

ANALISIS BOTTLENECK PERAKITAN *METAL BOX* DENGAN METODE SIMULASI DISKRIT MELALUI SOFTWARE PROMODEL

Nicko Nur Rakhmaddian^{*1}, Nike Nur Farida², Agus Dwi Putra³, Diama Rizky Septiawan⁴,
Winda Andrini Wulandari⁵

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang,

⁵Jurusan Informatika, Universitas Muhammadiyah Malang

*E-mail: nicko.nur@polinema.ac.id

Abstrak: Bottleneck merupakan salah satu penyebab utama turunnya produktivitas dalam sistem manufaktur. Pada industri metal box PDAM di PT. MNO, proses produksi sering mengalami hambatan yang berdampak pada penurunan output. Penelitian ini menggunakan simulasi diskrit berbasis perangkat lunak ProModel. Tahapan penelitian meliputi observasi lapangan, pengumpulan data waktu proses, analisis distribusi data dengan Stat::Fit, serta validasi model melalui uji Chi-Square dan Mann-Whitney. Hasil simulasi menunjukkan adanya bottleneck signifikan pada stasiun perakitan dengan tingkat utilitas mencapai 93,64%, sementara output produksi hanya 22 unit dalam 7 jam kerja. Sebaliknya, stasiun finishing mengalami idle time. Skenario perbaikan berupa penambahan satu stasiun kerja dan satu operator pada proses perakitan dan finishing direkomendasikan untuk mengurangi ketidakseimbangan alur produksi. Penelitian ini menegaskan efektivitas simulasi diskrit sebagai alat analisis optimasi sistem produksi serta membuka peluang pengembangan lebih lanjut melalui integrasi digital twin dan optimasi metaheuristik..

Kata Kunci: Simulasi Diskrit, ProModel, Analisis Bottleneck

Abstract: Bottlenecks are a major cause of productivity decline in manufacturing systems. In the PDAM metal box industry at PT. MNO, the production process frequently encounters constraints that reduce output. This study employed discrete event simulation using ProModel software. The research stages included field observation, process time data collection, data distribution analysis with Stat::Fit, and model validation through Chi-Square and Mann-Whitney tests. The simulation revealed a significant bottleneck in the assembly workstation, with utilization reaching 93.64%, while production output was limited to 22 units during a 7-hour working shift. In contrast, the finishing station experienced idle time. An improvement scenario involving the addition of one workstation and one operator in the assembly and finishing processes is recommended to reduce production flow imbalances. This study confirms the effectiveness of discrete event simulation as an analytical tool for production system optimization and highlights opportunities for further development through digital twin integration and metaheuristic optimization.

Keywords: Diskrit Simulation, ProModel, Bottleneck Analysis

PENDAHULUAN

Sektor industri manufaktur merupakan pilar utama pembangunan ekonomi nasional maupun global. Kontribusinya tidak hanya terlihat dari besarnya penyerapan tenaga kerja dan sumbangan terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), tetapi juga dari perannya untuk mempercepat inovasi dan transfer teknologi lintas sektor. Industri manufaktur berfungsi sebagai motor penggerak ekonomi dunia yang mendukung ketahanan dan kemandirian suatu negara (Rendra Kurniawan & Muhammad Yasin, 2025).

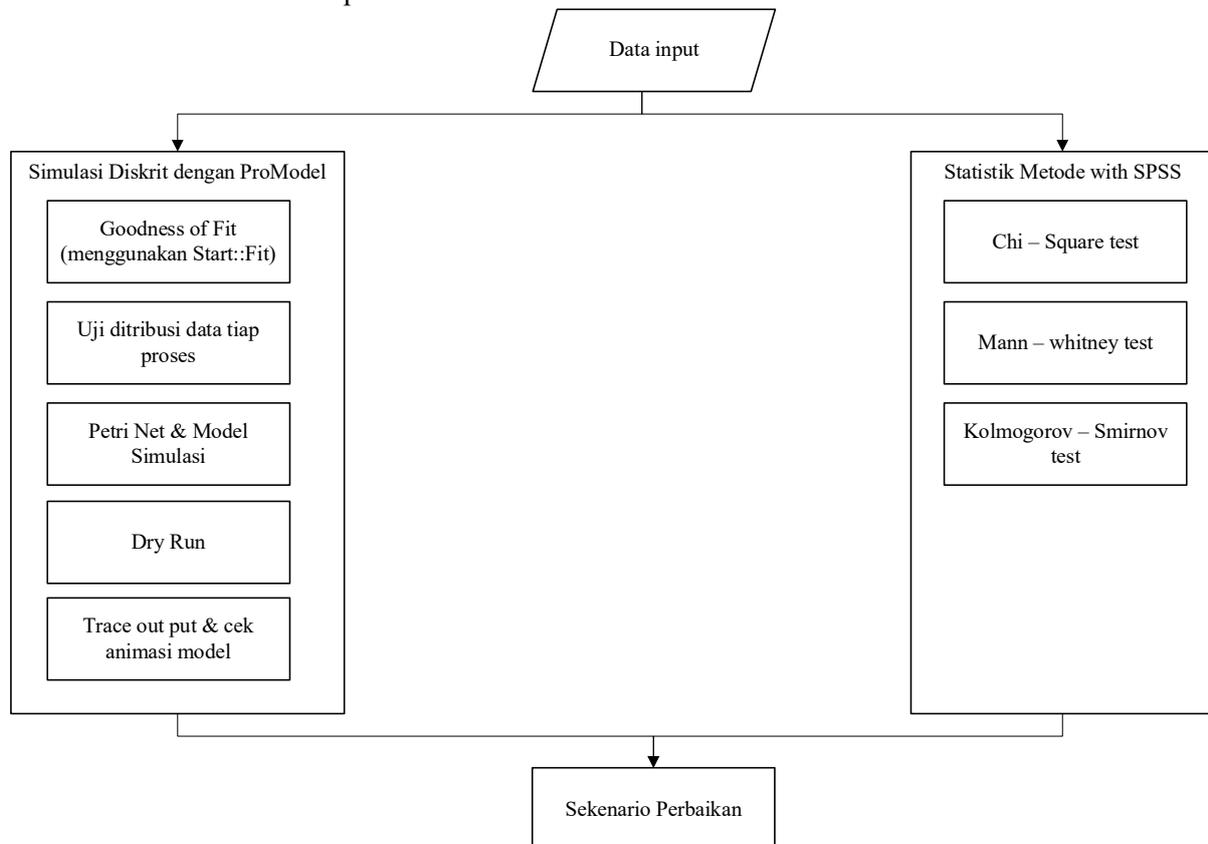
Namun, seiring dengan kompleksitas sistem produksi, efisiensi manufaktur masih menjadi tantangan utama. Ketidakefisienan yang muncul dalam bentuk bottleneck, gangguan peralatan, serta inefisiensi alur proses dapat menghambat output dan menurunkan daya saing industri. Inefisiensi proses menjadi salah satu penyebab utama menurunnya performa sistem produksi manufaktur secara menyeluruh (Randiva Aisyah Iskandar et al., 2024). Bahkan pada industri yang berorientasi ekspor pun, seperti yang ditunjukkan dalam studi oleh UI Scholars Hub (2019), ditemukan adanya inefisiensi teknis yang berdampak langsung terhadap produktivitas dan keberlanjutan perusahaan (Rustiawati & Lubis, 2019).

