

ISSN (ONLINE) 2598-9936



INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES
PUBLISHED BY
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO



Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article.....	5
Title page	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	7

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 27 No. 1 (2026): January

DOI: 10.21070/ijins.v27i1.1597

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

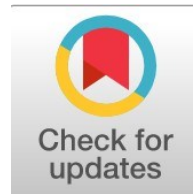
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Optimization of Cement Bag Production Scheduling Using Particle Swarm Optimization Method: Optimalisasi Penjadwalan Produksi Cement Bag Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization

Abdi Harish Pratama, abdiharish11@gmail.com (*)

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

Sumiati, sumiati.ti@upnjatim.ac.id

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

(*) Corresponding author

Abstract

General background: Efficient production scheduling is essential for improving operational performance in multi-stage manufacturing systems with fluctuating demand. **Specific background:** At PT XYZ, Cement Bag production involves six sequential machines, yet scheduling remains manual, causing bottlenecks, long waiting times, and a makespan that exceeds production targets. **Knowledge gap:** Prior studies largely optimize a single performance indicator—typically makespan—and rarely address dual objectives in complex multi-machine plastic-bag manufacturing. **Aims:** This study aims to optimize Cement Bag production scheduling using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm to minimize makespan and total waiting time simultaneously. **Results:** Implementing PSO on 12 jobs and 6 machines reduced makespan from 49,400 seconds to 34,520 seconds (32.77%) and lowered waiting time from 186,050 seconds to 115,870 seconds. The optimized job sequence balances machine workloads more effectively than the existing manual schedule. **Novelty:** The study integrates dual performance criteria in a real multi-process Cement Bag production system and applies PSO to an industrial context not previously examined comprehensively. **Implications:** Findings demonstrate PSO's suitability as an adaptive AI-based scheduling approach, offering manufacturers a practical pathway toward improved resource utilization, reduced delays, and enhanced responsiveness to market variability.

Highlights:

- Highlights the significant reduction of makespan and waiting time using PSO.
- Demonstrates balanced workload distribution across six machines.
- Shows the novelty of dual-objective optimization in Cement Bag production.

Keywords: Production Scheduling, PSO, Makespan, Waiting Time, Manufacturing

Published date: 2025-12-12

Pendahuluan

PT XYZ merupakan perusahaan manufaktur yang berfokus pada produksi karung plastik industri berkualitas tinggi, salah satunya *Cement Bag* yang digunakan secara luas pada sektor konstruksi dan logistik. Proses produksi di perusahaan ini bersifat terintegrasi, dimulai dari tahap *extruction*, yaitu pencairan bahan baku *Polypropylene* (PP) atau *Polyethylene* (PE) menjadi benang (*tape yarn*), dilanjutkan dengan proses *weaving* menggunakan mesin *circular loom*, kemudian *coating* dengan lapisan LDPE untuk meningkatkan ketahanan, serta tahap *printing*, *cutting*, dan *sewing* hingga menghasilkan produk akhir berkapasitas 40–50 kg. Kompleksitas alur produksi ini memerlukan pengelolaan penjadwalan yang akurat untuk memastikan setiap tahapan berjalan selaras dalam kerangka waktu yang efisien.

Sistem produksi yang diterapkan PT XYZ berbasis *Make To Order* (MTO), sehingga permintaan pelanggan cenderung fluktuatif dalam jumlah dan waktu pemesanan [1]. Kondisi ini menuntut sistem penjadwalan produksi yang adaptif dan mampu menyeimbangkan beban kerja antar stasiun produksi. Namun, praktik penjadwalan yang ada masih bersifat manual dan statis, hanya mengandalkan urutan tetap berdasarkan kebiasaan kerja terdahulu [2]. Hal tersebut berdampak pada munculnya *bottleneck* di sejumlah stasiun, tingginya waktu tunggu antar proses, dan akumulasi *makespan* yang melebihi target penyelesaian produksi [3]. Keterlambatan ini tidak hanya menimbulkan potensi ketidakpuasan pelanggan, tetapi juga meningkatkan biaya operasional akibat penggunaan sumber daya yang tidak optimal [4].

Permasalahan penjadwalan yang kompleks pada sistem produksi multiproses seperti di PT XYZ menjadi tantangan tersendiri. Metode konvensional seperti *heuristic scheduling* dan *linear programming* memiliki keterbatasan dalam menangani jumlah variabel keputusan yang besar, ketergantungan antar proses, dan dinamika permintaan yang berubah-ubah [5]. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan optimasi yang lebih fleksibel, mampu mengeksplorasi ruang solusi secara lebih luas, dan tidak terikat pada asumsi matematis yang ketat [6].

