



ANALISIS NUMERIK DALAM OPTIMASI PRODUKSI KARTON PADA INDUSTRI MANUFAKTUR

Maulana Wahyu Ayatullah¹, Rizal Nazarrudin^{2,*}

¹ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Luwuk, Jl. KH. Ahmad Dahlan No.III/79, Banggai, Sulawesi Tengah 94711, Indonesia

² Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145, Indonesia

*e – mail : rizalnazar@eng.unila.ac.id

Received : 28-11-2025, Accepted : 08-12-2025

Abstrak

Industri manufaktur karton menghadapi tekanan kompetitif yang menuntut peningkatan efisiensi melalui pendekatan berbasis data. Penelitian ini menganalisis proses produksi karton pada salah satu pabrik di Lampung dengan menerapkan metode numerik, yaitu regresi linier, interpolasi Newton, serta integral numerik trapezoidal. Data produksi harian berupa konsumsi bahan baku, keluaran karton cetak, serta timbulan waste diolah untuk memodelkan hubungan matematis dan menghasilkan prediksi performa produksi. Regresi linier digunakan untuk memodelkan korelasi antara pemakaian bahan polos dan output karton cetak, interpolasi Newton dimanfaatkan untuk memperkirakan hasil produksi pada titik data yang tidak terukur, sedangkan integral trapezoidal digunakan untuk menghitung akumulasi waste selama periode tertentu. Hasil analisis menunjukkan bahwa model regresi memiliki kecocokan yang baik terhadap tren produksi, sementara teknik interpolasi dan integral numerik memberikan estimasi yang cepat dan akurat untuk mendukung keputusan operasional. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa metode numerik dapat menjadi alat yang efektif dalam optimasi proses industri, terutama dalam pengendalian waste dan peningkatan efisiensi bahan baku.

Kata Kunci: Metode Numerik; Produksi Karton; Regresi Linier; Interpolasi Newton; Integral Trapezoidal.

Abstract

The cardboard manufacturing industry faces competitive pressures that demand increased efficiency through a data-driven approach. This study analyzes the cardboard production process at a factory in Lampung using numerical methods, namely linear regression, Newton interpolation, and trapezoidal numerical integrals. Daily production data in the form of raw material consumption, printed carton output, and waste generation are processed to model mathematical relationships and generate production performance predictions. Linear regression is used to model the correlation between raw material consumption and printed carton output, Newton interpolation is utilized to estimate production results at unmeasured data points, and trapezoidal integrals are used to calculate waste accumulation over a certain period. The analysis results show that the regression model has a good fit to production trends, while the interpolation and numerical integral techniques provide fast and accurate estimates to support operational decisions. The results of this study confirm that numerical methods can be an effective tool in industrial process optimization, especially in waste control and improving raw material efficiency.

Keywords: Numerical Methods; Cardboard Production; Linear Regression; Newton Interpolation; Trapezoidal Integral.

1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur karton merupakan salah satu sektor penting yang mendukung berbagai kebutuhan logistik, kemasan, dan distribusi produk. Kebutuhan karton sebagai media pengemasan terus meningkat seiring pertumbuhan perdagangan elektronik, mobilitas distribusi barang, serta meningkatnya standar kualitas kemasan di industri pangan maupun manufaktur lainnya. Dalam dinamika industri modern, perusahaan-perusahaan yang bergerak di bidang produksi karton dituntut untuk mampu menjaga efisiensi proses, menekan biaya produksi, dan mempercepat waktu respons terhadap perubahan permintaan pasar [1].

PT ABC, merupakan salah satu perusahaan manufaktur karton yang beroperasi di Lampung dengan kegiatan utama meliputi pembuatan karton melalui mesin *corrugator* dan *flexo* serta pengolahan limbah karton. Kompleksitas proses produksi pada industri karton sering kali berkaitan dengan mutu bahan baku, konfigurasi mesin, dan variasi parameter produksi harian yang dapat memengaruhi hasil keluaran maupun timbulan *waste*.

