

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pabrikasi *Precast & Off-site Construction* (konstruksi off-site)**

Menurut Lawson et al., (2014), proses pabrikasi *precast* adalah suatu kegiatan produksi komponen bangunan yang dilakukan di luar lokasi proyek konstruksi. Pada umumnya, komponen ini berbahan dasar beton dan diproduksi dalam lingkungan pabrik yang terkendali. Kondisi ini memungkinkan peningkatan efisiensi serta pengawasan mutu yang lebih optimal dibandingkan dengan metode konstruksi konvensional yang pembuatan langsung di lokasi proyek konstruksi (Gardan et al., 2025).

*Off-site Construction* (OSC) merupakan pendekatan konstruksi yang mencakup berbagai metode fabrikasi di luar lokasi proyek, seperti pabrikasi beton pracetak, konstruksi modular, dan teknik prefabrikasi lainnya (Hou, L., et al., 2022). Pendekatan ini tidak hanya memperluas cara pandang terhadap proses pembangunan, tetapi juga menawarkan sejumlah manfaat nyata. Diantaranya adalah percepatan waktu pelaksanaan proyek, peningkatan standar keselamatan kerja, pengurangan limbah material, serta mutu hasil konstruksi yang lebih konsisten (Abdelmageed, 2020).

#### **2.2 Produktivitas Dalam Pabrikasi *Precast***

Produktivitas dalam pabrikasi *precast* mengacu pada efisiensi dalam mengubah input (seperti tenaga kerja, material, dan peralatan) yang menjadi output (komponen *precast* yang sudah jadi) Tekla, 2025. Peningkatan produktivitas dapat menghasilkan pengurangan biaya, waktu proyek yang lebih pendek (berkurang), dan peningkatan profitabilitas. Faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas dalam pabrikasi *precast*, yaitu meliputi:

1. Manajemen material

Pengelolaan material yang efektif, termasuk pengadaan, penyimpanan, dan transportasi, dapat mengurangi pemborosan dan penundaan terhadap waktu.

2. Proses produksi

Optimalisasi proses produksi, termasuk penggunaan teknologi otomatisasi dan standarisasi, dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi waktu produksi.

3. Keterampilan dan pelatihan tenaga kerja

Tenaga kerja yang terampil dan terlatih sangat penting untuk memastikan bahwa komponen *precast* diproduksi dengan benar dan efisien.

4. Teknologi dan Peralatan

Penggunaan teknologi dan peralatan yang tepat, seperti *Building Information Modeling* (BIM) dan sistem manufaktur yang canggih, dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi kesalahan fatal yang tidak dapat terduga (Freightamigo, 2025).

### **2.3 Agent-Based Modeling (ABM)**

*Agent-Based Modeling* (ABM) adalah pendekatan simulasi yang digunakan untuk memodelkan sistem yang kompleks, yang terdiri dari agen-agen yang saling berinteraksi satu sama lain dan dengan lingkungan mereka (Xu, L., et al., 2024).

Grimm & Railsback (2005) memberikan penjelasan bahwa ABM digunakan untuk memahami perilaku sistem dan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasilnya dari simulasi aksi dan interaksi antar agen otonom. ABM memanfaatkan berbagai konsep dari teori permainan (*game theory*), sistem yang kompleks (*complex systems*), kemunculan (*emergence*), sosiologi komputasional (*computational sociology*) serta sistem multi-agen (*multi-agent systems*).

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Klügl & Bazzan (2012), menjelaskan bahwa ABM atau ABMS (*Agent-Based Modeling*) juga dikenal sebagai simulasi multi agen, yang merupakan pendekatan mengintegrasikan prinsip-prinsip sistem multiagen ke dalam kerangka dasar model simulasi. Pemodelan sendiri merujuk pada proses membangun suatu model sebagai representasi dari sistem nyata, sedangkan simulasi merupakan proses menjalankan atau menguji model tersebut. Grimm & Railsback (2005) mengatakan bahwa metode Monte Carlo yang diterapkan dalam pemodelan untuk memahami unsur acak pada dalam setiap perilaku pada agen. Namun, dalam bidang ekologi ABM juga dikenal sebagai *Individual-Based Models* (IBM) atau model berbasis individu. Dalam ABM, agen individu dijelaskan dalam gambar model yang memiliki rasionalitas terbatas dan berperilaku berdasarkan kepentingan pribadi, seperti status sosial, pendapatan, atau reproduksi (Axtell et al., 2003).

Namun, berdasarkan temuan Dabirian et al. (2021), pendekatan *Agent-Based Modeling* (ABM) dinilai efektif dalam membantu kalangan akademisi memahami efisiensi sistem alami. Dalam konteks pabrikan *precast*, agen dapat mewakili sebagai entitas, seperti pekerja, mesin, material, dan komponen.