Particle Swarm Optimization (PSO) merupakan salah satu metode optimasi berbasis kecerdasan buatan yang dikembangkan dengan inspirasi dari perilaku kolektif populasi dalam mencari solusi terbaik [7]. Dalam konteks penjadwalan produksi, setiap partikel dalam algoritma PSO merepresentasikan alternatif urutan pekerjaan yang dinilai berdasarkan fungsi objektif, seperti minimasi *makespan* atau waktu tunggu total [8]. Mekanisme pembaruan posisi partikel dilakukan dengan mempertimbangkan pengalaman terbaik individu (*personal best*) serta informasi terbaik kelompok (*global best*), sehingga memungkinkan perbaikan solusi secara iteratif hingga tercapai kondisi konvergensi optimal [9].

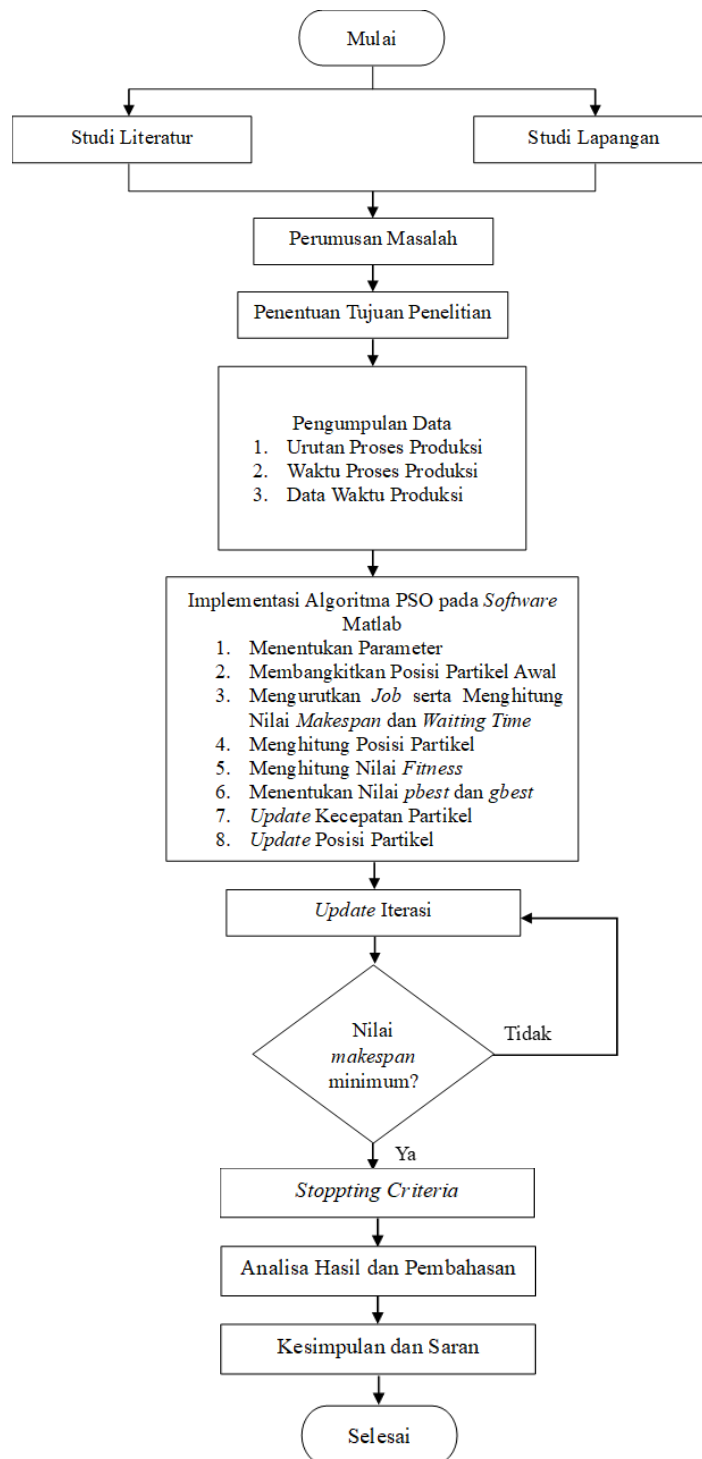
Keunggulan PSO terletak pada kemampuannya menjelajahi ruang solusi yang sangat besar dengan waktu komputasi relatif cepat, serta sifat adaptif yang sesuai untuk sistem produksi yang dinamis [10]. Studi terdahulu menunjukkan efektivitas PSO dalam menyelesaikan berbagai persoalan penjadwalan produksi. Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) mampu mengurangi *makespan* produksi jembatan baja di PT XYZ menjadi 8.394 menit, lebih efisien dibanding metode *Longest Processing Time* (LPT) [11]. Selain itu, penelitian lain menunjukkan PSO dapat menyelesaikan permasalahan *ordered flowshop scheduling* dalam waktu eksekusi hanya 28,42 detik, dengan hasil *makespan* minimum yang signifikan [12]. Temuan ini menegaskan bahwa PSO mampu memberikan solusi penjadwalan yang unggul dalam berbagai industri manufaktur.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan metode *Particle Swarm Optimization* dalam penjadwalan produksi *Cement Bag* pada PT XYZ, dengan fokus pada minimasi *makespan* dan waktu tunggu total. Penerapan PSO diharapkan dapat menghasilkan urutan pekerjaan yang lebih efisien dan seimbang antar stasiun produksi. Dengan demikian, perusahaan dapat meningkatkan utilisasi mesin, mempercepat waktu penyelesaian pesanan, dan memperkuat kapabilitas adaptasi terhadap fluktuasi permintaan pasar. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya menyoroti *makespan* sebagai indikator kinerja tunggal, penelitian ini menegaskan *novelty* pada integrasi dua ukuran performa sekaligus, yaitu *makespan* dan total *waiting time*, dalam sistem produksi multiproses *Cement Bag*. Selain itu, penerapan PSO pada konteks industri karung plastik, khususnya *Cement Bag* dengan alur produksi enam mesin terintegrasi, belum pernah diteliti secara komprehensif. Dengan demikian, penelitian ini menghadirkan kontribusi baru dalam literatur penjadwalan produksi berbasis kecerdasan buatan yang lebih relevan terhadap kebutuhan industri manufaktur modern.

