

DOI: <https://doi.org/10.38035/jgit.v4i3.690><https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Perancangan Model Simulasi Untuk Mengidentifikasi dan Mengurangi Bottleneck pada Sistem Make to Order di Mano Apparel Soreang

Zakiya Muallifa Rahman¹, Yudha Prambudia², Ilma Mufidah³.

¹Telkom University, Bandung, Indonesia, zakiyamuallifa@student.telkomuniversity.ac.id

²Telkom University, Bandung, Indonesia, prambudia@telkomuniversity.ac.id

³Telkom University, Bandung, Indonesia, ilmamufidah@telkomuniversity.ac.id

Corresponding Author: zakiyamuallifa@student.telkomuniversity.ac.id¹

Abstract: *Mano Apparel is a garment manufacturer that applies a Make-to-Order (MTO) production system. Although this approach provides high flexibility in meeting customer requirements, the company faces risks related to demand fluctuations, limited production capacity, and work accumulation at several workstations. Demand data from 2024 indicate a significant increase in orders between October and December, resulting in delays in order fulfillment. This study employs the Discrete Event Simulation (DES) approach to identify production bottlenecks and propose improvement strategies. Primary data include the production workflow, processing times, and transfer times, while secondary data consist of demand records, the number of machines and operators, production capacity, and other supporting information. Verification was conducted through animation testing and computerized program verification, while validation was performed using the F-test and t-test to compare actual system data with simulation results. The findings demonstrate that the simulation model is valid and accurately represents the actual production system. Performance analysis shows that the Sewing workstation has the highest waiting time at 8,234.31 minutes, followed by Design Preparation at 4,058.93 minutes and Sublimation Q1 at 3,496.89 minutes. The highest Work-in-Process (WIP) values were recorded at Cutting Q1 with 49.43 units, Sewing with 30.00 units, and Sewing Q with 24.45 units. These results indicate that the sewing process is the primary bottleneck causing queues and work accumulation. Therefore, increasing the capacity of the sewing workstation is necessary to improve production flow, reduce order completion delays, enhance operational efficiency, and strengthen Mano Apparel's ability to fulfill customer demand more effectively and consistently. These recommendations are expected to support managerial decision-making in resource allocation, workload balancing, and continuous production performance improvement.*

Keyword: Mano Apparel, Discrete Event Simulation, Make-To-Order, Production Approach.

Abstrak: *Mano Apparel* adalah produsen pakaian yang menerapkan sistem produksi *Make-to-Order* (MTO). Meskipun sistem ini memberikan fleksibilitas tinggi dalam memenuhi kebutuhan pelanggan, perusahaan menghadapi risiko fluktuasi permintaan, keterbatasan kapasitas produksi, dan penumpukan pekerjaan pada beberapa stasiun kerja. Data permintaan tahun 2024 menunjukkan lonjakan pesanan pada Oktober–Desember yang menyebabkan keterlambatan penyelesaian pesanan. Penelitian ini menggunakan pendekatan Simulasi Peristiwa Diskrit atau *Discrete Event Simulation* (DES) untuk mengidentifikasi bottleneck serta merumuskan usulan perbaikan. Data primer meliputi alur produksi, waktu proses, dan waktu transfer, sedangkan data sekunder mencakup permintaan, jumlah mesin, operator, kapasitas produksi, serta informasi pendukung lainnya. Verifikasi dilakukan melalui pengujian animasi dan program, sedangkan validasi menggunakan uji F dan uji t untuk membandingkan data aktual dengan hasil simulasi. Hasil menunjukkan model simulasi valid dan mampu merepresentasikan sistem produksi secara akurat. Analisis memperlihatkan stasiun kerja Jahit memiliki waktu tunggu tertinggi sebesar 8.234,31 menit, diikuti Penyiapan Desain sebesar 4.058,93 menit dan Sublimasi Q 1 sebesar 3.496,89 menit. Nilai *Work in Process* (WIP) tertinggi terdapat pada Pematangan Q 1 sebesar 49,43 unit, Jahit 30,00 unit, dan Jahit Q 24,45 unit. Temuan tersebut menunjukkan bahwa proses jahit merupakan hambatan utama yang memicu antrean dan penumpukan pekerjaan. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas pada stasiun kerja jahit diperlukan untuk memperlancar alur produksi, mengurangi keterlambatan penyelesaian pesanan, meningkatkan efisiensi operasional, serta mendukung kemampuan *Mano Apparel* dalam memenuhi permintaan pelanggan secara lebih optimal dan konsisten. Rekomendasi ini diharapkan menjadi dasar pengambilan keputusan manajemen dalam mengalokasikan sumber daya, menyeimbangkan beban kerja, dan meningkatkan kinerja produksi secara berkelanjutan.

Kata Kunci: *Mano Apparel*, *Discrete Event Simulation*, Produksi Berdasarkan Pesanan, Pendekatan Produksi.

PENDAHULUAN

Perusahaan yang menerapkan strategi produksi *Make-to-Order* (MTO) dihadapkan pada berbagai ketidakpastian yang bersifat spesifik dalam proses pengelolaan dan pemenuhan pesanan pelanggan. Ketidakpastian tersebut dapat berupa variasi permintaan, perubahan spesifikasi produk, fluktuasi waktu produksi, ketersediaan bahan baku, serta ketidakpastian dalam jadwal pengiriman. Kondisi ini menuntut perusahaan untuk memiliki sistem perencanaan dan pengendalian produksi yang fleksibel agar dapat memenuhi kebutuhan pelanggan secara tepat waktu dan efisien (Mundt & Lödding, 2025). Hal ini disebabkan desain produk telah tersedia dari hasil pengembangan pada pesanan sebelumnya, sehingga proses produksi dapat langsung dimulai setelah pesanan diterima (Cavero *et al.*, 2024). Apabila pelanggan bersedia menerima waktu tunggu yang cukup lama, maka perusahaan dapat menerapkan sistem produksi *Make-to-Order* (MTO) secara murni, di mana seluruh aktivitas produksi dimulai setelah pesanan diterima dari pelanggan. Kondisi ini memungkinkan perusahaan meminimalkan persediaan barang jadi dan mengurangi biaya penyimpanan (Flyckt & Lavesson, 2025; Singh & Disney, 2026).