Untuk menghadapi permasalahan tersebut, pendekatan berbasis simulasi menjadi solusi yang banyak digunakan. Simulasi manufaktur adalah penggunaan perangkat lunak komputer untuk

membuat model representasi digital dari sistem manufaktur di dunia nyata (Dio et al., 2023). Model ini dapat dijalankan untuk menganalisis performa sistem, termasuk mengidentifikasi bottleneck, tanpa perlu mengganggu sistem fisik yang sebenarnya (Wisnumurti et al., 2023). Salah satu bentuk simulasi yang umum digunakan adalah Discrete Event Simulation (DES), yaitu jenis simulasi yang memodelkan sistem sebagai rangkaian kejadian yang terjadi pada waktu diskrit. DES hanya mengubah kondisi sistem ketika peristiwa khusus berlangsung, menjadikannya ideal untuk merepresentasikan proses produksi dengan kegiatan yang berurutan dan saling berkaitan (Banks, J et al., 2013).

Penelitian optimasi manufaktur terkini menunjukkan perkembangan melalui berbagai pendekatan inovatif. Wang et al. (2021) mengusulkan kerangka kerja digital twin untuk integrasi manufaktur dan pemeliharaan pada sistem bogie kereta api dengan prediksi kesalahan berbasis grey system forecasting. Benfer et al. (2024) membandingkan algoritma genetika dan simulated annealing dalam optimasi produksi matriks, di mana simulated annealing lebih unggul dalam efisiensi komputasi. Sari & İç (2024) memperkenalkan model fuzzy bottleneck yang mengintegrasikan logika fuzzy dengan simulasi Solberg untuk mengatasi ketidakpastian waktu proses manufaktur kendaraan.

Meskipun berharga, penelitian-penelitian tersebut memiliki keterbatasan. Integrasi digital twin dengan teknik optimasi metaheuristik belum dieksplorasi mendalam, padahal dapat menciptakan sistem produksi yang lebih adaptif. Model fuzzy bottleneck masih mengasumsikan bottleneck statis sehingga kurang menangani dinamika produksi riil. Penelitian ini berkontribusi dengan memperkenalkan framework integrasi simulasi ProModel dan analisis statistik untuk validasi rekonfigurasi sumber daya industri kecil - menengah pembuatan metal box, yang belum ada dalam studi sebelumnya. Discrete Event Simulation dengan software ProModel lebih mudah diaplikasikan pada industri kecil – menengah karena kemudahan mengoperasikan data dan lisensi yang relatif murah. Pada Gambar 1 akan di perlihatkan kerangka berfikir atau framework integrasi simulasi dan statistik untuk penelitian ini.



Gambar 2. kerangka berfikir atau framework integrasi simulasi dan statistik

Penelitian ini dibahas pembuatan model sistem produksi metal box PDAM di PT. MNO menggunakan pendekatan simulasi berbasis discrete-event dengan software ProModel. Penelitian ini di laksanakan oleh karena proses produksinya pada PT. MNO sering mengalami bottleneck yang membuat produktivitas menurun tiap bulannya. Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan utama dari penelitian ini adalah mengidentifikasi lokasi bottleneck sistem produksi, serta memberikan skenario perbaikan dari sisi sumber daya sebagai langkah awal dalam upaya peningkatan efisiensi dan produktivitas di PT. MNO.

METODE

Penelitian ini merupakan jenis penelitian terapan (applied research) dengan metode simulasi kuantitatif. Penelitian kali ini berfokus pada pemecahan masalah nyata sistem produksi *metal box PDAM* di PT. MNO, khususnya untuk mengidentifikasi dan mengurangi *bottleneck* pada proses perakitan dengan cara mensimulasikan sistem produksi (Blanchard & Fabrycky, 2023). Pendekatan yang digunakan adalah simulasi diskrit kejadian (discrete event simulation) dengan memanfaatkan *software* ProModel untuk memodelkan alur produksi, menganalisis kinerja sistem, dan menguji skenario perbaikan (Harrell et al., 2012). Metode penelitian ini bersifat kuantitatif, mengandalkan data numerik seperti waktu proses, tingkat utilitas mesin, dan antrian kerja, yang kemudian diuji distribusinya menggunakan *Stat::Fit* dan divalidasi melalui uji *Chi-Square* serta *Mann-Whitney* (Banks et al., 2013).

