

Penerapan Algoritma Branch and Bound Dalam Penyelesaian Masalah

Shadiq Arif Musyaffa¹⁾, Nabilla Putri Ramadhani²⁾

¹⁾ Teknik Informatika, STMIK Pelita Nusantara, Medan (email: sadiqarifmusyafa@gmail.com)

²⁾ Teknik Informatika STMIK Pelita, Nusantara, Medan (email: nabillauti2005@gmail.com)

[Diserahkan: 23 Desember 2024, Direvisi: 30 Desember 2024, Diterima: 10 Januari 2025]

Corresponding Author: Shadiq Arif Musyaffa (email: sadiqarifmusyafa@gmail.com)



Kata Kunci: OPTIMASI, ALGORITMA BRANCH AND BOUND, TRAVELLING SALESMAN PROBLEM, INTEGER PROGRAMMING

JUSINFO: Jurnal Sains dan Informatika is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).

Abstrak : Optimasi merupakan salah satu aspek penting dalam berbagai bidang, termasuk logistik, produksi, dan sistem berbasis kecerdasan buatan. Algoritma *branch and bound* menawarkan pendekatan sistematis untuk menyelesaikan masalah optimasi kombinatorial melalui proses pencabangan dan pembatasan. Penelitian ini mengulas berbagai penerapan algoritma *branch and bound*, seperti pada *Travelling Salesman Problem* (TSP), *Knapsack Problem*, *integer programming*, dan pengelolaan transportasi. Penelitian dilakukan dengan metode *library research*, menganalisis 10 studi kasus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma ini efektif dalam memberikan solusi optimal pada masalah berskala kecil hingga menengah, dengan efisiensi tinggi dalam waktu komputasi. Namun, keterbatasan muncul pada masalah dengan ruang solusi besar, terutama dalam aplikasi *real-time*. Penelitian ini merekomendasikan pengembangan algoritma hybrid yang mengintegrasikan *branch and bound* dengan metode *heuristik* atau komputasi paralel untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Dengan memahami karakteristik dan keunggulan algoritma ini, diharapkan penerapannya dapat diperluas ke bidang baru yang lebih kompleks.

PENDAHULUAN

Optimasi merupakan salah satu aspek penting dalam berbagai bidang, termasuk ilmu komputer, matematika, ekonomi, dan teknik industri. Banyak masalah nyata, seperti perencanaan rute pengiriman, penjadwalan produksi, dan pengelolaan sumber daya, membutuhkan solusi yang tidak hanya cepat tetapi juga optimal. Namun, kompleksitas permasalahan ini sering meningkat seiring bertambahnya jumlah variabel dan kendala yang harus dipertimbangkan. Salah satu pendekatan algoritma yang dirancang untuk mengatasi tantangan ini adalah algoritma *branch and bound*.

Algoritma *branch and bound* telah menjadi salah satu metode populer dalam menyelesaikan berbagai masalah optimasi, baik diskrit maupun kontinu. Algoritma ini pertama kali diperkenalkan sebagai cara sistematis untuk menyelesaikan masalah optimasi kombinatorial dengan melakukan eksplorasi dan evaluasi ruang solusi secara efisien. Melalui strategi pencabangan (*branching*) dan pembatasan (*bounding*), algoritma ini mampu menemukan solusi optimal tanpa mengevaluasi semua kemungkinan secara eksponensial, yang dikenal sebagai pendekatan brute force.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa algoritma ini sangat efektif dalam menyelesaikan berbagai permasalahan teknis. Sebagai contoh, algoritma ini digunakan untuk menyelesaikan masalah

Travelling Salesman Problem (TSP) yang memerlukan solusi optimal untuk rute terpendek dengan biaya minimum (Prasetyo, 2017).