Metode

Penelitian ini dilaksanakan di PT XYZ, perusahaan manufaktur tenun plastik yang berlokasi di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, selama periode Februari 2025 hingga seluruh data yang diperlukan terkumpul secara menyeluruh. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan fokus pada optimasi penjadwalan produksi *Cement Bag* melalui algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah total waktu penyelesaian produksi (*makespan*) sebagai ukuran efisiensi sistem, sedangkan variabel bebas meliputi parameter-parameter utama algoritma PSO, yaitu jumlah partikel, iterasi maksimum, *inertia weight*, kecepatan awal partikel, *cognitive learning factor* (C1), *social learning factor* (C2), serta jumlah mesin paralel yang digunakan dalam proses simulasi. Data dikumpulkan melalui kombinasi data primer berupa hasil observasi langsung aktivitas produksi, wawancara mendalam dengan bagian perencanaan produksi, serta survei pendukung, dan data sekunder berupa dokumentasi historis urutan proses kerja, waktu proses per stasiun, serta literatur relevan. Pemilihan nilai parameter PSO didasarkan pada rekomendasi penelitian terdahulu, di mana nilai C1 dan C2 ditetapkan pada kisaran 1,5–2,0 untuk menjaga keseimbangan eksplorasi dan eksploitasi solusi, sementara *inertia weight* (*w*) digunakan secara menurun dari 0,9 ke 0,4 guna mendorong pencarian solusi luas di awal iterasi dan memperkuat konvergensi di akhir proses. Jumlah partikel dan iterasi maksimum ditentukan melalui percobaan awal (*trial experiment*) agar tercapai keseimbangan antara kualitas solusi dan efisiensi komputasi. Seluruh pengolahan data dilakukan dengan perangkat lunak Matlab yang digunakan untuk meminimasi *makespan* dan waktu tunggu (*waiting time*) serta

menghasilkan usulan urutan pekerjaan optimal, dengan tahapan penelitian dilaksanakan secara sistematis mulai dari identifikasi kebutuhan data, pengaturan parameter, pengujian simulasi, hingga validasi hasil yang keseluruhannya divisualisasikan dalam diagram alir penelitian guna memastikan *keterlacakan* prosedur secara menyeluruh.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini diawali dengan identifikasi permasalahan penjadwalan produksi pada PT XYZ yang menyebabkan tingginya penyelesaian (*makespan*) dan waktu tunggu (*waiting time*) akibat sistem penjadwalan manual yang belum optimal. Setelah itu dilakukan studi literatur untuk memperoleh dasar teori serta referensi metode yang relevan, dilanjutkan dengan studi lapangan guna memahami kondisi aktual proses produksi *Cement Bag* serta mengumpulkan data primer dan sekunder terkait urutan proses, waktu proses per mesin, dan data waktu kerja. Selanjutnya, dirumuskan permasalahan, tujuan, batasan, serta manfaat penelitian secara terarah.