Secara desain, penelitian ini termasuk studi kasus (case study) karena berfokus pada satu konteks spesifik, yakni proses manufaktur di PT. MNO, dengan pengumpulan data melalui observasi lapangan dan analisis dokumen (Yin, 2017). Tingkat eksplanasinya bersifat deskriptif-analitik, di mana tahap deskripsi digunakan untuk memetakan sistem produksi yang ada, sedangkan analisis bertujuan mengidentifikasi inefisiensi dan mengusulkan solusi berbasis simulasi (Law, 2015). Hasil penelitian menunjukkan temuan-temuan yang muncul dari penelitian kemudian dianalisis guna menentukan saran perbaikan (Kelton et al., 2015).

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data terdiri dari beberapa alat. Alat berupa stopwatch untuk mengukur waktu produksi. Alat berikutnya ialah counter pencacah mekanik guna menghitung jumlah output produksi. Form pencatatan untuk mencatat lama waktu untuk setiap proses produksi dan jumlah output pada setiap proses produksi. Untuk simulasi memerlukan komputer dengan prosesor ryzen 7 generasi 8, ram 16 gb, dan ssd 512 gb. Komputer juga telah terinstal sistem operasi windows 11. Dikomputer juga telah terinstal software ProModel Microsoft Excel dan SPSS..

Penelitian ini mengkaji sistem produksi metal box PDAM di PT. MNO dengan pendekatan simulasi diskrit berbasis software ProModel. Objek penelitian difokuskan pada empat proses utama produksi: (1) pemotongan plat besi, (2) penekukan plat besi, (3) perakitan komponen, dan (4) proses finishing. Pada setiap proses produksi terdapat satu buah mesin dan dioperasikan seorang operator.

Variabel penelitian terdiri dari tiga kategori utama. Variabel input meliputi jumlah operator di setiap stasiun kerja, distribusi waktu proses setiap tahapan produksi, serta kapasitas mesin dan sistem antrian. Variabel output mencakup total produk selesai (total exit), tingkat utilitas mesin dan operator, serta waktu tunggu pada setiap proses. Sedangkan variabel kontrol meliputi asumsi ketersediaan material yang kontinu dan kondisi operasional mesin yang ideal tanpa breakdown.

Penelitian ini menerapkan metodologi simulasi diskrit dengan 50 replikasi data untuk memastikan validitas model (Vázquez-Serrano et al., 2021). Hasil analisis menunjukkan adanya bottleneck pada proses perakitan dengan utilitas mencapai 93,64% dan waktu tunggu antrian sebesar 237,07 menit. Solusi perbaikan yang diusulkan melalui skenario simulasi setelah penambahan sumber daya pada proses kritis.

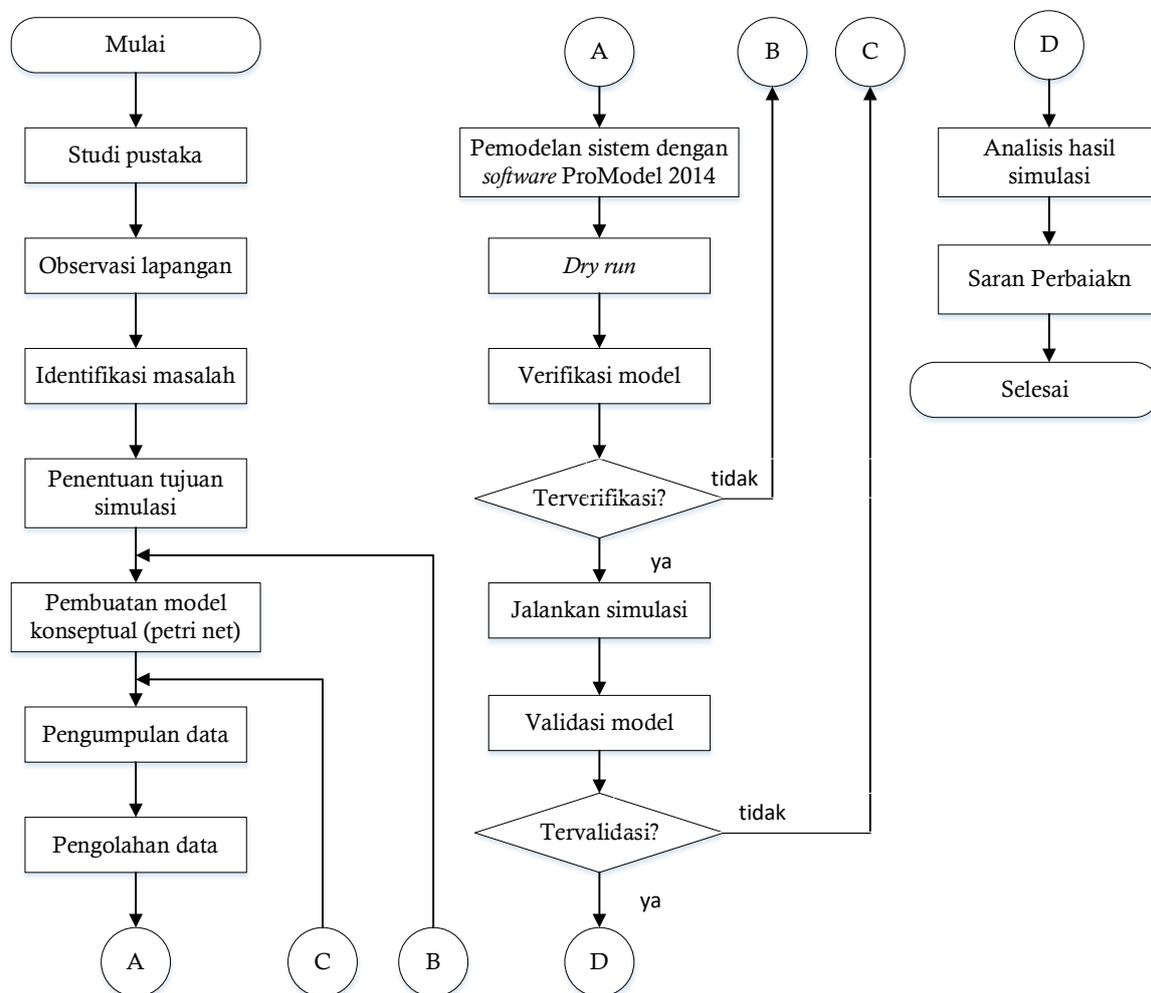
Penelitian ini diawali dengan melakukan studi pustaka untuk mempelajari materi-materi yang berkaitan dengan simulasi dan perangkat lunak ProModel yang diperoleh dari berbagai referensi ilmiah (Murdiyanto H, 2020). Tahap selanjutnya adalah melaksanakan observasi lapangan pada PT. MNO yang bergerak dalam industri pembuatan produk berbahan dasar besi untuk mengamati secara langsung kondisi dan proses produksi Box metal yang berlangsung di perusahaan tersebut.

