
Optimisasi Penyelesaian *Container Loading Problem* dengan Komputasi Paralel Menggunakan GPU

Sugiarto Cokrowibowo¹, Wawan Firgiawan*², Indra³, Mahmuddin⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Informatika, Universitas Sulawesi Barat

E-mail: ¹sugiarto.cokrowibowo@unsulbar.ac.id, *²wawanfirgiawan@unsulbar.ac.id,
³indra@unsulbar.ac.id, ⁴mahmuddin@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas penggunaan *Graphic Processing Unit (GPU)* untuk mengoptimalkan waktu eksekusi dalam menyelesaikan *Container Loading Problem (CLP)*, yang merupakan permasalahan penting dalam industri logistik. *CLP* melibatkan pengaturan muatan barang dalam kontainer dengan efisiensi tertinggi, yang seringkali memerlukan analisis kombinatorial yang kompleks dan komputasi yang intensif. Dalam konteks ini, penggunaan *GPU* telah diinvestigasi sebagai solusi potensial untuk mengatasi permasalahan waktu eksekusi yang lambat yang sering terjadi dalam penyelesaian *CLP*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan *GPU* menghasilkan perbaikan yang signifikan dalam waktu eksekusi. Penggunaan *GPU* memungkinkan pemrosesan data yang besar secara paralel, yang sangat bermanfaat dalam menangani kasus *CLP* dengan jumlah barang yang besar dan beragam. Dampak positifnya adalah peningkatan efisiensi operasional perusahaan logistik, pengurangan biaya operasional, dan peningkatan kepuasan pelanggan dengan pengiriman yang lebih tepat waktu. Penelitian ini juga menyajikan saran untuk penerapan lebih lanjut, termasuk integrasi *GPU* dalam sistem logistik nyata, optimasi algoritma, pemantauan dan pemeliharaan *GPU*, studi dampak lingkungan, serta pelatihan dan pendidikan. Diharapkan bahwa langkah-langkah ini akan membantu menciptakan solusi logistik yang lebih efisien, berkelanjutan, dan berdampak positif pada industri logistik secara keseluruhan.

Kata kunci—Masalah pemuatan kontainer, Algoritma Genetika, Waktu Komputasi

Abstract

This research discusses the use of *Graphic Processing Units (GPU)* to optimize execution time in solving the *Container Loading Problem (CLP)*, which is an important problem in the logistics industry. *CLP* involves organizing cargo loads in containers with the highest efficiency, which often requires complex combinatorial analysis and is computationally intensive. In this context, the use of *GPUs* has been investigated as a potential solution to overcome the problem of slow execution times that often occur in solving *CLPs*. Experimental results show that using *GPUs* results in significant improvements in execution time. The use of *GPUs* enables parallel processing of large amounts of data, which is very beneficial in dealing with *CLP* cases with a large and diverse number of items. The positive impact is increasing the operational efficiency of logistics companies, reducing operational costs, and increasing customer satisfaction with more timely deliveries. The research also presents suggestions for further applications, including *GPU* integration in real logistics systems, algorithm optimization, *GPU* monitoring and maintenance, environmental impact studies, and training

and education. It is hoped that these steps will help create logistics solutions that are more efficient, sustainable and have a positive impact on the logistics industry as a whole.

Keywords— *Container loading problem, Algorithm.*

1. PENDAHULUAN

Container Loading Problem (CLP) adalah aspek kunci dalam rantai pasokan yang memainkan peran sentral dalam efisiensi operasional, penghematan biaya, dan keberlanjutan dalam berbagai sektor industri. Kontainer digunakan secara luas dalam transportasi barang, baik di darat, laut, maupun udara [1]. Penempatan barang ke dalam kontainer yang tepat dapat memberikan dampak besar terhadap efisiensi pengiriman dan keamanan barang.

Container Loading Problem (CLP) merupakan salah satu permasalahan yang kompleks dalam dunia logistik dan transportasi. Dalam CLP, tujuan utama adalah untuk mengatur muatan barang di dalam kontainer sedemikian rupa sehingga memaksimalkan penggunaan ruang kontainer, menghindari kerusakan barang, serta memastikan efisiensi dalam proses pemuatan dan pengangkutan [2, 3]. CLP menjadi semakin rumit ketika perlu mempertimbangkan berbagai kendaraan atau jenis kontainer yang memiliki dimensi yang berbeda-beda.