ABM memungkinkan peneliti untuk membuat simulasi perilaku sistem secara keseluruhan dengan menentukan aturan dan perilaku individu dari masing-masing agen. Ini memungkinkan memberi pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana interaksi antar agen dapat mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan (Xiang, L., et al., 2022). Keunggulan dari ABM, yaitu sebagai berikut:

1. Kemampuan untuk memodelkan heterogenitas

ABM memungkinkan untuk memodelkan perbedaan dalam perilaku dan karakteristik agen-agen individu.

2. Kemampuan untuk memodelkan interaksi kompleks

ABM memungkinkan untuk memodelkan interaksi yang kompleks dan non-linear antara agen-agen.

3. Kemampuan untuk memodelkan adaptasi dan pembelajaran

ABM memungkinkan untuk memodelkan bagaimana agen-agen dapat beradaptasi dan belajar dari pengalaman mereka.

4. Analisis skenario

ABM memungkinkan untuk mengeksplorasi dampak dari berbagai skenario kebijakan pada kinerja sistem.

#### 2.4 *Anylogic Simulation Software*

*Anylogic* adalah software simulasi multi-metode yang mendukung ABM, Discrete Event Simulation (DES), dan System Dynamics (SD) yang dijelaskan oleh Attajer, A., & Darmoul, S., 2020 pada penelitiannya. AnyLogic menyediakan lingkungan pengembangan visual yang kuat untuk membangun dan menjalankan simulasi yang kompleks. Pada hasil analisis simulasi didapatkan nilai utilization yaitu pemanfaatan waktu sumber daya (seperti pekerja, alat dan bahan material, dll) yang efektif bekerja dengan total waktu yang tersedia (Mahdavi, Dr. Arash., *Simulation Modeling Consultant; The AnyLogic Company*). Fitur-fitur utama AnyLogic meliputi:

1. Dukungan untuk Berbagai Metode Simulasi

AnyLogic mendukung ABM, DES, dan SD, memungkinkan pengguna untuk memilih metode yang paling sesuai untuk masalah yang mereka hadapi.

2. Lingkungan Pengembangan Visual

AnyLogic menyediakan lingkungan pengembangan visual yang intuitif untuk membangun dan menjalankan simulasi.

3. Visualisasi dan Analisis

AnyLogic menyediakan berbagai alat visualisasi dan analisis untuk membantu pengguna memahami dan menganalisis hasil simulasi mereka.

## 2.5 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Khandakar M. RashidJoseph Louis (2022)	Integrating Process Mining with Discrete-Event Simulation for Dynamic Productivity Estimation in Heavy Civil Construction Operations	Pada penelitian ini hanya memanfaatkan teknik penambangan proses untuk mengambil manfaat dari data kejadian yang diperoleh dari lokasi pemindahan tanah dan menentukan model proses. Model ini akan diimplementasikan untuk membangun model DES dari proses penggalian tanah. Selain itu, teknik pembaruan Bayesian diterapkan untuk memperbarui parameter input dari model DES demi mendapatkan estimasi produktivitas yang lebih tepat dan terkini berdasarkan data dari lapangan. Operasi pemindahan tanah di dunia nyata dipilih sebagai objek studi. Data lapangan diperoleh dengan menggunakan IMU yang dipasang pada alat berat seperti ekskavator dan truk pengangkut. Sedangkan pada penelitian selanjutnya akan memperbaharui sistem pemanfaatan sumber daya dan proses produksi agar lebih optimal.
2	Anggah Kurniawan (2022)	Analisis Produktivitas Tenaga Kerja Pada Pabrikasi Precast Lining Concrete PT. XYZ Untuk Proyek Rentang Irigasi Di Majalengka	Dengan menggunakan teknik analisis regresi linear berganda yang meliputi uji t dan uji F, hasilnya menunjukkan bahwa faktor-faktor berikut berdampak positif pada produktivitas tenaga kerja: umur, pendidikan, kesehatan, upah/gaji, kondisi lapangan dan material, cuaca, kesehatan dan keselamatan kerja (K3), disiplin, dan motivasi kerja. Nilai probabilitas uji F didapatkan sebesar 1.083 dibandingkan dengan nilai F pada tabel 3.39 dan nilai signifikansi didapatkan sebesar $0.355 > 0.05$ yang dimana menunjukkan bahwa variabel bebas memiliki pengaruh yang signifikan terhadap produktivitas.
3	David Stielor, Tobias Schwinn And Achim Menges	Additive Formwork In Precast Construction	Dalam penelitian ini menggunakan pendekatan pemodelan berbasis agen (ABM) untuk memodularisasi elemen bangunan beton untuk manufaktur pracetak, meningkatkan produktivitas dengan mengotomatiskan proses klasifikasi dan modularisasi, sehingga mengintegrasikan karakteristik fabrikasi dengan persyaratan struktural di awal fase desain.