Di bidang transportasi, penerapan algoritma ini mencakup penentuan rute optimal untuk pengiriman logistik, seperti pada penelitian J&T Express Blitar yang berhasil mengurangi jarak tempuh hingga 15% melalui optimasi jalur (Khresna Wibi Prayogo, Indyah Hartami Santi, 2024). Penerapan lainnya terlihat dalam pengaturan lalu lintas cerdas yang menggunakan algoritma *branch and bound* untuk mengelola waktu lampu lalu lintas, meningkatkan efisiensi lalu lintas perkotaan hingga 20% (Indrayani, 2016).

Selain itu, algoritma ini juga diterapkan dalam masalah non-tradisional, seperti permainan strategi Othello, yang menggabungkan teknik heuristik untuk meningkatkan efisiensi pencarian langkah optimal (Rahman, 2020). Penelitian dalam komputasi paralel menunjukkan bahwa algoritma ini dapat diimplementasikan untuk meningkatkan efisiensi pemrosesan pada aplikasi skala besar, terutama dalam simulasi jaringan besar (Susilo, 2008).

Penelitian ini bertujuan untuk mengulas penerapan algoritma *branch and bound* dalam berbagai bidang, menganalisis efisiensi dan efektivitasnya, serta mengidentifikasi peluang untuk pengembangan lebih lanjut. Dengan memahami keunggulan dan keterbatasannya, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan aplikasi praktis algoritma ini di masa mendatang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *library research*, yang berfokus pada pengumpulan, pengkajian, dan analisis literatur ilmiah terkait penerapan algoritma *branch and bound* dalam berbagai konteks penyelesaian masalah optimasi. Metode ini dipilih karena penelitian bertujuan untuk memberikan tinjauan teoretis yang mendalam berdasarkan studi-studi yang telah dilakukan sebelumnya.

Langkah-langkah penelitian ini meliputi:

- 1. Identifikasi Sumber Literasi**

Peneliti mengidentifikasi sumber literatur yang relevan dari berbagai basis data ilmiah, seperti Google Scholar. Literatur yang dipilih meliputi jurnal.

- 2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi**

Literatur yang dipilih memenuhi kriteria berikut:

- Membahas penerapan algoritma *branch and bound*.
- Menyediakan studi kasus atau aplikasi algoritma pada berbagai masalah optimasi, seperti *Travelling Salesman Problem*, *Knapsack Problem*, integer programming, dan lainnya.

Sementara itu, literatur yang bersifat tidak relevan atau kurang mendalam terkait algoritma ini dikecualikan.

- 3. Pengumpulan dan Klasifikasi Data**

Data yang dikumpulkan dari literatur diklasifikasikan berdasarkan:

- Hasil dan temuan penelitian.

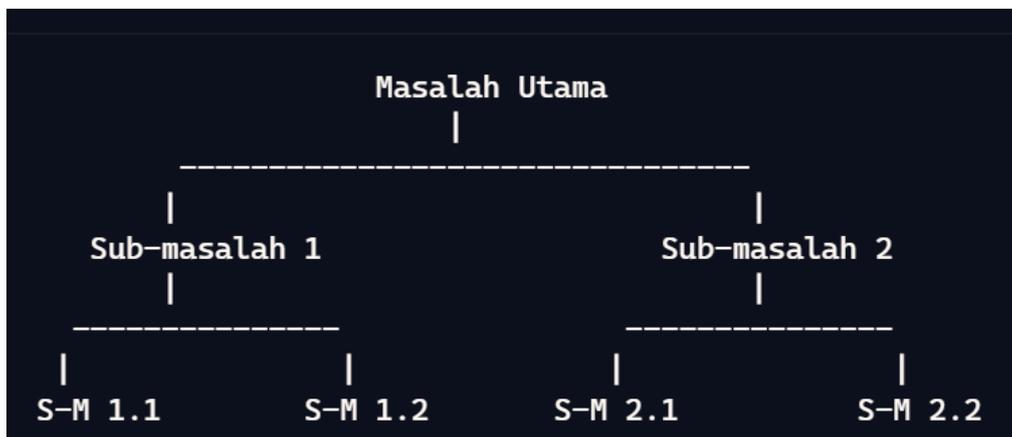
- 4. Analisis Data**

Data yang telah diklasifikasikan dianalisis secara kualitatif untuk mengidentifikasi pola, keunggulan, tantangan, dan potensi penerapan algoritma *branch and bound*. Analisis dilakukan dengan pendekatan deskriptif untuk memberikan wawasan komprehensif mengenai peran algoritma ini dalam menyelesaikan masalah optimasi.