Data yang telah dikumpulkan digunakan sebagai dasar penentuan parameter algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO), seperti jumlah partikel, iterasi maksimum, *inertia weight*, dan faktor pembelajaran (C_1 dan C_2). Proses implementasi

algoritma PSO dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan tahapan inialisasi partikel, evaluasi *fitness*, pembaruan kecepatan dan posisi partikel, serta iterasi hingga mencapai kriteria penghentian (*stopping criteria*) berupa nilai *makespan* dan *waiting time* yang konvergen. Setelah proses optimasi selesai, hasil penjadwalan dievaluasi melalui analisis kinerja algoritma terhadap efisiensi sistem produksi. Penelitian ditutup dengan penarikan kesimpulan dan pemberian saran untuk implementasi di perusahaan maupun pengembangan penelitian selanjutnya.

Hasil dan Pembahasan

A. Proses Produksi Perusahaan

Proses produksi di perusahaan membutuhkan enam jenis mesin produksi, yaitu *Extraction*, *Loom*, *Printing*, *Laminating*, *Cutting*, dan *Sewing*. Untuk menyelesaikan setiap produk, diperlukan 12 tahapan proses kerja untuk 12 jenis produk. Jenis produk dan urutan pengerjaan serta alur produksi perusahaan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Jenis Produk dan Urutan Pengerjaan

Pekerjaan (Job)	Kode Produk	Nama Produk
J1	CB-BB-1101	Cement Bag Blockbottom type A
J2	CB-BB-1102	Cement Bag Blockbottom type B
J3	CB-SW-2101	Cement Bag Sandwich type A
J4	CB-SW-2102	Cement Bag Sandwich type B
J5	CB-BB-1103	Cement Bag Blockbottom type C
J6	CB-BB-1104	Cement Bag Blockbottom with Valve
J7	CB-SW-2103	Cement Bag Sandwich type C
J8	CB-BB-1105	Cement Bag Blockbottom Heavy Duty
J9	CB-SW-2104	Cement Bag Sandwich Moistproof
J10	CB-BB-1106	Cement Bag Blockbottom Eco
J11	CB-SW-2105	Cement Bag Sandwich Lightweight
J12	CB-BB-1107	Cement Bag Blockbottom Valve+



Gambar 2. Alur Produksi *Cement Bag* PT XYZ

Gambar 2 menunjukkan alur produksi pada PT XYZ menunjukkan enam tahapan utama yang dilalui setiap unit produk *Cement Bag* secara berurutan, dimulai dari proses *Extraction*, yaitu pelelehan *Polypropylene* (PP) menjadi *tape yarn* sebagai bahan dasar kain tenun. Tahap berikutnya adalah *Loom*, yaitu penenunan *tape yarn* menjadi lembaran kain tubular menggunakan mesin *circular loom*. Setelah itu, kain dicetak pada tahap *Printing* dengan mesin *flexographic* untuk mencantumkan identitas dan informasi produk. Proses *Laminating* kemudian menambahkan lapisan pelindung *LDPE* guna meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban. Selanjutnya, lembaran kain dipotong pada tahap *Cutting* sesuai ukuran kapasitas kantong yang ditetapkan. Terakhir, potongan kain dijahit pada tahap *Sewing* menjadi kantong semen siap pakai sebelum masuk proses inspeksi mutu dan pengemasan. Tiap tahap memiliki waktu proses spesifik yang bervariasi antar *job*, mencerminkan perbedaan karakteristik dan kompleksitas produk yang diproduksi.

Tabel 2. Waktu Proses Produksi

Job	Extraction (M1) (detik)	Loom (M2) (detik)	Printing (M3) (detik)	Laminating (M4) (detik)	Cutting (M5) (detik)	Sewing (M6) (detik)
J1	2720	3790	1700	3010	2290	1820
J2	2800	3850	1750	3080	2320	1850
J3	2850	3900	1790	3150	2260	1880
J4	2880	3950	1820	3200	2300	1900
J5	2750	3700	1670	2950	2200	1770
J6	2920	4050	1850	3250	2340	1930
J7	2820	3980	1720	3120	2280	1830
J8	2950	4000	1870	3300	2370	1950
J9	2890	3930	1830	3400	2350	1920
J10	2660	3680	1600	2850	2150	1720
J11	2780	3750	1690	2950	2180	1750
J12	2980	4100	1900	3450	2390	1980

Tabel 2 menunjukkan waktu proses produksi yang merupakan durasi yang dibutuhkan setiap *job* untuk diselesaikan pada tiap stasiun kerja [13], mulai dari *Extraction* hingga *Sewing*, yang masing-masing memiliki durasi pengerjaan berbeda tergantung jenis pekerjaan (*Job*) yang sedang diproses. Nilai waktu proses yang didapatkan dalam satuan detik, dengan variasi antar *job* mencerminkan kompleksitas dan karakteristik produk yang dikerjakan.