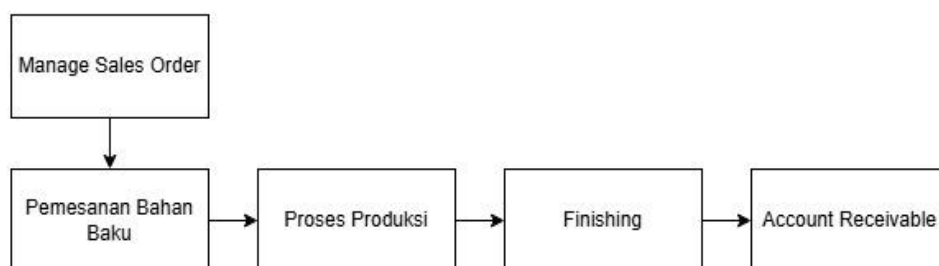
Make-to-order (MTO) adalah sistem produksi di mana barang baru dibuat setelah ada pesanan dari pelanggan, bukan diproduksi terlebih dahulu untuk disimpan sebagai stok (Upadhyay *et al.*, 2023). Sementara itu, strategi MTO memungkinkan perusahaan manufaktur untuk meningkatkan fleksibilitas dan menghasilkan produk yang disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan. Dalam lingkungan produksi, kapasitas sumber daya yang berfluktuasi dapat membatasi kinerja lini produksi, dan mengabaikan kondisi tersebut dapat menyebabkan

perencanaan menjadi tidak realistis atau sulit diterapkan (Bagheri *et al.*, 2022). Dalam sistem produksi seperti ini, pencapaian efisiensi operasional sangat bergantung pada tingkat koordinasi dan keterkaitan yang tinggi antar unit produksi, sehingga aliran pekerjaan dapat berjalan secara lancar dan sumber daya dapat dimanfaatkan secara optimal (Firat *et al.*, 2022).

Peningkatan permintaan terhadap produk yang dipersonalisasi dan disesuaikan dengan preferensi pelanggan telah mendorong semakin banyak perusahaan untuk mengadopsi sistem produksi MTO. Berbagai sektor industri dan kategori produk telah berhasil menerapkan konsep ini untuk meningkatkan fleksibilitas produksi, memperkuat daya saing, serta mendukung praktik manufaktur yang berkelanjutan (Upadhyay *et al.*, 2023). Di sisi lain, waktu yang diperlukan untuk memenuhi pesanan pelanggan (*customer order lead time*) dapat dikurangi dibandingkan dengan penerapan sistem *Make-to-Order* (MTO) secara murni. Pengurangan lead time ini memungkinkan perusahaan memberikan respons yang lebih cepat terhadap permintaan pelanggan, sehingga meningkatkan tingkat pelayanan dan kepuasan pelanggan tanpa menghilangkan fleksibilitas produksi yang menjadi karakteristik utama sistem MTO (Wang *et al.*, 2023).

Mano Apparel berlokasi di Kecamatan Soreang Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat. Usaha ini bergerak di bidang jasa pembuatan pakaian jadi, seperti setelan olahraga, kaos, jaket, dan topi, dengan model produksi yang didasarkan pada strategi *make to order* (MTO). Proses sablon dikerjakan oleh bagian sablon. Pada proses produksi, menjahit adalah proses yang paling lama. Pada waktu tertentu ketika bagian jahit tidak mampu menangani pesanan yang biasanya terjadi karena penumpukan jumlah pesanan dan keterbatasan pekerja, maka pemilik konveksi memilih untuk melakukan *outsourcing* ke konveksi lain. Pakaian yang telah dijahit kemudian diteruskan ke bagian *quality control*. Penyelesaian pembayaran atau pelunasan merupakan bagian yang penting bagi konveksi Mano Apparel. Sesuai kesepakatan pada saat pemesanan, pelanggan telah membayar sejumlah uang muka. Dan apabila pesanan telah selesai, pelanggan diharuskan untuk melunasi sisa pembayaran terlebih dahulu.

Mano apparel yang menerapkan strategi *make to order* dalam produksinya, mengalami masalah serupa, seperti adanya permintaan yang tiba-tiba atau tidak terduga. Berdasarkan data permintaan pesanan selama tahun 2024 diketahui bahwa terdapat peningkatan permintaan selama bulan Oktober-Desember dikarenakan adanya kegiatan *class meeting* yang diadakan di sekolah tingkat menengah hingga atas. Informasi jumlah pesanan di Mano Apparel sepanjang tahun 2024 ditunjukkan pada Gambar 1.



Sumber: Data Observasi Sistem Produksi Mano Apparel, Diolah oleh Penulis (2026)

Gambar 1 Tahapan Produksi Pada Mano Apparel

Mano Apparel yang menerapkan strategi produksi *Make-to-Order* juga menghadapi berbagai tantangan, salah satunya adalah peningkatan permintaan yang terjadi secara tiba-tiba. Berdasarkan data permintaan pesanan selama tahun 2024, terjadi peningkatan jumlah pesanan pada periode Oktober hingga Desember yang dipengaruhi oleh penyelenggaraan kegiatan pertemuan kelas (*class meeting*) di berbagai institusi pendidikan menengah dan

perguruan tinggi. Jumlah pesanan yang diterima Mano Apparel sepanjang tahun tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Sumber: Data Historis Pesanan Mano Apparel, Diolah oleh Penulis (2026)
Gambar 2 Jumlah Pesanan Mano Apparel Tahun 2024

Berdasarkan Gambar 1, jumlah pesanan mengalami peningkatan yang cukup signifikan mulai bulan Oktober hingga mencapai puncaknya pada bulan November, kemudian mengalami sedikit penurunan pada bulan Desember. Lonjakan permintaan pada periode tersebut menyebabkan beban produksi meningkat, khususnya pada proses yang memiliki kapasitas terbatas, sehingga memicu antrean pekerjaan pada beberapa stasiun kerja. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan permintaan yang tidak diimbangi dengan kapasitas produksi dapat menyebabkan ketidakseimbangan aliran proses dan penumpukan pekerjaan pada stasiun kerja tertentu (Rakhmaddian *et al.*, 2025; Wisnumurti *et al.*, 2023).