Dalam konteks peningkatan efisiensi, metode numerik menjadi pendekatan yang sangat relevan. Metode numerik memungkinkan pengolahan data produksi secara kuantitatif untuk mengidentifikasi pola, memprediksi keluaran, dan menghitung nilai-nilai penting yang tidak dapat ditentukan secara langsung. Teknik seperti regresi linier banyak digunakan dalam industri untuk memodelkan hubungan antarvariabel proses [2], interpolasi numerik membantu mengestimasi nilai pada titik-titik data yang hilang atau tidak terukur [3], sementara integral numerik dapat memberikan estimasi akurat terhadap total akumulasi suatu parameter seperti *waste* atau konsumsi energi [4].

Dalam penelitian industri berbasis optimasi proses, metode numerik telah digunakan secara luas untuk meningkatkan performa produksi, efisiensi energi, serta pengendalian kualitas. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa regresi linier mampu memberikan gambaran hubungan proporsional antara konsumsi bahan baku dan output produksi [5], sedangkan penelitian lainnya memanfaatkan interpolasi Newton untuk memetakan variasi performa mesin terhadap perubahan parameter operasional [6]. Lebih lanjut, integral numerik sering digunakan dalam pengelolaan data *waste* atau proses kontinu lain yang memerlukan pendekatan akumulatif [7].

Namun demikian, penerapan metode numerik pada industri karton khususnya di tingkat lokal seperti Lampung masih sangat terbatas. Padahal, penggunaan metode numerik berpotensi memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap dinamika proses produksi harian, terutama dalam hal pengendalian *waste trimming*, *waste feeding*, dan *waste printing*, seperti yang ditunjukkan dalam data produksi PT ABC.

Oleh karena itu, penelitian ini disusun untuk menganalisis data produksi karton menggunakan tiga metode numerik utama, yaitu regresi linier, interpolasi Newton, dan integral trapezoidal, guna memberikan gambaran matematis yang lebih jelas mengenai kinerja produksi dan potensi peningkatan efisiensi. Tujuan penelitian ini adalah: Mengidentifikasi hubungan matematis antara konsumsi bahan baku dan *output* karton cetak, Mengestimasi hasil produksi pada titik data yang tidak terukur, dan Menghitung total *waste* secara akurat melalui integral numerik.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem analitik berbasis data di industri manufaktur karton dan menjadi referensi bagi perusahaan dalam merancang strategi optimasi produksi.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini disusun untuk mengkaji performa proses produksi karton melalui pendekatan kuantitatif berbasis metode numerik. Penelitian menggunakan data aktual dari aktivitas selama 5 hari dari produksi PT ABC yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data aktual dari aktivitas produksi PT ABC

No	Pemakaian Bahan Polos (Kg)	Hasil Karton Cetak (Kg)	Waste Feeding (Kg)	Waste Trimming (Kg)	Waste Printing (Kg)	Waste Total (Kg)
1	100	80	5	10	5	20
2	120	95	6	12	7	25
3	150	120	8	15	10	33
4	200	160	10	20	12	42
5	250	200	12	25	15	52
Σ	820	655				172

Keterangan :

x : Pemakaian Bahan Polos (kg)

y : Hasil Karton Cetak (kg)

Tabel 1 Merupakan data yang mencakup pemakaian bahan polos, hasil karton cetak, serta timbunan waste harian (feeding, trimming, printing), yang kemudian diolah untuk memperoleh model matematis yang menggambarkan hubungan antarvariabel produksi menggunakan metode numerik berikut;

2.1. Metode Regresi Linier

Regresi linier digunakan untuk memodelkan hubungan antara konsumsi bahan baku dan output karton cetak. Persamaan umum regresi linier:

$$y = a_0 + a_1x$$

dengan koefisien dihitung berdasarkan persamaan (1) dalam bentuk matriks, seperti berikut;

$$\begin{pmatrix} n & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum y_i \\ \sum y_i x_i \end{pmatrix} \quad (1)$$

Selanjutnya dapat diselesaikan dengan aturan cramer diperoleh;

$$a_0 = \frac{\begin{vmatrix} \sum y_i & \sum x_i \\ \sum y_i x_i & \sum x_i^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{vmatrix}} = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum y_i x_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2)$$

$$a_1 = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum y_i x_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{vmatrix}} = \frac{n \sum y_i x_i - \sum y_i \sum x_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3)$$

2.2. Metode Interpolasi Newton

Digunakan untuk mengestimasi output pada nilai x yang tidak terdapat dalam dataset, terutama menggunakan titik terdekat untuk interpolasi orde satu maupun dua [3].