Pada saat yang sama, berbagai tantangan dan masalah muncul dalam konteks peletakan barang pada kontainer, salah satunya adalah pada segi efisiensi waktu eksekusi program untuk menyelesaikan masalah CLP. Tantangan utama dalam penyelesaian CLP adalah kompleksitas komputasi yang meningkat seiring dengan penambahan data berupa barang, jenis kontainer, dan faktor-faktor lainnya yang mempengaruhi penyusunan barang. Penyelesaian optimal dari masalah ini memerlukan analisis kombinatorial yang canggih dan komputasi yang intensif, yang seringkali memakan waktu yang signifikan. Keterlambatan dalam proses pemuatan dan pengangkutan tidak hanya mempengaruhi efisiensi operasional perusahaan logistik, tetapi juga dapat berdampak pada biaya yang meningkat dan ketidakpuasan pelanggan.

Dalam beberapa tahun terakhir, telah terjadi perkembangan pesat dalam teknologi pengolahan grafis (GPU), yang sebelumnya umumnya digunakan untuk tugas-tugas grafis di komputer pribadi dan permainan komputer [4]. GPU memiliki kemampuan komputasi paralel yang kuat, yang memungkinkan mereka mengeksekusi berbagai tugas komputasi secara bersamaan [5]. Penggunaan GPU dalam perhitungan intensif semakin umum, termasuk dalam bidang ilmu komputer dan matematika.

Salah satu bidang aplikasi yang menjanjikan adalah penggunaan GPU untuk mempercepat penyelesaian CLP. Dengan memanfaatkan GPU, kita dapat mengoptimalkan waktu eksekusi dalam menemukan solusi optimal atau mendekati optimal untuk permasalahan CLP. Penggunaan GPU dapat mengatasi keterbatasan CPU konvensional yang kurang efisien dalam menangani tugas komputasi paralel yang sangat besar dalam CLP.

Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi potensi penggunaan GPU dalam penyelesaian CLP, dengan penekanan pada pengoptimalan waktu eksekusi. Diharapkan bahwa penggunaan GPU dalam penyelesaian CLP dapat menghasilkan perbaikan kinerja yang signifikan, yang pada gilirannya akan membantu dalam meningkatkan efisiensi logistik, mengurangi biaya operasional, serta mengurangi dampak lingkungan melalui pengurangan jumlah perjalanan dan konsumsi bahan bakar.

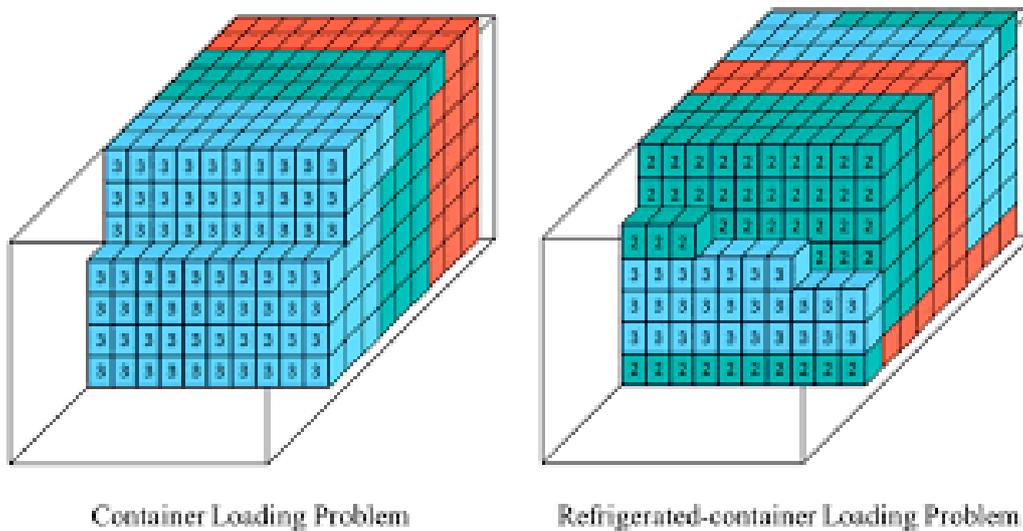
Penelitian ini tidak hanya akan memberikan wawasan tentang potensi penggunaan GPU dalam menyelesaikan permasalahan CLP, tetapi juga akan memberikan manfaat nyata bagi industri logistik yang semakin berkembang. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan untuk pengembangan sistem dan perangkat lunak yang dapat memanfaatkan GPU untuk mengoptimalkan waktu eksekusi dalam menyelesaikan CLP secara

efisien dan efektif.