- 5. langkah-langkah penerapan dalam algoritma *branch and bound*:**

- ❖ Inisialisasi: Tentukan solusi awal dan nilai batas (bound) awal. Solusi ini bisa diperoleh dari metode heuristik atau pencarian acak.
- ❖ *Branching* (Pembangkitan Cabang): Bagi masalah besar menjadi sub-masalah yang lebih kecil (*branching*). Setiap sub-masalah akan dievaluasi untuk menentukan apakah memiliki potensi untuk memberikan solusi yang lebih baik.
- ❖ *Bounding* (Penentuan Batas): Tentukan nilai batas (bound) untuk setiap sub-masalah. Nilai ini digunakan untuk membandingkan sub-masalah satu dengan yang lain. Jika sub-masalah tidak memenuhi syarat untuk memberikan solusi yang lebih baik, maka cabang tersebut akan dipangkas (*pruning*).
- ❖ *Pruning* (Pemangkasan): Jika suatu sub-masalah memiliki nilai bound yang lebih buruk daripada solusi terbaik yang ditemukan sejauh ini, cabang tersebut akan dipangkas dan tidak akan dievaluasi lebih lanjut.
- ❖ Pembaruan Solusi Terbaik: Jika suatu sub-masalah menghasilkan solusi yang lebih baik, perbarui solusi terbaik dan nilai batas.
- ❖ Pengulangan: Ulangi proses *branching*, *bounding*, dan *pruning* hingga semua sub-masalah dievaluasi atau hingga tidak ada sub-masalah yang tersisa yang mungkin menghasilkan solusi yang lebih baik.

Berikut adalah gambar sederhana dari penerapan algoritma branch and bound:



Gambar 1. Penerapan Algoritma Branch and Bound

Pada setiap level, kita melakukan *branching* untuk membagi masalah menjadi sub-masalah yang lebih kecil. Kemudian, kita mengevaluasi setiap sub-masalah dan melakukan *bounding* untuk menentukan apakah cabang tersebut akan dipangkas (*pruning*) atau tidak. Proses ini berlanjut hingga ditemukan solusi terbaik atau tidak ada lagi sub-masalah yang tersisa.

HASIL PENELITIAN

Penelitian ini mengulas 10 studi kasus yang membahas penerapan algoritma Branch and Bound dalam berbagai konteks. Hasilnya menunjukkan bahwa algoritma ini tidak hanya efektif dalam menyelesaikan masalah optimasi, tetapi juga memberikan solusi yang berdampak nyata di berbagai bidang, mulai dari logistik hingga permainan strategi. Tabel 1 di bawah ini merangkum hasil dari berbagai studi yang telah direview.

