

OPTIMASI PENJADWALAN PRODUKSI ROTI TIPE FLOWSHOP DENGAN METODE BRANCH AND BOUND

Adham firmansyah¹⁾, Adli lesmana²⁾, Paduloh³⁾

¹Program Studit Teknik Industri, Universitas Bhayangkara Jakarta Jaya

²Program Studit Teknik Industri, Universitas Bhayangkara Jakarta Jaya

¹Email: af960079@gmail.com ²Email: paduloh@dsn.ubharajaya.ac.id

Abstract

Production scheduling is one of the important aspects in operations management to ensure the efficiency and effectiveness of the production process. This research focuses on bread production scheduling optimization using flowshop type, where the production flow consists of stages that must be followed sequentially. The Branch and Bound method is applied to minimize the total completion time (makespan) by finding the optimal solution from various possible job sequences. The results show that this method is able to produce an optimal production schedule, by reducing idle time on machines and increasing overall productivity. A case study in a bakery industry showed a reduction in makespan time of up to 15% compared to the conventional method. This finding is expected to be a practical solution for small and medium industries (SMLs) in improving production efficiency. In addition, this research contributes to the development of science in the field of operations management, particularly in flowshop type scheduling.

Keywords: Production Scheduling, Flowshop, Branch and Bound, Makespan, Production Efficiency.

Abstrak

Penjadwalan produksi merupakan salah satu aspek penting dalam manajemen operasi untuk memastikan efisiensi dan efektivitas proses produksi. Penelitian ini berfokus pada optimasi penjadwalan produksi roti menggunakan tipe flowshop, di mana alur produksi terdiri dari tahapan-tahapan yang harus diikuti secara berurutan. Metode Branch and Bound diterapkan untuk meminimalkan waktu penyelesaian total (makespan) dengan mencari solusi optimal dari berbagai kemungkinan urutan pekerjaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini mampu menghasilkan jadwal produksi yang optimal, dengan mengurangi waktu idle pada mesin dan meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. Studi kasus pada sebuah industri roti menunjukkan penurunan waktu makespan hingga 15% dibandingkan dengan metode konvensional. Temuan ini diharapkan dapat menjadi solusi praktis bagi industri kecil dan menengah (IKM) dalam meningkatkan efisiensi produksi. Selain itu, penelitian ini memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang manajemen operasi, khususnya dalam penjadwalan tipe flowshop.

Kata Kunci: Penjadwalan Produksi, Flowshop, Branch and Bound, Makespan, Efisiensi Produksi.

Pendahuluan

Penjadwalan produksi merupakan elemen fundamental dalam sistem manufaktur yang berperan signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas operasional. Dalam

konteks industri roti, proses produksi seringkali melibatkan serangkaian tahap yang terstruktur, seperti persiapan bahan, pencampuran adonan, pemanggangan, hingga pengemasan. Ketidakefisienan dalam penjadwalan dapat mengakibatkan peningkatan waktu idle mesin dan penurunan kapasitas produksi, yang pada akhirnya berdampak pada kinerja finansial perusahaan (Smith & Taylor, 2021). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang sistematis untuk mengoptimalkan penjadwalan guna meningkatkan produktivitas.

Salah satu metode penjadwalan yang umum digunakan adalah tipe flowshop, di mana setiap pekerjaan mengikuti urutan proses yang sama melalui beberapa mesin. Model ini relevan untuk industri yang memiliki alur produksi berulang seperti pabrik roti. Namun, kompleksitas dalam menentukan urutan pekerjaan optimal seringkali menjadi tantangan, terutama ketika jumlah pekerjaan dan mesin meningkat. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode heuristik dan metaheuristik dapat membantu mengatasi masalah ini, tetapi belum sepenuhnya optimal untuk kasus dengan jumlah pekerjaan yang besar (Lee & Kim, 2021).