2. METODE

2.1 Pengenalan Container Loading Problem (CLP)

Container Loading Problem (CLP) adalah masalah optimasi yang memerlukan pengaturan barang-barang ke dalam kontainer atau wadah sedemikian rupa sehingga memaksimalkan penggunaan ruang, menghindari kerusakan barang, serta memastikan efisiensi dalam proses pemuatan dan pengangkutan. CLP sangat relevan dalam industri logistik dan transportasi, di mana efisiensi dalam pengaturan muatan sangat penting [3, 6]. Kompleksitas CLP meningkat ketika berbagai kendaraan atau jenis kontainer yang memiliki dimensi yang berbeda-beda harus dipertimbangkan.



Gambar 1 Contoh Pengisian Kontainer

2.2 Permasalahan Waktu Eksekusi dalam Penyelesaian CLP

Penyelesaian optimal dari CLP seringkali memerlukan analisis kombinatorial yang canggih, dan komputasi yang intensif, yang memakan waktu yang signifikan, terutama ketika menangani kasus dengan jumlah barang yang besar dan beragam [7]. Waktu eksekusi yang lama dalam menyelesaikan CLP dapat berdampak pada efisiensi operasional perusahaan logistik, biaya yang meningkat, dan ketidakpuasan pelanggan.

2.5 Implementasi GPU untuk Mengatasi Permasalahan CLP

Pengolahan Grafis (GPU) adalah komponen hardware yang awalnya dikembangkan untuk meningkatkan kinerja grafis di komputer pribadi dan aplikasi permainan. Namun, arsitektur paralel yang kuat pada GPU telah membuatnya sangat berguna dalam berbagai aplikasi komputasi paralel. GPU memiliki ribuan inti komputasi yang dapat mengeksekusi tugas-tugas komputasi secara bersamaan, yang berbeda dengan Central Processing Unit (CPU) konvensional yang memiliki inti komputasi lebih sedikit [8].

Penggunaan GPU dalam menyelesaikan permasalahan CLP menjanjikan, terutama ketika berurusan dengan penyelesaian kasus dengan jumlah barang yang besar dan beragam. GPU mampu mengatasi komputasi paralel yang diperlukan untuk menganalisis berbagai kemungkinan konfigurasi muatan barang dalam kontainer. Hal ini dapat menghasilkan solusi yang lebih cepat dan efisien.

2.5 Penelitian Terdahulu Mengenai Penerapan GPU

Penelitian terdahulu telah mempertimbangkan penggunaan GPU dalam menyelesaikan berbagai permasalahan komputasi. Studi-studi ini telah menunjukkan bahwa penggunaan GPU dapat menghasilkan perbaikan signifikan dalam waktu eksekusi, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi dalam proses pemuatan dan pengangkutan [9, 10]. Meskipun demikian, penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk memahami potensi penuh dari penggunaan GPU dalam penyelesaian CLP dan untuk membandingkan hasil dengan metode tradisional menggunakan CPU.

Penggunaan GPU dalam menyelesaikan CLP adalah area penelitian yang menjanjikan. Penerapan GPU dapat memberikan perbaikan signifikan dalam waktu eksekusi, yang dapat membantu meningkatkan efisiensi logistik, mengurangi biaya operasional, serta mengurangi dampak lingkungan melalui pengurangan jumlah perjalanan dan konsumsi bahan bakar. Dengan perkembangan teknologi yang terus berlanjut, potensi penggunaan GPU dalam menyelesaikan CLP kemungkinan akan menjadi semakin signifikan dalam industri logistik dan transportasi di masa depan.