Proses identifikasi masalah dilakukan untuk menentukan permasalahan utama yang terjadi dalam sistem produksi, di mana ditemukan adanya bottleneck pada proses perakitan yang memengaruhi efisiensi keseluruhan system (Risqi & Nasution, 2021). Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, ditetapkan tujuan simulasi yang dicapai sesuai dengan karakteristik studi kasus yang

diperoleh. Pembuatan model konseptual dilaksanakan dengan menggunakan PetriNet untuk merepresentasikan sistem nyata yang diamati dalam bentuk model visual yang sistematis dan terstruktur (Pertiwi & Octavianti, 2024).

Tahap pengumpulan data dilakukan dengan mengambil data waktu proses pada empat tahapan produksi utama, yaitu pemotongan, penekukan, perakitan, dan finishing (penghalusan). Data yang terkumpul kemudian diolah melalui metode statistik yaitu metode Goodness-of-Fit melalui fitur Stat::Fit di software ProModel untuk menentukan distribusi probabilitas yang tepat dengan software SPSS (Wilson Sitopu, 2022). Pemodelan sistem selanjutnya dilaksanakan dengan menggunakan perangkat lunak ProModel untuk menggambarkan dan mensimulasikan proses sistem produksi secara digital (Septiani et al., 2021).

Sebelum menjalankan simulasi utama, dilakukan dry run untuk memastikan model dapat beroperasi dengan baik tanpa kesalahan teknis (Swastana, 2023). Verifikasi model dilaksanakan sebagai proses pemeriksaan logika operasional model (program komputer) agar sesuai dengan diagram alur yang telah dirancang sebelumnya melalui dry run sebelumnya (Ismayanti et al., 2019). Setelah model berhasil diverifikasi, simulasi dijalankan untuk memperoleh data output yang kemudian divalidasi melalui proses penentuan apakah model merupakan representasi yang akurat dan sesuai dengan sistem nyata yang diamati melalui Uji Chi-Square (Ruslim & Sutapa, 2020).



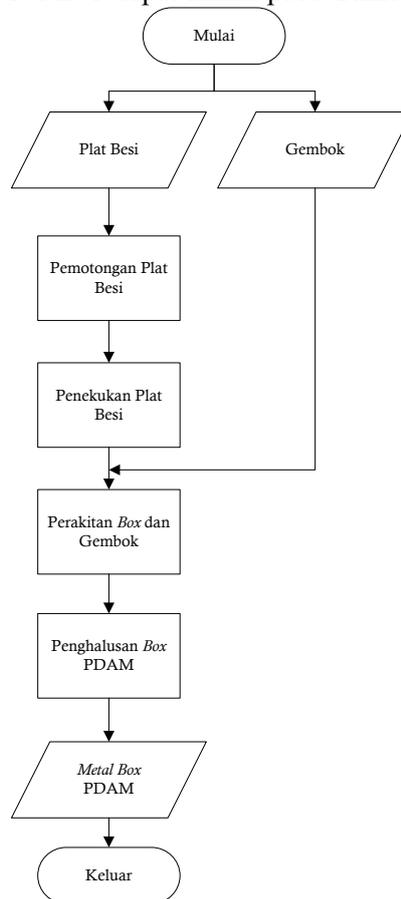
Gambar 3. Alur Penelitian

Analisis hasil simulasi dilakukan untuk menginterpretasi dan memahami output yang dihasilkan oleh sistem model (Chafifah Wulandari et al., 2023). Berdasarkan temuan dari analisis tersebut, dibuatlah saran rekomendasi yang bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja sistem produksi dan mengatasi bottleneck yang teridentifikasi (Pramaningrum et al., 2025). Saran yang dibuat berdasarkan analisis juga diharapkan dapat meningkatkan peningkatan performa Produksi. (Yanyan

Ramdhani et al., 2022). Penelitian diakhiri dengan penarikan kesimpulan yang mencakup temuan-temuan penting dan pemberian saran praktis yang dapat diimplementasikan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan (Nur Rakhmaddian et al., 2023). Gambar dari alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.

HASIL DAN DISKUSI

Alur sistem produksi di PT. MNO diamati secara langsung oleh Observer di lapangan. Diagram alir sistem produksi di PT. MNO dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 6. Diagram alir sistem produksi

Daftar aktivitas dari proses pembuatan metal box PDAM pada PT. MNO diobservasi langsung oleh observer di lapangan. Daftar aktivitas dari proses pembuatan metal box PDAM dapat di lihat pada tabel 1.

