mahasiswa dalam mengukur dan memahami sifat-sifat udara

yang berhubungan dengan pengendalian suhu dan kelembaban di dalam bangunan atau sistem pendingin dan pemanas.

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan diketahui bahwa pelaksanaan praktikum tata udara menggunakan sebuah sistem AC sentral yang terdiri dari unit AHU (*air handling unit*) dan saluran distribusi udara (*ducting*). Mahasiswa dibagi ke dalam beberapa kelompok untuk melakukan pengukuran parameter di beberapa tempat yang berbeda-beda secara bergantian. Titik pengambilan data meliputi ruangan AHU, saluran udara *fresh air*, *return air*, dan *mixing air*. Parameter data yang diukur adalah temperature udara kering (*dry bulb temperature*), temperature basah (*wet bulb temperature*) dan debit aliran udara. Data hasil pengukuran yang terkumpul kemudian di plot titik datanya pada psikrometrik *chart* untuk memvisualisasikan kondisi udara yang diukur dan menginterpretasikan informasi yang diberikan oleh *chart* tersebut. Selama praktikum, mahasiswa juga berinteraksi dengan dosen atau laboran yang memberikan arahan, menjawab pertanyaan, dan memberikan bimbingan saat diperlukan. Mereka juga berkolaborasi dengan sesama mahasiswa dalam mengerjakan tugas-tugas praktikum dan saling membantu dalam memahami dan menyelesaikan tugas tersebut. Namun pada kegiatan praktikum ini masih terdapat kekurangan yaitu terbatasnya jumlah peralatan praktikum dengan jumlah mahasiswa yang melaksanakan praktikum di laboratorium tata udara. Rasio antara jumlah alat praktikum dan mahasiswa yang tidak sebanding merupakan masalah utama yang menyebabkan mahasiswa tidak mendapatkan pengalaman praktis dalam belajar (Tawfik et al., 2013; Zafeiropoulos et al., 2014). Proses pembelajaran menjadi tidak optimal karena ketersediaan peralatan laboratorium yang minim (Somantri et al., 2012). Selain itu masalah waktu praktikum pun menjadi bertambah karena alat praktek yang dipakai secara bergantian. Walaupun kendala tersebut tidak sampai menghambat kegiatan praktikum karena mahasiswa masih dapat melaksanakannya secara berkelompok (Taylor et al., 2014). Tetap saja masalah keterbatasan alat praktikum di pendidikan vokasi harus dicari solusinya.

Para peneliti sebelumnya telah melakukan berbagai cara untuk memfasilitasi pembelajaran tata udara pada pokok bahasan psikrometrik. Penguatan materi proses psikrometrik telah dilakukan dengan cara simulasi komputasi menggunakan aplikasi *Microsoft Excell* dan *MATLAB* (Gupta dan Patel, 2017; Mago dan Long, 2016). Ada pula yang menggunakan situs web interaktif *open-source* dan *platform-independen* menggunakan standar HTML dan teknologi *JavaScript* dengan cara menyediakan buku kerja psikrometrik di dalamnya (Erdélyi dan Rajkó, 2016). Semua cara yang telah

dilakukan tersebut terbukti mampu menjelaskan tentang konsep psikrometrik dan dapat mensimulasikannya. Namun, masih ada masalah yang harus dihadapi yaitu diperlukan instrumen tambahan untuk mendapatkan data tentang sifat-sifat udara yang akan dianalisis. Umumnya sling psychrometer digunakan untuk mengukur temperatur udara sekitar sebagai basis data (Rondet, Baylac, dan Bataille, 2008). Cara melakukannya mahasiswa harus memutar sling psikrometer di udara selama sekitar satu menit dan kemudian data dari kedua termometer dicatat. Proses ini diulang beberapa kali untuk memastikan bahwa suhu bola basah (*wet bulb*) dicatat secara akurat (Madu, 2018). Selain itu, kegiatan praktikum secara simulasi tidak dapat menggantikan pengalaman sesungguhnya yang dialami mahasiswa ketika melaksanakan praktikum menggunakan peralatan fisik (Feisel dan Rosa, 2005; Potkonjak et al., 2016). Penggunaan peralatan laboratorium fisik melibatkan proses nyata untuk menyelidiki dan menemukan kejadian tak terduga selama praktik. Perbedaan antara teori dan praktek merupakan bagian penting bagi mahasiswa untuk memahami perannya dalam melaksanakan praktikum. Pengalaman seperti itu tidak dapat ditemukan di laboratorium yang menggunakan simulasi computer (Rivera, 2016).

