PENINGKATAN KAPASITAS MESIN *RUBBER SHEET CALENDAR* MENGGUNAKAN *DISCRETE EVENT SIMULATION*: STUDI KASUS DI INDUSTRI PENGOLAHAN KARET

INCREASING RUBBER SHEET CALENDAR MACHINE CAPACITY USING DISCRETE EVENT SIMULATION: CASE STUDY IN RUBBER PROCESSING INDUSTRY

[1]Indra Elfantoro*, [2]Indra Kurniawan, [3]Yulida Intani Dewi, [4]Mochamad Rafi Herdiana
[1,2,3,4]Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
[1]*ie.i5995697@gmail.com, [2]indrakrc0@gmail.com, [3]yulidaintani@gmail.com , [4]mochamadrafiherdiana@gmail.com

I N F O A R T I K E L

Disetujui:Juli 2025

doi: 10.24843/JRATI.2025.v03.i01.p11
pageL 78-85

Kata Kunci:
Kapasitas produksi, Rubber Sheet Calender, Simulasi Peristiwa Diskrit, Throughput, Efisiensi Produksi

A B S T R A K

Peningkatan kapasitas produksi merupakan salah satu strategi penting untuk menjaga daya saing perusahaan ban di tengah dinamika pasar yang semakin kompetitif. Salah satu mesin krusial dalam proses produksi ban adalah Rubber Sheet Calender, yang saat ini hanya mampu memproduksi 2700 Tire Per Day (TPD). Padahal, berdasarkan proyeksi kebutuhan penjualan tahun 2025, kapasitas yang dibutuhkan mencapai 3000 TPD. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan meningkatkan kapasitas mesin Rubber Sheet Calender melalui pendekatan Discrete Event Simulation (DES). Data dikumpulkan melalui observasi langsung, studi waktu, serta wawancara dengan operator dan supervisor produksi. Model simulasi dibangun untuk merepresentasikan kondisi aktual (as-is) dan kemudian diuji melalui berbagai skenario perbaikan, seperti penambahan tenaga kerja, peningkatan kapasitas buffer, dan pengurangan waktu setup. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kombinasi dari beberapa perbaikan mampu meningkatkan throughput dengan meningkatkan kecepatan mesin dari 4.65 menjadi 6.31 sebesar 36%. Kapasitas sebelumnya 3360 menjadi 4962 sebesar 59%. Dengan demikian, rekomendasi perbaikan dengan menggunakan simulasi DES terbukti menjadi alat yang efektif dalam mendukung pengambilan keputusan strategis dalam peningkatan kapasitas produksi.

Keywords:
Production Capacity, Rubber Sheet Calender, Discrete Event Simulation, Throughput, Production Efficiency

A B S T R A C T

Increasing production capacity is one of the key strategies to maintain the competitiveness of tire companies in an increasingly dynamic and competitive market. One of the critical machines in the tire production process is the Rubber Sheet Calender, which currently has a capacity of only 2700 Tires Per Day (TPD). However, based on the sales forecast for 2025, the required production capacity is expected to reach 3000 TPD. This study aims to analyze and enhance the capacity of the Rubber Sheet Calender machine using the Discrete Event Simulation (DES) approach. Data were collected through direct observation, time studies, and interviews with machine operators and production supervisors. A simulation model was developed to represent the actual condition (as-is), and improvement scenarios were tested, including adding labor, increasing buffer capacity, and reducing setup time. The simulation results show that a combination of improvements can significantly increase throughput by increasing machine speed from 4.65 to 6.31 (a 36% increase) and raising production capacity from 3360 to 4962 (a 59% increase). Thus, the improvement recommendations using DES have proven to be an effective decision-support tool for enhancing production capacity.

**Corresponding author*: *ie.i5995697@gmail.com*

I. PENDAHULUAN

Di era pertumbuhan industri pengolahan karet yang semakin kompetitif, perusahaan dituntut untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan fleksibilitas operasional[1]. Kompleksitas sistem produksi melibatkan berbagai aspek, seperti mesin, tenaga kerja, alur material, dan jadwal produksi[2]. Ketidakseimbangan salah satu aspek tersebut mampu mempengaruhi daya saing perusahaan[3].