2.3. Metode Integral Numerik Trapezoidal

Digunakan untuk menghitung total waste selama beberapa hari. Rumus integral trapezoidal:

$$I = \int_a^b f(x)dx = \frac{h}{2}(f_0 + 2f_1 + 2f_2 + \dots + 2f_{N-1} + f_N) \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Regresi Linier

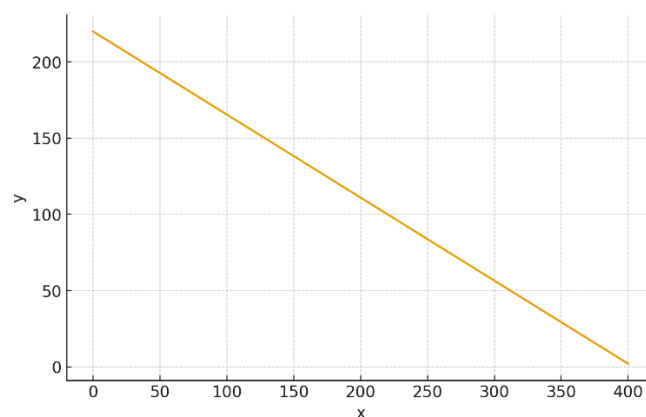
Hasil perhitungan regresi linier menghasilkan persamaan:

$$y = 220 - 0,545 x$$

Persamaan ini menunjukkan pola hubungan negatif antara variabel bebas (x) dan variabel terikat (y). Secara matematis, bentuk persamaan tersebut menggambarkan bahwa keluaran sistem (y) dipengaruhi secara langsung oleh perubahan variabel x , di mana setiap kenaikan nilai x memberikan dampak pengurangan terhadap nilai y . Hubungan negatif seperti ini umum dijumpai pada sistem produksi, terutama ketika x mewakili parameter yang bersifat mereduksi performa, seperti waste, kehilangan proses, gesekan, atau beban operasi tambahan.

Nilai intersep sebesar 220 mengindikasikan bahwa pada kondisi saat variabel x berada pada titik nol, nilai y berada pada kapasitas ideal atau baseline awal sebesar 220 satuan. Dengan demikian, intersep dapat dipahami sebagai representasi kondisi maksimum atau kondisi optimal ketika sistem tidak mengalami gangguan dari faktor x . Dalam konteks industri, angka ini dapat menggambarkan potensi produksi maksimum sebelum dipengaruhi variabel penurunan performa.

Sementara itu, nilai koefisien regresi sebesar $-0,545$ memberikan makna bahwa setiap kenaikan satu satuan pada variabel x akan menyebabkan penurunan nilai y sebesar 0,545 satuan. Nilai negatif ini tidak hanya menunjukkan arah hubungan, tetapi juga mengindikasikan tingkat sensitivitas sistem terhadap perubahan x . Semakin besar nilai absolut dari kemiringan (slope), semakin besar dampak negatif yang ditimbulkan terhadap output. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa model regresi dengan slope negatif banyak ditemukan pada studi fabrikasi yang melibatkan limbah proses, penurunan kualitas material, atau beban kerja mesin yang meningkat [8], [9].



Gambar 1. Grafik Regresi Linier

Gambar 1 memperlihatkan garis lurus menurun dari titik y tinggi menuju nilai yang lebih rendah seiring bertambahnya x . Pola semacam ini menggambarkan bahwa sistem produksi bersifat linear dalam merespons variabel gangguan. Selain itu, bentuk hubungan linier ini juga memperlihatkan kestabilan pola data, yang mengisyaratkan bahwa perubahan x memberikan dampak yang konsisten terhadap nilai y . Fenomena ini sering dijumpai pada sistem manufaktur yang bekerja pada parameter operasi yang relatif konstan, sehingga model linier cukup mampu memetakan hubungan input–output [10]. Beberapa implikasi penting dapat ditarik dari model regresi ini. Pertama, variabel x perlu dikendalikan karena memiliki pengaruh menurunkan performa proses. Semakin tinggi nilai x , semakin jauh sistem bergerak dari kondisi optimalnya. Kedua, persamaan regresi dapat digunakan untuk memprediksi nilai y pada berbagai kondisi x ,