B. Penjadwalan Eksisting Perusahaan

Penjadwalan produksi dalam penelitian ini difokuskan pada pengaturan urutan pengerjaan sejumlah *job* yang mewakili variasi produk *Cement Bag* di PT XYZ. Penjadwalan tersebut bertujuan untuk mengoptimalkan alur produksi sehingga total waktu penyelesaian (*makespan*) dan waktu tunggu (*waiting time*) dapat diminimalkan. Penjadwalan yang akan diteliti dilakukan dengan pendekatan berbasis metode *Particle Swarm Optimization* (PSO), yang dirancang untuk menemukan urutan pengerjaan paling optimal dibandingkan metode penjadwalan eksisting perusahaan. Penjadwalan eksisting yang dilakukan oleh perusahaan disusun secara manual dengan urutan pengerjaan *job* yang bersifat tetap dan dikerjakan secara paralel. Pendekatan ini bertujuan memudahkan pengaturan produksi, namun dalam praktiknya kerap menimbulkan ketidakseimbangan beban kerja antar mesin dan waktu tunggu yang tinggi [14]. Oleh karena itu, penjadwalan eksisting digunakan sebagai acuan pembanding untuk menilai efektivitas hasil optimasi yang dihasilkan oleh metode *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Tabel 3. Penjadwalan Eksisting Perusahaan

Job	Mesin	Start Time (detik)	Duration (detik)	Completion Time (detik)	Waiting Time (detik)
J1	Extraction (M1)	0	2720	2720	0,00
	Loom (M2)	2720	3790	6510	
	Printing (M3)	6510	1700	8210	
	Laminating (M4)	8210	3010	11220	
	Cutting (M5)	11220	2290	13510	
	Sewing (M6)	13510	1820	15330	
J2	Extraction (M1)	2720	2800	5520	1530
	Loom (M2)	6510	3850	10360	
	Printing (M3)	8210	1750	9960	
	Laminating (M4)	11220	3080	14300	
	Cutting (M5)	13510	2320	15830	
	Sewing (M6)	15330	1850	17180	
J3	Extraction (M1)	5520	2850	8370	3230
	Loom (M2)	10360	3900	14260	
	Printing (M3)	9960	1790	11750	
	Laminating (M4)	14300	3150	17450	
	Cutting (M5)	15830	2260	18090	
	Sewing (M6)	17180	1880	19060	
J4	Extraction (M1)	8370	2880	11250	4910
	Loom (M2)	14260	3950	18210	
	Printing (M3)	11750	1820	13570	
	Laminating (M4)	17450	3200	20650	
	Cutting (M5)	18090	2300	20390	
	Sewing (M6)	19060	1900	20960	
J5	Extraction (M1)	11250	2750	14000	7690
	Loom (M2)	18210	3700	21910	
	Printing (M3)	13570	1670	15240	
	Laminating (M4)	20650	2950	23600	
	Cutting (M5)	20390	2200	22590	
	Sewing (M6)	20960	1770	22730	
J6	Extraction (M1)	14000	2920	16920	8320
	Loom (M2)	21910	4050	25960	
	Printing (M3)	15240	1850	17090	
	Laminating (M4)	23600	3250	26850	
	Cutting (M5)	22590	2340	24930	
	Sewing (M6)	22730	1930	24660	
J7	Extraction (M1)	16920	2820	19740	10740