Salah satu komponen mesin yang memiliki peran sangat penting dan strategis dalam proses produksi di industri pengolahan karet adalah mesin rubber sheet calender, yaitu sebuah mesin yang berfungsi untuk membentuk dan mengubah bahan baku karet menjadi lembaran karet yang sesuai dengan spesifikasi teknis yang dibutuhkan dalam proses produksi berikutnya. Namun, berdasarkan hasil observasi dan data operasional terkini, mesin rubber sheet calender ini menghadapi permasalahan kapasitas, di mana mesin tersebut saat ini hanya memiliki kemampuan produksi maksimum sebesar 2.700 Tire per Day (TPD). Jumlah ini masih berada di bawah kebutuhan produksi yang diproyeksikan untuk tahun 2025, yang diperkirakan akan mencapai 3.000 TPD, sesuai dengan prediksi peningkatan permintaan pasar yang berasal dari baik sektor domestik maupun internasional. Dengan adanya kesenjangan antara kapasitas aktual dan target produksi

tersebut, maka diperlukan upaya strategis dan terukur untuk meningkatkan kapasitas mesin agar mampu memenuhi target yang telah ditetapkan. Ketidaksesuaian antara kapasitas produksi mesin dan permintaan menyebabkan adanya potensi kehilangan penjualan dan penurunan daya saing perusahaan di pasar global. Oleh karena itu, meningkatkan kapasitas mesin menjadi salah satu langkah strategis yang diambil oleh perusahaan dalam rangka meningkatkan daya saing[4]. Dengan kapasitas produksi yang lebih besar, perusahaan dapat memenuhi permintaan dengan baik di pasar domestik maupun internasional Peningkatan kapasitas mesin tidak hanya berguna untuk meningkatkan volume produksi, tetapi juga dapat mepercepat waktu proses produksi, mengurangi *bottleneck,* dan meningkatkan efisiensi biaya produksi[5].

Metode simulasi yang digunakan adalah *Discrete Event Simulation* (DES) [6]. DES adalah metode pemodelan sistem di mana status sistem berubah pada waktu tertentu dikarenakan peristiwa-peristiwa abstrak[7][8]. DES sangat berguna dalam merancang dan mengoptimalkan sistem manufaktur, salah satunya di industri pengolahan karet [9]. Penelitian [9] menggunakan DES dengan tujuan meningkatkan efisiensi sistem produksi dengan simulasi. DES mampu mengidentifikasi *bottleneck*, mengurangi waktu tunggu, dan mengingkatkan kapasitas mesin. Berbagai penerapan DES sukses di berbagai industri, salah satunya pengolahan karet. Penelitian tersebut memberikan *conceptual framework* dalam mengevaluasi kapasitas mesin *rubber sheet calender* dengan mengoptimalkan tata letak[10].

Pada penelitian [11], DES mampu mengidentifikasi *bottleneck* pada industri pengolahan plastik. Proses *bottom cut* mengalami penundaan rata-rata 1,04 jam dan kekurangan bahan baku menyebabkan keterlamabatan mencapai 7,62 jam. Pada penelitian [12], perusahaan kesulitan memenuhi target produksi 550 unit dalam 10 hari. Kesulitan tersebut sama dengan masalah yang dialami di dalam penelitian ini. Perbaikan dilakukan dengan 3 skenario dan disimulasikan dengan DES. Skenario terbaik adalah skenario 3, yaitu penambahan *workstation* dan redistribusi operator. *Output* skenario 3 sebesar 31 unit per hari atau naik 63,17%. Penelitian [13] menggunakan metode DES dan *software* Promodel untuk perbaikan lini produksi pompa air. *Bottleneck* utama ada pada stasiun kerja *treatment*. Skenario perbaikan ada 3 dengan skenario terbaik adalah skenario 3. Skenario 3 menurunkan waktu produksi sebesar 33%. Penelitian [14] merupakan kajian penerapan DES untuk meningkatkan kapasitas *belt conveyor.* Penelitian tersebut membandingkan percobaan langsung dan dengan DES. Hasilnya adalah DES dapat menjadi alternatif valid untuk pengujian performa *belt conveyor*.

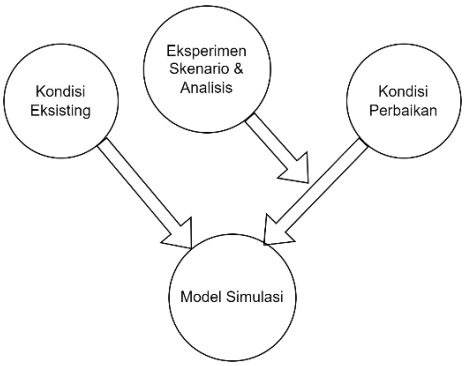
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *bottleneck* dan *root cause* yang menyebabkan tidak tercapainya target produksi. Serta membuat simulasi proses agar target mesin tercapai. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi strategi perusahaan untuk meningkatkan kapasitas mesin *rubber cheet calendar*.

II. METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Desain Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif eksperiman simulatif dengan mencoba melakukan simulasi pada sistem serta memberikan perbaikan dari model produksi karet ban[10].