Berbagai upaya yang telah dilakukan oleh para peneliti untuk mengatasi keterbatasan peralatan praktikum di bidang sains dan teknik yaitu dengan membuat alat praktikum berbiaya murah (*low-cost laboratory kit*). *Low-cost laboratory kit* (LCL-Kit) adalah sebuah perangkat laboratorium yang dirancang dengan biaya terjangkau untuk digunakan dalam pendidikan vokasional. Kit ini dirancang khusus untuk memberikan pengalaman praktis kepada mahasiswa dalam lingkungan belajar yang terbatas atau dengan anggaran terbatas. LCL-Kit ini biasanya mencakup peralatan dan bahan-bahan yang diperlukan untuk melakukan praktikum dalam berbagai bidang vokasional. LCL-Kit yang banyak dikembangkan berupa *training kit*, *portable kit*, *virtual laboratory*, *remote laboratory*, simulator, dan *mobile apps* (Fernandez-Pacheco et al., 2019; Sobota et al., 2019; Steinhäuser et al., 2017). Meskipun harganya terjangkau, kit ini tetap dirancang dengan kualitas yang memadai untuk memberikan hasil yang dapat diandalkan. Dengan menggunakan LCL-Kit, mahasiswa vokasi dapat mengembangkan keterampilan praktis dan pemahaman yang mendalam tentang konsep-konsep ilmiah. Mereka dapat belajar tentang prinsip-prinsip dasar, mengamati fenomena alam, melakukan pengukuran, dan menganalisis data hasil pengujian. Hal ini membantu mahasiswa untuk mengaitkan teori dengan praktek yang nyata dan meningkatkan pemahaman mereka tentang subjek yang dipelajari. Keunggulan dari LCL-Kit adalah harga yang terjangkau,

sehingga memungkinkan lembaga pendidikan dengan anggaran terbatas untuk memperluas akses ke pembelajaran praktis yang berkualitas (Abdullah et al., 2018). Kit ini juga dapat diadaptasi sesuai dengan kebutuhan kurikulum dan lingkungan belajar, serta memungkinkan siswa untuk berkreasi dan eksplorasi dalam mencari solusi. Dengan adanya LCL-Kit, pendidikan vokasional dapat menjadi lebih interaktif, menarik, dan relevan dengan dunia nyata. Mahasiswa dapat memperoleh keterampilan praktis yang mereka butuhkan untuk mempersiapkan diri dalam karir vokasional atau melanjutkan studi ke jenjang pendidikan yang lebih tinggi.

Abdullah et al., (2018) membuat alat praktikum proses kontrol berbiaya murah (*low-cost*) dibandingkan dengan produk komersil. Pengembangan difokuskan pada kemudahan dalam pembuatan dan perakitan serta dengan disain yang berdimensi kecil sehingga mudah dibawa dan dipakai diberbagai tempat. Komponen yang digunakan pada alat praktikum ini menyesuaikan dengan kondisi di industri, sehingga mahasiswa memiliki pengalaman nyata relevan dengan dunia kerja. Lee (2020) melakukan pengembangan sebuah model berbasis mikrokontroler yang ekonomis untuk mendukung proses pengajaran dan pembelajaran. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menciptakan alat pendidikan yang terjangkau yang dapat digunakan dalam pengajaran konsep-konsep teknik dan elektronika. Model ini dirancang untuk memberikan pengalaman praktis kepada peserta didik dalam memprogram dan mengendalikan perangkat berbasis mikrokontroler. Selanjutnya, Krismadinata, Anwar, dan Akbar (2021) melakukan inovasi dalam pembuatan kit pelatihan yang dirancang khusus untuk mengajarkan dan melatih keterampilan dalam mengoperasikan sistem kendali elektronik. Kit pelatihan ini dikembangkan untuk mendukung pendidikan dan pelatihan dalam bidang kendali elektronik, yang merupakan komponen penting dalam berbagai aplikasi industri dan teknologi. Training kit ini dirancang untuk memberikan pengalaman praktis yang komprehensif dalam mengoperasikan dan memahami sistem kendali elektronik. Kemudian, Tran, Radcliffe, dan Wang (2022) melakukan pengembangan laboratorium control engineering yang dirancang khusus untuk digunakan di rumah oleh mahasiswa dengan anggaran terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi tantangan biaya dan aksesibilitas dalam pendidikan teknik dengan menyediakan alternatif laboratorium yang terjangkau dan efektif. Kit laboratorium ini mencakup komponen seperti mikrokontroler, sensor, aktuator, dan perangkat lunak simulasi, yang memungkinkan mahasiswa untuk melakukan eksperimen kontrol dasar. Selain itu, panduan praktis dan materi edukatif disediakan untuk membantu mahasiswa memahami konsep-konsep kontrol secara