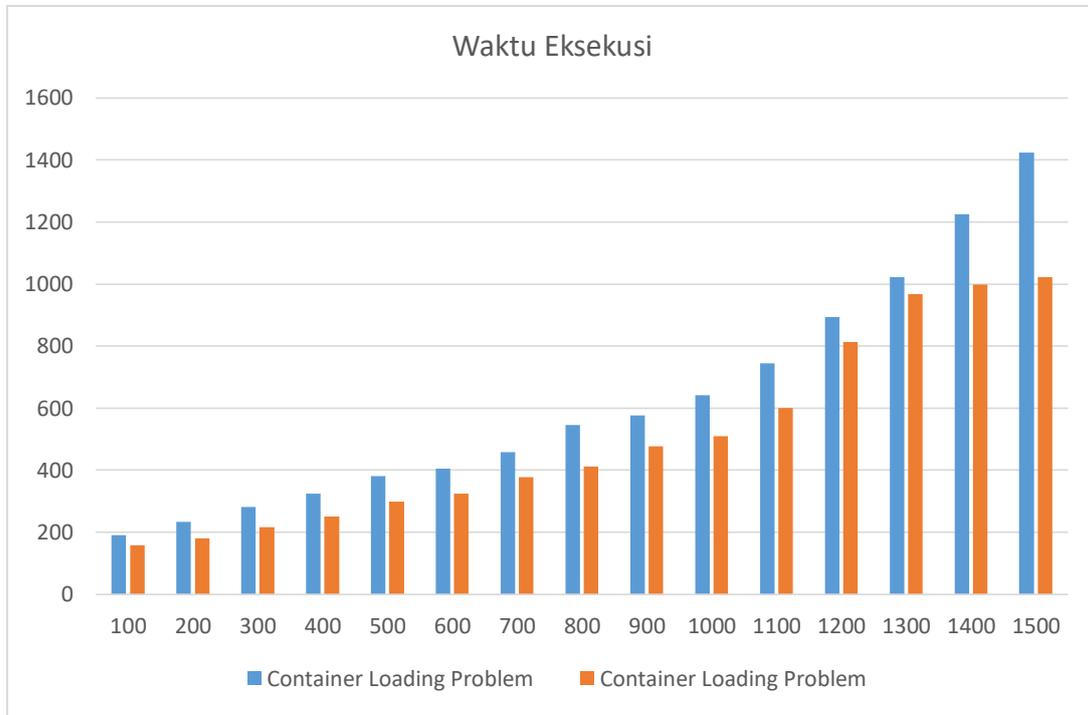
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, kami melakukan eksperimen untuk menguji efektivitas penggunaan Graphic Processing Unit (GPU) dalam mempercepat waktu eksekusi dalam menyelesaikan Container Loading Problem (CLP). Kami membandingkan hasil eksperimen antara metode konvensional yang menggunakan Central Processing Unit (CPU) dengan metode yang memanfaatkan GPU dalam menyelesaikan CLP. Adapun hasil pengujiannya adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Hasil Perhitungan Waktu Komputasi *Container Loading Problem*

<i>Container Loading Problem</i>				
No	Banyak Barang	TS(s)	TP(s)	Speedup
1	100	191.04	158.477	1.205474611
2	200	233.5	179.535	1.300582059
3	300	281.87	216.689	1.300804379
4	400	324.54	250.55	1.295310317
5	500	381.3	298.941	1.275502524
6	600	405.57	324.218	1.250917592
7	700	458.21	376.981	1.215472398
8	800	546.1	411.101	1.328384022
9	900	576.67	477.537	1.207592291
10	1000	641.01	509.555	1.257980002
11	1100	744.94	600.308	1.240929656
12	1200	894.23	813.65	1.099035212
13	1300	1022.51	967.23	1.057152901
14	1400	1224.67	998.45	1.226571185
15	1500	1423.6	1022.5	1.392273839

Dari hasil pengujian tabel 1 diatas maka dapat dihasilkan grafik perbandingan antara program serial dan menggunakan GPU berikut.



Gambar 2 Grafik Perbandingan Waktu Eksekusi

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan GPU memberikan perbaikan yang signifikan dalam waktu eksekusi. Sebagian besar kasus CLP yang diuji menunjukkan peningkatan kinerja yang mencolok ketika metode GPU diterapkan. Penggunaan GPU memungkinkan perhitungan yang sangat paralel, yang sangat berguna dalam menangani kasus CLP yang memiliki jumlah barang yang besar dan beragam. Penggunaan GPU juga menghasilkan peningkatan yang konsisten dalam waktu eksekusi, terlepas dari kompleksitas permasalahan CLP yang diuji.

