

Pemodelan Proses *Assembly* Menggunakan Bahasa *System Dynamics*

Theresia Liris Windyaningrum^{1*}, Petrus Setya Murdapa²

Program Studi Rekayasa Industri (Kampus Kota Madiun), Fakultas Teknik,
Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Jl. Manggis 15-17, Kota Madiun
Email Correspon: theresialiris@ukwms.ac.id

Abstrak

Proses assembly (perakitan) umum digunakan dalam berbagai sistem keindustriaan manufaktur. Selama ini, pemodel menggunakan teknik matematis, ataupun simulasi diskrit untuk memenuhi keperluan analisis kinerja sistem tersebut. Paper ini mencoba memberikan bukti dan gambaran bahwa metode system dynamics yang selama ini dikenal sebagai sarana pemodelan simulasi kontinyu dapat pula digunakan untuk pemodelan sistem lintasan assembly yang adalah suatu sistem diskrit. Sistem yang dikaji sebagai bahasan dalam paper ini adalah sistem proses assembly, di mana ada proses-proses pabrikasi komponen-komponen assembly yang diperlukan yang mendahului proses assembly tersebut. Dari dua pengujian yang dilakukan terhadap hasil yang diberikan oleh model yang tersusun dapat disimpulkan bahwa proses assembly dapat dimodelkan dengan bahasa system dynamics.

Kata Kunci: *Proses Assembly, Bill Of Materials, System Dynamics*

Abstract

The assembly process is commonly used in various industrial manufacturing systems. So far, modelers have used mathematical techniques or discrete simulations to meet the needs of system performance analysis. This paper tries to provide evidence and illustration that the system dynamics method, which is known as a means of continuous simulation modeling, can also be used to model assembly track systems which are discrete systems. The system studied as the subject of this paper is an assembly process system, where there are manufacturing processes for the required assembly components that precede the assembly process. From the two tests carried out on the results provided by the structured model, it can be concluded that the assembly process can be modeled using the language of system dynamics.

Keywords: *Assembly Process, Bill Of Materials, System Dynamics*

PENDAHULUAN

Proses *assembly* banyak terlihat di berbagai sistem keindustriaan. Proses *assembly* tersebut adalah proses penggabungan beberapa komponen menjadi satu kesatuan produk. Umumnya salah satu dari komponen-komponen tersebut akan merupakan komponen basisnya (Groover, 2015). Komponen-komponen lainnya secara bergiliran digabungkan ke komponen basis

tersebut. Maka proses *assembly* dapat merupakan proses *multistage*.

Analisis pengukuran kinerja dan optimasi *setting* proses-proses keindustriaan, termasuk proses *assembly*, akan memerlukan model. Beberapa cara pemodelan dapat ditempuh dari metode matematis hingga simulasi. Metode simulasi yang umumnya digunakan untuk pemodelan proses-proses diskrit, termasuk proses *assembly*, adalah

simulasi event-diskrit. Pemodelan matematis memerlukan pemahaman tentang analisis sintesis matematika probabilistik karena umumnya model tersebut didasarkan pada pemodelan sistem antrian (Buzacott & Shanthikumar, 1993; Gershwin, 1994; Altioik, 1997; Murdapa et al, 2020). Sementara itu, *scope* penggunaannya akan terlalu ketat atau penuh keterbatasan karena dalam pengembangannya akan diperlukan banyak asumsi. Oleh karena itu pemodelan simulasi event-diskrit banyak dilakukan sebagai pengganti pemodelan matematis. Di samping lebih mudah juga penggunaannya akan lebih fleksibel. Namun dengan model simulasi, akan diperlukan eksperimen yang panjang dan lama agar analisisnya mencukupi secara statistika (Law, 2013).

