

Implementasi Integer Programming pada *Knapsack Problem* dalam Optimalisasi Pengantaran Produk Air Mineral

Hendrik Vicarlo Saragih Manihuruk¹, Tito Bisma May Willis¹, Dwila Sempi Yusiani²

¹Program Studi Teknik Logistik, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Kalimantan

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Maritim Raja Ali Haji

*Email Korespondensi: tito.willis@lecturer.itk.ac.id

Abstrak - Distribusi produk air minum dalam kemasan merupakan salah satu tantangan dalam manajemen logistik yang memerlukan pendekatan optimal untuk memaksimalkan keuntungan dengan sumber daya yang terbatas. *Knapsack Problem* adalah salah satu pendekatan yang digunakan untuk mengatasi masalah optimasi distribusi dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan sebagai kendala utama. Dalam penelitian ini, distribusi produk air minum dalam kemasan dengan variasi kemasan 220 ml, 330 ml, 600 ml, dan 1500 ml dianalisis menggunakan metode *Integer Programming* (IP). Kendala yang dihadapi meliputi batas volume truk pengangkut sebesar 10.003.875 cm³ dan dimensi karton yang bervariasi untuk setiap ukuran produk. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan distribusi produk air minum dalam kemasan guna memaksimalkan keuntungan dengan memanfaatkan kapasitas truk secara efisien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa solusi optimal dicapai dengan mengangkut 1 kotak air minum kemasan 220 ml dan 378 kotak air minum kemasan 330 ml, menghasilkan keuntungan sebesar Rp4.735.000 serta memanfaatkan 99,993% kapasitas truk. Penelitian ini membuktikan bahwa metode *Integer Programming* efektif dalam menyelesaikan *Knapsack Problem* dalam konteks distribusi produk air minum dalam kemasan dan dapat menjadi referensi dalam pengambilan keputusan distribusi di sektor industri.

Keywords: *Knapsack Problem*; Integer Programming; Distribui Produk; Optimalisasi Logistik; Kapasitas Kendaraan.

Abstract – *The distribution of bottled water products is one of the challenges in logistics management that requires an optimal approach to maximize profit with limited resources. The Knapsack Problem is one such approach to address distribution optimization problems by considering vehicle capacity as the primary constraint. In this study, the distribution of bottled water products with packaging variations of 220 ml, 330 ml, 600 ml, and 1500 ml is analyzed using the Integer Programming (IP) method. The constraints faced include a transport truck volume limit of 10,003,875 cm³ and the varying dimensions of cartons for each product size. This study aims to optimize the distribution of bottled water products to maximize profit by utilizing the truck capacity efficiently. The results show that the optimal solution is achieved by carrying 1 box of 220 ml bottled water and 378 boxes of 330 ml bottled water, resulting in a profit of IDR 4,735,000 and utilizing 99.993% of the truck capacity. This study demonstrates that the Integer Programming method is effective in solving the Knapsack Problem in the context of bottled water product distribution and can serve as a reference for distribution decision-making in the industrial sector.*

Keywords: *Knapsack Problem*; Integer Programming; Product Distribution; Logistics Optimization; Vehicle Capacity.

PENDAHULUAN

Industri air mineral memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia hal ini ditunjukkan dengan tingginya permintaan pasar akan kebutuhan air mineral kemasan dari berbagai ukuran yaitu 220ml, 330ml, 600ml dan 1500ml. Permasalahan operasional dalam melakukan pengelolaan distribusi produk menjadi tantangan dari setiap perusahaan yaitu bagaimana melakukan pengoptimalan kapasitas pengiriman produk dengan batasan dari volume mobil angkut yang digunakan hal ini disebabkan oleh ukuran dari setiap dimensi ukuran yang berbeda menjadi tantangan untuk menentukan jumlah produk yang dibawa, sehingga hal tersebut termasuk dalam permasalahan *Knapsack Problem*.

Knapsack Problem adalah melakukan optimalisasi kumpulan dari objek yang tersedia yang dipilih secara maksimal (Adouani et al., 2020; Lahyani et al., 2019) permasalahan ini sangat relevan dalam permasalahan dalam menentukan jumlah barang yang diangkut dari setiap batasan yang dimiliki sehingga dapat menyelesaikan permasalahan operasional dalam pengangkutan. Salah satu upaya menyelesaikan *Knapsack Problem* adalah dengan menggunakan *integer programming*. *Integer programming* adalah menyelesaikan masalah optimasi dengan kendala semua variabel keputusan harus berupa bilangan bulat dengan tujuan untuk mengalokasikan sumber daya yang terbatas secara optimal (Adouani et al., 2019; Boes et al., 2023; Wolsey, 2020).