mendalam. Selain daripada itu, hasil penelitian terdahulu belum ditemukan riset tentang peralatan praktikum berbiaya rendah (*low-cost*) di bidang teknik tata udara.

Produk komersial untuk praktikum tata udara yang ada di pasaran dijual pada kisaran harga di atas USD 25.000 (kurs 1 USD setara dengan Rp. 14.500,00). Produk komersial memberikan fitur canggih, akurasi tinggi, dan ketahanan yang ideal untuk aplikasi profesional dan industri. Namun, produk *low-cost* menawarkan solusi yang lebih terjangkau dengan fitur dasar, penyesuaian produk berdasarkan kebutuhan pengguna, dan penyediaan panduan penggunaan (tutorial) produk. Tabel 1.1 menampilkan secara lebih rinci perbedaan antara produk komersil dan produk yang dibuat sendiri (*low-cost*). Oleh karena itu pada penelitian ini akan difokuskan pada rancang bangun *Low-Cost Laboratory Psychrometric Kit (LCL-Kit)* untuk media praktikum teknik tata udara di pendidikan vokasi.

Tabel 1.1 Perbandingan spesifikasi produk komersil dan produk *low-cost*

Kriteria	Produk Komersial	Produk <i>low-cost</i>
Portabilitas	Produk komersial sering kali lebih besar dan berat, sehingga kurang cocok untuk penggunaan di lapangan atau di lokasi yang memerlukan portabilitas	Produk ini ringan dan mudah dibawa ke berbagai lokasi, membuatnya ideal untuk penggunaan di lapangan atau di laboratorium yang berpindah-pindah.
Konstruksi	Menggunakan material konstruksi berkualitas tinggi yang lebih tahan lama dan tahan terhadap lingkungan yang beragam	Material konstruksi lebih sederhana dan ringan, seperti plastik atau bahan logam ringan
Sensor dan Transduser	Menggunakan sensor yang lebih canggih dan transduser dengan toleransi yang lebih tinggi	Menggunakan sensor yang lebih murah dan transduser yang memiliki toleransi yang lebih rendah
Antarmuka Pengguna	Memiliki fitur yang lebih lengkap dan canggih, dilengkapi dengan antarmuka pengguna yang lebih intuitif, dan integrasi dengan perangkat lunak atau sistem lainnya	Memiliki antarmuka yang sederhana dan terbatas, hanya menampilkan parameter dasar seperti suhu, tekanan, dan kelembaban relatif
Biaya	Memiliki harga yang lebih tinggi dibandingkan dengan produk <i>low-cost</i> , yang mungkin tidak terjangkau bagi institusi atau individu dengan anggaran terbatas	Memiliki harga yang lebih terjangkau dan proses produksi yang lebih murah, membuatnya lebih mudah diakses oleh lembaga pendidikan atau laboratorium dengan anggaran terbatas