Desain penelitian ini meningkatkan kapasitas mesin *Rubber Sheet Calender* melalui pendekatan simulasi *Discrete Event Simulation* (DES), serta mengevaluasi dampak perubahan parameter (misalnya waktu *setup*, waktu proses, jumlah operator, atau antrian) terhadap *throughput* [15][16]. Dengan objek penelitian yakni mesin *rubber sheet calender* beserta lokasi penelitian di industri karet. Berikut merupakan model konseptual dari penelitian ini.



Gambar 1. Model Konseptual penelitian

B. Metode pengumpulan data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini terbagi menjadi 2 bagian yakni:

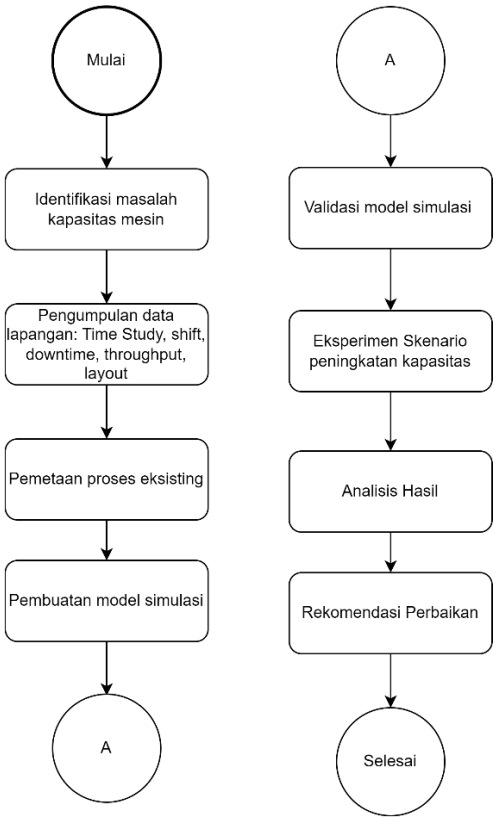
1. Primer
   Pengumpulan data primer dilakukan dengan wawancara terstruktur secara vertikal supervisor hingga operator, dan observasi lapangan mengenai alur proses produksi dan *checklist* serta pengambilan data secara observasi.
2. Sekunder
   Data sekunder didapatkan dari laporan perusahaan mengenai laporan produksi, seperti *reject rate*, output per *shift*, *downtime log*. SOP dan IK, Tata letak pabrik didalamnya kapasitas mesin serta jarak antar proses, data selanjutnya mengenai *Master Production Schedule*.

Berikut merupakan alur penelitian dari penelitian ini sehingga penelitian dapat berjalan dengan semestinya:

Alur penelitian dimulai dengan identifikasi masalah yang terjadi pada kapasitas mesin. Selanjutnya proses literatur review berupa kajian penelitian terdahulu yang relevan terhadap penelitian ini. Pengumpulan data selanjutnya adalah wawancara dan observasi terhadap manajemen perusahaan pengolahan karet, serta pengumpulan data histori laporan internal perusahaan. Proses eksisting dipetakan lalu dicari bottleneck-nya. Langkah selanjutnya adalah pembuatan model dengan software Promodel dan simulasi perbaikan. Hasil simulasi dianalisis dampaknya terhadap peningkatan kapasitas

.

mesin. Keterbatasan penelitian ini digunakan sebagai rekomendasi penelitian selanjutnya.



Gambar 2. Alur Penelitian

C. Analisis data

Pada analisis data penelitian ini dengan menggunakan pendekatan simulasi pada sistem proses produksi. Permasalahan yang terjadi dianalisis dengan diagram tulang ikan atau diagram sebab akibat [17]. *Fishbone diagram* adalah alat visual yang digunakan untuk mengetahui akar masalah yang meliputi *Man, Machine, Material, Method* [18]. Keunggulan diagram tersebut adalah mampu memvisualisasikan masalah secara menyeluruh dan terstruktur [19]. Fokus analisis bukan hanya pada permukaan, tetapi sampai ke akar masalah. Permasalahan ditulis pada mulut ikan, selanjutnya dituliskan masalah 4M beserta penyebabnya. Keterbatasan diagram ini adalah analisis secara kualitatif, sehingga tidak ada pengujian secara statistik [20].

