

Penjadwalan Produksi Flow Shop untuk Meminimasi Makespan dengan Menggunakan Metode Lot Streaming (Studi Kasus PT. XYZ)

Lathifah Fitri Luqyana, Rahmi Maulidya*, Docki Saraswati
Laboratorium Sistem Produksi, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Trisakti; email: lathifahfitri29@gmail.com, rahmimaulidya@trisakti.ac.id,
docki_saraswati@trisakti.ac.id,

* Corresponding author

Abstrak

Pada setiap permasalahan penjadwalan, pesanan customer harus diselesaikan berdasarkan kesepakatan antara perusahaan dan customer. Perbedaan pola kedatangan pesanan, jenis produk pesanan dan variasi jumlah mesin untuk memproduksi dapat menyebabkan keterlambatan penyelesaian pesanan dan melanggar due date yang disepakati. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan usulan penjadwalan yang meminimasi makespan menggunakan metode Lot Streaming. Kondisi awal menunjukkan waktu penyelesaian pesanan sebesar 9802,7 menit dengan keterlambatan 2 pesanan. Penelitian ini dikembangkan menggunakan 3 skenario dengan cara membagi job menjadi beberapa subplot yaitu 2 lot dan 3 lot dengan ukuran yang berbeda pada tiap bagian lot. Pada skenario 1 didapatkan hasil terbaik dengan Penjadwalan Per Job dengan Lot Streaming 3 Lot (8953,7 menit). Pada skenario 2 didapatkan hasil terbaik dengan Penjadwalan Per Lot dengan Lot Streaming 3 Lot (8884,3 menit). Pada skenario 3 didapatkan hasil terbaik dengan Penjadwalan Per Lot tukar urutan dengan Lot Streaming 3 Lot (9157,3 menit). Hasil menunjukkan bahwa skenario 2 adalah hasil terbaik dengan persentase perbaikan sebesar 9,37% dibandingkan dengan penjadwalan kondisi awal dan pengurangan jumlah keterlambatan menjadi tidak ada keterlambatan.

Kata Kunci: penjadwalan, hybrid flow shop, makespan, lot streaming

Abstract

[Hybrid Flow Shop Scheduling Problem to Minimize the Makespan using Lot Streaming (Case Study at PT. XYZ)] The research in scheduling problems concerns fulfilling the customer order on time. The differentiation of order arrival time, product customization, and the type of production system can cause the tardiness of orders and neglect of the due date. The result of this research is to schedule the job using Lot Streaming methods that can minimize the makespan. The current state shows a makespan of 9802,7 minutes, with 2 tardy jobs. In this research, there are 3 scenarios of dividing the job into sub-lots of 2 lots and 3 lots. In Scenario 1, the best solution is scheduling the job using lot streaming of 3 lots (8953,7 minutes). In Scenario 2, the best solution is scheduling the lot using lot streaming of 3 lots (8884,3 minutes). In Scenario 3, the best solution is scheduling the swapping lots using lot streaming 3 lots (9157,3 minutes). The best result is scenario 2 with an improvement of 9,37% compared to the current state and the tardy is also improved to no tardy job.

Keywords: scheduling, hybrid flow shop, makespan, lot streaming

Kelompok BoK yang bersesuaian dengan artikel: *Operations Engineering & Management*

Saran format untuk mensitasi artikel ini:

Luqyana, L.F., Maulidya, R. dan Saraswati, D. (2023). Penjadwalan Produksi Flow Shop untuk Meminimasi Makespan dengan Menggunakan Metode Lot Streaming (Studi Kasus PT. XYZ). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri (SENASTI) 2023*, 546-554.