Tabel 1. Daftar Aktivitas Pembuatan *Metal Box* PDAM

Aktivitas	Deskripsi	Entitas
A	Kedatangan Plat Besi	Besi
B	Kedatangan Gembok	Gembok
C	Besi dipotong mesin pemotong dan operator potong	Besi, mesin pemotong, operator potong
D	Besi ditebuk pada mesin penekuk dan operator penekuk	Besi, mesin penekuk, operator tekuk penekuk
E	Besi dirakit dengan gembok oleh operator perakitan	Besi, gembok, operator perakitan
F	<i>Box</i> dihaluskan oleh operator <i>finishing</i>	<i>Box</i> , operator <i>finishing</i>
G	Besi selesai dipotong mesin pemotong dan operator pemotong	Besi, mesin pemotong, operator potong
H	Besi selesai ditebuk mesin penekuk dan operator penekuk	Besi, mesin penekuk, operator tekuk penekuk
I	Besi selesai dirakit operator perakitan	Besi, gembok, operator perakitan
J	<i>Box</i> selesai di <i>finishing</i> operator <i>finishing</i>	<i>Box</i> , operator <i>finishing</i>
K	Mesin pemotongan <i>idle</i>	Mesin pemotongan

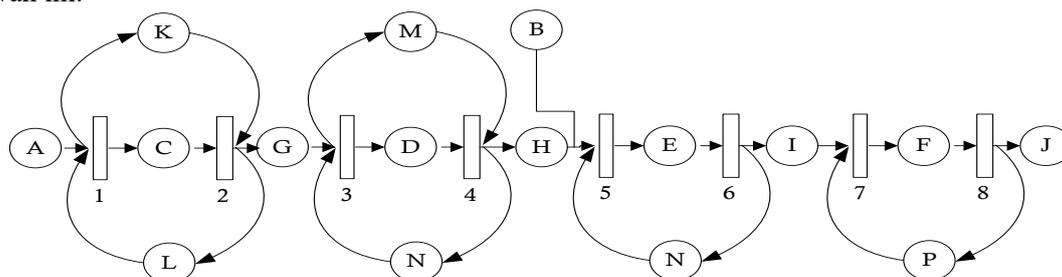
L	Operator pemotongan <i>idle</i>	Operator pemotongan
M	Mesin penekukan <i>idle</i>	Mesin penekukan
N	Operator penekukan <i>idle</i>	Operator penekukan
O	Operator perakitan <i>idle</i>	Operator perakitan
P	Operator <i>finishing idle</i>	Operator <i>finishing</i>

Daftar kejadian dari proses pembuatan metal box PDAM pada PT. MNO diperoleh dari obserfasi oleh peneliti di lapangan. Pada Tabel 2 dijelaskan proses-proses pembuatan metal box PDAM.

Tabel 3. Daftar Kejadian dari Proses Pembuatan *Metal Box* PDAM

Kejadian	Deskripsi	PreCondition	PostCondition
1	Mulai proses pemotongan	A, K, L	C
2	Selesai proses pemotongan	C	G, L, K
3	Mulai proses penekukan	G, M, N	D
4	Selesai proses penekukan	D	H, M, N
5	Mulai proses perakitan	H, O	E
6	Selesai proses perakitan	E	I, O
7	Mulai proses <i>finishing</i>	I, P	F
8	Selesai proses <i>finishing</i>	F	J, P

Model *PetriNet* di penelitian ini dibuat berdasarkan gambar 1, table 1, dan table 2. Model *PetriNet* dari proses pembuatan *metal box* PDAM pada PT. MNO dapat dilihat pada Gambar 7 dibawah ini.



Gambar 8. *PetriNet* sistem proses pembuatan *metal box* PDAM

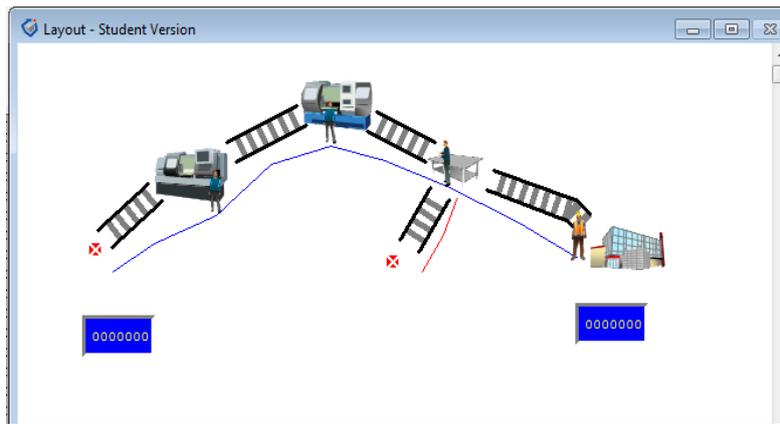
Sebelum pembangunan model simulasi, data waktu proses untuk setiap stasiun kerja dianalisis distribusinya menggunakan Stat::Fit. Hasil analisis distribusi data menunjukkan bahwa semua waktu proses mengikuti distribusi Normal. Pada Tabel 4 dibawah ini diperlihatkan hasil pengujian distribusi data untuk setiap proses produksi.

Tabel 5. hasil untuk distribusi data pada tiap proses produksi

Aktivitas	Distribusi Pendugaan	Distribusi Pilihan	Acceptance
Proses Pemotongan	Normal/ Triangular/ Uniform	Normal (9,42 ; 1,08)	Do not reject
Proses Penekukan	Normal/Triangular/ Uniform	Normal (2,39 ; 0,139)	Do not reject
Proses Perakitan	Normal/Triangular/ Uniform	Normal (18 ;2,02)	Do not reject
Proses <i>Finishing</i>	Normal/Triangular/ Uniform	Normal (15 ; 1,58)	Do not reject

Validasi distribusi data dilakukan menggunakan uji Chi-Square. Dari perhitungan peneliti menunjukkan bahwa nilai Chi-Square hitung (0,04294) lebih kecil dari Chi-Square tabel (12,592). Kondisi ini mengindikasikan bahwa distribusi data yang digunakan valid dan dapat diterima.