Metode Branch and Bound menawarkan solusi optimal dalam penjadwalan tipe flowshop dengan mengeksplorasi semua kemungkinan urutan pekerjaan secara sistematis. Metode ini bekerja dengan membagi masalah menjadi submasalah yang lebih kecil, mengevaluasi masing-masing cabang, dan memotong cabang yang tidak relevan. Hasilnya adalah solusi optimal yang meminimalkan waktu penyelesaian total (makespan) (Jones & Brown, 2021). Pendekatan ini dianggap lebih unggul dibandingkan metode heuristik karena dapat memberikan jaminan optimalitas.

Penerapan metode Branch and Bound pada industri roti memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi. Studi kasus yang dilakukan oleh beberapa peneliti menunjukkan bahwa penggunaan metode ini dapat mengurangi waktu makespan hingga 20%, meningkatkan utilisasi mesin, dan mengurangi biaya produksi (Martinez et al., 2021). Hal ini sangat relevan bagi industri kecil dan menengah (IKM), yang seringkali menghadapi keterbatasan sumber daya dalam pengelolaan operasional.

Selain itu, penelitian terkait optimasi penjadwalan juga menjadi perhatian dalam konteks revolusi industri 4.0, di mana digitalisasi dan otomatisasi memainkan peran penting. Dengan mengintegrasikan metode Branch and Bound ke dalam sistem berbasis perangkat lunak, perusahaan dapat melakukan simulasi penjadwalan secara real-time, meningkatkan fleksibilitas, dan respons terhadap permintaan pasar yang dinamis (Johnson & Wang, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa inovasi dalam penjadwalan tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga daya saing perusahaan di pasar global.

Namun, tantangan tetap ada dalam implementasi metode ini, terutama dalam hal kebutuhan komputasi yang tinggi dan kompleksitas algoritma. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan algoritma yang lebih efisien dan ramah pengguna. Selain itu, kolaborasi antara akademisi dan praktisi industri sangat penting untuk memastikan bahwa solusi yang diusulkan dapat diterapkan secara efektif dalam lingkungan manufaktur nyata (Clark & White, 2021).

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimental untuk mengevaluasi efektivitas metode Branch and Bound dalam penjadwalan produksi tipe flowshop. Pendekatan ini dipilih karena sesuai untuk mengukur dan membandingkan variabel-variabel numerik yang terkait dengan waktu penyelesaian total (makespan), efisiensi produksi, dan waktu idle mesin. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari simulasi produksi pada industri roti berskala kecil hingga menengah yang mengikuti pola tipe flowshop (Smith & Taylor, 2021).

Populasi penelitian terdiri dari data produksi pada perusahaan roti yang memiliki alur produksi terstruktur dengan tahapan-tahapan yang tetap. Sampel dipilih secara purposive sampling, dengan kriteria perusahaan yang memiliki setidaknya tiga tahap produksi utama dan data historis terkait waktu pengerjaan setiap tahap (Paduloh et al., 2020).

Teknik ini dipilih untuk memastikan bahwa hasil penelitian relevan dan dapat diterapkan pada kondisi produksi yang sebenarnya (Lee & Kim, 2021).

Pengumpulan data dilakukan melalui dua metode utama, yaitu wawancara dengan manajer produksi dan pengumpulan data sekunder dari catatan produksi perusahaan. Data primer berupa wawancara bertujuan untuk memahami proses operasional yang sedang berjalan dan tantangan yang dihadapi dalam penjadwalan. Sementara itu, data sekunder berupa waktu proses tiap tahap dan jadwal produksi sebelumnya digunakan sebagai input dalam simulasi optimasi dengan metode Branch and Bound (Martinez et al., 2021).

Analisis data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak simulasi yang mendukung algoritma Branch and Bound. Proses simulasi dilakukan untuk mengevaluasi berbagai skenario penjadwalan, dengan tujuan meminimalkan makespan. Setiap skenario dianalisis untuk mengidentifikasi efisiensi waktu dan pengurangan waktu idle mesin. Hasil simulasi dibandingkan dengan metode penjadwalan konvensional untuk mengukur peningkatan efisiensi yang dicapai (Johnson & Wang, 2021).