Tabel 1Tabel Beban Kerja Mano Apparel

Stasiun Kerja	Waktu Standar (detik)	Kebutuhan Kapasitas	Kapasitas Tersedia	Beban Kerja (%)
Cutting 1	3,7	16.157,23	109.200	14,80
Setting Desain	11,9	51.995,51	109.200	47,61
Print Desain	12,0	52.687,96	109.200	48,25
Press Sablon	11,8	51.887,80	109.200	47,52
Cutting 2	3,0	13.295,09	109.200	12,17
Jahit	112,8	494.703,67	327.600	151,01
Quality Control	12,8	56.073,29	109.200	51,35
Packing	3,2	13.833,67	109.200	12,67

Sumber: Data Perhitungan Kapasitas Produksi Mano Apparel, Diolah oleh Penulis (2026)

Berdasarkan Tabel 2.1, stasiun kerja Jahit memiliki beban kerja tertinggi sebesar 151,01%, melampaui kapasitas yang tersedia. Sementara itu, stasiun kerja *Quality Control* memiliki beban kerja sebesar 51,35%, *Print Desain* sebesar 48,25%, *Setting Desain* sebesar 47,61%, dan *Press Sablon* sebesar 47,52%, sedangkan stasiun kerja lainnya masih berada di bawah kapasitas yang tersedia. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses jahit merupakan titik kritis (*bottleneck*) dalam sistem produksi karena kapasitas yang dimiliki belum mampu mengimbangi tingginya beban pekerjaan.

Berdasarkan keterangan pemilik perusahaan, keterlambatan penyelesaian pesanan di Mano Apparel disebabkan oleh penumpukan pekerjaan pada beberapa stasiun kerja, terutama pada proses jahit yang memiliki beban kerja melebihi kapasitas. Dalam bidang teknik industri, kondisi tersebut dikenal sebagai *bottleneck*, yaitu hambatan pada aliran produksi yang menyebabkan antrean pekerjaan, meningkatnya waktu tunggu, serta keterlambatan penyelesaian pesanan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi *bottleneck* pada sistem produksi *Make-to-Order* di Mano Apparel menggunakan pendekatan *Discrete Event Simulation* (DES). Melalui pembangunan model simulasi, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan alternatif perbaikan yang mampu meningkatkan kelancaran aliran produksi, mengurangi waktu tunggu, mengoptimalkan kapasitas stasiun kerja, serta

meminimalkan keterlambatan penyelesaian pesanan (Almanei *et al.*, 2022; Rocha & Lopes, 2022).

METODE

Proses pengumpulan data dilakukan dengan menghimpun fakta dan informasi yang relevan dengan tujuan penelitian. Data yang dibutuhkan terbagi menjadi 2 bagian yaitu data primer dan sekunder.

1. Data primer adalah data yang dikumpulkan langsung oleh peneliti dari sumber asli, baik individu, kelompok, atau objek penelitian, tanpa melalui perantara. Data ini diperoleh melalui berbagai metode seperti wawancara, survei, kuesioner, eksperimen, atau observasi langsung. Data primer yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain alur proses produksi, waktu proses produksi, dan waktu perpindahan..
2. Data sekunder adalah data yang dikumpulkan atau diperoleh tidak langsung dari sumber pertama, melainkan dari pihak lain, seperti laporan, buku, jurnal, atau database yang sudah ada. Data sekunder ini tidak langsung menjadi sumber data utama dalam suatu penelitian, melainkan digunakan sebagai data pendukung atau referensi. Data sekunder dalam penelitian ini yaitu data umum perusahaan, data permintaan historis bulan Januari-Desember 2024, data kecacatan, jumlah mesin dan operator, jumlah kapasitas mesin, serta biaya-biaya.

Merancang dan membangun model simulasi.

Berikut merupakan tahapan perancangan dan pembuatan model simulasi :

1. Mulai.
Merupakan titik awal dari proses pengembangan model simulasi. Proyek dimulai dengan menetapkan tujuan dan ruang lingkup simulasi.
2. Analisis Lini Produksi.
Tahap ini bertujuan untuk memahami proses nyata yang akan dimodelkan dalam simulasi. Proses dimulai dengan pengamatan langsung terhadap aktivitas produksi di lapangan untuk memperoleh gambaran menyeluruh tentang sistem yang sedang berjalan. Dalam tahap ini, dilakukan identifikasi terhadap elemen-elemen utama dalam lini produksi, seperti urutan proses, interaksi antar stasiun kerja, serta aliran material dan informasi. Selain itu, analisis ini mencakup pemetaan hubungan antar proses, pengukuran waktu kerja dan waktu tunggu, serta identifikasi area yang berpotensi menjadi sumber ketidakefisienan atau bottleneck. Hasil dari analisis ini menjadi landasan penting dalam menyusun model konseptual, karena akurasi pemahaman terhadap sistem nyata akan sangat memengaruhi validitas model simulasi yang dibangun.
3. Pengumpulan Data.
Pada tahap ini data dikumpulkan untuk mendukung pembuatan model simulasi, meliputi:
 - a. Alur proses produksi: Urutan langkah kerja dalam produksi.
 - b. Data pesanan: Informasi jumlah dan waktu masuknya pesanan.
 - c. Waktu proses produksi: Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tiap langkah produksi.
 - d. Waktu perpindahan: Durasi perpindahan barang antar stasiun kerja.
 - e. Jumlah mesin dan operator: Sumber daya yang tersedia dalam sistem.
4. Membangun model konseptual.
Pada tahap ini dilakukan pembuatan model logis yang merepresentasikan sistem nyata secara abstrak. Model konseptual menyajikan struktur dan alur proses produksi dalam bentuk yang lebih sederhana namun tetap mencerminkan karakteristik utama dari sistem sebenarnya. Tujuannya adalah untuk menggambarkan komponen-komponen

penting seperti entitas (produk/pesanan), aktivitas (proses kerja), sumber daya (mesin/operator), dan hubungan antar elemen tersebut dalam satu kerangka kerja yang sistematis. Pada industri konveksi yang menggunakan strategi *Make to Order (MTO)*, tahap ini menjadi penting karena sistem produksi hanya akan dimulai setelah ada pesanan dari pelanggan. Oleh karena itu, model konseptual harus mampu menggambarkan bagaimana aliran proses kerja dimulai dari penerimaan pesanan hingga penyelesaian produk, dengan mempertimbangkan variasi pesanan yang sering kali bersifat khusus (*custom order*).