Model simulasi yang dibangun telah melalui tahap verifikasi dan validasi untuk memastikan representasi yang akurat dari sistem nyata. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan model ProModel dengan model konseptual (*Petri Net*), melakukan trace pada output model, mengamati animasi simulasi, dan memeriksa compile error. Semua tahapan verifikasi menunjukkan bahwa model berjalan sesuai logika yang diinginkan dan bebas dari kesalahan. Pada Gambar 9 merupakan model dari system produksi pembuatan metal box.



Gambar 10. Model Simulasi System Produksi di ProModel

Validasi model dilakukan dengan membandingkan output model simulasi dengan output sistem nyata. Uji normalitas data output menunjukkan data tidak berdistribusi normal karena nilai $\text{sig} < 0,05$, maka data tidak normal, sehingga digunakan uji non-parametrik Mann-Whitney. Pada tabel 4 menunjukkan hasil uji normalitas dari software SPSS.

Tabel 4. Hasil uji normalitas

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
data simulasi	0,367	5	0,026	0,684	5	0,006

Karena tidak berdistribusi normal maka dilanjutkan dengan uji non-parametrik. Uji non-parametrik yang digunakan adalah Mann-Whitney. Pada tabel 5 ditunjukkan hasil pengujian Mann-Whitney.

Tabel 5. Hasil uji Mann-Whitney

Test Statistics ^a	
	data nyata
Mann-Whitney U	5,000
Wilcoxon W	20,000
Z	-1,964
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,050
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	0,151

Hasil uji Mann-Whitney menunjukkan nilai signifikansi (2-tailed) sebesar 0,05, yang lebih besar atau sama dengan 0,025 ($\alpha/2$), sehingga hipotesis nol (tidak ada perbedaan antara data output simulasi dengan data output nyata) diterima. Hal ini mengkonfirmasi bahwa model simulasi yang dibangun adalah valid.

Simulasi model awal (As-Is) sistem produksi metal box PDAM di PT. MNO dijalankan untuk mengidentifikasi kinerja sistem saat ini. Hasil simulasi menunjukkan tiga metrik kinerja kunci. Ketiga analisis kunci tersebut merupakan Utilitas Lokasi, Utilitas Sumber Daya, dan Output Entitas.

Analisis utilitas lokasi menunjukkan bahwa proses perakitan memiliki utilitas tertinggi, rata-rata mencapai 93,64%. Lokasi lain seperti pemotongan besi memiliki utilitas sangat rendah (0,04%), penekukan besi (sekitar 62-68%), dan finishing (sekitar 68-71%). Tingginya utilitas pada proses perakitan mengindikasikan adanya bottleneck pada stasiun kerja ini, di mana stasiun tersebut bekerja mendekati kapasitas maksimumnya. Untuk detail simulasi output utilitas lokasi dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Output Hasil simulsi utilitas lokasi

Name	Utilization				
	1	2	3	4	5
Kedatangan plat besi	0	0	0	0	0
Pemotongan besi	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Penekukan besi	0,62	0,67	0,67	0,66	0,68
Perakitan	93,64	93,64	93,63	93,63	93,64
Finishing	70,72	68,26	70,93	71,09	70,69
Antrian pemotonga	0	0	0	0	0
Antrian penekukan	0	0	0	0	0
Antrian perakitan	0	0	0	0	0
Antrian finishing	0	0	0	0	0
Kedatngan gembok	0	0	0	0	0
Antrian gembok	0	0	0	0	0

Utilitas sumber daya juga mengkonfirmasi temuan pada utilitas lokasi. Operator perakitan (Operator perakitan.1 dan Operator perakitan.2) menunjukkan utilitas yang sangat tinggi, berkisar antara 86,48% hingga 91,38%. Sementara itu, mesin potong memiliki utilitas yang sangat rendah (0,07 - 0,08%), dan operator finishing menunjukkan utilitas yang lebih rendah dibandingkan operator perakitan (sekitar 78-81%). Tingginya utilitas operator perakitan mendukung identifikasi bottleneck pada proses perakitan. Untuk detail simulasi output utilitas lokasi dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Output hasil simulsi utilitas sumber daya

Name	Utilization				
	1	2	3	4	5
Mesin Potong	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
Mesin Tekuk	0,88	0,95	0,92	0,89	0,94
Operator pemotongan.1	0,9	0,9	0,91	0,91	0,9
Operator pemotongan.2	0,89	0,88	0,88	0,89	0,88
Operator penekukan.1	0,92	0,95	0,93	0,93	0,95
Operator penekukan.2	0,91	0,96	0,95	0,94	0,97
Operator perakitan.1	91,38	89,57	87,63	86,48	87,23
Operator perakitan.2	82,44	81,85	86,76	88,11	86,83
Operator Finishing	80,47	78,01	81,06	81,24	80,79

Tabel 8. Output entitas

Name	Total Exits					Current Quantity in System				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Plat besi	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Potongan plat besi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gembok	25,00	25,00	24,00	24,00	24,00	35,00	35,00	36,00	36,00	36,00
Besi tekuk	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	36,00	37,00	37,00	37,00
Box setengah jadi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Metal box PDAM	22,00	23,00	22,00	23,00	23,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Output total Metal Box PDAM dari simulasi model awal adalah 22 unit dalam 7 jam kerja. Selain itu, current quantity in system untuk entitas seperti gembok (36 unit) dan besi tekuk (37 unit) menunjukkan adanya penumpukan material yang belum diproses didalam sistem saat simulasi

berakhir, terutama di antrian menuju proses perakitan. Hal ini disebabkan oleh waktu proses perakitan yang lama, menyebabkan entitas menumpuk dan menghambat aliran produksi. Untuk detail simulasi output entitas dapat dilihat pada tabel 8.