1. Pendahuluan

Lot Streaming merupakan metode pemisahan pekerjaan atau pembagian job ke dalam bentuk subplot sehingga pekerjaan terdiri dari beberapa item dan dapat diproses secara terpisah (Potts & Baker, 1989). Baker & Trietsch (2009) menyatakan mengalokasikan sumber-sumber dapat dilakukan dengan mengurutkan urutan kerja untuk setiap operasi yang harus diselesaikan dalam jangka waktu tertentu. Yohanes (2013) menyatakan pentingnya untuk mengurangi keterlambatan dengan mengurangi jumlah pekerjaan yang menunggu dalam antrian. Dalam hal ini, n jumlah pekerjaan akan diproses pada mesin m pada setiap urutan mesin. Setiap pekerjaan akan terdiri dari banyak item yang identik, sehingga pekerjaan akan dilakukan secara bersamaan untuk mengurangi waktu tunggu mesin dan untuk mempercepat produksi dengan cara membaginya menjadi sejumlah subplot yang lebih kecil dan memindahkan subplot yang telah selesai sebagai ke mesin selanjutnya (Pan, Tasgetiren, Suganthan, & Chua, 2011).

Penjadwalan dengan fungsi tujuan yaitu minimasi makespan dapat dikerjakan dengan pendekatan seperti Longest Processing Time, Earliest Due Date dan Lot Streaming (Pinedo, 2016). Longest Processing Time dilakukan dengan memprioritaskan job dengan waktu proses terbesar untuk diproses terlebih dahulu kemudian berlanjut untuk job yang waktu proses terbesar kedua (Muharni, Febianti, & Sofa, 2019). Sedangkan Earliest Due Date dilakukan dengan pengurutan job berdasarkan batas waktu (due date) tercepat dimana job dengan saat jatuh tempo lebih cepat harus dijadwalkan terlebih dahulu dari pada job dengan saat jatuh tempo lebih lama (Kurniawati & Irsyad, 2018).

Yohanes (2013) mengembangkan penjadwalan Flow Shop sedangkan Darmadi (2019) mengembangkan Hybrid Flow Shop dimana terdapat mesin paralel identik seperti mesin pond dan mesin las argon yang memiliki jumlah berbeda. (Pan, Wang, Gao, & Li, 2011) mengembangkan algoritma discrete artificial bee colony (DABC) untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan flow shop menggunakan lot-streaming dengan fungsi tujuan total weighted earliness dan tardiness penalties.

Penelitian ini dilakukan pada PT. XYZ yang merupakan perusahaan manufaktur alat kebersihan seperti tempat sampah stainless tipe bulat dan tipe kotak, tempat sampah fiber, tempat sampah plastik HDPE, tempat sampah besi dan gerobak sampah. Aktivitas produksi dilakukan ketika pesanan yang masuk telah dilakukan pembayaran DP (Down Payment).

Dalam penelitian ini, beberapa batasan masalah yaitu kondisi mesin dalam periode penelitian selalu dalam kondisi baik, bahan baku diasumsikan selalu tersedia dalam kualitas baik, waktu perpindahan diabaikan, selama periode perencanaan tidak diizinkan adanya job sisipan, tidak memperhatikan proses packaging sehingga waktu pada proses packaging diabaikan. Penelitian ini bertujuan memberikan usulan algoritma penjadwalan job berdasarkan metode Lot Streaming untuk meminimasi makespan. Penelitian ini dijelaskan dalam beberapa bagian yaitu Pendahuluan, Metode, Hasil dan Pembahasan dan Kesimpulan.

2. Metode

Notasi yang digunakan untuk algoritma penjadwalan adalah sebagai berikut :

i = pesanan

j = job

l = lot

m = mesin

C = waktu selesai

Berikut adalah langkah-langkah dari algoritma penjadwalan:

Langkah 0. Inisialisasi.

Langkah 1. Input data pesanan. Hitung waktu yang dibutuhkan pada setiap mesin.

Langkah 2. Periksa kapasitas yang tersedia pada setiap mesin.

Langkah 3. Set $i = 1$.

Langkah 4. Set $j = 1$.

Langkah 5. Set $l = 1$.

Langkah 6. Set $m = 1$.

Langkah 7. Tentukan :

Waktu Selesai = Waktu Mulai + Waktu Proses di M_1 .