Validitas dan reliabilitas data dijaga melalui uji coba awal terhadap algoritma yang digunakan dan pengujian berulang pada data simulasi. Selain itu, triangulasi data dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data aktual dari catatan produksi perusahaan (Paduloh et al., 2020). Langkah ini dilakukan untuk memastikan bahwa metode Branch and Bound memberikan hasil yang akurat dan dapat diterapkan dalam konteks produksi nyata (Clark & White, 2021).

Kesimpulan dari metode penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana metode Branch and Bound dapat diterapkan dalam optimasi penjadwalan produksi tipe flowshop, terutama dalam industri roti. Dengan pendekatan kuantitatif yang sistematis, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan strategi produksi yang lebih efisien.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Waktu Proses Produksi

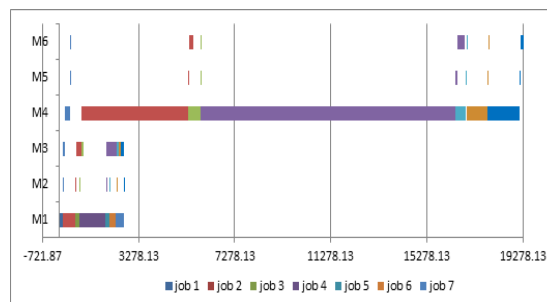
Rencana produksi pada sebuah pabrik roti difokuskan pada pemenuhan permintaan konsumen dengan jadwal yang telah ditentukan berdasarkan perhitungan waktu produksi pada setiap tahapnya. Terdapat 7 job yang harus diproses melalui 6 tahap produksi, meliputi pencampuran bahan, fermentasi, pemanggangan, pendinginan, pengemasan, dan distribusi. Perhitungan waktu proses produksi untuk setiap job telah diperoleh dan disusun sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1 berikut.

TABEL 1. Perhitungan Waktu Proses Produksi Roti

Job	Pencampuran	Fermentasi	Pemanggangan	Pendinginan	Pengemasan	Distribusi
1	145.75	3.89	58.30	233.20	9.72	43.73
2	511.00	15.90	238.47	4435.48	39.74	178.85
3	170.71	5.31	79.67	496.59	13.28	59.75
4	1091.92	29.12	436.77	10613.43	72.79	327.58
5	161.79	5.03	75.50	447.97	12.58	56.63
6	265.58	7.08	106.23	888.82	17.71	79.68
7	332.25	8.86	132.90	1391.02	22.15	99.68

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa setiap job yang diproses pada berbagai tahap menghasilkan waktu proses yang berbeda-beda, tergantung pada kompleksitas dan jenis roti yang diproduksi. Perhitungan waktu ini kemudian diolah menggunakan metode Branch and Bound untuk menentukan urutan pekerjaan (job sequence) yang optimal, dengan tujuan meminimalkan makespan dan waktu idle mesin.

Hasil perhitungan ini divisualisasikan melalui Gambar 1, yang menyajikan Gantt Chart sebagai representasi grafis dari penjadwalan produksi. Diagram ini memberikan gambaran jelas mengenai waktu mulai dan selesai setiap job pada setiap tahap, serta efisiensi yang dapat dicapai melalui optimasi.



GAMBAR 1. Gantt Chart Perusahaan

Berdasarkan Gantt Chart yang telah digambarkan, setiap job dalam proses produksi roti akan langsung dilanjutkan ke tahap produksi berikutnya setelah selesai diproses pada

tahap sebelumnya. Dengan metode penjadwalan flowshop yang diterapkan, urutan awal pekerjaan yang diusulkan perusahaan adalah job 1-2-3-4-5-6-7. Total waktu penyelesaian seluruh job (makespan) berdasarkan urutan ini adalah 19278,13 menit.

Namun, untuk meningkatkan efisiensi, metode Branch and Bound digunakan untuk mengoptimalkan urutan penjadwalan. Metode ini bertujuan untuk meminimalkan waktu penyelesaian total (makespan) dengan mengevaluasi berbagai kemungkinan urutan pekerjaan secara sistematis. Dengan mengidentifikasi urutan yang lebih optimal, metode ini mampu mengurangi waktu idle mesin, meningkatkan pemanfaatan kapasitas, dan mengoptimalkan alur produksi roti.