5. Pengujian distribusi.

Pengujian distribusi dilakukan untuk menentukan jenis distribusi statistik yang paling sesuai dengan data waktu proses yang dikumpulkan dari sistem nyata. Distribusi ini mencerminkan variasi alami yang terjadi dalam aktivitas produksi, seperti waktu potong kain, waktu menjahit, atau waktu antri di tiap stasiun kerja. Pemilihan distribusi yang tepat sangat penting agar model simulasi mampu merepresentasikan dinamika dan ketidakpastian proses secara realistis. Beberapa distribusi yang umum digunakan antara lain distribusi normal, eksponensial, lognormal, dan triangular. Pengujian dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak statistik seperti *Minitab*, yang akan mengevaluasi kesesuaian data terhadap berbagai distribusi menggunakan metode goodness-of-fit seperti Chi-square, Kolmogorov-Smirnov, atau Anderson-Darling. Hasil distribusi yang terverifikasi kemudian digunakan sebagai input acak dalam model simulasi untuk mereplikasi variasi waktu proses pada sistem nyata.

6. Membangun model simulasi.

Implementasi dari model konseptual ke dalam perangkat lunak simulasi dengan memasukkan komponen utama:

- a. *Location*: Lokasi stasiun kerja atau departemen.
- b. *Entities*: Unit produk atau material yang bergerak dalam sistem.
- c. *Path Network*: Jalur aliran antar lokasi.
- d. *Arrivals*: Pola kedatangan pesanan.
- e. *Resources*: Mesin, tenaga kerja, dan fasilitas lainnya.
- f. *Processing*: Waktu proses dan aktivitas produksi di tiap lokasi.

7. Verifikasi Model.

Tujuan tahap verifikasi model ialah untuk memastikan bahwa model simulasi telah dibuat dengan benar dan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan pada model konseptual. Dalam tahap ini, fokus utama ditujukan pada pertanyaan apakah model telah diterjemahkan secara tepat dari rancangan konseptual ke dalam sistem simulasi berbasis komputer. Dalam konteks industri konveksi dengan strategi *Make to Order*, verifikasi mencakup pemeriksaan terhadap alur proses pesanan dalam simulasi, apakah sudah sesuai dengan urutan kerja nyata seperti penerimaan order, pemotongan, penjahitan, pressing, hingga pengemasan. Semua elemen seperti entitas (pesanan), aktivitas produksi, waktu proses, kapasitas mesin, dan perilaku antrean harus diperiksa untuk memastikan bahwa tidak ada kesalahan pemrograman, logika tidak konsisten, atau aliran proses yang terputus. Verifikasi model dilakukan dengan dua cara yaitu :

a. *Animation test*

Animation test dalam konteks model simulasi kejadian diskrit (*Discrete Event Simulation/DES*) adalah pengujian visual (verifikasi melalui animasi) untuk memastikan bahwa perilaku model sesuai dengan logika dan urutan kejadian yang diharapkan. Tujuan dari *animation test* adalah mendeteksi kesalahan logika, sinkronisasi waktu, atau perilaku tak diinginkan dengan cara yang mudah dipahami secara visual, bukan hanya lewat angka atau *log file*.

b. *Computerized Program Verification*

Computerized Program Verification (CPV) adalah bagian dari proses verifikasi model simulasi yang berfokus pada pemeriksaan otomatis terhadap program komputer yang mengimplementasikan model DES. Tujuan dari uji ini adalah untuk memastikan bahwa kode simulasi komputer benar-benar mengimplementasikan logika dan struktur model konseptual secara benar dan bebas kesalahan logika (*logical error*). Proses verifikasi dapat dilakukan dengan cara *debugging model*, penelusuran jalur entitas, serta pengujian setiap bagian model secara parsial. Jika ditemukan kejanggalan, seperti entitas yang tidak selesai diproses atau waktu sistem yang tidak realistis, maka perbaikan model dilakukan sebelum melanjutkan ke tahap validasi.

Validasi model adalah proses untuk memastikan bahwa model simulasi yang telah dibangun mampu merepresentasikan sistem nyata secara akurat. Berbeda dengan verifikasi yang berfokus pada aspek teknis pemodelan, validasi lebih menitikberatkan pada kesesuaian *output* model dengan kondisi aktual di lapangan. Dalam konteks industri konveksi *Make to Order* (MTO), validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi, seperti waktu penyelesaian pesanan, jumlah WIP (*Work in Process*), tingkat utilisasi mesin, dan *lead time* produksi—dengan data historis atau data riil dari sistem produksi konveksi yang diamati. Sebuah model dianggap valid apabila mampu mengukur atau mewakili sistem nyata dengan tepat dan konsisten. Dalam konteks penelitian, validitas model juga berarti bahwa model tersebut mampu memberikan hasil yang sesuai dengan data yang sebenarnya dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan yang tepat. Model yang tidak valid dapat menghasilkan rekomendasi yang keliru dan merugikan dalam implementasi nyata. Oleh karena itu, jika terdapat perbedaan signifikan antara hasil simulasi dan data aktual, maka model harus diperbaiki dan divalidasi ulang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

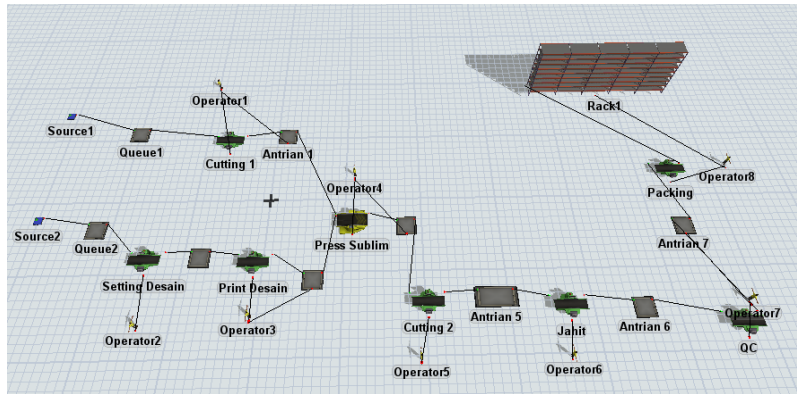
Pada tahapan pengolahan data dilakukan penentuan uji distribusi tiap data-data yang telah terkumpulkan pada hasil pengamatan. Dalam penentuan jenis distribusi data dibutuhkan fitur yang terdapat pada *software Flexsim 2019* yaitu *ExperFit*. Dengan memasukkan keseluruhan data pada fitur, maka menghasilkan jenis distribusi data terbaik berdasarkan tingkat kepercayaan yang berbeda-beda.