Analisis data secara kuantitatif dilakukan dengan metode *Discrete Event Simulation* (DES) dengan *software* Promodel 7. DES adalah metode pemodelan sistem di mana status sistem berubah pada waktu tertentu dikarenakan peristiwa-peristiwa abstrak [21][9]. *Software* Promodel untuk DES dapat digunakan untuk membangun model simulasi produksi, verifikasi dan validasi model, serta menguji coba skenario perbaikan [13].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

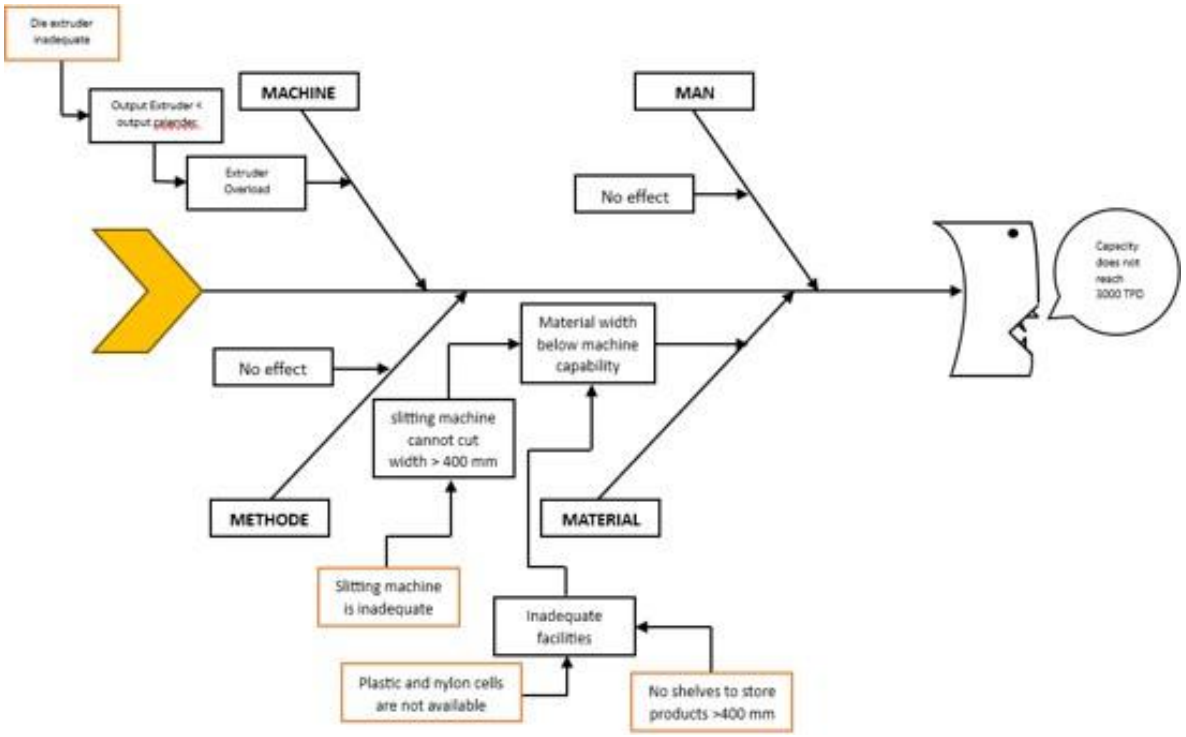
A. *Fishbone diagram*

Analisis kualitatif penyebab mesin tidak mencapai target dilakukan dengan *fishbone diagram*. *Fishbone diagram* mampu menganalisis *bottleneck* seperti pada penelitian [22]. Hasil penelitian tersebut dapat mengidentifikasi bahwa *bottleneck* aliran produksi terdapat pzada semua aspek, baik manusia, mesin, metode, dan tata letak. *Bottleneck* tersebut kemudian dilakukan perbaikan.

Tabel 1. Analisis 4M+1E

No	Process	Factor (4M + 1E)	Findings	Should	Effect
1	Rubber Sheet Calendar	Man	No issue	-	-
		Machine	Overloaded at the Extruder machine	The Extruder machine should not be overloaded	Stop production due to breakdown
		Material	Maximum width of the output product only 330mm	Maximum width can be up to 1000mm	Machine capacity is still below from target (not optimized)
		Methode	No issue	-	-
		Environment	No issue	-	-

Pada penelitian ini, masalah ketidakcapaian target diletakkan di mulut ikan, lalu masing-masing aspek diidentifikasi masalah yang menyebabkan target produksi tidak tercapai. Pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa tidak ada masalah pada *Man dan Method.* Penyebab masalah dari aspek *Material* adalah lebar material di bawah kapasitas mesin. Penyebab lebar material di bawah kapasitas mesin adalah mesin *slitting* tidak dapat memotong lebar di atas 400 mm dan fasilitas yang tidak memadai. Penyebab mesin *slitting* tidak dapat memotong lebar di atas 400 mm adalah mesin *slitting* tidak memadai. Penyebab fasilitas tidak memadai adalah plastik dan *nylon cells* tidak tersedia dan tidak ada penyimpanan produk di atas 400 mm. Penyebab masalah dari aspek *Machine* adalah *extruder overload* yang disebabkan oleh *output extruder* kurang dari *output calendar.* Penyebab *output extruder* kurang tersebut adalah *extruder die* tidak memadai. Analisis ini sesuai dengan penelitian [20] bahwa *fishbone* diagram menjelaskan masalah sampai pada akarnya. Hasil analisis *fishbone diagram* akan dilakukan pemodelan dan perbaikan.