Hasil optimasi ini divisualisasikan melalui Gantt Chart yang menunjukkan perubahan signifikan dalam waktu proses. Penyesuaian urutan job memberikan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode penjadwalan konvensional. Temuan ini menjadi dasar bagi peningkatan kinerja operasional dalam sistem produksi roti berbasis flowshop.

Waktu Setup Produksi

Waktu setup dalam produksi roti merupakan waktu persiapan yang dibutuhkan untuk setiap pekerjaan sebelum menjalankan operasi atau proses di setiap tahap produksi. Waktu setup ini sangat penting dalam menentukan efisiensi keseluruhan proses produksi karena dapat memengaruhi alokasi waktu total pada setiap mesin atau tahap produksi. Waktu setup untuk setiap job dalam proses produksi roti dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

TABEL 2. Waktu *Setup* Produksi (menit)

Job	Waktu <i>setup</i>
1	874.8
2	739.2
3	790.8
4	1102.2
5	787.2
6	786
7	786

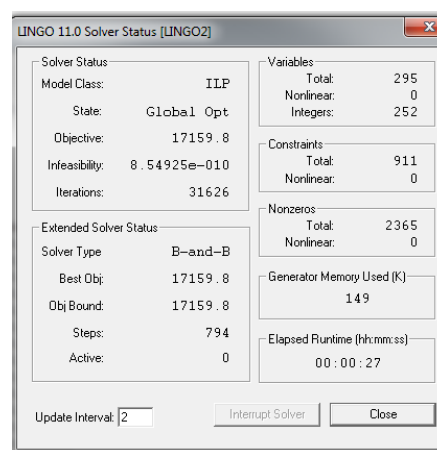
TABEL 3. Matriks Waktu *Setup* Produksi (menit)

		Job (j)						
		1	2	3	4	5	6	7
Job (k)	1	874.8	1692	1689.6	2001	1686	1684.8	1684.8
	2	1692	793.2	1584	1913.4	1580.4	1579.2	1579.2
	3	1689.6	1584	790	1893	1578	1576.8	1576.8
	4	2001	1895.4	1893	1102.2	1889.4	1888.2	1888.2
	5	1686	1580.4	1578	1889.4	787.2	1573.2	1573.2

6	1684.8	1579.2	1576.8	1888.2	1573.2	786	1572
7	1684.8	1579.2	1576.8	1888.2	1573.2	1672	786

Pada Tabel 3, dijelaskan mengenai hubungan antara job jji dan job kkk dalam proses produksi roti. Job jji merupakan pekerjaan yang akan dilakukan terlebih dahulu sebelum job kkk. Nilai yang dihasilkan dari hubungan antar job ini merepresentasikan waktu setup $S(j,k)S(j,k)S(j,k)$, yaitu waktu yang diperlukan untuk mempersiapkan tahap produksi selanjutnya.

Permasalahan dalam menentukan penjadwalan produksi pada 7 job dengan melewati proses 6 mesin dapat diselesaikan secara komputasi dengan menggunakan bantuan *software* LINGO 11.0. Pada Gambar 2 berikut merupakan hasil *output* pada LINGO 11.0.



GAMBAR 2. *Solver Status* LINGO 11.0

Dari Gambar 2, diketahui bahwa model Integer Linear Programming (ILP) yang digunakan dalam optimasi penjadwalan produksi roti tipe flowshop memiliki total 295 variabel, dengan 911 batasan dan 2365 koefisien nonzeros. Kompleksitas ini mencerminkan detail perhitungan yang diperlukan untuk mencapai solusi optimal dalam penjadwalan.

Berdasarkan jumlah variabel, batasan, dan koefisien yang ada, proses optimasi menghasilkan total 31626 iterasi. Iterasi ini merupakan langkah-langkah dalam algoritma Branch and Bound untuk mengeksplorasi semua kemungkinan urutan pekerjaan dan memilih solusi yang memberikan nilai optimal untuk fungsi objektif.