Penelitian ini secara jelas menunjukkan bagaimana simulasi diskrit menggunakan ProModel dapat menjadi alat yang efektif untuk menganalisis dan mengoptimalkan sistem produksi. Identifikasi bottleneck pada proses perakitan di PT. MNO, yang ditandai dengan utilitas lokasi dan sumber daya yang sangat tinggi (mencapai 93,64% untuk lokasi perakitan dan 91,38% untuk operator perakitan), merupakan temuan krusial. Fenomena bottleneck ini sejalan dengan teori antrian yang menyatakan bahwa stasiun kerja dengan tingkat pemanfaatan yang sangat tinggi menjadi hambatan utama dalam aliran sistem, menyebabkan antrian panjang dan mengurangi throughput keseluruhan.

Hal ini berbeda dengan penelitian (Septiani et al., 2021) dimana penelitian tersebut menggunakan DES untuk mensimulasikan sistem produksi pembuatan meja. Hasil penelitian (Septiani et al., 2021) menunjukkan bottleneck pada proses penekukan besi yang mencapai 55%, sehingga rekomendasi perbaikannya adalah menambahkan jumlah mesin tekuk sebanyak 1 buah dan operator mesin tekuk ditambah 1 operator.

Kondisi Simulasi Model (as-is) sistem produksi yang hanya mampu menghasilkan 22 unit metal box PDAM dalam 7 jam kerja menunjukkan adanya inefisiensi yang signifikan. Penumpukan entitas (gembok dan besi tekuk) di antrian perakitan, serta adanya waktu idle pada operator finishing, mengindikasikan ketidakseimbangan beban kerja antar stasiun. Hal ini menegaskan pentingnya analisis utilitas dan work-in-process (WIP) dalam identifikasi bottleneck.

Usulan perbaikan atau skenario perbaikan terbaik ada dua yang pertama adalah penambahan satu lokasi dan satu operator pada proses perakitan. Usulan perbaikan yang kedua adalah penambahan satu lokasi dan satu operator pada proses finishing. Pada jumlah penambahan lokasi dan operator sebaiknya perlu di tinjau lagi melalui pendekatan secara metaheuristik dengan mensekenariokan penambahan sumberdaya dipenelitian berikutnya. Pendekatan secara metaheuristik ini dengan mengintegrasikan pendekatan digital twin dengan teknik optimasi metaheuristik guna menciptakan sistem produksi yang lebih adaptif.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi masalah bottleneck yang signifikan pada lini produksi perakitan metal box di PT. MNO, di mana utilitas proses perakitan mencapai 93,64% dengan output hanya 22 unit dalam 7 jam kerja, serta adanya waktu idle pada proses finishing. Melalui penerapan simulasi diskrit menggunakan software ProModel, skenario perbaikan terbaik, yaitu penambahan satu stasiun kerja dan satu operator pada proses perakitan dan finishing. Penambahan jumlah sumber daya di proses kritis ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi produksi di industri manufaktur. Penambahan jumlah mesin dan operator tentu akan memerlukan biaya yang harus diperhatikan mengingat penambahan sumberdaya berupa mesin dan SDM memerlukan biaya yang mahal perlu adanya pelatihan (Pertiwi & Octavianti, 2024).