	Loom (M2)	25960	3980	29940	
	Printing (M3)	17090	1720	18810	
	Laminating (M4)	26850	3120	29970	
	Cutting (M5)	24930	2280	27210	
	Sewing (M6)	24660	1830	26490	
J8	Extraction (M1)	19740	2950	22690	12000
	Loom (M2)	29940	4000	33940	
	Printing (M3)	18810	1870	20680	
	Laminating (M4)	29970	3300	33270	
	Cutting (M5)	27210	2370	29580	
	Sewing (M6)	26490	1950	28440	
J9	Extraction (M1)	22690	2890	25580	14040
	Loom (M2)	33940	3930	37870	
	Printing (M3)	20680	1830	22510	
	Laminating (M4)	33270	3400	36670	
	Cutting (M5)	29580	2350	31930	
	Sewing (M6)	28440	1920	30360	
J10	Extraction (M1)	25580	2660	28240	17420
	Loom (M2)	37870	3680	41550	
	Printing (M3)	22510	1600	24110	
	Laminating (M4)	36670	2850	39520	
	Cutting (M5)	31930	2150	34080	
	Sewing (M6)	30360	1720	32080	
J11	Extraction (M1)	28240	2780	31020	18730
	Loom (M2)	41550	3750	45300	
	Printing (M3)	24110	1690	25800	
	Laminating (M4)	39520	2950	42470	
	Cutting (M5)	34080	2180	36260	
	Sewing (M6)	32080	1750	33830	
J12	Extraction (M1)	31020	2980	34000	19010
	Loom (M2)	45300	4100	49400	
	Printing (M3)	25800	1900	27700	
	Laminating (M4)	42470	3450	45920	
	Cutting (M5)	36260	2390	38650	
	Sewing (M6)	33830	1980	35810	

Tabel 3 menunjukkan penjadwalan eksisting pada PT XYZ menunjukkan total waktu penyelesaian produksi (*makespan*) sebesar 49.400 detik atau setara 13 jam 43 menit, yang diperoleh dengan menjumlahkan waktu penyelesaian tiap *job* berdasarkan urutan pengerjaan dari proses *Extraction* hingga *Sewing*. Nilai *makespan* tertinggi tercatat pada tahap *Loom* (M2) pada pekerjaan ke-12. Selain itu, perhitungan *waiting time* dihitung sebagai selisih antara waktu selesai produksi *job* pada operasi terakhir dengan total durasi proses aktif seluruh stasiun kerja. Contoh perhitungan pada *Job 2* menunjukkan *waiting time* sebesar 1.530 detik, yang berasal dari selisih waktu penyelesaian 17.180 detik dengan total durasi proses aktif 15.650 detik. Akumulasi *waiting time* untuk seluruh *job* mencapai 117.620 detik atau 32,67 jam, dengan rata-rata 9.801,6 detik per *job*. Hasil ini menunjukkan adanya ketidakseimbangan alokasi waktu proses antar mesin yang berdampak pada tingginya waktu tunggu (*waiting time*) dan rendahnya efisiensi jadwal produksi eksisting [15].

C. Penjadwalan Usulan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)

Berdasarkan pengolahan data dengan menggunakan *script program* yang didefinisikan oleh *software* Matlab yang sesuai untuk penyelesaian permasalahan penjadwalan produksi dengan menggunakan metode algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) didapatkan beberapa *output*, yang dapat dilihat pada Gambar 3.

```

===== HASIL OPTIMASI PSO =====
Urutan Job Optimal:
    1   5   6   7   8   2   4   12   3   9   11   10

Makespan(s): 34520.00   Total Waiting Time(s): 115870.00

-----Jadwal Produksi Metode Particle Swarm Optimization (PSO)-----
=====
Job   Mesin(M)           Start(s)   Durasi(s)   End(s)      Waiting Time(s)  Unit
-----
J1   Extruction (M1)      0          2720        2720        0              U1
J1   Loom (M2)            2720       3790        6510        0              U1
J1   Printing (M3)        6510       1700        8210        0              U1
J1   Laminating (M4)      8210       3010        11220       0              U1
J1   Cutting (M5)         11220      2290        13510       0              U1
J1   Sewing (M6)          13510      1820        15330       0              U1
J5   Extruction (M1)      0          2750        2750        0              U2
J5   Loom (M2)            2750       3700        6450        0              U2
J5   Printing (M3)        6450       1670        8120        0              U2
J5   Laminating (M4)      8120       2950        11070       0              U2
J5   Cutting (M5)         11070      2200        13270       0              U2
J5   Sewing (M6)          13270      1770        15040       0              U2
J6   Extruction (M1)      2720       2920        5640        0              U1
J6   Loom (M2)            6450       4050        10500       0              U2
J6   Printing (M3)        10500      1850        12350       0              U1
J6   Laminating (M4)      12350      3250        15600       0              U1
J6   Cutting (M5)         15600      2340        17940       0              U1
J6   Sewing (M6)          17940      1930        19870       3530          U1
=====
    
```

Gambar 3. Hasil Pengolahan Data Penjadwalan Usulan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)

Berdasarkan hasil pengolahan data untuk permasalahan penjadwalan produksi *Cement Bag* pada 12 job dan 6 mesin menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) sebanyak 500 iterasi didapatkan urutan job, yaitu J1 – J5 – J6 – J7 – J8 – J2 – J4 – J12 – J3 – J9 – J11 – J10. Penjelasan mengenai waktu proses tiap job pada masing-masing mesin dapat dilihat pada *gantt chart*. Pada *gantt chart* dapat dilihat bahwa waktu proses selesai ditandai dengan waktu penyelesaian (*makespan*) sebesar 34.520 detik, lebih cepat sekitar 32,77% dari jadwal *eksisting* perusahaan yang sebelumnya, dengan total *processing time* 189.310 detik dan total *waiting time* optimal 115.870 detik.