Selain itu, perbandingan waktu eksekusi antara metode CPU dan GPU menunjukkan bahwa penggunaan GPU secara signifikan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan CLP. Ini memiliki dampak positif pada efisiensi logistik, pengurangan biaya operasional, dan peningkatan kepuasan pelanggan. Namun, penting untuk diingat bahwa penggunaan GPU memerlukan perangkat keras yang sesuai dan perangkat lunak yang dioptimalkan. Selain itu, perlu diperhatikan bahwa pengoptimalan waktu eksekusi dengan GPU mungkin bergantung pada ukuran dan kompleksitas masalah CLP yang dihadapi.

Dalam penelitian ini, kami fokus pada pengoptimalan waktu eksekusi dalam penyelesaian CLP. Namun, masih banyak area penelitian potensial, termasuk pemodelan yang lebih canggih, pengembangan algoritma yang dioptimalkan untuk GPU, dan penerapan praktis dalam industri logistik. Penerapan GPU dalam masalah CLP memiliki potensi besar dalam membentuk masa depan logistik yang lebih efisien dan berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, kami telah mempertimbangkan penggunaan Graphic Processing Unit (GPU) untuk mengoptimalkan waktu eksekusi dalam menyelesaikan Container Loading Problem (CLP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan GPU menghasilkan peningkatan signifikan dalam waktu eksekusi penyelesaian CLP. Penggunaan GPU telah terbukti menjadi pendekatan yang efektif dalam mengatasi permasalahan waktu eksekusi yang lambat yang sering terjadi dalam CLP, terutama ketika menangani kasus dengan jumlah barang yang besar dan beragam.

Penggunaan GPU memberikan dampak positif pada efisiensi operasional perusahaan logistik. Hal ini memungkinkan mereka untuk mengatur muatan barang dalam kontainer dengan lebih cepat dan efisien, mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan kepuasan pelanggan dengan pengiriman yang lebih tepat waktu. Dalam lingkup lingkungan, penggunaan GPU juga dapat mengurangi dampak lingkungan melalui pengurangan jumlah perjalanan yang diperlukan dalam proses logistik.

REFERENSI

- [1] N. Tsolakis, D. Zisis, S. Papaefthimiou, & N. Korfiatis, "Towards AI driven environmental sustainability: an application of automated logistics in container port terminals," *International Journal of Production Research*, 60(14), 4508-4528. 2022.
- [2] D. V. Kurpel, C. T. Scarpin, J. E. P. Junior, C. M. Schenekemberg, & L. C. Coelho, "The exact solutions of several types of container loading problems," *European Journal of Operational Research*, 284(1), 87-107, 2020.
- [3] O. X. do Nascimento, T. A. de Queiroz, & L. Junqueira, "Practical constraints in the container loading problem: Comprehensive formulations and exact algorithm," *Computers & Operations Research*, 128, 105186. 2021.
- [4] T. Ridnik, H. Lawen, A. Noy, E. Ben Baruch, G., & I. Friedman, "Tresnet: High performance gpu-dedicated architecture," In *proceedings of the IEEE/CVF winter conference on applications of computer vision* (pp. 1400-1409). 2021.
- [5] J. Choquette, W. Gandhi, O. Giroux, N. Stam, & R. Krashinsky, "NVIDIA A100 tensor core GPU: Performance and innovation," *IEEE Micro*, 41(2), 29-35. 2021.
- [6] F. Gzara, S. Elhedhli, & B. C. Yildiz, "The pallet loading problem: Three-dimensional bin packing with practical constraints," *European Journal of Operational Research*, 287(3), 1062-1074. 2021.
- [7] S. Cokrowibowo, "PARALLEL ALGORITHM PERFORMANCE ON MULTICORE SYSTEM," *Konsentrasi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin* 2013.
- [8] J. C. Phillips, D. J. Hardy, J. D. Maia, J. E. Stone, J. V. Ribeiro, R. C. Bernardi, & E. Tajkhorshid, "Scalable molecular dynamics on CPU and GPU architectures with NAMD," *The Journal of chemical physics*, 153(4). 2020.
- [9] P. C. F. Lopes, A. M. B. Pereira, E. W. G. Clua, & R. Leiderman, "A GPU implementation of the PCG method for large-scale image-based finite element analysis in heterogeneous periodic media". *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 399, 115276. 2022.
- [10] M. Qasaimeh, K. Denolf, J. Lo, K. Vissers, J. Zambreno, & P. H. Jones. Comparing energy efficiency of CPU, GPU and FPGA implementations for vision kernels. In *2019 IEEE international conference on embedded software and systems (ICCESS)* (pp. 1-8). IEEE. June, 2019.