Sesungguhnya terdapat metode lain yang sejauh penulis ketahui hingga saat ini masih jarang digunakan sebagai cara pemodelan proses-proses diskrit, khususnya tentang sistem lintasan produksi, termasuk sistem lintasan *assembly*. Metode tersebut ialah pemodelan dinamis, yaitu satu cara pemodelan dengan menggunakan bahasa *system dynamics* yang diciptakan oleh Jay Forrester dari Massachusetts Institute of Technology pada sekitar tahun 1960an (Forrester, 1968; Sterman, 2000). Metode ini didasarkan pada konsep material kontinyu (misalnya air) yang mengalir dalam sistem pipa-kran-bak, yang dinyatakan secara grafis

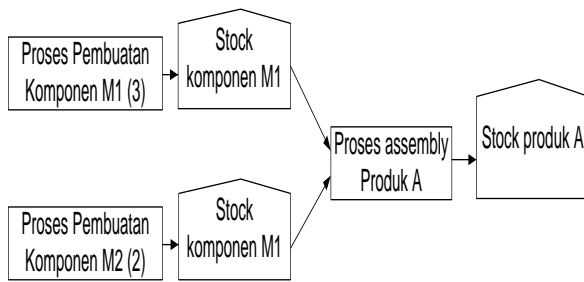
dalam bentuk struktur *stock and flow diagram* (SFD). Jadi sesungguhnya metode pemodelan dinamis ini merupakan pemodelan kontinyu, yang pada dasarnya merupakan suatu himpunan persamaan diferensial. Karena pada prinsipnya adalah model matematis maka analisis tidak akan memerlukan eksperimen sebanyak simulasi event-diskrit (Indrawati & Murdapa, 2022; Anggoro et al, 2023; Hanafi et al, 2023). Dengan perkembangan teknologi komputasi sistem persamaan tersebut dapat secara cepat diselesaikan perhitungannya menggunakan *software*. Salah satu contoh *software* yang umum dipakai ialah Vensim.

Paper ini menampilkan suatu contoh pemodelan sistem lintasan produksi sederhana yaitu sistem *assembly* satu tahap (*single stage assembly production line system*) dengan menggunakan Vensim®. Terlebih dahulu akan dideskripsikan sistem yang akan dimodelkan, kemudian metode pemodelan langkah demi langkah akan dibahas. Model kemudian diuji apakah sudah menampilkan perilaku yang sesuai dengan sistem yang digambarkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi sistem yang dikaji

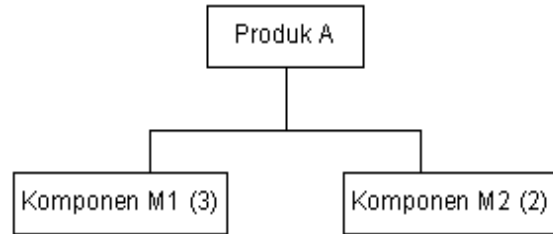
Sistem yang dikaji dalam paper ini adalah sistem proses *assembly* satu tahap. Proses *assembly* ini didahului dengan proses pembuatan komponen-komponen yang diperlukan (Gambar 1).



Gambar 1. Sketsa fisik sistem produksi yang dikaji dalam paper ini

Diambil contoh hipotetik generik, perakitan produk (sebut produk A) membutuhkan dua komponen yaitu komponen M1 dan komponen M2, masing-masing dengan jumlah tertentu. Gambar 2 memperlihatkan bill of materials dari produk A tersebut yang menjelaskan bagaimana produk tersebut disusun oleh kedua komponen M1 dan M2. Proses perakitan produk berlangsung dalam satu tahap (dalam satu stasiun kerja). Tiga unit komponen M1

dan dua unit komponen M2 harus tersedia di awal agar proses *assembly* dapat dimulai di stasiun kerja.



Gambar 2. Bill Of Materials Produk A

Pemodelan

Pemodelan dilakukan dengan cara mengidentifikasi variabel-variabel yang relevan dalam bentuk Tabel 1, sekaligus kemudian mengkonstruksi *stock and flow diagram* (SFD) yang sesuai secara iteratif. SFD final yang diperoleh diperlihatkan pada Gambar 3.