Waktu Mulai = Waktu Release untuk setiap pesanan.

Waktu Release \geq Waktu Selesai untuk setiap pesanan pada pesanan sebelumnya.

Langkah 8. Apakah ada Proses di mesin lain?

Jika Ada, lanjut Langkah 9.

Jika Tidak, lanjut Langkah 13.

Langkah 9. Set $m = m+1$.

Langkah 10. Tentukan :

Waktu Selesai = Waktu Selesai di $m-1$ + Waktu Proses di m

($C_j = C_{j-1} + P_j$)

Langkah 11. Apakah ada Proses lain?

Jika Ada, kembali ke Langkah 9.

Jika Tidak, lanjut Langkah 12.24

Langkah 12. Apakah ada Lot lain?

Jika Ada, set $l = l+1$, lanjutkan ke Langkah 6.

Jika Tidak, lanjutkan ke Langkah 13.

Langkah 13. Apakah ada Job lain?

Jika Ada, set $j = j+1$, lanjutkan ke Langkah 6.

Jika Tidak, lanjutkan ke Langkah 14.

Langkah 14. Apakah ada Pesanan lain?

Jika Ada, set $i = i+1$, lanjutkan ke Langkah 4.

Jika Tidak, lanjutkan ke Langkah 15.

Langkah 15. Jadwal produksi dengan Makespan.

Langkah 16. Bandingkan Waktu Selesai dengan Due Date.

Langkah 17. Apakah Waktu Selesai lebih kecil dibandingkan Due Date?

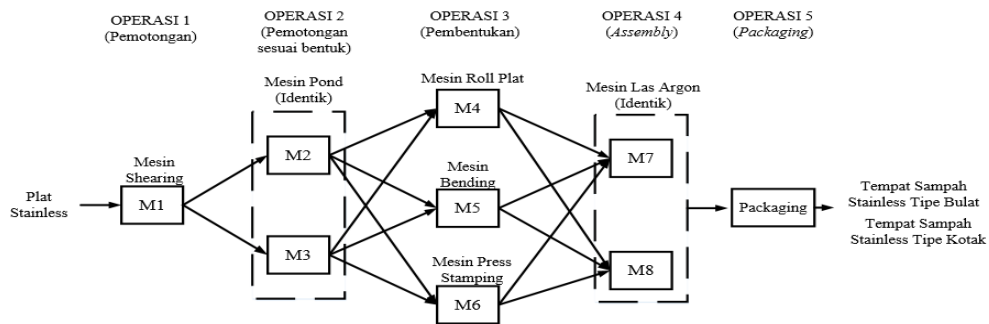
Jika Ya, lanjutkan ke Langkah 18.

Jika Tidak, lanjutkan ke Langkah 3.

Langkah 18. Buatlah Gantt Chart.

3. Hasil dan Pembahasan

Kasus yang diamati memiliki alur proses produksi tempat sampah stainless seperti terlihat pada **Gambar 1**. Produksi tempat sampah stainless tipe bulat dan kotak, dimana masing-masing tipe memiliki tiga komponen yaitu body, alas dan tutup yang terbuat dari bahan baku plat stainless.



Gambar 1 Alur Proses Produksi Tempat Sampah Stainless

Ketiga komponen ini, baik untuk tipe bulat dan kotak, akan melalui lima tahapan yaitu tahap pertama yaitu tahap pemotongan pada mesin shearing (M1), tahap kedua yaitu tahap pemotongan sesuai bentuk bulat atau kotak pada mesin pond (M2 dan M3), tahap ketiga yaitu tahap pembentukan pada mesin roll plat (M4) untuk penggulangan plat sehingga berbentuk body silinder, mesin bending (M5) untuk menekuk plat sehingga berbentuk body prisma segiempat dan mesin press stamping (M6) untuk memberikan lekukan pada alas dan tutup, tahap keempat yaitu tahap assembly pada mesin las argon (M7 dan M8) untuk menggabungkan body dan alas, dan tahap kelima yaitu tahap packaging yang dilakukan secara manual untuk menutup tutup dengan body alas.

