

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dunia industri manufaktur saat ini mengalami transformasi ganda. Di satu sisi, filosofi *Lean Manufacturing* (LM) yang berfokus pada efisiensi, eliminasi pemborosan (*waste*), dan optimalisasi alur kerja tetap menjadi standar emas operasional (Benah and Li 2020)

Di sisi lain, Revolusi Industri 4.0 (I4.0) membawa gelombang digitalisasi melalui, simulasi (*Digital Twin*), dan Computer-Aided *Manufacturing* (CAM) (Miller, 2024) Industri manufaktur pemrosesan modern tidak lagi memilih salah satu, melainkan mengintegrasikan keduanya menjadi konsep "*Lean 4.0*". Dalam konteks ini, teknologi I4.0 digunakan untuk mempercepat dan mengoptimalkan praktik *Lean* (seperti mengurangi *waste setup time* pada mesin CNC).

Perkembangan industri manufaktur modern yang mengadopsi prinsip *Lean 4.0* menuntut tenaga kerja yang tidak hanya memiliki keterampilan teknis dasar, tetapi juga kemampuan adaptasi terhadap integrasi teknologi digital, otomasi, dan efisiensi proses secara menyeluruh. *Lean 4.0* menekankan pengoptimalan seluruh rantai nilai melalui pemanfaatan teknologi cerdas, sensor, data real-time, dan sistem otomatis yang saling Terjemahannya ke dalam bahasa Indonesia:

Learning factory merupakan suatu sistem yang terbentuk dari perpaduan antara konsep pembelajaran (*learning*) dan pabrik (*factory*), sehingga proses pembelajaran berlangsung dalam lingkungan produksi yang nyata. Kemampuan peserta didik untuk mengembangkan kompetensi produksi menjadi salah satu persyaratan penting dalam pembelajaran yang berbasis industri terhubung. (Wahjusaputri, 2022)

Manual book merupakan bahan ajar yang disusun secara sistematis untuk memberikan pedoman kepada guru dan peserta didik dalam melaksanakan proses pembelajaran secara terarah, terstruktur, dan mandiri. *Manual book* memuat informasi mengenai tujuan pembelajaran, materi, prosedur kerja, petunjuk penggunaan alat atau media, serta evaluasi yang dirancang sesuai dengan

kompetensi yang ingin dicapai. Dalam pendidikan vokasional, *manual book* tidak hanya berfungsi sebagai sumber belajar, tetapi juga sebagai panduan operasional yang membantu peserta didik memahami konsep sekaligus menerapkan keterampilan praktik sesuai dengan standar industri.

Manual book merupakan bentuk dukungan yang dikembangkan sebagai bagian dari implementasi model *Teaching Factory (TEFA-T)* pada pendidikan vokasional. Keberhasilan penerapan model TEFA-T sangat dipengaruhi oleh keterlibatan aktif peserta didik dalam proses pembelajaran. Oleh karena itu, penggunaan *manual book* inovatif sebagai media pembelajaran menjadi aspek yang penting untuk mendorong partisipasi peserta didik, meningkatkan pemahaman materi, serta mendukung tercapainya tujuan pembelajaran sesuai dengan kebutuhan dunia industri. (Maksum, 2025)

Penerapan *manual book* pada pembelajaran di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) memiliki peran yang sangat penting karena karakteristik pembelajaran vokasional menekankan keseimbangan antara penguasaan teori dan praktik. Keberadaan *manual book* mampu meningkatkan efektivitas pembelajaran melalui penyajian langkah kerja yang jelas, mengurangi kesalahan dalam pelaksanaan praktik, serta mendorong peserta didik belajar secara mandiri dan konsisten.