Tabel 1. Daftar Variabel Yang Diakomodasi Pada Model

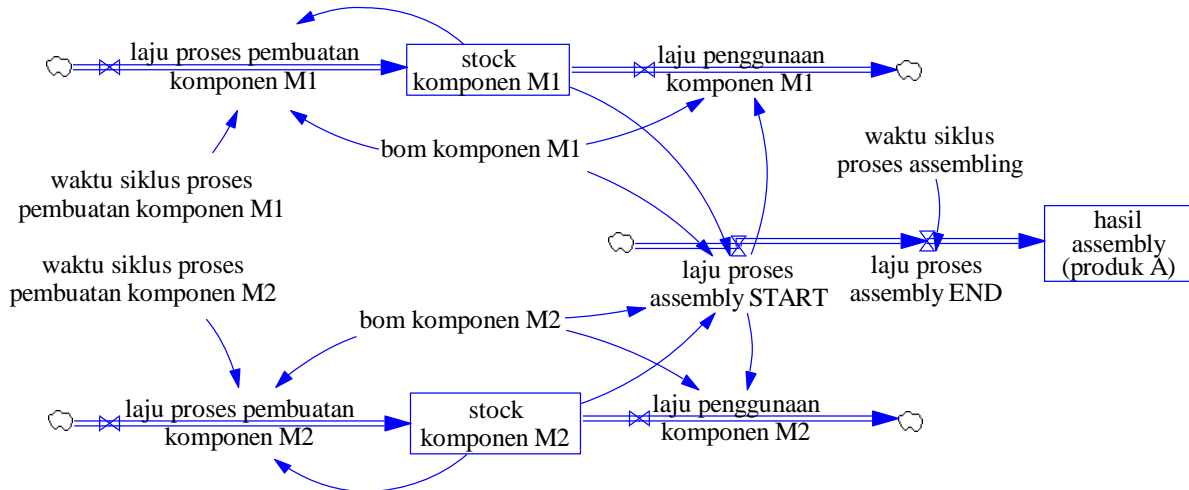
Nama variabel	Jenis variabel		Satuan
<i>waktu siklus proses pembuatan komponen M1</i>	Auxiliary	Eksogen: 5	Jam
<i>waktu siklus proses pembuatan komponen M2</i>	Auxiliary	Eksogen: 2	Jam
<i>waktu siklus proses assembling</i>	Auxiliary	Eksogen: 3	Jam
<i>laju proses pembuatan komponen M1</i>	Flow	Endogen	Unit /Jam
<i>laju proses pembuatan komponen M2</i>	Flow	Endogen	Unit /Jam
<i>bom komponen M1</i>	Auxiliary	Eksogen	Unit /Unit A
<i>bom komponen M2</i>	Auxiliary	Eksogen	Unit /Unit A
<i>stock komponen M1</i>	Level	Endogen	Unit
<i>stock komponen M2</i>	Level	Endogen	Unit
<i>laju penggunaan komponen M1</i>	Flow	Endogen	Unit /Jam
<i>laju penggunaan komponen M2</i>	Flow	Endogen	Unit /Jam
<i>laju proses assembly START</i>	Flow	Endogen	Unit /Jam
<i>laju proses assembly END</i>	Flow	Endogen	Unit /Jam
<i>hasil assembly (produk A)</i>	Level	Endogen	Unit A

Relasi yang mendefinisikan variabel-variabel endogen dalam model SFD dinyatakan dalam persamaan-persamaan (1) hingga (9). Persamaan (1) dan (2) akan

memastikan bahwa proses pembuatan komponen M1 dan pembuatan komponen M2 hanya boleh berlangsung ketika stock komponen M1 kurang dari jumlah yang

dibutuhkan untuk merakit produk A. Persamaan (3a) secara matematika dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (3b).

Analog dengan sebelumnya, persamaan (4a) ekuivalen dengan persamaan (4b).