Penjadwalan kondisi awal didapatkan berdasarkan permintaan customer dengan memperhatikan kapasitas mesin yang digunakan. Berdasarkan gambar alur penjadwalan dan waktu penyelesaian yang sudah didapatkan dapat diketahui Matriks Routing penjadwalan flow shop. Matriks Routing untuk proses dari masing-masing job pada tiap pesanan serta waktu proses yang dibutuhkan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Matriks Routing

No. Order	Nomor Job	Matriks Routing				No. Order	Nomor Job	Matriks Routing			
		Operasi 1 (menit)	Operasi 2 (menit)	Operasi 3 (menit)	Operasi 4 (menit)			Operasi 1 (menit)	Operasi 2 (menit)	Operasi 3 (menit)	Operasi 4 (menit)
A-1	J1	M1 (585)	M2 (450)	M4 (1260)	M7 (1242)	Z-2	J10	M1 (390)	M3 (300)	M5 (800)	M8 (828)
	J2	M1 (585)	M2 (450)	M6 (525)			J11	M1 (390)	M3 (300)	M6 (350)	
	J3	M1 (585)	M2 (450)	M6 (525)			J12	M1 (390)	M3 (300)	M6 (350)	
Z-1	J4	M1 (429)	M3 (330)	M5 (880)	M8 (910,8)	A-3	J13	M1 (487,5)	M2 (375)	M4 (1050)	M7 (1035)
	J5	M1 (429)	M3 (330)	M6 (385)			J14	M1 (487,5)	M2 (375)	M6 (437,5)	
	J6	M1 (429)	M3 (330)	M6 (385)			J15	M1 (487,5)	M2 (375)	M6 (437,5)	
A-2	J7	M1 (487,5)	M2 (375)	M4 (1050)	M7 (1035)	Z-3	J16	M1 (448,5)	M3 (345)	M5 (920)	M8 (952,2)
	J8	M1 (487,5)	M2 (375)	M6 (437,5)			J17	M1 (448,5)	M3 (345)	M6 (402,5)	
	J9	M1 (487,5)	M2 (375)	M6 (437,5)			J18	M1 (448,5)	M3 (345)	M6 (402,5)	

Pada **Tabel 2**, terjadi keterlambatan untuk dua permintaan customer yaitu A-3 (8622 menit) yang selesai pada tanggal 26/09/2022 dengan due date 23/09/2022 dan Z-3 (9802,7 menit) yang selesai pada tanggal 29/09/2022 dengan due date 28/09/2022.

Tabel 2 Keterlambatan Kondisi Awal

No. Order	Tanggal Pesanan	Due Date	Makespan (menit)	Tanggal Selesai	Keterangan
A-1	01/09/2022	15/09/2022	3537	12/09/2022	Tidak Terlambat
Z-1	01/09/2022	15/09/2022	4304,8	13/09/2022	Tidak Terlambat
A-2	09/09/2022	21/09/2022	5989,5	19/09/2022	Tidak Terlambat
Z-2	09/09/2022	23/09/2022	6822,5	21/09/2022	Tidak Terlambat
A-3	09/09/2022	23/09/2022	8622	26/09/2022	Terlambat
Z-3	16/09/2022	28/09/2022	9802,7	29/09/2022	Terlambat

Pada penentuan usulan terbaik penjadwalan, telah dibangun beberapa skenario serta alternatif skenario. Selanjutnya digunakan metode Lot Streaming dengan membagi job ke dalam subplot yaitu 2 lot dan 3 lot. Ukuran pembagian lot akan disesuaikan dengan jumlah permintaan yang ada ke dalam 2 dan atau 3 bagian, sehingga ukuran pada 2 lot tidak sama besar dengan 3 lot. Pada percobaan ini, pembagian pada 2 lot terbagi secara merata untuk 2 bagian sedangkan pembagian pada 3 lot terbagi menjadi ukuran yang berbeda dimana bagian terakhir akan lebih kecil dibandingkan 2 bagian sebelumnya. Terdapat 3 skenario yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Skenario 1

Job akan terbagi ke dalam subplot yaitu 2 lot dan 3 lot kemudian penyelesaian job dilakukan sesuai dengan job yang sama dalam 1 pesanan customer dan dengan urutan metode awal perusahaan yaitu body, alas, tutup.