Salah satu alternatif solusi dalam penyelenggaraan pembelajaran vokasional karena menerapkan tahapan pembelajaran yang terstruktur, dimulai dari perencanaan atau penetapan tujuan pembelajaran beserta kriteria kinerja yang ingin dicapai, dilanjutkan dengan pelaksanaan proses pembelajaran, hingga tahap penilaian yang melibatkan praktisi dari dunia industri merupakan tujuan utama dari *manual book* berbasis *teaching factory* (Rosidah, 2023)

Dalam konteks tersebut, pendidikan vokasional (SMK) memiliki peran strategis sebagai penghasil tenaga kerja terampil yang siap beradaptasi dengan tuntutan industri terkini. Jurusan Teknik Pemesinan di SMK merupakan salah satu program keahlian yang langsung berhubungan dengan dunia manufaktur. Idealnya, pembelajaran di jurusan ini tidak hanya menyiapkan siswa sebagai operator mesin, tetapi juga sebagai *problem solver* yang memahami efisiensi proses, perencanaan produksi, dan pengendalian kualitas berbasis teknologi digital.

Namun, kenyataan di lapangan menunjukkan adanya kesenjangan kompetensi yang cukup signifikan antara lulusan SMK Teknik Pemesinan dengan kebutuhan industri tersebut. Banyak lulusan yang masih menguasai keterampilan teknis mesin secara konvensional atau CNC, tetapi kurang memiliki pemahaman tentang bagaimana mengintegrasikan prinsip *Lean* dengan teknologi modern secara simultan.

Hal ini menyebabkan lulusan sering kesulitan dalam menghadapi tantangan nyata di industri, seperti pengelolaan produksi yang efisien, penanganan data produksi secara digital, hingga kolaborasi dalam tim yang menerapkan sistem manufaktur cerdas.

Kesenjangan ini juga berdampak pada daya saing lulusan di pasar kerja, karena industri modern saat ini menuntut pekerja yang tidak hanya bisa mengoperasikan mesin, tetapi juga mampu berpikir sistemik, menganalisis proses, dan melakukan perbaikan berkelanjutan berbasis teknologi Kerja sama antara SMK dengan dunia usaha dan dunia industri (DUDI) masih relatif lemah akibat keterbatasan sarana prasarana serta lingkungan pembelajaran yang belum sepenuhnya sesuai dengan kondisi industri. (Saputro, 2021)

Pendidikan Vokasional (SMK) Jurusan Teknik Pemesinan (TP), sebagai pencetak operator dan programer mesin, idealnya harus mampu beradaptasi dengan realitas industri ini. Namun, hasil yang terjadi di SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta Jurusan Teknik Permesinan Jakarta menunjukkan bahwa pembelajaran di Jurusan Teknik Pemesinan masih bersifat parsial dan terfragmentasi. Materi tentang efisiensi dan budaya kerja seperti 5R/5S, umumnya diajarkan dalam mata pelajaran Budaya Kerja atau Manajemen Produksi.

Sementara itu, materi digitalisasi seperti CNC *programming* dan CAM *simulation* diajarkan dalam mata pelajaran Produktif Teknik Pemesinan. Kedua domain ini jarang dipadukan secara terintegrasi. Akibatnya, siswa memang mengetahui cara menjalankan mesin CNC dan membuat model digital di CAM, tetapi belum mampu memanfaatkan simulasi CAM untuk menerapkan prinsip *Lean*.

Pembelajaran seharusnya bersifat fleksibel dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan sekolah, guru, serta peserta didik. Hal ini terutama berlaku bagi pendidikan kejuruan atau SMK yang idealnya menyesuaikan diri dengan tuntutan dunia industri maupun dunia wirausaha. Salah satu kelemahan sistem pendidikan saat ini adalah kurangnya perhatian terhadap kebutuhan nyata dunia kerja serta potensi dalam menciptakan peluang usaha baru. (Jaya & Saputra, 2025)

Salah satu permasalahan utama yang kerap muncul adalah ketidaksesuaian antara kompetensi yang dimiliki lulusan SMK dengan tuntutan dunia industri. Padahal, secara ideal, pendidikan kejuruan dirancang untuk membekali peserta didik dengan keterampilan yang relevan dan siap digunakan dalam lingkungan kerja nyata. (Sari & Al Basyar, 2024)