Gambar 3. *Fishbone diagram*

B. Strategi perbaikan *root cause*

Berdasarkan *fishbone diagram*, terdapat 4 *root cause* penyebab tidak tercapainya target mesin. Keempat *root cause* tersebut adalah plastik dan *nylon cells* tidak tersedia, fasilitas yang tidak memadai untuk memproses material dengan lebar di atas 400 mm, mesin *slitting* tidak memadai, dan mesin *extruder die* tidak memadai. Masing-masing *root cause* akan dilakukan perbaikan.

1. Plastik dan *nylon cells* tidak tersedia

   Perbaikan pada plastik dilakukan dengan memesan material dengan lebar dari 330mm menjadi 700mm. Perbaikan *nylon cells* dilakukan dengan memodifikasi dimensi 800mm
2. Fasilitas yang tidak memadai untuk memproses material dengan lebar di atas 400 mm

   Perbaikan yang dilakukan adalah memebuat *hoist* dengan lebar 1000mm dan membuat rak dengan sistem *first in first out* (FIFO).
3. Mesin *slitting* tidak memadai

   Mesin *slitting* harus dimodifikasi dan ditambah jumlahnya. Perbaikan mesin *slitting* dilakukan dengan mengubah dimensi menjadi lebih besar, dari 1085mm
4. Mesin *extruder die* tidak memadai

   Perbaikan yamg dilakukan adalah membuat mesin *extruder die* lebih besar daripada dimensi *output.* Akan tetapi, *compound stopper* terlalu kecil untuk melewati *stopper guide* sehingga perlu adanya modifikasi *stopper guide*. *Stopper guide* dimodifikasi dengan tinggi 20cm.

Setelah dilakukan serangkaian analisis awal secara kualitatif yang mencakup identifikasi permasalahan pada lini produksi, observasi langsung di lapangan, serta wawancara dengan operator dan pihak manajemen produksi, langkah berikutnya dalam penelitian ini adalah melakukan analisis kuantitatif menggunakan pendekatan Discrete Event Simulation (DES). Pendekatan ini dipilih karena mampu merepresentasikan sistem nyata secara dinamis dan memungkinkan pengujian berbagai skenario perbaikan tanpa harus mengganggu proses produksi aktual. Untuk merealisasikan simulasi tersebut, model perbaikan proses produksi kemudian dikembangkan menggunakan software Promodel versi 7, yang dikenal luas dalam dunia industri sebagai salah satu perangkat lunak simulasi yang andal dan fleksibel. Visualisasi dari model proses produksi hasil

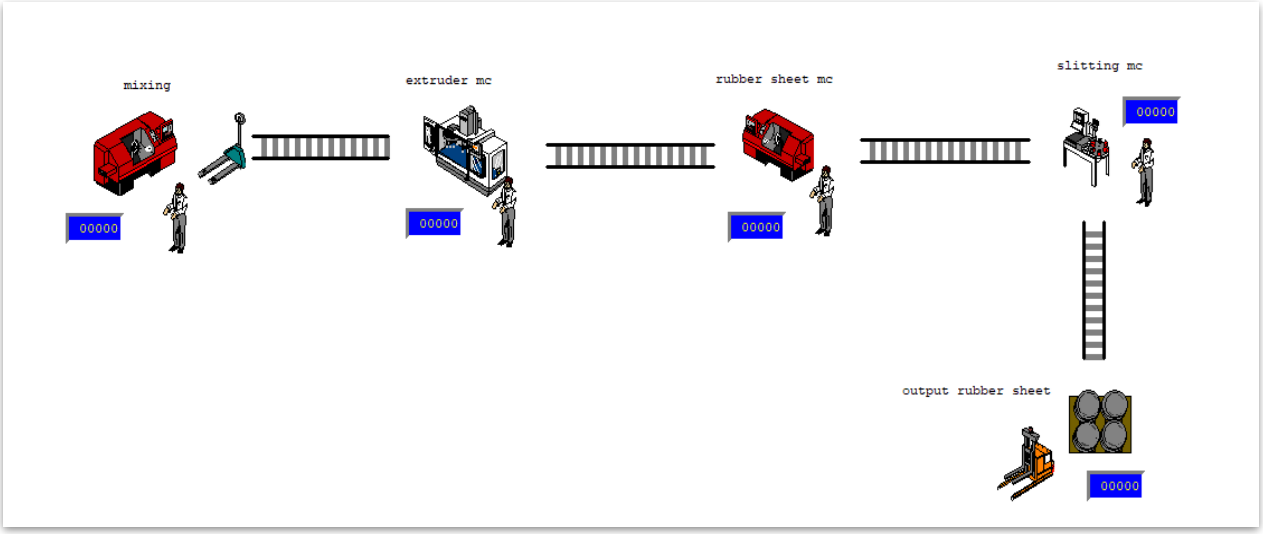
perbaikan dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan rancangan layout keseluruhan dari sistem produksi yang menjadi objek penelitian disajikan dalam Gambar 4.