- Penjadwalan per job dengan Lot Streaming 2 Lot (9135,7 menit)
- Penjadwalan per job dengan Lot Streaming 3 Lot (8953,7 menit)

2. Skenario 2

Job akan terbagi ke dalam subplot yaitu 2 lot dan 3 lot kemudian penyelesaian job dilakukan sesuai dengan lot yang sama untuk masing-masing job dalam 1 pesanan customer dan dengan urutan metode awal perusahaan yaitu body, alas, tutup.

- Penjadwalan per lot dengan Lot Streaming 2 Lot (9142,6 menit)
- Penjadwalan per lot dengan Lot Streaming 3 Lot (8884,3 menit)

3. Skenario 3

Urutan awal metode perusahaan (body, alas, tutup) akan ditukar urutan menjadi (tutup, alas, body) kemudian akan dilakukan penjadwalan lot streaming 2 lot dan 3 lot dengan cara penyelesaian secara per lot.

- Penjadwalan tukar urutan (10699,7 menit)
- Penjadwalan per lot tukar urutan dengan Lot Streaming 2 Lot (9591,1 menit)
- Penjadwalan per lot tukar urutan dengan Lot Streaming 3 Lot (9157,3 menit)

Berdasarkan hasil penjabaran di atas, dapat dilihat bahwa Penjadwalan Per Lot dengan Lot Streaming 3 Lot dari Skenario 2 merupakan hasil optimal dari skenario alternatif yang telah dilakukan. Diketahui bahwa makespan dari penjadwalan ini adalah sebesar 8884.3 menit. Pada penjadwalan ini tidak ada keterlambatan dalam menyelesaikan pesanan dari customer. Berikut Gantt Chart untuk hasil penjadwalan per Lot dengan Lot Streaming 3 Lot.

