

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan Industri 4.0 mendorong transformasi sistem manufaktur menuju proses produksi yang terintegrasi, berbasis data, serta mampu menyajikan informasi kondisi mesin secara *real time*. Transformasi tersebut dikenal sebagai konsep *Smart Manufacturing*, yaitu pendekatan manufaktur yang mengintegrasikan teknologi digital, sistem fisik, dan data produksi untuk mendukung fleksibilitas serta transparansi proses produksi (Kamble, Gunasekaran, & Gawankar, 2018). Dalam pendekatan ini, pemanfaatan data menjadi dasar dalam mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat pada proses produksi modern.

Salah satu teknologi yang mendukung penerapan Smart Manufacturing adalah Digital Twin. *Digital Twin* merupakan representasi digital dari sistem fisik yang terhubung secara dinamis dengan data aktual proses operasional sehingga mampu merepresentasikan kondisi sistem secara *real time* (Grieves & Vickers, 2017). Teknologi ini memungkinkan visualisasi, pemantauan, dan analisis performa mesin dilakukan secara berkelanjutan dalam sistem produksi modern (Negri, Fumagalli, & Macchi, 2017).

Dalam sistem monitoring produksi berbasis Digital Twin, parameter seperti *cycle time* dan *downtime* digunakan sebagai indikator untuk menggambarkan kinerja serta tingkat ketersediaan mesin. Selain itu, kondisi performa operasional mesin dapat dievaluasi menggunakan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), yang menjadi salah satu indikator dalam sistem manufaktur modern (Nakajima, 1988). Nilai OEE dihitung berdasarkan tiga komponen utama, yaitu *Availability*, *Performance*, dan *Quality*, yang digunakan untuk menggambarkan kondisi operasional mesin secara menyeluruh (Muchiri & Pintelon, 2008).

Penyajian informasi *cycle time*, *downtime*, serta nilai OEE secara *real time* berperan dalam sistem monitoring produksi karena memungkinkan evaluasi kinerja mesin dilakukan secara objektif dan berbasis data. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT)

dan *Digital Twin* mampu meningkatkan transparansi data produksi serta mendukung pengambilan keputusan dalam sistem manufaktur modern (Tao et al., 2019; Qi & Tao, 2018). Oleh karena itu, integrasi teknologi digital dalam sistem produksi menjadi kebutuhan pada lingkungan manufaktur modern.

Namun demikian, pada lingkungan *Teaching Factory*, khususnya pada penggunaan mesin CNC Turning untuk proses produksi produk Bushing, penerapan sistem monitoring berbasis Smart Manufacturing belum sepenuhnya diterapkan. Pemantauan *cycle time* dan *downtime* masih dilakukan secara manual sehingga data produksi belum terintegrasi dan belum tersedia secara real time. Selain itu, indikator OEE belum dimanfaatkan secara sistematis sebagai dasar evaluasi kinerja mesin CNC Turning, sehingga proses monitoring belum mencerminkan sistem manufaktur modern yang berbasis data.

Berdasarkan hasil observasi awal yang dilakukan di *Teaching Factory* SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta pada bulan Desember 2025, diketahui bahwa proses monitoring operasional mesin CNC Turning masih dilakukan secara manual melalui pencatatan pada lembar kerja operator. Data produksi, seperti *cycle time* dan *downtime*, belum terintegrasi ke dalam sistem digital sehingga informasi kondisi mesin belum dapat dipantau secara real time. Selain itu, data operasional mesin juga belum disajikan dalam bentuk dashboard monitoring yang mampu memberikan informasi performa mesin secara cepat dan akurat.

Kondisi tersebut menyebabkan proses evaluasi data operasional mesin belum dapat dilakukan secara terintegrasi dan real time. Situasi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara kebutuhan industri manufaktur modern dengan praktik pembelajaran di *Teaching Factory*. Padahal, *Teaching Factory* memiliki peran sebagai sarana pembelajaran yang merepresentasikan kondisi industri sehingga mahasiswa diharapkan mampu memahami penerapan sistem produksi berbasis teknologi digital.

Oleh karena itu, diperlukan integrasi sistem monitoring berbasis *Digital Twin* untuk mendukung proses pembelajaran sekaligus meningkatkan kompetensi sesuai kebutuhan industri. Pengembangan sistem monitoring berbasis *Digital Twin* pada lingkungan *Teaching Factory* diharapkan dapat menjadi solusi dalam mendukung

monitoring produksi sekaligus memperkuat pembelajaran berbasis Industri 4.0. Sistem tersebut mampu menyajikan visualisasi kondisi mesin CNC Turning secara real time melalui dashboard monitoring yang menampilkan data *cycle time*, *downtime*, serta nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).