Tabel 2 Parameter Distribusi Waktu Proses Stasiun Kerja

No.	Stasiun Kerja	Distribusi Data Waktu Proses
1.	Cutting 1	<i>erlang</i> (0.035140, 3.793922, 7.000000, <i>getstream(current)</i>)
2.	Setting Desain	<i>beta</i> (48.097670, 131.828826, 1.477304, 1.666205, <i>getstream(current)</i>)
3.	Print Desain	<i>loglogistic</i> (0.000000, 82.096517, 6.855248, <i>getstream(current)</i>)
4.	Press Sublim	<i>beta</i> (17.594827, 131.527597, 9.203530, 7.216184, <i>getstream(current)</i>)
5.	Cutting 2	<i>johnsonbounded</i> (13.629719, 24.581281, 0.670421, 0.670533, <i>getstream(current)</i>)
6.	Jahit	<i>beta</i> (558.194500, 1020.507374, 0.995614, 0.934163, <i>getstream(current)</i>)
7.	QC	<i>beta</i> (78.232513, 92.037922, 1.850980, 1.515584, <i>getstream(current)</i>)
8.	Packing	<i>beta</i> (5.864942, 29.080396, 0.420231, 0.787159, <i>getstream(current)</i>)

Sumber: Pengolahan Data Menggunakan *Experfit Software Flexsim 2019* oleh Penulis (2026)

Pemodel memasukkan objek-objek *flexsim* yang mana mengimplementasikan yang ada pada sistem nyatanya. Seperti kedatangan kain dan desain, proses produksi menggunakan processor, pekerja menggunakan operator, penyimpanan produk *work in process* menggunakan *queue*, dan lainnya.



Sumber: Pembuatan model simulasi dengan Software Flexsim 2019 oleh penulis (2026)

Gambar 3 Pemodel Memasukkan Objek-Objek *Flexsim*

Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi Model

Setelah dibangun model awal, maka selanjutnya melakukan verifikasi model. Verifikasi dilakukan dengan cara menjalankan simulasi. Apabila alur produksi pada model simulasi telah sesuai dengan sistem nyata dan dapat berjalan tanpa hambatan atau lancar maka proses verifikasi dikatakan berhasil.

Validasi Model

Setelah verifikasi model, maka selanjutnya ialah validasi model untuk mengetahui apakah model yang dibangun merupakan representasi sistem nyatanya. Data validasi yang digunakan ialah data waktu proses rata-rata tiap stasiun kerja. Validasi dilakukan dengan membandingkan waktu proses rata-rata pada model simulasi dengan sistem nyata. Validasi dilakukan dengan menggunakan metode uji kesamaan dua variansi dan uji kesamaan dua rata-rata.

Uji Validitas Waktu Proses di Stasiun Cutting 1

Diketahui bahwa data waktu proses dari sistem nyata ditemukan pada tabel 4. Kemudian data tersebut dihitung waktu proses rata-rata dan standar deviasinya. Hal yang sama dilakukan dengan data simulasi waktu proses pada software Flexsim hingga menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 3 Data Rata-Rata dan Standar Deviasi stasiun *Cutting 1*

	Sistem Nyata	Model Simulasi
Rata-rata ($\bar{X}$)	26,3 detik	27 detik
Simpangan Baku (s)	9,48	11,34
N	40	40

Sumber: Perhitungan Data Waktu Proses Dengan Ms. Excel oleh Penulis (2026)

Uji Kesamaan Dua Variansi (Uji F)

$$H_0 : \sigma^1 = \sigma^2$$

$$H_1 : \sigma^1 \neq \sigma^2$$

$$H_0 \text{ diterima jika } F_{0,975(39,39)} < F_{hitung} < F_{0,025(39,39)}$$

$$H_0 \text{ ditolak jika } F_{hitung} > F_{0,025(39,39)} \text{ atau } F_{hitung} < F_{0,975(39,39)}$$

$$F \text{ tabel batas atas} = F_{0,025(39,39)} = 1,891$$

$$F \text{ tabel batas bawah} = F_{0,975(39,39)} = 0,529$$

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad F = \frac{(11,34)^2}{(9,48)^2} = 1,432$$

Diketahui :

F : F hitung

S₁ : simpangan baku terbesar

S₂ : simpangan baku terkecil

Dapat disimpulkan bahwa $0,529 < 1,432 < 1,891$ maka H₀ diterima yang artinya tidak terdapat perbedaan varians yang signifikan antara sistem nyata dan model simulasi.

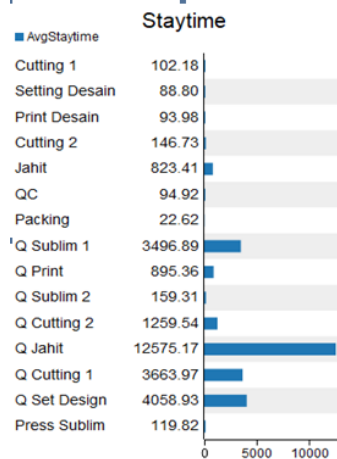
Uji Kesamaan Dua Rata-Rata (Uji T)

H₀ diterima jika $-T_{0,025} < T_{hitung} < T_{0,025}$

H₀ ditolak jika $T_{hitung} > F_{0,025}$ atau $T_{hitung} < -T_{0,025}$

T tabel = $T_{0,025} = \pm 2,022$

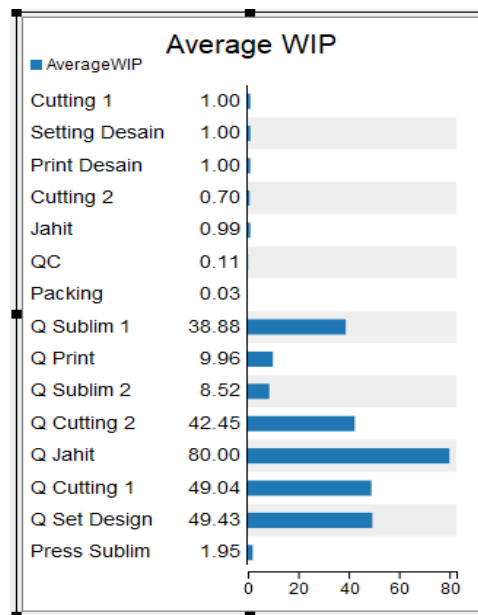
Dapat ditarik kesimpulan dari perhitungan di atas $-2,022 < -0,2353 < 2,022$ maka H₀ diterima, tidak terdapat perbedaan signifikan antara sistem nyata dan model simulasi. Hasil uji validitas dari waktu proses di setiap stasiun kerja disajikan dalam tabel di bawah ini.