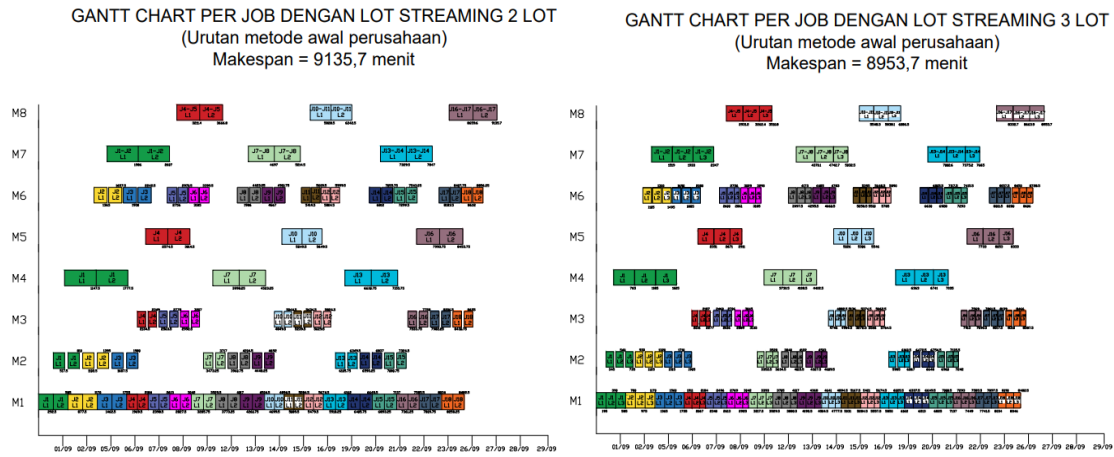


Gambar 2 Gantt Chart Penjadwalan Per Lot dengan Lot Streaming 3 Lot

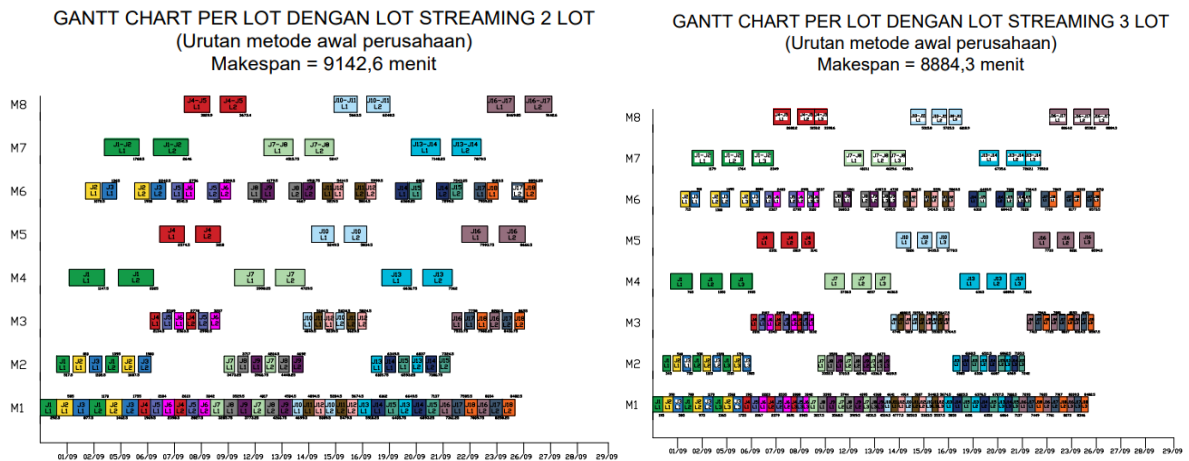
Berdasarkan **Gambar 2** di atas, dapat dilihat bahwa dengan melakukan metode ini, perpindahan satu job dari satu mesin ke mesin lainnya menjadi lebih cepat, sehingga makespan yang dihasilkan akan semakin singkat dibandingkan dengan metode awal perusahaan. Berikut adalah tabel keterangan keterlambatan pada Penjadwalan Per Lot dengan Lot Streaming 3 Lot yang terdapat pada **Tabel 3**. **Tabel 3** menunjukkan tidak ada yang terlambat. Gantt Chart skenario 1-3 terlihat pada **Gambar 3****Error! Reference source not found.**, **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