Gambar 3. Model Dalam Bentuk Stock And Flow Diagram

$$\text{laju proses pembuatan komponen M1} = \text{IF THEN ELSE}(\text{stock komponen M1} < \text{bom komponen M1}, 1/\text{waktu siklus proses pembuatan komponen M1}, 0) \quad (1)$$

$$\text{laju proses pembuatan komponen M2} = \text{IF THEN ELSE}(\text{stock komponen M2} < \text{bom komponen M2}, 1/\text{waktu siklus proses pembuatan komponen M2}, 0) \quad (2)$$

$$\text{stock komponen M1} = \text{INTEG}(\text{laju proses pembuatan komponen M1} - \text{laju penggunaan komponen M1}, 0) \quad (3a)$$

$$\begin{aligned} \text{stock komponen M1 pada saat-}t &= \int_{t_0=0}^t (\text{laju proses pembuatan komponen M1} - \text{laju penggunaan komponen M1}) dt \quad (3b) \end{aligned}$$

$$\text{stock komponen M2} = \text{INTEG}(\text{laju proses pembuatan komponen M2} - \text{laju penggunaan komponen M2}, 0) \quad (4a)$$

$$\begin{aligned} \text{stock komponen M2 pada saat-}t &= \int_{t_0=0}^t (\text{laju proses pembuatan komponen M2} - \text{laju penggunaan komponen M2}) dt \quad (4b) \end{aligned}$$

$$\text{laju proses assembly START} = \text{IF THEN ELSE}(\text{stock komponen M1} \geq \text{bom komponen M1} : \text{AND} : \text{stock komponen M2} \geq \text{bom komponen M2}, 1, 0) \quad (5)$$

$$\text{laju penggunaan komponen M1} = \text{laju proses assembly START} * \text{bom komponen M1} \quad (6)$$

$$\text{laju penggunaan komponen M2} = \text{laju proses assembly START} * \text{bom komponen M2} \quad (7)$$

$$\text{laju proses assembly END} = \text{DELAY FIXED}(\text{laju proses assembly START}, \text{waktu siklus proses assembling}, 0) \quad (8)$$

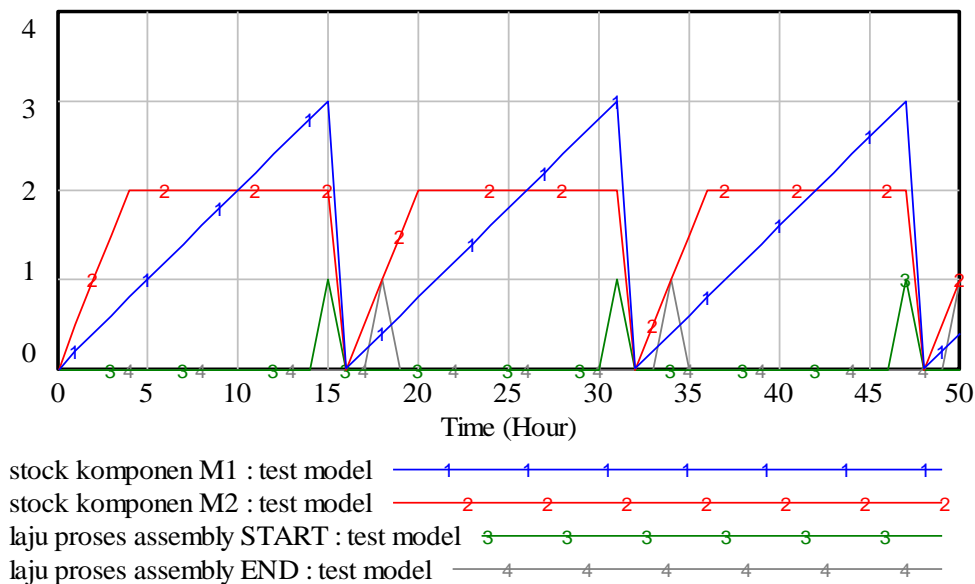
$$\text{hasil assembly (produk A)} = \text{INTEG}(\text{laju proses assembly END}, 0) \quad (9)$$

Persamaan (5) menyatakan bahwa proses *assembly* dapat berlangsung (diberi kode 1) jika dan hanya jika stock komponen M1 tidak kurang dari kuantitas yang dibutuhkan untuk merakitnya bersama dengan komponen M2 menjadi produk A. Kondisi ini harus disertai juga dengan kondisi yang serupa untuk komponen M2. Maka laju penggunaan kedua komponen M1 dan M2 masing-masing dapat dinyatakan dengan persamaan (6) dan (7). Persamaan (8) menjelaskan bahwa proses *assembly* berlangsung selama waktu yang diberikan oleh waktu siklus proses assembling. Dan, akhirnya persamaan (9) mengumpulkan

jumlah akumulasi produk A yang dihasilkan.