Pada pendidikan vokasi, terutama dalam pembelajaran psikometrik, media praktikum berupa simulator/trainer dapat menjadi alat yang efektif untuk memberikan pengalaman praktis kepada mahasiswa untuk memahami konsep psikometrik. Trainer biasanya dilengkapi dengan berbagai alat pengukur, seperti termometer, hygrometer, dan anemometer (alat pengukur kecepatan aliran udara). Penggunaan media praktikum simulator/trainer dapat memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk melibatkan diri dalam pengalaman praktis yang mirip dengan situasi nyata, tanpa memerlukan investasi dalam peralatan fisik yang mahal (Mukarramah, Abdullah, dan Sumarto, 2020). Media praktikum berbiaya rendah dapat digunakan sebagai alat untuk mengasah keterampilan *problem solving*. Melalui media ini, peserta didik dapat mengeksplorasi materi pembelajaran, bereksperimen, dan meningkatkan pemahaman mereka dengan pengalaman langsung (Thepnurat et al., 2017). Peserta didik mampu menemukan hubungan antara teori dengan praktik (Uyanik dan Catalbas, 2018). Misalnya, media praktikum berbiaya rendah dapat menyediakan alat atau model yang memungkinkan mahasiswa secara konkret dan langsung berinteraksi dengan masalah yang mereka hadapi. Pada konteks ini, mahasiswa dapat mengamati, mengukur, atau memanipulasi variabel yang relevan dengan masalah yang ingin mereka selesaikan. Hal ini dapat merangsang pemikiran kritis dan kemampuan mahasiswa untuk berpikir di luar kebiasaan (*out of the box*) dalam menyelesaikan masalah. Mereka dapat menguji berbagai solusi potensial secara bertahap, melakukan pengamatan dan pengukuran, mengumpulkan data, dan menganalisis hasil untuk memperbaiki solusi mereka (Thepnurat et al., 2017; Slamnik-Krijestorac et al., 2019). Dengan menggunakan media praktikum berbiaya rendah, mahasiswa dapat belajar secara praktis dan aktif, mengembangkan keterampilan *problem solving*, serta memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang konsep yang dipelajari.

Cara mengetahui arah penelitian yang sedang berkembang dari berbagai bidang ilmu dapat ditemukan dengan membuat visualisasi jaringan bibliometrik atau pemetaan riset. Riset bibliometrik merupakan teknik yang digunakan untuk membentuk struktur jaringan yang merinci aspek-aspek penting, seperti topik utama dalam suatu bidang ilmu, relasi antar topik, dan evolusi perkembangan suatu topik sepanjang waktu (Waltman, Van Eck, dan Noyons, 2010). Analisis bibliometrik berperan dalam mengidentifikasi kata kunci yang menjadi tren dalam penelitian (Rina et al., 2022). Hasil analisis kata kunci membantu peneliti menemukan area penelitian yang belum tergali secara mendalam, memberikan peluang inovasi yang lebih besar, dan mengungkapkan batasan serta wilayah

VOSviewer menggunakan skema warna dasar merah-hijau-biru (RGB) dalam setiap hasil visualisasinya. Dengan merujuk pada visualisasi density (*Density Visualization*) yang terlihat dalam Gambar 1.3, dapat disimpulkan bahwa area-area yang padat terlihat melalui kumpulan node yang berdekatan satu sama lain. Selain itu, tingkat kejenuhan, yang tercermin dalam frekuensi kata kunci tertentu, dapat diidentifikasi melalui warna kuning di sekitar kategori seperti *process*, *analysis*, *kit*, *education*, *student*, dan *sample*. Dengan kata lain, area ini mencakup topik-topik yang telah banyak menjadi fokus penelitian. Di sisi lain, topik-topik yang ditandai dengan warna hijau, seperti *psychrometric process*, *portable laboratory kit*, *laboratory course*, *low cost equoiment*, dan *learning*, menunjukkan bahwa topik-topik ini masih kurang tergalikan dalam penelitian. Merujuk pada jaringan bibliometrik pada *Vosviewer* belum terdapat hubungan secara langsung antara kata kunci *psychrometric process* dan *portable laboratory kit*. Dengan demikian, terdapat kesenjangan riset dalam konteks penelitian LCLP-Kit, memberikan peluang besar untuk penelitian lebih lanjut pada topik ini.