Proses produksi secara keseluruhan terdiri atas lima tahapan utama, yaitu: proses mixing, mesin extruder, mesin rubber sheet calender, mesin slitting, dan proses assembly. Namun, berdasarkan hasil analisis sebelumnya dan identifikasi bottleneck, fokus utama dari perbaikan sistem difokuskan pada tiga titik krusial, yakni mesin extruder, mesin rubber sheet, dan mesin slitting, karena ketiga titik tersebut berkontribusi signifikan terhadap hambatan aliran material dan waktu tunggu dalam sistem.

Model simulasi yang dibangun memiliki sejumlah parameter penting untuk mencerminkan kondisi riil sistem produksi, antara lain terdiri dari 4 lokasi (locations) yang merepresentasikan titik proses utama dalam layout fisik, 2 jenis entitas (entities) yang menggambarkan tipe material yang bergerak di dalam sistem, serta 2 pola kedatangan (arrivals) yang merefleksikan frekuensi dan volume input ke dalam sistem selama waktu simulasi. Selain itu, terdapat 9 buah proses (process) yang disusun untuk menggambarkan aktivitas produksi secara menyeluruh dari awal hingga akhir.

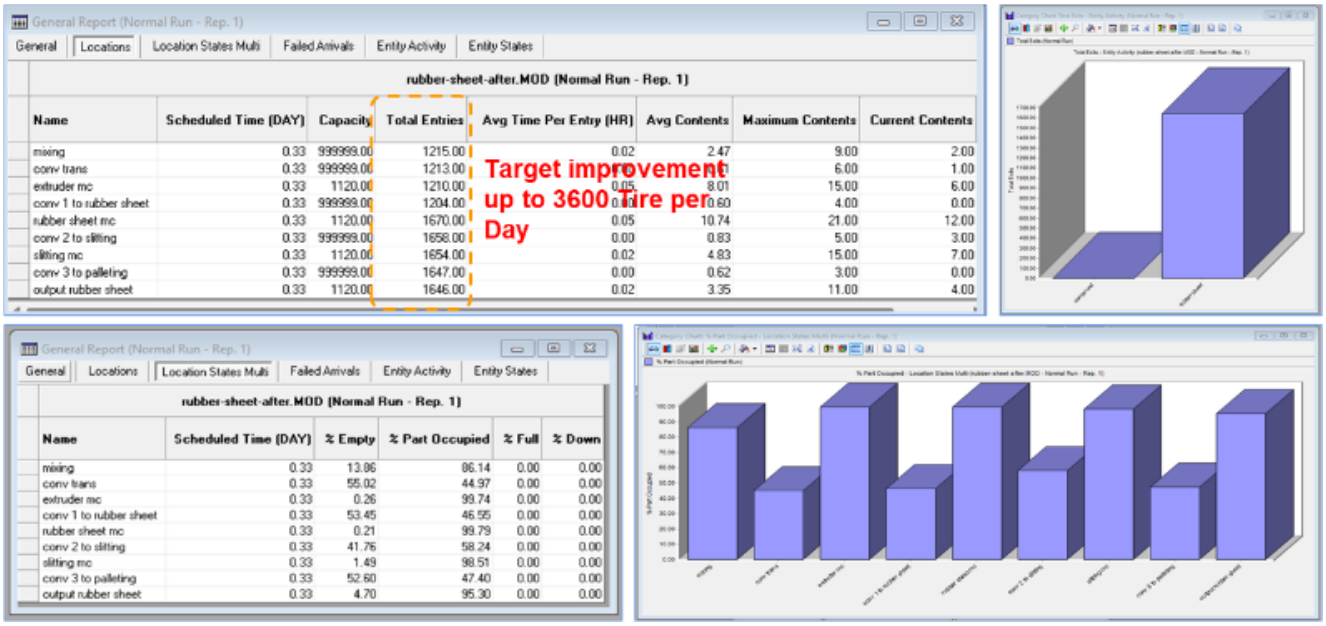
Simulasi dijalankan untuk merepresentasikan durasi kerja selama satu shift penuh atau selama 8 jam operasional, yang merupakan kondisi aktual dalam sistem kerja harian pabrik. Hasil dari simulasi ini nantinya akan dianalisis untuk menilai kinerja sistem terhadap berbagai skenario perbaikan yang telah dirancang, sehingga diperoleh gambaran kuantitatif yang mendalam mengenai potensi peningkatan kapasitas dan efisiensi yang dapat dicapai.