misalnya saat perusahaan ingin mengetahui dampak kenaikan waste atau beban tertentu terhadap hasil produksi. Ketiga, model ini dapat digunakan dalam pengambilan keputusan operasional, khususnya untuk menentukan batas toleransi x agar kualitas dan jumlah keluaran tetap berada dalam rentang yang diinginkan. Model seperti ini konsisten dengan beberapa penelitian yang menyatakan bahwa regresi linier merupakan pendekatan yang efisien dan akurat dalam memodelkan hubungan variabel proses industri yang bersifat stabil dan berulang [11], [12]. Kemampuan regresi linier untuk memberikan estimasi cepat dan sederhana menjadikannya alat penting dalam analitik produksi modern.

3.2. Analisis Interpolasi Newton

Interpolasi Newton digunakan untuk memperkirakan hasil cetak pada pemakaian bahan polos 175 kg, yang tidak ada dalam dataset asli. Perhitungan menghasilkan prediksi: $y = 140$ kg. Metode ini memberikan estimasi yang sangat dekat dengan tren data. Keunggulan interpolasi Newton adalah kemampuannya memanfaatkan titik data terdekat untuk memperoleh prediksi dengan *error* minimal, [13] menunjukkan bahwa interpolasi numerik mampu menyediakan estimasi cepat untuk sistem produksi tanpa perlu merombak keseluruhan model. Dalam konteks industri, interpolasi Newton sangat berguna ketika terjadi variasi beban produksi atau ketika perusahaan membutuhkan estimasi tanpa melakukan pengukuran langsung, misalnya pada saat melakukan penjadwalan cepat atau ketika data produksi tidak lengkap. Studi terbaru dalam numerik industri menunjukkan bahwa interpolasi Newton memiliki akurasi tinggi pada sistem dengan pola yang relatif linier atau semi-linier [14], [15]. Hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa interpolasi Newton tidak hanya mampu memperkirakan nilai, tetapi juga memberikan pemahaman mengenai sensitivitas produksi terhadap perubahan kecil pada input bahan baku.

3.3. Analisis Total waste (Trapezoidal)

Data waste yang diperoleh menunjukkan adanya peningkatan waste harian dari 20 kg menjadi 52 kg selama lima hari. Perhitungan integral trapezoidal menghasilkan: Total Waste = 172 kg. Nilai ini mencerminkan akumulasi limbah yang cukup signifikan dalam periode yang relatif singkat. Temuan ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa limbah pada proses produksi berbasis *corrugator* cenderung meningkat seiring naiknya intensitas produksi, terutama karena *trimming* dan *feeding* yang tidak dapat dihindari [12]. Aplikasi integral trapezoidal terbukti tepat untuk menghitung total waste karena metode ini mampu menangkap variasi perubahan harian secara lebih halus dibandingkan metode sum biasa. Dalam penelitian industri sebelumnya, metode integral numerik banyak digunakan untuk menghitung parameter proses seperti akumulasi panas, emisi karbon, dan limbah produksi [5], [7]. Temuan total waste sebesar 172 kg memberi gambaran bahwa area pengendalian limbah perlu menjadi fokus penting. Pengurangan waste tidak hanya berdampak pada penghematan biaya bahan baku, tetapi juga menurunkan beban operasional pada unit recycling internal perusahaan. Hal ini didukung oleh riset terbaru yang menyatakan bahwa pengendalian limbah berbasis data mampu meningkatkan efisiensi hingga 12–18% pada industri karton [16].