Tabel 3 Keterlambatan Penjadwalan Per Lot dengan Lot Streaming 3 Lot

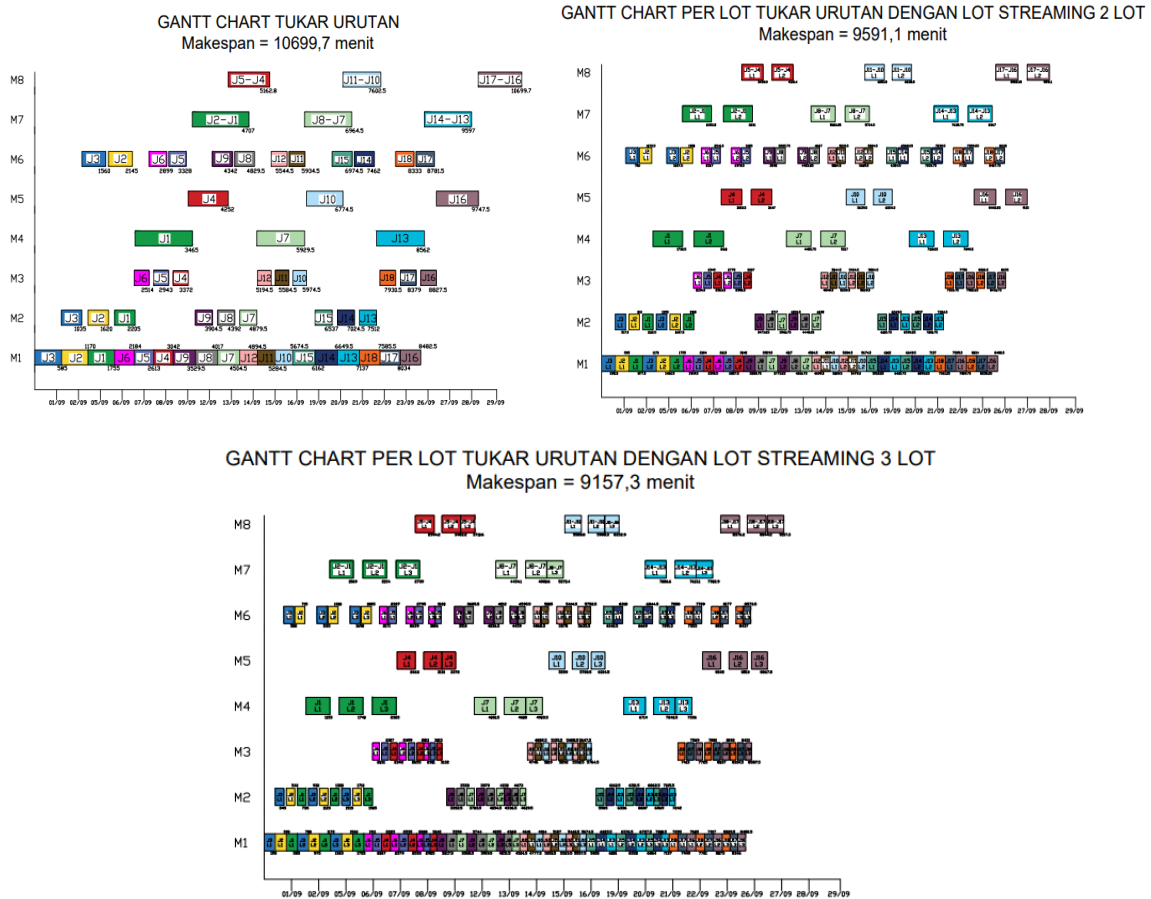
No. Order	Tanggal Pesanan	Due Date	Makespan	Tanggal Selesai	Keterangan
A-1	01/09/2022	15/09/2022	2349	07/09/2022	Tidak Terlambat
Z-1	01/09/2022	15/09/2022	3398,6	12/09/2022	Tidak Terlambat
A-2	09/09/2022	21/09/2022	4920,3	15/09/2022	Tidak Terlambat
Z-2	09/09/2022	23/09/2022	6018,9	19/09/2022	Tidak Terlambat
A-3	09/09/2022	23/09/2022	7552,8	21/09/2022	Tidak Terlambat
Z-3	16/09/2022	28/09/2022	8884,3	27/09/2022	Tidak Terlambat



Gambar 3 Gantt Chart Skenario 1



Gambar 4 Gantt Chart Skenario 2



Gambar 5 Gantt Chart Skenario 3

Perbandingan makespan, persentase perbaikan serta jumlah pesanan yang terlambat dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan Hasil

Skenario	Alternatif Metode dan Lot yang Digunakan	Makespan (menit)	Persentase Perbaikan	Jumlah Pesanan yang Terlambat	
Skenario 1	Kondisi awal	1 Lot	9802,7	2	
	Per Job dengan <i>Lot Streaming</i> (2 Lot & 3 Lot)	2 Lot	9135,7	6,80%	1
	urutan berdasarkan kondisi awal (Body-Alas-Tutup)	3 Lot	8953,7	8,66%	0
Skenario 2	Per Lot dengan <i>Lot Streaming</i> (2 Lot & 3 Lot)	2 Lot	9142,6	6,73%	1
	urutan berdasarkan kondisi awal (Body-Alas-Tutup)	3 Lot	8884,3	9,37%	0
Skenario 3	Tukar urutan (Tutup-Alas-Body)	1 Lot	10699,7	-9,15%	3
	Per Lot tukar urutan dengan <i>Lot Streaming</i> (2 Lot & 3 Lot)	2 Lot	9591,1	2,16%	2
	(Tutup-Alas-Body)	3 Lot	9157,3	6,58%	1