Gambar 4. Alur proses produksi



Gambar 5. Layout Proses Produksi

Hasil simulasi dengan *software Promodel* menunjukkan bahwa kombinasi perbaikan, seperti penambahan tenaga kerja, peningkatan kapasitas buffer, dan pengurangan waktu setup, mampu memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan performa mesin secara menyeluruh. Dengan mempertimbangkan aspek efisiensi dan *improvement* serta scenario yang sudah diterapkan dapat dihasilkan optimal dari segi biaya, manusia, dan kecepatan mesin dapat meningkat secara signifikan.



Gambar 6. Hasil Statistik Simulasi Model

Berikut merupakan ringkasan dari hasil sebelum dan sesudah penerapan scenario perbaikan. Dapat dikatakan hasil penggunaan Metode Simulasi Diskrit berhasil dan dapat mempengaruhi dan memodelkan kondisi actual di lapangan secara rinci

Tabel 1. Hasil Simulasi sebelum dan sesudah

Deskripsi	Kapasitas per hari	
	Sebelum	Sesudah
Mixing Extruder M/C Rubber Sheet M/C Slitting M/C	2725	3694
Maksimal Kapasitas	3360	4962
Total Mesin	1	1
Total waktu operasi	1440	1440
Kecepatan	4.65	6.31
Peningkatan kecepatan M/C	36%	
Peningkatan output	970	

Kecepatan mesin meningkat dari 4,65 menjadi 6,31 (naik 36%), dan kapasitas produksi meningkat dari 3360 menjadi 4962 TPD (naik 59%), atau melebihi target yang dibutuhkan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini bersifat kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan *fishbone diagram. Bottleneck* yang teridentifikasi dari *fishbone diagram* ada 4, yaitu plastik dan nylon cells tidak tersedia, fasilitas yang tidak memadai untuk memproses material dengan lebar di atas 400 mm, mesin *slitting* tidak memadai, dan mesin *extruder die* yang tidak memadai. Masing-masing *bottleneck* dilakukan perbaikan dan disimulasikan dengan *promodel.*

Beberapa scenario yang dijalankan pada simulasi model ini:

1. Pengurangan jumlah operator,
2. Peningkatan kapasitas buffer,
3. Pengurangan waktu setup, dan
4. Peningkatan kecepatan mesin secara bertahap.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kombinasi perbaikan, seperti penambahan tenaga kerja, peningkatan kapasitas buffer, dan pengurangan waktu setup, mampu memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan performa mesin. Kecepatan mesin meningkat dari 4,65 menjadi 6,31 (naik 36%), dan kapasitas produksi meningkat dari 3360 menjadi 4962 TPD (naik 59%), melebihi target yang dibutuhkan. Dengan demikian, pendekatan DES terbukti efektif dalam memetakan proses produksi, mengidentifikasi *bottleneck*, dan memberikan dasar kuantitatif dalam pengambilan keputusan strategis. Penerapan rekomendasi hasil simulasi ini berpotensi meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan daya saing perusahaan secara keseluruhan.

Hasil penelitian ini dapat digunakan oleh perusahaan untuk menyusun strategi dalam meningkatkan kapasitas mesin dengan mempertimbangkan model simulasi pada

penelitian ini serta melakukan scenario perbaikan yang sudah dijalankan secara rutin serta mengevaluasi hasilnya baik secara jangka pendek hingga Panjang. Rekomendasi penelitian selanjutnya adalah menghitung perbaikan dari sisi *man power* dan *cost* dari skenario yang diusulkan. Harapannya, perusahaan dapat meningkatkan kapasitas mesin dengan biaya termurah sehingga meningkatkan daya saing perusahaan. Secara teoritis penelitian ini memberikan kontribusi pada referensi studi kasus industri ban yang sangat jarang ditemukan di berbagai studi literatur. Secara metode pendekatan kuantitatif eksperimen simulatif layak dilakukan secara kontinu dan dievaluasi perkembangannya dalam metode pemecahan permasalahan mengenai simulasi

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Mercu Buana, manajemen perusahaan pengolahan karet, dan semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini sehingga artikel dapat diselesaikan dengan baik dan lancar.

DAFTAR RUJUKAN

[1] F. A. Triansyah *et al.*, *Manajemen Strategi Menghadapi Industri 5.0*. Cendikia Mulia Mandiri, 2024. doi: 10.2478/bipcm-2025-0009.

[2] A. A. T. Panudju *et al.*, *Pengantar Teknik Industri*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2025.

[3] S. E. Muhammad Fuad *et al.*, *STRATEGI KEUANGAN BISNIS: MENGELOLA MODAL UNTUK PERTUMBUHAN*. Cendikia Mulia Mandiri, 2025.