Gambar 4 Staytime

Sumber: Pengolahan Data dengan Software Flexsim 2019 oleh Penulis (2026)

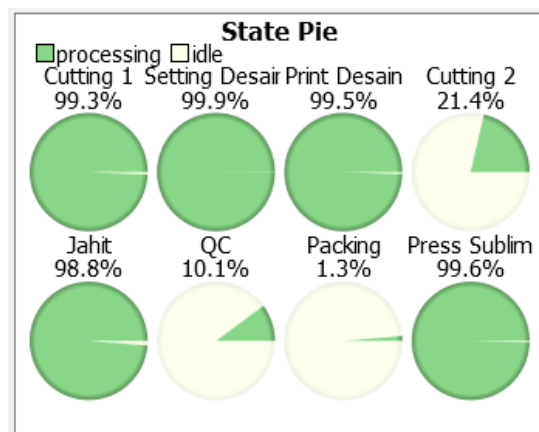
Grafik *Staytime* menggambarkan rata-rata waktu yang dihabiskan entitas pada setiap stasiun kerja selama berada dalam sistem produksi. Nilai *staytime* mencerminkan total waktu yang diperlukan suatu entitas, baik untuk menunggu maupun menjalani proses pada suatu stasiun kerja. Berdasarkan hasil yang diperoleh, stasiun Jahit memiliki rata-rata *staytime* tertinggi sebesar 8.234,31, diikuti oleh Setting Desain sebesar 4.058,93 dan Q Sublim 1 sebesar 3.496,89. Tingginya nilai *staytime* pada stasiun-stasiun tersebut mengindikasikan adanya penumpukan pekerjaan atau antrean yang menyebabkan entitas berada lebih lama dalam sistem sebelum melanjutkan ke tahapan berikutnya. Sebaliknya, beberapa stasiun kerja menunjukkan nilai *staytime* yang relatif rendah, seperti Print Desain sebesar 93,98, QC sebesar 94,92, Cutting 1 sebesar 102,18, dan Press Sublim sebesar 119,82. Selain itu, stasiun Packing memiliki nilai *staytime* paling rendah, yaitu 2,62, yang menunjukkan bahwa proses pada stasiun tersebut berlangsung dengan sangat cepat dan hampir tidak mengalami antrean. Secara keseluruhan, perbedaan nilai *staytime* antarstasiun menunjukkan bahwa aliran produksi belum sepenuhnya seimbang. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi lebih lanjut pada stasiun dengan nilai *staytime* tinggi, khususnya Jahit, Setting Desain, dan Q Sublim 1, untuk mengurangi waktu tunggu serta meningkatkan kelancaran dan efisiensi proses produksi secara keseluruhan.



Gambar 5 Average WIP

Sumber: Pengolahan Data dengan *Software Flexsim 2019* Oleh Penulis (2026)

Grafik *Average Work in Process (WIP)* menunjukkan rata-rata jumlah entitas yang berada pada setiap stasiun kerja dalam sistem produksi pada suatu waktu. Nilai WIP menggambarkan banyaknya pekerjaan yang sedang diproses maupun yang menunggu untuk diproses pada suatu stasiun. Berdasarkan grafik, stasiun *Q Cutting 1* memiliki nilai Average WIP tertinggi sebesar 49,43, diikuti oleh Jahit sebesar 30,00, Q Jahit sebesar 24,45, dan Q Sublim 2 sebesar 8,52. Tingginya nilai WIP pada stasiun-stasiun tersebut menunjukkan adanya akumulasi pekerjaan yang cukup besar sehingga berpotensi menimbulkan antrean dan memperlambat aliran produksi.



Gambar 6 State Pie Sistem Eksisti

Sumber: Pengolahan Data dengan *Software Flexsim 2019* Oleh Penulis (2026)

Gambar *State Pie* menunjukkan proporsi waktu kerja (*processing*) dan waktu menganggur (*idle*) pada setiap stasiun kerja dalam proses produksi. Warna hijau merepresentasikan waktu proses (*processing*), sedangkan warna krem menunjukkan waktu idle. Persentase yang tertera pada setiap diagram lingkaran menunjukkan tingkat utilisasi masing-masing stasiun kerja. Hasil visualisasi menunjukkan bahwa sebagian besar stasiun kerja memiliki tingkat utilisasi yang sangat tinggi, yaitu *Cutting 1* sebesar 99,3%, *Setting Desain* 99,9%, *Print Desain* 99,5%, Jahit 98,8%, dan *Press Sublim* 99,6%. Tingginya

persentase processing pada stasiun-stasiun tersebut mengindikasikan bahwa sumber daya yang tersedia hampir selalu digunakan untuk melakukan aktivitas produksi sehingga waktu menganggurnya relatif kecil.

Terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada stasiun kerja QC dan *Packing*. Stasiun QC hanya memiliki tingkat processing sebesar 10,1%, sedangkan stasiun *Packing* sebesar 1,3%, yang berarti sebagian besar waktunya berada dalam kondisi *idle*. Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas pada kedua stasiun tersebut belum dimanfaatkan secara optimal akibat rendahnya beban kerja atau ketidakseimbangan aliran produksi. Selain itu, stasiun *Cutting 2* memiliki tingkat processing sebesar 21,4%, yang juga menunjukkan tingkat utilisasi yang relatif rendah dibandingkan stasiun lainnya. Secara keseluruhan, hasil analisis *state pie* mengindikasikan adanya ketidakseimbangan utilisasi antarstasiun kerja, di mana beberapa stasiun bekerja hampir pada kapasitas penuh, sementara stasiun lainnya memiliki waktu menganggur yang tinggi. Temuan ini dapat menjadi dasar untuk melakukan evaluasi dan perbaikan terhadap keseimbangan lini produksi guna meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan (Novarika et al., 2024; Salim et al., 2016)

Tabel 4 Perbandingan Model Eksisting Dng Skenario Perbaikan

Model Eksisting
Skenario 1 : Penambahan mesin dan operator
Skenario 2 : Penambahan operator
Skenario 3 : Urutan prioritas pekerjaan