D. Perbandingan Penjadwalan Eksisting dan Usulan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai efektivitas metode optimasi yang digunakan dalam penelitian ini, disusunlah tabel perbandingan antara hasil penjadwalan eksisting perusahaan dan hasil penjadwalan optimal yang diperoleh melalui implementasi algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) dengan bantuan *software* Matlab. Perbandingan ini mencakup parameter utama seperti nilai *makespan*, total *waiting time*, serta urutan pengerjaan job. Adapun tabel 4 menunjukkan perbandingan dengan menggunakan parameter yang sudah ditentukan.

Tabel 4. Perbandingan Penjadwalan Eksisting dan Usulan Metode PSO

Keterangan	Eksisting	PSO
Urutan Job	J1 – J2 – J3 – J4 – J5 – J6 – J7 – J8 – J9 – J10 – J11 – J12	J1 – J5 – J6 – J7 – J8 – J2 – J4 – J12 – J3 – J9 – J11 – J10
Nilai Makespan	49.400 detik	34.520 detik
Total Waiting Time	186.050 detik	115.870 detik

Berdasarkan perbandingan yang telah dilakukan, pengambilan keputusan perusahaan adalah menggunakan metode Algoritma PSO yang dapat diterapkan guna memaksimalkan waktu produksi untuk mengerjakan seluruh job dengan optimal (J1 – J5 – J6 – J7 – J8 – J2 – J4 – J12 – J3 – J9 – J11 – J10) sebanyak 12 job dengan 6 mesin produksi. Keputusan ini menegaskan bahwa PSO bukan hanya alat analitis, melainkan juga instrumen strategis yang dapat membantu perusahaan dalam merancang sistem penjadwalan produksi yang lebih responsif, efisien, dan kompetitif.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengoptimalan penjadwalan produksi *Cement Bag* pada PT XYZ, maka dapat diambil kesimpulan bahwa penelitian ini membuktikan penerapan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) secara efektif mampu mengoptimalkan penjadwalan produksi *Cement Bag* di PT XYZ yang sebelumnya menggunakan metode manual. Hasil implementasi PSO menunjukkan penurunan *makespan* yang signifikan dari 49.400 detik menjadi 34.520 detik, disertai pengurangan total *waiting time* dari 186.050 detik menjadi 115.870 detik. Capaian ini menunjukkan perbaikan nyata terhadap efisiensi alur produksi, utilisasi mesin, dan percepatan penyelesaian pesanan. Urutan pengerjaan job hasil optimasi ($J_1 - J_5 - J_6 - J_7 - J_8 - J_2 - J_4 - J_{12} - J_3 - J_9 - J_{11} - J_{10}$) terbukti lebih seimbang dan adaptif dibandingkan jadwal eksisting, sehingga mengurangi potensi *bottleneck* dan *idle time* antar stasiun kerja. Keunggulan PSO terletak pada kemampuannya mengeksplorasi ruang solusi secara luas tanpa memerlukan asumsi matematis yang ketat, menjadikannya metode yang relevan diterapkan dalam sistem produksi paralel yang kompleks dan dinamis. Selain itu, penelitian ini menegaskan bahwa pendekatan optimasi berbasis kecerdasan buatan dapat menghadirkan solusi yang praktis, terukur, dan berdampak langsung pada peningkatan kinerja operasional perusahaan. Temuan ini juga menjadi dasar yang kuat bagi pengembangan sistem penjadwalan dengan bantuan *software* terintegrasi, yang di masa depan diharapkan mampu mengotomatiskan proses penjadwalan dan menyesuaikan jadwal secara *real-time* terhadap fluktuasi permintaan produksi. Secara keseluruhan, penerapan PSO terbukti menjadi strategi optimasi yang strategis dan aplikatif dalam mendukung peningkatan produktivitas dan daya saing industri manufaktur. Dari sisi kontribusi ilmiah, penelitian ini memperkaya literatur mengenai penerapan PSO pada kasus nyata penjadwalan produksi *multi-machine* dengan kompleksitas tinggi, sekaligus memberikan bukti empiris bahwa algoritma *swarm intelligence* dapat diadaptasikan secara efektif pada skala industri. Hal ini membuka peluang penelitian lanjutan untuk mengembangkan varian algoritma metaheuristik lain maupun integrasi hibrida yang lebih adaptif terhadap dinamika sistem manufaktur modern.