Penelitian terdahulu yang dilakukan dalam melakukan pengoptimalan produksi 4 jenis kopi susu dengan menggunakan *integer programming* dengan 7 batasan yang dimiliki dengan menggunakan *software* POM-QM hasilnya menunjukkan akan meraih keuntungan maksimal dari penjualan sebesar Rp. 591.000 dengan 37 cup pada 4 variasi kopi susu (Firdaus et al., 2019) *Knapsack Problem* juga tidak hanya dilakukan dalam melakukan distribusi barang, penelitian terdahulu melakukan simulasi *knapsack problem* pada penentuan jadwal kegiatan pemeliharaan dari 2 skenario yaitu dari kerusakan dan manfaat dari pemeliharaan, hasilnya menunjukkan bahwa dengan menggunakan skenario kerusakan anggaran akan terserap sebesar 71,88% dan untuk skenario manfaat dari pemeliharaan dan akan terserap sebesar 89,29% (Fawzy et al., 2017)

Selanjutnya penelitian lain dalam *multiple-choice Knapsack Problem* menggunakan Iterative Integer Linear programming menghasilkan 120 solusi terbaik dengan 77 solusi optimal dan 69 solusi terbaik baru dari membandingkan menggunakan algoritma variable *Neighborhood Search & Integer Programming* (Adouani et al., 2024) Sehingga tujuan penelitian ini menyelesaikan permasalahan *knapsack problem* untuk melakukan optimalisasi jumlah produk air mineral yang dapat dimuat dalam mobil angkut dengan menggunakan *integer programming* yang berfungsi untuk mendapatkan keuntungan maksimal dari setiap pengantaran dari item *box* air mineral yang diantarkan perusahaan..

METODE PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah melakukan maksimal jumlah air mineral kemasan yang dapat dibawa oleh satu mobil angkut dengan menggunakan model *integer programming* dengan menggunakan *software* POM-QM dalam menyelesaikannya. Adapun ukuran air mineral kemasan yang adalah sebagai berikut:

Tabal 1. Dimensi dari Ukuran Box

Keterangan	Dimensi (cm)	Keuntungan/Box
Mobil Box	Panjang	309
	Lebar	175
	Tinggi	185
	Volume	10.003.875 cm ³
Box Air Mineral Ukuran 220 MI (X1)	Panjang	40
	Lebar	30
	Tinggi	20
		Rp. 10.000

Keterangan	Dimensi (cm)	Keuntungan/Box
Box Air Mineral Ukuran 330 MI (X2)	Volume	24.000 cm ³
	Panjang	40
	Lebar	30
	Tinggi	22
Box Air Mineral Ukuran 600 MI (X3)	Volume	26.400 cm ³
	Panjang	42
	Lebar	32
	Tinggi	25
Box Air Mineral Ukuran 1500 MI (X4)	Volume	33.600 cm ³
	Panjang	48
	Lebar	35
	Tinggi	32
	Volume	53.760 cm ³

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa ada 4 jenis box yang akan dilakukan pemilihan dengan keterbatasan yaitu volume dari mobil angkut yang dibawa, setiap box air mineral tersebut memiliki nilai keuntungan yang didapatkan berdasarkan asumsi yang diberikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mengetahui dimensi dari Box air mineral dan Mobil Box, selanjutnya melakukan tujuan dan batasan dalam bentuk matematis, Adapun bentuk matematis adalah sebagai berikut:

$$Maksimal = 10.000X1 + 12.500X2 + 15.000X3 + 20.000X4 \quad (1)$$

Model matematis pertama menunjukkan tujuan dari pencarian yaitu mendapatkan keuntungan terbesar dari pengiriman dengan nilai keuntungan dari setiap variabel. Selanjutnya dilakukan batasan dari penelitian sebagai berikut:

$$Subject To = 24.000X1 + 26.400X2 + 33.600X3 + 53.760X4 \leq 10.003.875 \text{ cm}^3 \quad (2)$$

$$X1, X2, X3, X4 = integer \quad (3)$$

$$X1, X2, X3, X4 \geq 0 \quad (4)$$

Model matematis menunjukkan bahwa batasan dari volume dari setiap variable dengan batasan volume mobil box dengan setiap variabel yang dibawa dalam nilai integer. Adapun hasil integer adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Solusi Optimal

Iteration	Added constraint	Solution type	X1	X2	X3	X4	Solution Value
		Optimal	1	378	0	0	4.735.000
1		Non-Integer	0	378,93	0	0	4.736.683
2	X2 <= 378	Non-Integer	0	378	0,73	0	4.736.016
3	X3 <= 0	Non-Integer	1,03	378	0	0	4.735.281
4	X1 <= 1	Non-Integer	1	378	0	0,01	4.735.251
5	X4 <= 0	INTEGER	1	378	0	0	4.735.000
6	X4 >= 1	Sub optimal	0	376,9	0	1	4.731.229
7	X1 >= 2	Sub optimal	2	377,12	0	0	4.733.956
8	X3 >= 1	Non-Integer	0	377,66	1	0	4.735.774
9	X2 <= 377	Non-Integer	0	377	1,52	0	4.735.302
10	X3 <= 1	Sub optimal	0,73	377	1	0	4.734.782
11	X3 >= 2	Sub optimal	0	376,39	2	0	4.734.865

12	$X_2 \geq 378$	Infeasible
13	$X_2 \geq 379$	Infeasible

Dari hasil integer menunjukkan bahwa solusi optimal dari permasalahan menunjukkan bahwa mobil box tersebut dapat membawa 1 box air mineral ukuran 220 ml dan 378 box air mineral ukuran 330 ml dengan ukuran dimensi sebesar $10.003.200 \text{ cm}^3$ atau memenuhi 99,993% dari kapasitas mobil angkut dan keuntungan maksimal yang didapatkan sebesar Rp. 4.735.000.