Dengan adanya sistem tersebut, evaluasi kinerja mesin dapat dilakukan secara lebih objektif, terstruktur, dan berbasis data digital. Selain mendukung transparansi data produksi, pengembangan *Digital Twin* juga diharapkan mampu meningkatkan pemahaman mahasiswa mengenai penerapan teknologi Industri 4.0 dalam bidang manufaktur. Mahasiswa tidak hanya mempelajari konsep Smart Manufacturing dan *Digital Twin* secara teoritis, tetapi juga dapat mengamati secara langsung implementasi teknologi tersebut dalam sistem monitoring produksi.

Kondisi tersebut diharapkan dapat meningkatkan kompetensi mahasiswa agar lebih siap menghadapi kebutuhan dunia industri modern. Penelitian ini dilakukan sebagai alternatif pengembangan sistem monitoring produksi yang lebih modern, terintegrasi, dan berbasis data digital pada lingkungan *Teaching Factory*. Selain itu, pengembangan *Prototype Digital Twin* diharapkan mampu mendukung peningkatan kualitas pembelajaran praktik manufaktur berbasis teknologi Industri 4.0 di lingkungan pendidikan vokasi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan *Prototype Digital Twin* mesin CNC Turning berbasis Smart Manufacturing pada lingkungan *Teaching Factory* sebagai sistem monitoring produksi produk Bushing. *Prototype* ini dirancang untuk menampilkan informasi *cycle time*, *downtime*, serta *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) yang terdiri atas *Availability*, *Performance*, dan *Quality* dalam bentuk dashboard monitoring. Pengembangan tersebut diharapkan mampu meningkatkan transparansi data produksi, mendukung evaluasi kinerja mesin secara objektif, serta memperkuat penerapan Smart Manufacturing melalui sistem monitoring produksi berbasis *Digital Twin* pada lingkungan *Teaching Factory*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Belum tersedia sistem monitoring produksi berbasis *Digital Twin* pada mesin CNC Turning untuk produksi produk *Bushing* di lingkungan *Teaching Factory* yang mampu menampilkan kondisi operasional mesin secara *real time* sebagai bagian dari penerapan konsep *Smart Manufacturing*.
2. Pemantauan parameter produksi mesin CNC Turning, khususnya *cycle time* dan *downtime*, masih dilakukan secara manual sehingga data produksi belum terintegrasi dan belum dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai dasar evaluasi kinerja mesin.
3. Data operasional mesin CNC Turning belum terintegrasi dalam satu sistem digital terpusat sehingga transparansi data produksi dan pemantauan kondisi mesin secara *real time* masih terbatas.
4. Parameter *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* yang terdiri dari *Availability*, *Performance*, dan *Quality* belum diterapkan secara sistematis sebagai alat monitoring kinerja mesin CNC Turning di lingkungan *Teaching Factory*.
5. Belum dikembangkan dan diuji *Prototype Digital Twin* mesin CNC Turning berbasis *Smart Manufacturing* yang berfungsi sebagai sistem monitoring produksi produk *Bushing* dengan *dashboard* terintegrasi yang menyajikan informasi *cycle time*, *downtime*, dan *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* secara *real time* serta belum diketahui tingkat kelayakan dan keefektifan penggunaannya pada lingkungan *Teaching Factory*.

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian pengembangan ini lebih terarah dan sesuai dengan tujuan penelitian, maka pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dibatasi pada perancangan dan pengembangan *Prototype Digital Twin* mesin CNC Turning pada lingkungan *Teaching Factory* sebagai sistem monitoring produksi produk *Bushing*, tanpa mencakup fungsi pengendalian maupun pengoperasian mesin CNC Turning secara langsung.

2. Penelitian ini difokuskan pada monitoring parameter produksi berupa *cycle time*, *downtime*, dan *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* yang terdiri dari *Availability*, *Performance*, dan *Quality*.
3. Penelitian ini dibatasi pada pengujian tingkat kelayakan *Prototype Digital Twin* yang dikembangkan, yang ditinjau dari aspek fungsionalitas sistem monitoring, keakuratan penyajian data produksi, serta kesesuaiannya dengan kebutuhan operasional *Teaching Factory*.
4. Keefektifan penggunaan *Prototype* dalam penelitian ini dibatasi pada kemampuannya dalam mendukung proses monitoring produksi berdasarkan hasil uji coba dan respons pengguna, bukan pada pengukuran peningkatan produktivitas atau efisiensi produksi secara eksperimental.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, dan pembatasan masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan dan pengembangan *Prototype Digital Twin* mesin CNC Turning berbasis *Smart Manufacturing* pada lingkungan *Teaching Factory* sebagai sistem monitoring produksi produk *Bushing* yang mampu menampilkan data *cycle time*, *downtime*, dan *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*?
2. Bagaimana tingkat kelayakan *Prototype Digital Twin* mesin CNC Turning yang dikembangkan ditinjau dari aspek fungsionalitas sistem monitoring, penyajian data produksi, kesesuaian proses manufaktur, dan media *dashboard*?
3. Bagaimana keefektifan penggunaan *Prototype Digital Twin* mesin CNC Turning berbasis *Smart Manufacturing* dalam mendukung proses monitoring produksi berdasarkan hasil uji coba dan respons pendidik serta peserta didik pada lingkungan *Teaching Factory*?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, tujuan penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan *Prototype Digital Twin* mesin CNC Turning berbasis *Smart Manufacturing* pada lingkungan *Teaching Factory* untuk monitoring produksi produk Bushing yang mampu menampilkan informasi kondisi mesin dan parameter produksi berupa *cycle time*, *downtime*, dan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) secara *real time* melalui *dashboard* monitoring.
2. Mengetahui tingkat kelayakan *Prototype Digital Twin* mesin CNC Turning berbasis *Smart Manufacturing* yang dikembangkan berdasarkan aspek fungsionalitas sistem monitoring, penyajian data produksi, kesesuaian proses manufaktur, dan media *dashboard*.
3. Mengetahui keefektifan penggunaan *Prototype Digital Twin* mesin CNC Turning berbasis *Smart Manufacturing* dalam mendukung proses monitoring produksi berdasarkan hasil uji coba dan respons pendidik serta peserta didik pada lingkungan *Teaching Factory*.