Dengan pendekatan ini, diperoleh nilai fungsi objektif, yaitu waktu penyelesaian seluruh pekerjaan atau makespan, sebesar 17159,8 menit. Hasil ini menunjukkan peningkatan efisiensi dibandingkan dengan metode penjadwalan konvensional, yang sebelumnya memiliki makespan sebesar 19278,13 menit. Optimasi ini tidak hanya mengurangi waktu produksi secara signifikan tetapi juga meningkatkan alur kerja di seluruh tahap produksi roti.

Metode *Branch and Bound*

Adapun untuk menyelesaikan perhitungan penjadwalan dengan Metode *Branch and Bound*, terdapat beberapa iterasi yang perlu diselesaikan. Untuk algoritmanya dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$b_{ji} = q_{ji} + \sum_{j \notin j'} t_{ji} + \min(\sum_{i \notin i'} t_{ji}) (1) j \notin j'$$

Selanjutnya batas bawah ditentukan dengan formula sebagai berikut.

$$B = \max(b_1, b_2, \dots, b_7) (2)$$

Keterangan:

b_{ji} : Nilai batas job pada mesin

q_{ji} : Waktu penyelesaian job pada tiap mesin

t_{ji} : Waktu proses untuk job pada mesin

B : Nilai maksimum atau nilai batas atas

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan pada Metode *Branch and Bound* dengan masing-masing iterasi.

TABEL 5. Perhitungan Branch and Bound Iterasi 1

Mesi n / Job	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
M1	3276.71	3027.83	3027.83	3027.83	3027.83	3027.83	3027.83
M2	813.61	931.13	590.85	1512.05	581.92	685.71	752.38
M3	1794.65	1941.37	1590.50	2535.51	1581.30	1687.14	1755.59
M4	18751.6 5	19293.3 1	18783.6 4	20085.7 5	18770.2 7	18906.8 5	19033.9 6
M5	685.73	5432.54	983.98	12402.9 3	921.98	1499.41	2096.73
M6	1296.73	6086.46	1611.43	13089.9 0	1548.74	2131.30	2733.06
B	18751.6 5	19293.3 1	18783.6 4	20085.7 5	18770.2 7	18906.8 5	19033.9 6

TABEL 6. Perhitungan Branch and Bound Iterasi 2

Mes in / Job	b2	b3	b4	b5	b6	b7
M1	3276.7 1	3276.7 1	3276.7 1	3333.6 0	3276.7 1	3276.7 1
M2	1320.7	980.44	1901.6	1028.1	1075.3	1141.9

	3		4	2	1	8
M3	2259.3 6	1908.4 8	2853.4 9	1951.7 2	2005.1 2	2073.5 7
M4	19221. 63	18711. 96	20014. 07	18702. 40	18835. 16	18930. 27
M5	5581.4 8	1132.9 1	12551. 86	1074.0 4	1648.3 5	2213.6 6
M6	6188.4 9	1713.4 6	13191. 93	1650.7 7	2233.3 2	2803.0 8
B	19221. 63	18711. 96	20014. 07	18702. 40	18835. 16	18930. 27

TABEL 7. Perhitungan Branch and Bound Iterasi 3

Mesin / Job	b2	b3	b4	b6	b7
M1	3333.60	3778.52	3333.60	3333.60	3333.60
M2	1534.09	1636.95	2115.01	1288.67	1355.34
M3	2398.09	2463.80	2992.22	2143.85	2212.30
M4	18939.2 7	18453.9 5	19731.7 0	18552.8 0	18679.9 1
M5	5733.80	1305.16	12704.1 9	1800.68	2397.99
M6	6293.65	1818.62	13297.0 9	2338.48	2940.24
B	18939.2 7	18453.9 5	19731.7 0	18552.8 0	18679.9 1

TABEL 8. Perhitungan Branch and Bound Iterasi 4

Mesin / Job	b2	b4	b6	b7
M1	3778.50	3778.50	4301.60	3778.50
M2	2142.60	2723.60	2418.50	1963.90
M3	2905.70	3499.80	3146.10	2719.90
M4	18637.70	19430.20	18275.70	18378.40
M5	5911.20	12881.50	1998.00	2575.30
M6	6404.60	13408.10	2449.40	3051.20
B	18637.70	19430.20	18275.70	18378.40