Keuntungan yang didapatkan merupakan global optimal dengan menggunakan metode heuristik, penelitian lain mencoba melakukan menggabungkan algoritma *simulated annealing* dan algoritma *binary particle swarm optimization* hasilnya menunjukkan terjadinya peningkatan volume dan kapasitas muatan kendaraan distribusi logistik (Zhang et al., 2022). Algoritma lainnya yang dilakukan dalam masalah *Knapsack Problem* yaitu menggunakan *pigeon-inspired optimization* menunjukkan algoritma ini lebih baik dengan kasus yang dilakukan dibandingkan dengan algoritma *particle swarm optimization*, *intelligent water drop algorithm*, dan *genetic algorithm* (Setiawan et al., 2020)

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah optimal kardus air mineral dengan ukuran 220 ml, 330 ml, 600 ml dan 1500 ml yang dapat dibawa dengan mobil box dengan ukuran dimensi panjang 309 cm, lebar 175 cm dan tinggi 185 cm menggunakan integral programming menunjukkan bahwa optimal yang dapat dibawa adalah 378 box air mineral 330 ml dan 1 box air mineral 220 ml dengan keuntungan maksimal yang didapat adalah sebesar Rp. 4.735.000. Saran dari penelitian lanjutannya adalah melakukan percobaan algoritma metaheuristik lainnya untuk dapat meningkatkan dari tujuan penelitian khususnya pada *Knapsack Problem* terkait jumlah barang untuk melakukan distribusi khususnya untuk produk yang memiliki ukuran barang yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- Adouani, Y., Jarboui, B., & Masmoudi, M. (2019). A Variable Neighborhood Search with Integer Programming for the Zero-One Multiple-Choice Knapsack Problem with Setup (pp. 152–166). https://doi.org/10.1007/978-3-030-15843-9_13
- Adouani, Y., Jarboui, B., & Masmoudi, M. (2020). Efficient matheuristic for the generalised multiple Knapsack Problem with setup. *European J. of Industrial Engineering*, 14(5), 715. <https://doi.org/10.1504/EJIE.2020.109906>
- Adouani, Y., Masmoudi, M., Jarray, F., & Jarboui, B. (2024). Iterative integer linear programming-based heuristic for solving the multiple-choice Knapsack Problem with setups. *Expert Systems with Applications*, 242, 122835. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122835>
- Boes, D. F., Dewanto, K. P., Raushanfikir, M. I., Handoyo, A. T., & Nurhasanah. (2023). Analyzing The Most Effective Algorithm For Knapsack Problems. 2023 3rd International Conference on Smart Cities, Automation & Intelligent Computing Systems (ICON-SONICS), 171–176. <https://doi.org/10.1109/ICON-SONICS59898.2023.10434966>
- Fawzy, V. D., Sangadji, S., & As'ad, S. (2017). Integer 1/0 Knapsack Problem Dynamic Programming Approach in Building Maintenance Optimization. *International Journal of Science and Applied Science: Conference Series*, 2(1), 429. <https://doi.org/10.20961/ijsascs.v2i1.16762>
- Firdaus, Y. N., Buyung, N. L., Hermansyah, A., Nurhadiyati, R., Falani, I., & Wiratmani, E. (2019). Implementasi Algoritma Branch and Bound dalam Penentuan Jumlah Produksi untuk Memaksimalkan Keuntungan. *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi)*, 4(1), 65. <https://doi.org/10.30998/string.v4i1.3717>
- Lahyani, R., Chebil, K., Khemakhem, M., & Coelho, L. C. (2019). Matheuristics for solving the Multiple Knapsack Problem with Setup. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.010>

- Setiawan, F., Sadiyoko, A., & Setiardjo, C. (2020). Application of Pigeon Inspired Optimization for Multidimensional Knapsack Problem. *International Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2(1), 45–56. <https://doi.org/10.24002/ijieem.v2i1.3841>
- Wolsey, L. (2020). *Integer Programming*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119606475>
- Zhang, Y., Wu, T., & Ding, X. (2022). Optimization Method of Knapsack Problem Based on BPSO-SA in Logistics Distribution. *Journal of Information Processing Systems*, 18(5), 665–676. <https://doi.org/10.3745/JIPS.01.0090>