Sumber: Diolah oleh Penulis Berdasarkan Hasil Observasi dan Analisis Data Penelitian (2026)

Tabel tersebut menunjukkan alternatif skenario perbaikan yang diuji pada model simulasi untuk meningkatkan kinerja sistem produksi. Terdapat tiga skenario yang dibandingkan dengan model eksisting. Skenario 1 dilakukan dengan menambahkan mesin dan operator pada stasiun kerja yang mengalami hambatan proses. Tujuan skenario ini adalah meningkatkan kapasitas produksi sehingga waktu tunggu dan antrean dapat dikurangi (Rizki & Dhewanto, 2025). Selanjutnya, Skenario 2 dilakukan dengan menambahkan operator tanpa menambah jumlah mesin. Perbaikan ini difokuskan pada peningkatan pemanfaatan sumber daya manusia untuk mempercepat proses kerja dan mengurangi beban kerja pada stasiun yang memiliki tingkat utilisasi tinggi. Adapun Skenario 3 dilakukan dengan mengubah urutan prioritas pekerjaan yang diproses dalam sistem. Pendekatan ini bertujuan mengoptimalkan aliran produksi melalui pengaturan prioritas pengerjaan sehingga dapat meminimalkan waktu tunggu, mengurangi penumpukan pekerjaan, dan meningkatkan kelancaran proses produksi (Kunath & Winkler, 2018; Sudeesh et al., 2024). Ketiga skenario tersebut kemudian dibandingkan dengan model eksisting untuk menentukan alternatif perbaikan yang memberikan kinerja sistem terbaik berdasarkan indikator yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 5 Hasil Simulasi Skenario Menggunakan *Experimenter*

Performance measurement			Satuan	Expected Value	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
<i>Output</i>			pcs	↑↑	33	65	35	32
<i>Average WIP-Sum</i>	<i>WIP-</i>	<i>Average WIP</i>	pcs	↓↓	314.5	295.8	312.6	434.8
<i>Processing Pada Cutting 2</i>			%	↑↑	7.100	9.587	7.284	7.111
<i>State Pie - Cutting 2</i>			%	↑↑	24.12	26.21	24.42	19.6
<i>Staytime - AvgStaytime Average</i>			detik	↓↓	1914	1767	1895	1367

Sumber : Diolah oleh Penulis Menggunakan *Experimenter Software Flexsim 2019* (2026)

Tabel 6 Perbandingan Biaya Produksi Skenario 1 dan Makloon

Komponen Biaya	Sistem Eksisting	Skenario 1 (Tambah Mesin + Operator)	Jasa Makloon Jahit
Investasi Mesin	Rp0	Rp19.000.000	Rp0
Penyusutan Mesin per Produksi	Rp0	Rp12.667	Rp0
Upah Operator Jahit/pcs	Rp7.500	Rp7.500	Rp0
Biaya Makloon Jahit/pcs	Rp0	Rp0	Rp10.000
Total Biaya Produksi 100 pcs	Rp750.000	Rp19.762.667	Rp1.000.000

Sumber: Disusun oleh Penulis Berdasarkan Hasil Penelitian (2026)

Berdasarkan tabel perbandingan biaya, terdapat tiga alternatif yang dianalisis, yaitu sistem eksisting, Skenario 1 (penambahan mesin dan operator), dan jasa makloon jahit. Pada sistem eksisting, biaya yang dikeluarkan hanya berupa upah operator jahit sebesar Rp7.500 per pcs, sehingga total biaya produksi untuk 100 pcs adalah Rp750.000. Sementara itu, pada Skenario 1 diperlukan investasi mesin sebesar Rp19.000.000 dengan biaya penyusutan mesin per produksi sebesar Rp12.667 dan upah operator jahit tetap sebesar Rp7.500 per pcs. Dengan demikian, total biaya yang harus dikeluarkan untuk memproduksi 100 pcs pada skenario ini mencapai Rp19.762.667. Alternatif lain yang dipertimbangkan adalah penggunaan jasa makloon jahit, di mana perusahaan tidak perlu mengeluarkan biaya investasi mesin maupun biaya tenaga kerja internal untuk proses jahit. Biaya yang timbul hanya berupa biaya makloon sebesar Rp10.000 per pcs, sehingga total biaya produksi untuk 100 pcs adalah Rp1.000.000. Jika dibandingkan dengan Skenario 1, penggunaan jasa makloon memerlukan biaya yang jauh lebih rendah karena tidak membutuhkan investasi awal yang besar. Namun, apabila dibandingkan dengan sistem eksisting, biaya produksi menggunakan jasa makloon masih lebih tinggi. Oleh karena itu, dari perspektif biaya jangka pendek, sistem eksisting merupakan alternatif yang paling ekonomis, sedangkan penggunaan jasa makloon dapat menjadi pilihan yang lebih layak dibandingkan penambahan mesin dan operator apabila tujuan utama perusahaan adalah meningkatkan kapasitas produksi tanpa mengeluarkan investasi yang besar (Permanasari & Virdayani, 2021; Ramadanis *et al.*, 2025; Rosmasari & Jatiningrum, 2021).

KESIMPULAN

Dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem produksi *make to order* yang diterapkan masih belum mampu memenuhi seluruh pesanan secara tepat waktu secara optimal. Hal ini ditunjukkan oleh rendahnya output produksi pada kondisi eksisting, tingginya nilai *work in process* (WIP), serta lamanya waktu tinggal produk dalam sistem (*staytime*). Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya antrean pekerjaan pada beberapa proses produksi sehingga penyelesaian pesanan mengalami keterlambatan.
2. Berdasarkan hasil analisis model simulasi, stasiun kerja jahit menjadi bottleneck utama dalam sistem produksi *Mano Apparel*. Kapasitas produksi pada stasiun tersebut belum mampu mengimbangi aliran proses dari stasiun sebelumnya sehingga menyebabkan penumpukan WIP dan meningkatnya waktu tunggu produksi. Kondisi bottleneck ini memberikan pengaruh signifikan terhadap keterlambatan penyelesaian pesanan karena proses jahit merupakan tahapan inti yang menentukan kelancaran aliran produksi secara keseluruhan.