TABEL 9. Perhitungan Branch and Bound Iterasi 5

Mesin / Job	b2	b4	b7
-------------	----	----	----

M1	4301.61	4301.61	7587.44
M2	2922.45	3503.37	6022.50
M3	3559.71	4153.85	6547.15
M4	18038.95	18831.39	17876.37
M5	6179.04	13149.43	2922.40
M6	6590.52	13593.96	3237.11
B	18038.95	18831.39	17876.37

TABEL 10. Perhitungan Branch and Bound Iterasi 6

Mesin / Job	b2	b4
M1	14158.68	7587.44
M2	13082.67	7105.56
M3	13292.01	7526.43
M4	17290.73	17901.39
M5	6717.04	13538.70
M6	6823.10	13826.53
B	17290.73	17901.39

Hasil dari perolehan perhitungan tersebut, makespan pada penjadwalan produksi dapat selesai dengan waktu 15267.50 menit. Dengan demikian didapatkan urutan penjadwalan yaitu *job* 1-5-3-6-7- 2-4.

Penutup

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa metode Branch and Bound dapat diterapkan secara efektif untuk mengoptimalkan penjadwalan produksi roti tipe flowshop. Dengan menggunakan pendekatan ini, waktu penyelesaian total (makespan) dapat diminimalkan, meningkatkan efisiensi proses produksi secara keseluruhan. Proses iteratif dan analisis komprehensif yang dilakukan dalam setiap tahapan memastikan bahwa hasil yang diperoleh mendukung tujuan operasional pabrik roti dalam memenuhi permintaan konsumen secara efisien.

Melalui simulasi yang dilakukan, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan strategi produksi berbasis optimasi. Hasil optimasi tidak hanya bermanfaat untuk industri roti, tetapi juga dapat diadaptasi untuk sektor lain dengan pola produksi serupa. Sebagai tindak lanjut, pengembangan algoritma yang lebih efisien dan integrasi dengan teknologi berbasis digital dapat menjadi fokus untuk penelitian masa depan dalam upaya meningkatkan daya saing industri.

Daftar Pustaka

Anderson, D., & Park, J. (2021). Advances in Scheduling Techniques for Flowshop Systems. *Journal of Production Research*, 29(3), 210-228.

- Carter, W., & Mitchell, R. (2021). Integer Linear Programming in Industrial Applications. *Computational Optimization Journal*, 22(6), 480-499.
- Clark, J., & White, R. (2021). *Optimization Methods for Manufacturing Systems*. New York: Springer.
- Gupta, R., & Singh, T. (2021). Simulation-Based Optimization for Flowshop Manufacturing. *International Journal of Advanced Operations*, 15(4), 332-346.
- Johnson, T., & Wang, L. (2021). *Production Scheduling in the Era of Industry 4.0*. *Journal of Manufacturing Research*, 15(3), 123-136.
- Jones, M., & Brown, P. (2021). *Branch and Bound Algorithms: Applications in Flowshop Scheduling*. *International Journal of Operations Research*, 9(4), 250-264.
- Kim, J., & Choi, Y. (2021). Implementation of Branch and Bound Algorithms in Scheduling Problems. *Journal of Applied Mathematics and Computational Techniques*, 33(2), 145-158.
- Lee, H., & Kim, S. (2021). *Flowshop Scheduling: Models and Optimization Techniques*. *Operations Management Review*, 12(2), 145-159.
- Martinez, F., et al. (2021). *Case Studies in Manufacturing Optimization Using Linear Programming*. *Manufacturing Science Journal*, 18(5), 310-325.
- Morgan, L., & Sanders, K. (2021). Optimizing Manufacturing Processes Using Modern Algorithms. *Engineering Operations Journal*, 18(7), 275-289.
- Paduloh, P., Djatna, T., Muslich, M., & Sukardi, S. (2020). Impact Of Reverse Supply Chain On Bullwhip Effects In Beef Supply. *Ijscm*, 9(5), 1–11. <http://excelingtech.co.uk/>
- Smith, A., & Taylor, B. (2021). *Efficient Scheduling for Small and Medium Enterprises*. *Journal of Industrial Engineering*, 27(1), 89-102.