Untuk penelitian berikutnya, disarankan untuk mengeksplorasi integrasi pendekatan digital twin dengan teknik optimasi metaheuristik guna menciptakan sistem produksi yang lebih adaptif. Hal ini mengacu pada salah satu metode pada penelitian Benfer et al. (2024). Selain itu, penelitian di masa depan dapat mempertimbangkan dinamika produksi riil yang lebih kompleks, tidak hanya mengasumsikan bottleneck statis, serta menguji implementasi solusi yang diusulkan dalam skala penuh untuk memvalidasi efektivitasnya di lingkungan operasional nyata. Penelitian lebih lanjut juga dapat berfokus pada analisis biaya-manafaat dari penambahan sumber daya dan optimalisasi tata letak fasilitas untuk efisiensi yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan PT. MNO atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama penelitian ini berlangsung. Apresiasi yang tinggi juga kami sampaikan kepada teman-teman peneliti atas kerja sama dan kontribusi yang tak ternilai. Terakhir, kami berterima kasih kepada publisir jurnal atas kesempatan untuk mempublikasikan hasil penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., Nicol, D. M., Fabrycky, W. J., & Mize, J. H. (2013). *Discrete-Event System Simulation Five Edition* (5th ed). Prentice Hall.
- Benfer, M., Heyer, V., Brützel, O., Liebrecht, C., Peukert, S., & Lanza, G. (2024). Analysis of metaheuristic optimisation techniques for simulated matrix production systems. *Production Engineering*, 18(1), 159–168. <https://doi.org/10.1007/s11740-023-01225-3>
- Blanchard, B. S. ., & Fabrycky, W. J. . (2023). *Systems engineering and analysis* (5th ed). Pearson Education Limited. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/systems-engineering-and-analysis/P200000003367/9780137980888>
- Chafifah Wulandari, A., Witonohadi, A., & Puspitasari, F. (2023). Perancangan Model Simulasi dan Perbaikan Lini Produksi Pompa Air Tipe PS-135 E Menggunakan Simulasi Diskrit dan Theory Of Constraint pada PT. Tirta Intimizu Nusantara. *Jurnal Teknik Industri*, 13(1).
- Dio, R., Aulia Agung Dermawan, & Putera, D. A. (2023). Optimization of the Amount of Demand and Production of CV. XYZ Uses Flexsim Simulation Software. *Journal Of Industrial And Manufacture Engineering*, 7(1), 59–68. <https://doi.org/10.31289/jime.v7i1.9398>
- Harrell, Charles., Ghosh, B. K. ., & Bowden, Royce. (2012). *Simulation using ProModel* (3th ed). McGraw-Hill.
- Ismayanti, C. Y., Kusnandar, D., & Imro'ah, N. (2019). Verifikasi Model Arima Pada Peramalan Jumlah Kecelakaan Lalu Lintas Kota Pontianak Menggunakan Statistical Process Control. *Buletin Ilmiah Mat. Stat. dan Terapannya (Bimaster)*, 08(3), 421–428. <https://doi.org/https://doi.org/10.26418/bbimst.v8i3.33246>
- Kelton, W. David., Sadowski, R. P. ., & Zupick, N. B. . (2015). *Simulation with Arena* (Lorraine Buczek, Ed.; 6th ed., Vol. 1). McGraw-Hill Education. <https://eclass.aegean.gr/modules/document/file.php/211226/202014.pdf>
- Murdiyanto H. (2020). Obserfasi delay pada produksi keripik tempe menggunakan DES. *Jurnal Ilmiah Medan*, 2(3), 1–7. <https://doi.org/10.573829>
- Law, A. M. . (2015). *Simulation modeling and analysis*. McGraw-Hill Education. USA.
- Nur Rakhmaddian, N., Akhsani Setyo Prayoga, R., Farhan Abdillah Sholeh, M., & Melani Safitri Karoho, Y. (2023). Peramalan Permintaan Peti No. Abc Pada Industri Pertahanan Di Indonesia. *Tekmapro*, 18(1), 13–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.33005/tekmapro.v18i1.330>
- Pertiwi, R. I., & Octavianti, C. T. (2024). Model Petri Net Alur Pelayanan Resep Rumah Sakit X di Kota Malang. *Jurnal UJMC*, 10(1), 47–55. <https://doi.org/https://doi.org/10.52166/ujmc.v10i1.6891>
- Pramaningrum, D. S., Fernandes, A., Iriany, A., Solimun, Budi Astuti, A., & Haneinanda Junianto, F. (2025). Simulasi Pemodelan Jalur Semiparametrik Truncated Spline pada Kasus Perkembangan Cashless Society. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 12(1), 31–38. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2025128679>
- Randiva Aisyah Iskandar, A., Diastiningsih Subandi, M., Rani Br Pasaribu, R., & Wikansari, R. (2024). Penurunan Industri Manufaktur Terhadap Turunnya Ekspor Impor. *Investama: Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, 10(1).
- Rendra Kurniawan, & Muhammad Yasin. (2025). Dampak Revolusi Industri 4.0 Terhadap Kesiapan Indonesia. *MENAWAN: Jurnal Riset dan Publikasi Ilmu Ekonomi*, 3(1), 195–205. <https://doi.org/10.61132/menawan.v3i1.1181>
- Risqi, A., & Nasution, S. (2021). Identifikasi Permasalahan Penelitian. *ALACRITY: Journal Of Education*, 1(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.52121/alacrity.v1i2>
- Ruslim, R., & Sutapa, N. (2020). Pembaruan Standar serta Peningkatan Efektivitas dan Efisiensi Proses Loading Unit dengan Simulasi Flexsim. *Jurnal Titra*, 8(2), 289–296. <https://doi.org/https://doi.org/10.31955/mea.v8i3.4468>
- Rustiawati, R. B., & Lubis, A. F. (2019). Aktivitas Ekspor dan Inefisiensi Teknis Industri Andalan Ekspor Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, 19(2), 224–241. <https://doi.org/10.21002/jepi.2019.14>

- Sari, H., & İç, Y. T. (2024). The new fuzzy bottleneck model to improve the axle manufacturing system performance. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 18(2), 1087–1110. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01565-5>
- Septiani, W., Ardiansyah, D., & Suwiryono, S. A. (2021). Perancangan Simulasi Promodel Untuk Perbaikan Tata Letak Lantai Produksi Cold Finished Bar PTt. Iron Wire Works Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 6(1), 132–144. <https://doi.org/10.25105/pdk.v6i1.8635>
- Swastana, I. N. (2023). Memastikan langkah langkah penanganan Gangguan dengan Dry Simulation (Simulasi Kering) guna meminimalkan waktu padam & merekomendasi hal-hal yang lebih strategis lagi Studi kasus: Subsistem Bali. *Jurnal Energi dan Ketenagalistrikan*, 1(1), 13–22. <https://doi.org/10.33322/JUKE.V1I1.8>
- Vázquez-Serrano, J. I., Peimbert-García, R. E., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2021). Discrete-event simulation modeling in healthcare: A comprehensive review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(22). <https://doi.org/10.3390/ijerph182212262>
- Wang, Y., Ren, W., Li, Y., & Zhang, C. (2021). Complex product manufacturing and operation and maintenance integration based on digital twin. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 117(1–2), 361–381. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07350-6>
- Wilson Sitopu, J. (2022). Fungsi Pembangkit Momen dari Distribusi Probabilitas Diskrit. *FARABI: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, 5(2), 144–153. <https://doi.org/https://doi.org/10.47662/JMPM>
- 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 TRINISTIK: Jurnal Teknik Industri, Bisnis Digital, dan Teknik Logistik*, 2(2), 68–71. <https://doi.org/10.20895/trinistik.v2i2.1012>
- Yanyan Ramdhani, A., Anna Tul Munikhah, I., Windu Arini, R., & Saepullah, A. (2022). Peningkatan Performansi Proses Produksi Konveksi dengan Software Simulasi Flexsim 2019. *Jurnal TRINISTIK*, 1(2). <https://doi.org/10.20895/trinistik.v1i2.712>
- Yin, R. K. (2017). *Case Study Research and Applications: Design and Methods. First Edition* (1th ed). McGuffey. New York.