1.6 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian dan pengembangan ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi *Teaching Factory*, *Prototype Digital Twin* yang dikembangkan dapat digunakan sebagai sistem pendukung monitoring produksi pada mesin CNC Turning dalam proses produksi produk Bushing. Sistem dapat membantu menyajikan informasi kondisi operasional mesin dan data produksi secara digital dan terintegrasi sehingga proses monitoring dan evaluasi kinerja mesin dapat dilakukan secara lebih terstruktur dan berbasis data.
2. Bagi Pendidik, *Prototype* dapat membantu dalam memantau kondisi operasional mesin dan data produksi selama kegiatan *Teaching Factory*. Informasi mengenai *cycle time*, *downtime*, *Availability*, *Performance*,

Quality, dan *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* dapat dimanfaatkan sebagai bahan pendukung evaluasi dan pembelajaran praktik CNC Turning.

3. Bagi Peserta Didik, *Prototype* dapat memberikan pengalaman dalam memahami penerapan Digital Twin, *Internet of Things(IoT)*, dan Smart Manufacturing melalui kegiatan praktik CNC Turning. Peserta didik juga dapat memahami hubungan antara kondisi operasional mesin, data produksi, dan parameter OEE melalui dashboard monitoring.
4. Bagi Peneliti Selanjutnya, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dan dasar pengembangan penelitian lanjutan terkait Digital Twin, sistem monitoring produksi berbasis IoT, penerapan OEE, dan Smart Manufacturing pada lingkungan pendidikan vokasi maupun bidang manufaktur.

1.7 Spesifikasi yang di kembangkan

Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah *Prototype Digital Twin* mesin CNC Turning berbasis *Smart Manufacturing* pada lingkungan *Teaching Factory* dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Platform Sistem

Sistem monitoring berbasis *Digital Twin* yang dapat diakses melalui perangkat komputer atau laptop menggunakan jaringan lokal maupun internet.

2. Desain Sistem

Sistem dirancang dalam bentuk *dashboard monitoring* interaktif yang mampu menampilkan kondisi operasional mesin CNC Turning pada proses produksi produk *Bushing* secara real time dengan media yang sederhana, informatif, dan mudah dipahami pengguna.

3. Parameter Monitoring

Sistem monitoring menampilkan beberapa parameter utama produksi, yaitu:

- a. *Cycle time*
- b. *Downtime*
- c. *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*, yang terdiri dari:

1. *Availability*
2. *Performance*
3. *Quality*

4. **Fitur Sistem**

- a. Monitoring kondisi operasional mesin CNC *Turning* secara real time.
- b. *Dashboard* digital terintegrasi untuk visualisasi data produksi.
- c. Penyajian data performa mesin dalam bentuk grafik dan indikator monitoring.
- d. Sistem perhitungan otomatis nilai *OEE* berdasarkan data produksi yang diperoleh.
- e. Penyimpanan data monitoring sebagai bahan evaluasi kinerja mesin.

5. **Teknologi yang Digunakan**

Sistem dikembangkan menggunakan konsep *Smart Manufacturing* dan *Digital Twin* yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) sebagai media pengambilan, pengiriman, dan visualisasi data produksi mesin CNC *Turning* secara real time melalui *dashboard* monitoring digital.

6. Fungsi Produk

Produk difungsikan sebagai sistem monitoring produksi pada lingkungan *Teaching Factory* serta sebagai sarana pendukung pengenalan penerapan teknologi industri 4.0, khususnya konsep *Digital Twindan Smart Manufacturing*.

7. Pengguna Produk

Produk ditujukan untuk pendidik dan peserta didik pada lingkungan *Teaching Factory* SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta sebagai pengguna sistem monitoring produksi berbasis *Digital Twin* pada mesin *CNC Turning*.