Usulan perbaikan sistem produksi melalui model simulasi menunjukkan bahwa penerapan skenario perbaikan mampu mengurangi *bottleneck* dan meningkatkan performa sistem produksi. Dari beberapa skenario yang diuji, skenario penambahan 1 mesin jahit dan 1 operator pada stasiun jahit memberikan hasil terbaik dibandingkan skenario lainnya. Skenario tersebut mampu meningkatkan output produksi, menurunkan nilai WIP, serta memperbaiki

kelancaran aliran proses produksi sehingga ketepatan waktu penyelesaian pesanan menjadi lebih baik.

REFERENSI

- Almanei, M., Oleghe, O., Afy-Shararah, M., & Salonitis, K. (2022). Implementing Pull Manufacturing in Make-To-Order Environments. In: *Advances in Manufacturing Technology XXXV: Proceedings of the 19th International Conference on Manufacturing Research, Incorporating the 36th National Conference on Manufacturing Research*, 6(10). <https://doi.org/10.3233/ATDE220613> BT - Advances in Manufacturing Technology XXXV
- Bagheri, F., Demartini, M., Arezza, A., Tonelli, F., Pacella, M., & Papadia, G. (2022). An Agent-Based Approach for Make-To-Order Master Production Scheduling. In *Processes* (Vol. 10, Issue 5, p. 921). <https://doi.org/10.3390/pr10050921>
- Cavero, J., Alemany, M., Estes, A., & Jimenez, A. (2024). Revenue Management Optimization for Make-to-Order and Engineering-to-Order Manufacturing Context. *International Journal of Production Economics*, 288. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4806518>
- Firat, M., De Meyere, J., Martagan, T., & Genga, L. (2022). Optimizing the workload of production units of a make-to-order manufacturing system. *Computers & Operations Research*, 138, 105530. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105530>
- Flyckt, J., & Lavesson, N. (2025). Navigating demand forecasting in make-to-order manufacturing: the role of global models and intermittent time-series. *SAIS 2025: Swedish AI Society Workshop 2025, June 16-17 2025, Halmstad*.
- Kunath, M., & Winkler, H. (2018). Flow Shop Scheduling Optimization In The Chipboard Industry: A Simulation-Based Analysis Using Priority Dispatching Rules. *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*. <https://doi.org/10.12783/dtetr/icpr2017/17625>
- Mundt, C., & Lödding, H. (2025). Coping with the uncertainties of make-to-order production: a new approach for determining reliable delivery times with the throughput diagram. *Production Planning & Control*, 36(8), 1110–1136. <https://doi.org/10.1080/09537287.2024.2344066>
- Novarika, N., Lasalewo, T., & Uloli, H. (2024). ANALISIS KESEIMBANGAN LINTASAN DENGAN METODE RANKED POSITIONAL WEIGHT (RPW) DAN LARGEST CANDIDATE RULES (LCR) DI UD. SUKAMAJU FURNITURE. *Jurnal Vokasi Sains Dan Teknologi*, 4, 6–14. <https://doi.org/10.56190/jvst.v4i1.63>
- Permanasari, L., & Virdayani, ayu dwi. (2021). Analisis Biaya Produksi Sebagai Dasar Pengambilan Keputusan Produksi Kecambah Di Home Industri Kecambah Rama Hulaan Gresik. *Al Iqtishod: Jurnal Pemikiran Dan Penelitian Ekonomi Islam*, 9(1 SE-Articles), 73–92. <https://doi.org/10.37812/aliqtishod.v9i1.230>
- Rakhmaddian, N. N., Farida, N. N., Putra, A. D., Septiawan, D. R., & Wulandari, W. A. (2025). Analisis Bottleneck Perakitan Metal Box Dengan Metode Simulasi Diskrit Melalui Software Promodel. *Steam Engineering*, 7(1 SE-Articles), 53–63. <https://doi.org/10.37304/jptm.v7i1.22818>
- Ramadanis, R., Rahmi, M., Rantika, R., Hasanah, S. U., Meliza, S. G., & Putri, V. Y. (2025). Analisis Diferensial Dalam Menentukan Ketepatan Keputusan Make Or Buy. *Accounting Studies and Tax Journal (COUNT)*, 2(9 SE-Articles), 734–743. <https://doi.org/10.62207/7byj2685>
- Rizki, R. F., & Dhewanto, W. (2025). Scenario-Based Strategic Capacity Planning for Powder Mixing Plant Using Discrete Event Modelling. *European Journal Of Business and Management Research*, 10(4), 96–104.

- Rocha, E. M., & Lopes, M. J. (2022). Bottleneck prediction and data-driven discrete-event simulation for a balanced manufacturing line. *Procedia Computer Science*, 200, 1145–1154. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.314>
- Rosmasari, A., & Jatiningrum, W. S. (2021). Optimasi Produksi untuk Meminimasi Total Biaya pada Usaha Mikro Kecil Menengah. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 10(1), 15–26.
- Salim, H. K., Setiawan, K., & Hartanti, L. P. S. (2016). Perancangan Keseimbangan Lintasan Produksi Menggunakan Pendekatan Simulasi Dan Metode Ranked Positional Weights. *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 11(1). <https://doi.org/10.12777/jati.11.1.53-60>
- Singh, Y., & Disney, S. M. (2026). On the transition from make-to-stock to make-to-order. *European Journal of Operational Research*, 330(2), 444–457. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2025.08.053>
- Sudeesh, S., Rameshkumar, K., Anbuudayasankar, S. P., & Thenarasu, M. (2024). Simulation analysis and development of priority dispatching rules for a partial flexible job shop. *International Journal of Services and Operations Management*, 48, 576–601. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2024.140423>
- Upadhyay, S., Garg, S. K., & Sharma, R. (2023). Analyzing the Factors for Implementing Make-to-Order Manufacturing System. In *Sustainability* (Vol. 15, Issue 13, p. 10312). <https://doi.org/10.3390/su151310312>
- Wang, C., Yang, C., & Zhang, T. (2023). Order planning with an outsourcing strategy for a make-to-order/make-to-stock production system using particle swarm optimization with a self-adaptive genetic operator. *Computers & Industrial Engineering*, 182, 109420. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109420>
- Wisnumurti, R. A., Karima, H. Q., & Ramdhani, A. Y. (2023). Analisis Perbaikan Kinerja Sistem Manufaktur Menggunakan Model Discrete Event Simulation Di CV. Tojaya Machinery. *Jurnal Teknik Industri, Bisnis Digital, Dan Teknik Logistik*, 02(2).