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa Penjadwalan Per Lot dengan Lot Streaming 3 Lot dari skenario 2 adalah hasil terbaik dari alternatif yang telah dilakukan

dengan hasil makespan sebesar 8884,3 menit (9,37%) dibandingkan dengan kondisi awal. Hal ini dikarenakan, pada Penjadwalan Per Lot Urutan berdasarkan kondisi awal (3 Lot) dapat meminimasi makespan sebesar 918,4 menit dan mengurangi tardiness menjadi 0 keterlambatan. Berdasarkan hasil tabel perbandingan dilakukan analisis sensitivitas dengan melakukan pembagian job ke dalam 4 subplot kecil dan dihasilkan bahwa membagi lot menjadi beberapa bagian kecil dapat mengurangi makespan.

4. Kesimpulan

Hasil penjadwalan menunjukkan hasil terbaik untuk Penjadwalan Per Lot dengan Lot Streaming 3 Lot dengan urutan berdasarkan kondisi awal (body, alas, tutup). Penjadwalan menggunakan Lot Streaming melakukan perpindahan job dari mesin ke mesin lainnya dalam bentuk subplot sehingga akan mempercepat waktu Penyelesaian pesanan yang berdampak mengurangi waktu idle mesin. Penjadwalan dengan Skenario terbaik berdasarkan kedatangan menunjukkan hasil yang sama dengan skenario 2 dengan Lot Streaming 3 Lot. Tetapi berdasarkan penjadwalan ini, perusahaan dapat melihat kecukupan dari kapasitas dari setiap kedatangan pesanan dan dapat mengetahui pesanan yang melebihi batas jadwal sehingga harus dikerjakan pada penjadwalan periode selanjutnya.

Penelitian dapat dilanjutkan dengan mempertimbangkan penggabungan job yang sejenis per kedatangan pesanan, penjadwalan dinamis dengan job sisipan dan penentuan jumlah dan ukuran lot optimal.

Daftar Pustaka

- Baker, K., & Trietsch, D. (2009). *Principles of Sequencing and Scheduling*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Darmadi, D. (2019). Penerapan Flow Shop Scheduling Produksi Di PT. Abhijana Jaya Braja Sejahtera. *Matrik* 20(1), 25.
- Kurniawati, D., & Irsyad, A. (2018). Penjadwalan Flow Shop n job m mesin dengan metode First Come First Served (FCFS), Earliest Due Date (EDD) dan algoritma Heuristik Pour. *Spektrum Industri* 16(1), 41.
- Muharni, Y., Febianti, E., & Sofa, N. N. (2019). Minimasi Makespan Pada Penjadwalan Flow Shop Mesin Paralel Produk Steel Bridge B-60 Menggunakan Metode Longest Processing Time Dan Particle Swarm Optimization. *Journal Industrial Servicess*, 4(2), 68-75.
- Pan, Q., Tasgetiren, M., Suganthan, P., & Chua, T. (2011). A discrete artificial bee colony algorithm for the lot-streaming flow shop scheduling problem. *Information Sciences*, 181(12), 2455–2468.
- Pan, Q., Wang, L., Gao, L., & Li, J. (2011). An effective shuffled frog-leaping algorithm for lot-streaming flow shop scheduling problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(5–8), 699–713.
- Pinedo, M. (2016). *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems (5th ed.)*. New York: Springer.
- Potts, C., & Baker, K. (1989). Flow Shop Scheduling with Lot Streaming. *Operations Research Letters*, 8(6), 297–303.
- Yohanes, A. (2013). Penjadwalan produksi di Line B menggunakan metode Campbell-Dudek-Smith (CDS). *Jurnal Dinamika Teknik* 7(2), 11-20.