Produk pembelajaran modul atau LKS juga cenderung fokus pada satu domain. Modul CNC/CAM terlalu teknis, sementara modul *Lean/5R* terlalu manajerial. Belum ada produk yang efektif untuk mencapai tujuan pembelajaran integrative. Penelitian ini memfokuskan kepada pengembangan terhadap hal yang masih menjadi kekurangan, yaitu sebuah perangkat pembelajaran *Manual Book* yang secara spesifik dirancang untuk mengintegrasikan *Lean Manufacturing* dan Industri 4.0.

SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta Jakarta merupakan salah satu SMK Pusat Keunggulan (PK) di DKI Jakarta yang memiliki reputasi kuat di bidang Teknik Pemesinan dan manufaktur. Sekolah ini telah ditunjuk sebagai sekolah rujukan nasional untuk pelaksanaan *Teaching Factory* (TEFA) dan kerja sama industri. SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta juga telah mulai mengadopsi pendekatan digitalisasi pembelajaran, misalnya melalui penggunaan *software* CAD/CAM, simulasi mesin CNC, dan sistem pembelajaran daring. Namun, integrasi prinsip *Lean Manufacturing*, seperti pengurangan *waste*, efisiensi alur kerja, dan pola pikir, masih belum diterapkan secara sistematis. Hal ini memberikan kesenjangan bagi peneliti untuk mengembangkan perangkat pembelajaran integratif yang menggabungkan dua paradigma tersebut.

Secara konseptual, *Teaching Factory* merupakan suatu kerangka pendidikan yang mengintegrasikan pengalaman manufaktur nyata dengan proses pembelajaran

melalui penerapan teknologi Industri 4.0. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan kompetensi peserta didik dengan menciptakan pengalaman belajar yang lebih nyata, interaktif, dan berorientasi pada praktik industri (Setiadi, 2025)

Melalui pengembangan perangkat pembelajaran berbasis integrasi *Lean Manufacturing* dan *Industry4.0*, diharapkan SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta mampu menjadi model penerapan pendidikan vokasional yang adaptif terhadap perubahan zaman. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kompetensi teknis siswa, tetapi juga membentuk mindset perbaikan berkelanjutan dan efisiensi berbasis data, yang akan menjadikan lulusan lebih siap menghadapi ekosistem industri masa depan.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Berdasarkan latar belakang masalah yang ada, berikut adalah identifikasi masalah yang ditetapkan:
2. Terdapat kesenjangan antara kompetensi lulusan SMK Teknik Pemesinan dan kompetensi yang dibutuhkan oleh industri manufaktur modern berbasis Lean 4.0.
3. Peserta didik lebih banyak menguasai keterampilan pengoperasian mesin CNC secara teknis, tetapi belum memahami penerapan efisiensi proses produksi secara menyeluruh.
4. Pembelajaran Lean Manufacturing dan teknologi Industri 4.0 pada Jurusan Teknik Pemesinan masih dilaksanakan secara terpisah dan belum terintegrasi.
5. Materi budaya kerja, seperti 5R/5S dan pengurangan pemborosan, belum dihubungkan secara langsung dengan praktik pengoperasian mesin CNC.
6. Pembelajaran CNC programming, CAM simulation, dan Digital Twin belum dimanfaatkan secara optimal untuk mengidentifikasi serta mengurangi pemborosan dalam proses produksi.
7. Peserta didik belum mampu menggunakan data proses produksi sebagai dasar untuk melakukan analisis dan perbaikan berkelanjutan.