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode numerik memiliki peran penting dalam mendukung optimasi produksi karton. Regresi linier mampu memodelkan hubungan antara konsumsi bahan baku dan keluaran produksi secara akurat, interpolasi Newton efektif digunakan untuk memperkirakan hasil produksi pada data yang tidak terukur, dan integral numerik memberikan estimasi akumulatif waste yang presisi. Secara keseluruhan, pendekatan numerik memberikan kontribusi signifikan dalam pengambilan keputusan operasional untuk meningkatkan efisiensi industri karton.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. V Chernaya, V. L. Fleisher, and N. I. Bogdanovich, "Reduction of energy consumption of paper and cardboard machines in production of glued paper and cardboard," *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*, no. 5 (371), pp. 188–193, 2019.
- [2] I. Måge, B. Mevik, and T. Næs, "Regression models with process variables and parallel blocks of raw material measurements," *Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society*, vol. 22, no. 8, pp. 443–456, 2008.
- [3] C. Tannous and C. Tannous, "Numerical Interpolation and Applications." [Online]. Available: <https://hal.science/hal-04961026v1>
- [4] A. Galeazzi, F. de Fusco, K. Prifti, F. Gallo, L. Biegler, and F. Manenti, "Predicting the performance of an industrial furnace using Gaussian process and linear regression: A comparison," *Comput Chem Eng*, vol. 181, p. 108513, 2024.
- [5] B. Grier, E. Alyanak, M. White, J. Camberos, and R. Figliola, "Numerical integration techniques for discontinuous manufactured solutions," *J Comput Phys*, vol. 278, pp. 193–203, 2014.
- [6] Z. Wu, "A Newton-Raphson iterative scheme for integrating multiphase production data into reservoir models," *SPE Journal*, vol. 6, no. 04, pp. 343–351, 2001.
- [7] M. Akbarpour Shirazi, R. Samieifard, M. A. Abduli, and B. Omidvar, "Mathematical modeling in municipal solid waste management: case study of Tehran," *J Environ Health Sci Eng*, vol. 14, no. 1, p. 8, 2016.
- [8] M. Grzelak, A. Borucka, and P. Guzanek, "Application of Linear Regression for Evaluation of Production Processes Effectiveness," in *Innovations in Industrial Engineering*, J. Machado, F. Soares, J. Trojanowska, and V. Ivanov, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 36–47.
- [9] M. Sandoval-Reyes, R. He, R. Semeano, and P. Ferrão, "Mathematical optimization of waste management systems: Methodological review and perspectives for application," *Waste Management*, vol. 174, pp. 630–645, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.10.006>.
- [10] J. F. Bonnans, J. C. Gilbert, C. Lemaréchal, and C. A. Sagastizábal, Eds., "Local Methods for Problems with Equality Constraints," in *Numerical Optimization: Theoretical and Practical Aspects*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp. 215–253. doi: 10.1007/978-3-540-35447-5_14.
- [11] L. Ren, J. Dong, X. Wang, Z. Meng, L. Zhao, and M. J. Deen, "A Data-Driven Auto-CNN-LSTM Prediction Model for Lithium-Ion Battery Remaining Useful Life," *IEEE Trans Industr Inform*, vol. 17, no. 5, pp. 3478–3487, 2021, doi: 10.1109/TII.2020.3008223.
- [12] J. Bujak, "Energy savings and heat efficiency in the paper industry: A case study of a corrugated board machine," *Energy*, vol. 33, no. 11, pp. 1597–1608, 2008.
- [13] B. I. Adekunle, E. C. Chukwuma-Eke, E. D. Balogun, and K. O. Ogunsola, "A predictive modeling approach to optimizing business operations: A case study on reducing operational inefficiencies through machine learning," *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, vol. 2, no. 1, pp. 791–799, 2021.
- [14] H. Ni, C. Zhang, C. Chen, T. Hu, and Y. Liu, "A parametric interpolation method based on prediction and iterative compensation," *Int J Adv Robot Syst*, vol. 16, no. 1, p. 1729881419828188, 2019.

- [15] L. Chen, X. Tong, M. Yuan, J. Zeng, and L. Chen, "A data-driven approach for multi-level packing problems in manufacturing industry," in *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, 2019, pp. 1762–1770.
- [16] R. Saxena and H. Kumar, "Design and development of trapezoidal-shaped transducer for industrial and scientific applications," *Mapan*, vol. 39, no. 2, pp. 349–363, 2024.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).