Berdasarkan pemaparan tersebut pada penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan media praktikum berbiaya rendah untuk pembelajaran praktikum teknik tata udara di pendidikan vokasi. Perbedaan antara kit yang kami produksi dan produk komersil adalah desainnya yang portabel dan komponen penyusunnya tersedia banyak di pasaran. Sehingga kit ini bisa dibuat sendiri karena harganya terjangkau. Selain itu, kit ini relatif kecil dengan dimensi p x l x t adalah 150 x 60 x 70 cm, dan mudah dijangkau karena mudah dipindahkan serta dapat digunakan di berbagai tempat dan ruang kelas. Dengan demikian, pembuatan kit ini cocok untuk negara berkembang dengan banyak ruang uji coba dan pendanaan yang terbatas.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut; “Bagaimanakah desain dan implementasi LCLP-Kit dapat memfasilitasi mahasiswa dalam pembelajaran praktikum teknik tata udara di pendidikan vokasi?”

Secara spesifik pertanyaan penelitian yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik desain produk *laboratory psychrometric kit* yang dikembangkan termasuk kategori *low-cost* dibandingkan dengan produk komersial?

2. Bagaimana hasil uji kinerja produk LCLP-Kit pada kegiatan pembelajaran praktikum tata udara di pendidikan vokasi?
3. Bagaimana hasil penggunaan produk LCLP-Kit dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa melalui kegiatan praktikum tata udara?
4. Bagaimana tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan produk LCLP-Kit dalam kegiatan praktikum tata udara?

1.3. Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan media praktikum berbiaya rendah untuk pembelajaran praktikum teknik tata udara di pendidikan vokasi. Adapun secara khusus tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan produk LCLP-Kit untuk pembelajaran praktikum tata udara di pendidikan vokasi.
2. Mengetahui kelayakan produk LCLP-Kit untuk pembelajaran praktikum tata udara di pendidikan vokasi.
3. Memperoleh data peningkatan hasil belajar mahasiswa melalui kegiatan praktikum tata udara menggunakan produk LCLP-Kit.
4. Mendapatkan gambaran tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan produk LCLP-Kit dalam kegiatan praktikum tata udara.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini menghasilkan suatu media pembelajaran praktik pada mata kuliah tata udara di pendidikan vokasi. Oleh karena itu, penelitian ini akan memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis.

1. Manfaat teoritis

Secara teoritis hasil penelitian ini akan memperkaya khasanah keilmuan tentang desain dan implementasi media pembelajaran praktikum tata udara di pendidikan vokasi.

2. Manfaat praktis

- a. Bagi mahasiswa diharapkan menjadi media belajar yang mudah digunakan dan dipahami untuk penguatan konsep teori dan keterampilan praktik.
- b. Bagi Dosen diharapkan menjadi media mengajar yang mudah digunakan dan diajarkan dengan penguasaan konsep dan keterampilan pemecahan masalah yang baik.
- c. Bagi institusi pendidikan vokasi diharapkan menjadi tambahan pengembangan media pembelajaran yang murah dan handal, sehingga bisa diproduksi secara masal.

1.5. Struktur Organisasi Penulisan

Struktur organisasi penulisan berperan sebagai pedoman bagi penulis untuk membuat tulisan lebih sistematis dan terarah menuju tujuan yang hendak dicapai. Struktur organisasi penulisan disertasi ini mula-mula bab I pendahuluan meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan struktur organisasi penulisan. Kemudian, bab II berupa kajian pustaka yang berkaitan dengan *low-cost laboratory psychrometric kit* untuk pembelajaran praktikum teknik tata udara di pendidikan vokasi, penelitian terdahulu yang relevan, dan kerangka pikir penelitian. Selanjutnya, bab III metode penelitian membahas tentang desain penelitian, waktu, lokasi penelitian, dan partisipan penelitian, instrumen penelitian, dan analisis data penelitian. Lalu, bab IV menyajikan temuan dan pembahasan penelitian yang berkaitan dengan *low-cost laboratory psychrometric kit* untuk pembelajaran praktikum teknik tata udara di pendidikan vokasi. Berikutnya, bab V menyajikan simpulan, implikasi, dan rekomendasi penelitian yang berkaitan dengan *low-cost laboratory psychrometric kit* untuk pembelajaran praktikum teknik tata udara di pendidikan vokasi. Akhirnya, daftar pustaka yang berisi daftar referensi yang digunakan dalam menulis disertasi serta dilengkapi dengan lampiran penelitian.