Pengujian model dan Pembahasan

Untuk mengetahui apakah model sudah memberikan gambaran sistem yang dimodelkan maka model tersebut diimplementasikan komputasinya dengan menggunakan software Vensim® PLE (versi akademik yang dapat didownload bebas dari Vensim.com). Untuk keperluan testing-1 dapat diperiksa profil dari variabel-variabel stock komponen M1, stock komponen M2, laju proses *assembly* START, dan laju proses *assembly* END. Hasil outputnya terlihat pada Gambar 3.



Gambar 4.

Testing-1: Output model memperlihatkan profil stock masing-masing komponen beserta laju *assembly* setelah kuantitas kedua komponen tersebut siap sesuai jumlah yang diperlukan

Gambar 4 memperlihatkan bahwa dalam bom komponen M1 dan bom ketika kuantitas komponen M1 dan komponen M2, maka proses *assembly* komponen M2 sudah memenuhi jumlah START dapat berlangsung. Dan, ketika minimum yang diperlukan sesuai diberikan kedua komponen tersebut diproses maka

KESIMPULAN

Bahasa *system dynamics* dikenal sebagai sarana pemodelan simulasi kontinyu karena memang pada dasarnya dirumuskan oleh penciptanya dari konsep air-pipa-bak. Dari situ kemudian diperkenalkan konsep *stock and flow diagram*. Namun dari paper ini telah ditunjukkan bahwa bahasa *system dynamics* tersebut dapat pula dimanfaatkan untuk memodelkan sistem lintasan produksi assembly yang merupakan sistem diskrit. Dari dua pengujian yang diberikan terhadap contoh hipotetik-generik yang dibahas terbukti model berhasil memenuhi kesesuaian gambaran perilaku sistem yang seharusnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Altiok, T. (1997). *Performance analysis of manufacturing systems*. New York: Springer Science+Business Media.
- Anggoro, P. W., Yuniarto, T., Bawono, B., Setyohadi, D. B., Murdapa, P. S., & Jamari, J. (2023, March). System dynamics modelling for calculation of carbon footprint on a non-homogeneous production system: a case in a ceramic studio. *Results in Engineering*, 17, 100812.
- Buzacott, J. A., & Shanthikumar, J. G. (1993). *Stochastic models of manufacturing systems* (First ed.). Prentice-Hall.
- Forrester, J. (1968). *World Dynamics*. Massachusetts: Wright-Allen Press Inc.
- Gershwin, S. B. (1994). *Manufacturing systems engineering* (First ed.). Prentice-Hall.
- Groover, M. P. (2015). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (Fourth ed.). NJ: Pearson.
- Hanafi, S. F., Indrawati, C. D., & Murdapa, P. S. (2023). Pemodelan Sistem Antrian Batch Menggunakan Metode System: Studi Kasus pada Suatu Toko Beras di Madiun. *Jurnal Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri (PASTI)*, XVII (2), 199-208.
- Indrawati, C. D., & Murdapa, P. S. (2022). Modeling multi channel under different lotsizes: Using continuous approach. *Konstelasi*. Jogjakarta: UAJY.
- Law, A. M. (2013). *Simulation modeling and analysis* (Fifth ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Murdapa, P. S., Pujawan, I. N., Karningsih, P. D., & Nasution, A. H. (2020). Incorporating carbon emissions in queuing models to determine lot sizes and inventory buffers in a supply chain. *International Journal of Intelligent Enterprise*, 7 (4), 373-390.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin McGraw-Hill