8. Bahan ajar CNC/CAM yang tersedia masih berfokus pada aspek teknis, sedangkan bahan ajar Lean Manufacturing lebih banyak membahas aspek manajerial.
9. Belum tersedia manual book yang mengintegrasikan pengoperasian mesin CNC GSK 980TDb, Digital Twin, dan Lean Manufacturing dalam satu perangkat pembelajaran.
10. Penerapan Lean Manufacturing, seperti pengurangan waktu setup, pengurangan waktu tunggu, peningkatan kualitas, dan penataan area kerja, belum dilakukan secara sistematis dalam kegiatan Teaching Factory.
11. Belum diketahui tingkat kelayakan dan kemudahan penggunaan manual book Digital Twin pada mesin CNC GSK 980TDb yang terintegrasi dengan Lean Manufacturing bagi guru dan peserta didik.

1.3 Pembatasan Masalah

- 1) Agar penelitian lebih terarah dan sesuai dengan tujuan yang ditetapkan, pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
- 2) Penelitian difokuskan pada pengembangan perangkat pembelajaran berupa manual book yang mengintegrasikan Digital Twin dan Lean Manufacturing.
- 3) Manual book dikembangkan untuk pembelajaran Teknik Pemesinan di SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta.
- 4) Mesin yang digunakan sebagai objek pembelajaran dibatasi pada mesin CNC bubut dengan sistem kontrol GSK 980TDb.
- 5) Materi Digital Twin dibatasi pada simulasi pengoperasian mesin, monitoring proses produksi, dan penyajian data produksi secara digital.
- 6) Materi Lean Manufacturing dibatasi pada penerapan 5R/5S, identifikasi pemborosan, pengurangan waktu setup, standardisasi kerja, dan peningkatan efisiensi proses pemesinan

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan pembatasan masalah, tiga rumusan masalah yang paling sesuai adalah:

1. Bagaimana kebutuhan guru dan peserta didik terhadap manual book Digital Twin pada mesin CNC GSK 980TDb yang terintegrasi dengan Lean Manufacturing di SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta?
2. Bagaimana proses pengembangan manual book Digital Twin pada mesin CNC GSK 980TDb yang terintegrasi dengan Lean Manufacturing?
3. Bagaimana tingkat kelayakan manual book Digital Twin pada mesin CNC GSK 980TDb yang terintegrasi dengan Lean Manufacturing berdasarkan penilaian ahli dan pengguna?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan tiga rumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kebutuhan guru dan peserta didik terhadap manual book Digital Twin pada mesin CNC GSK 980TDb yang terintegrasi dengan Lean Manufacturing di SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta.
2. Mengembangkan manual book Digital Twin pada mesin CNC GSK 980TDb yang terintegrasi dengan Lean Manufacturing sebagai perangkat pembelajaran Teknik Pemesinan.
3. Mengetahui tingkat kelayakan manual book Digital Twin pada mesin CNC GSK 980TDb yang terintegrasi dengan Lean Manufacturing berdasarkan penilaian ahli dan pengguna

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian pengembangan ini diharapkan dapat memberikan solusi alternatif untuk peningkatan mutu pendidikan di SMK, dengan rincian manfaat

1. Memberikan sumbangan keilmuan dalam bidang pendidikan vokasional, khususnya terkait pengembangan *Manual Book* yang responsif terhadap tren *Lean 4.0* di bidang manufaktur pemesinan. Menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya yang ingin mengembangkan atau menguji efektivitas produk serupa.
2. Bagi Siswa Mendapatkan pengalaman belajar yang lebih relevan dan kontekstual integrasi CNC/CAM dengan efisiensi *Lean*, sehingga meningkatkan kesiapan kerja. Memperoleh alternatif *Manual Book* yang valid dan praktis, memudahkan guru dalam memfasilitasi pembelajaran integratif LM-I4.0 di bengkel.
3. Penelitian ini juga memberikan manfaat sebagai bahan evaluasi dan dasar pengambilan keputusan bagi pengelola program pendidikan vokasional dalam mengembangkan integrasi *Lean Manufacturing* dan *Industry4.0*, khususnya terkait perencanaan investasi teknologi, peningkatan kompetensi guru, serta penerapan konsep *Smart Manufacturing* pada unit produksi di SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta maupun lembaga pendidikan vokasional lainnya.