[4] M. S. Iswahyudi *et al.*, *Sistem Pendukung Keputusan*. Cendikia Mulia Mandiri, 2025.

[5] M. Jurczyk, "Tactical manufacturing capacity planning based on discrete event simulation and throughput accounting: A case study of medium sized production enterprise," *Advances in Production Engineering & Management*, vol. 16, pp. 335–347, Sep. 2021, doi: 10.14743/apem2021.3.404.

[6] M. R. Ciauşu-Sliwa, D. Ciauşu-Sliwa, and O. Dodun, "Discrete-Event Simulation for Smart Manufacturing: Assessing Software, Industry Adoption, and Future Research Challenges," *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iaşi. Machine constructions Section*, vol. 71, no. 1, pp. 105–124, 2025, doi: 10.2478/bipcm-2025-0009.

[7] B. K. Khotimah, *Teori simulasi dan pemodelan: konsep, aplikasi dan terapan*. BuatBuku. com, 2015.

[8] C. Standridge and M. Wynne, "Validation of production system throughput potential and simulation experiment design," *International Journal of Production Management and Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 15–23, 2021, doi: 10.4995/IJPME.2021.14483.

[9] D. Qiao and Y. Wang, "A review of the application of discrete event simulation in manufacturing," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 1802, no. 2, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1802/2/022066.

[10] O. Riskadayanti, Yuniaristanto, W. sutopo, and M. Hisjam, "Discrete-event simulation of a production process for increasing the efficiency of a newspaper production," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 495, no. 1, p. 012026, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/495/1/012026.

[11] A. Troncoso, A. Sanchez, and J. Gonzalez, "Discrete Events Simulation Method for Analyze Cycle Time: A Case Study in the Plastics Industry Sector," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 844, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/844/1/012063.

[12] G. Business and M. Research, "Optimizing Production Line Layout in a Manufacturing Company Using Discrete Event Simulation," *An International Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 286–309, 2025.

[13] Aulia Chafifah Wulandari, Amal Witonohadi, and Fani Puspitasari, "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*, vol. 13, no. 1, pp. 16–33, 2023, doi: 10.25105/jti.v13i1.17511.

[14] H. Novianto, R. M. Engineering, and M. Akamigas, "Experimental and discrete event simulation (DES) modeling analysis of the belt conveyor conveying capacity," vol. 22, no. 6, pp. 600–604, 2024.

[15] T. Yang, Y.-F. Wen, Z.-R. Hsieh, and J. Zhang, "A lean production system design for semiconductor crystal-ingot pulling manufacturing using hybrid Taguchi method and simulation optimization," *Assembly Automation*, vol. 40, no. 3, pp. 433–445, Jan. 2020, doi: 10.1108/AA-11-2018-0193.

[16] M. Woschank, P. Dallasega, A. König, and M. Hoffelner, "Potentials of using real-time data to increase the update frequency of production planning and control strategies in MTO: a discrete event simulation study," *Flex Serv Manuf J*, vol. 36, no. 3, pp. 760–779, Sep. 2024, doi: 10.1007/s10696-024-09550-0.

[17] S. E. Hantono, S. F. Wijaya, and M. SE, *Pengantar manajemen*. Penerbit Widina, 2025.

[18] J. T. Aqilah, R. Amelia, E. Prasetyo, D. Boimau, R. Fadli, and Y. Prastyo, "Analysis of the Causes of Production Process Failure with the FishBone Diagram Method and Implementation of TQM to Improve Product Quality in the Manufacturing Industry of PT Emsonic Indonesia," *Review: Journal of Multidisciplinary in Social Sciences*, vol. 1, no. 12, pp. 501–519, 2024.

[19] B. Mikolo, M. Elenga, and K. Tsoumou, "Causes of quality defects in cassava-based food production: An Ishikawa diagram analysis," *World J. Adv. Res. Rev*, vol. 24, pp. 750–758, 2024.

[20] S. Holifahtus Sakdiyah, N. Eltivia, and A. Afandi, "Root Cause Analysis Using Fishbone Diagram: Company Management Decision Making," *Journal of Applied Business, Taxation and Economics Research*, vol. 1, no. 6, pp. 566–576, 2022, doi: 10.54408/jabter.v1i6.103.

[21] W. Delaney, *Dynamic models and discrete event simulation*. CRC Press, 2020.

[22] M. I. Monoarfa, Y. Hariyanto, and A. Rasyid, "Analisis Penyebab bottleneck pada Aliran Produksi briquette charcoal dengan Menggunakan Diagram fishbone di PT. Saraswati Coconut Product," *Jambura Industrial Review (JIREV)*, vol. 1, no. 1, pp. 15–21, 2021, doi: 10.37905/jirev.1.1.15-21.

.