References

1. D. R. Arthaningtyas, N. K. Anggraeni, and S. Suharyo, "Risk Analysis on the Supply Chain of Precast Concrete Industries with Make-to-Order System," *Jurnal Talenta Sipil*, vol. 6, no. 1, p. 118, Feb. 2023, doi: 10.33087/talentasipil.v6i1.210.
2. H. Irwan, "Makespan Minimization Method by Eliminating Waiting Time in Job Shop Scheduling," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 9, no. 1, pp. 104–116, 2021.
3. B. D. Anfari, "Production Scheduling Using the Non-Delay Algorithm Method to Minimize Makespan," *Engineering and Technology Journal*, vol. 6, no. 1, 2023, doi: 10.32734/ee.v6i1.1800.
4. R. A. Siregar, P. Sari, W. Astuti, G. Ramadhani, U. Muhammadiyah, and S. Utara, "Analysis of Production Cost Control to Increase Profit at PT Ferdinand Mandiri," *National Conference on Accounting and Finance*, vol. 5, pp. 291–297, 2023, doi: 10.20885/ncaf.v05.art33.
5. R. Buil, J. de Armas, D. Riera, and S. Orozco, "Optimization of the Real-Time Response to Roadside Incidents Through Heuristic and Linear Programming," *Mathematics*, vol. 9, no. 16, Aug. 2021, doi: 10.3390/math9161982.
6. V. Suhandi, V. Arisandhy, and D. T. Liputra, "Course Scheduling Considering Lecturer Availability and Non-Separated Credit Units Using Integer Linear Programming," *Journal of Integrated System*, vol. 6, no. 1, pp. 73–86, Jul. 2023, doi: 10.28932/jis.v6i1.6459.
7. M. Muhandeny, M. H. Irfani, and J. Alie, "Course Scheduling Using Particle Swarm Optimization (PSO) at SMPIT Mufidatul Ilmi," *Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, 2022.
8. D. Prasisti and Y. A. Nugroho, "Production Scheduling Optimization to Minimize Makespan Using Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, vol. 2, no. 2, pp. 111–118, 2023.
9. M. A. Dwiputra, I. G. P. S. Wijaya, and R. Dwiyanaputra, "Designing a Classification Machine Using Particle Swarm Optimization," *J-Cosine: Journal of Computer Science and Informatics Engineering*, 2021. [Online]. Available: <http://jcosine.if.unram.ac.id/>
10. S. H. Pratiwi, W. Witanti, T. Hendro, U. J. Achmad, and Y. Abstract, "Optimization of Vendor Selection for Aircraft Materials Using Particle Swarm Optimization Algorithm," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 4, pp. 825–837, Feb. 2024, doi: 10.5281/zenodo.10537168.
11. E. Febianti, Y. Muharni, D. Falti, L. Herlina, and K. Kulsum, "Proposed Scheduling for Parallel Machines Using Ant Colony Optimization Algorithm and Longest Processing Time," *Journal of Integrated System*, vol. 6, no. 1, pp. 42–52, Jul. 2023, doi: 10.28932/jis.v6i1.5610.
12. R. Habibi, A. C. Panjaitan, and M. H. Firdaus, "Makespan Minimization in Ordered Flowshop Scheduling Using PSO," *MES: Journal of Mathematics Education and Science*, vol. 6, no. 2, pp. 40–48, May 2021, doi: 10.30743/mes.v6i2.3728.
13. K. Saharja and R. Gopal, "Effect of Digital Printing Production Time on Customer Satisfaction of Printed Products," *Media Grafika*, 2021.
14. R. Fauzi, S. Hartanti, T. H. Safitri, A. P. Rifai, and A. Saifurrahman, "Analysis of CNC Batik Production Layout Using Group Technology and Particle Swarm Optimization," *Go-Integratif: Jurnal Teknik Sistem dan Industri*, vol. 4, no. 2, pp. 132–147, Mar. 2024, doi: 10.35261/gijtsi.v4i02.10950.
15. N. L. Rachmawati and P. A. Dianisa, "Discrete System Simulation Model to Minimize Average Truck Waiting Time (Case Study: PT XYZ)," *Jurmatis: Jurnal Manajemen Teknologi dan Teknik Industri*, vol. 4, no. 2, pp. 122–136, 2022, doi: 10.30737/jurmatis.v4i2.2371.g2308.