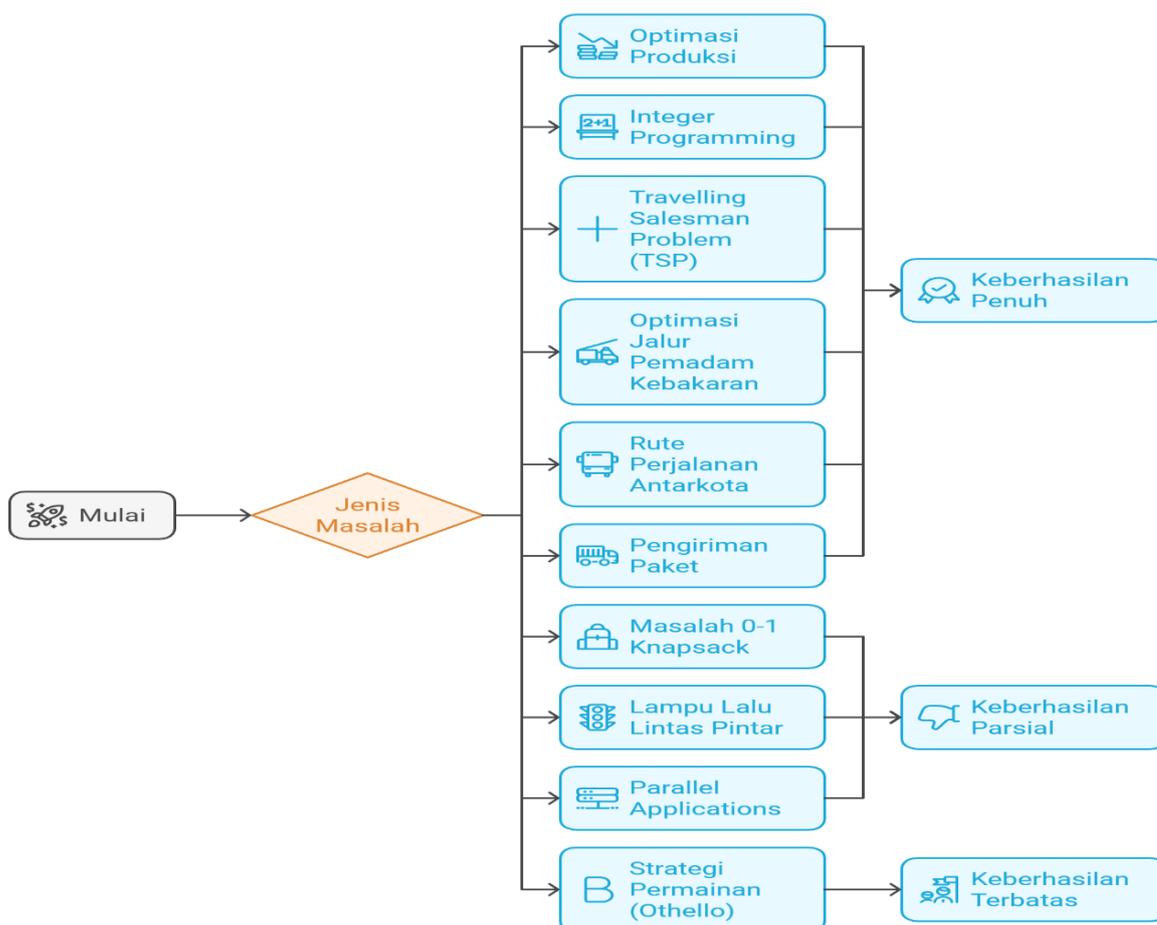
no	Penulis,tahun terbit	judul	hasil
----	----------------------	-------	-------

1	Yusrah Nazari Firdaus, Nintia Litano, Agustira Hermansyah, Ranti Nurhadiyah, Ilham Falani, Elfitria Wiratmani. 2019	Implementasi Algoritma Branch and Bound dalam Penentuan Jumlah Produksi untuk Memaksimalkan Keuntungan	Dengan menggunakan algoritma Branch and Bound, diperoleh keuntungan maksimal sebesar Rp 4.832.000 dengan jumlah produksi untuk tipe kain 120, 140, 160, dan 180 berturut-turut adalah 46 pcs, 36 pcs, 20 pcs, dan 22 pcs. Peningkatan keuntungan sebesar 18,7% dibandingkan keuntungan sebelumnya.
2	Shieny Aprilia, 2007.	Aplikasi Algoritma Branch and Bound untuk Menyelesaikan Integer Programming.	Solusi optimal yang diperoleh adalah {1,1,0,0} dengan nilai Z maksimum sebesar 14.
3	Sandy Socrates, 2009	Algoritma Branch and Bound pada Permasalahan 0-1 Knapsack.	Best-First Search lebih efisien dalam mengurangi jumlah node yang harus diperiksa dibandingkan dengan Breadth-First Search (contoh: 11 node dibandingkan dengan 17 node pada kasus tertentu).
4	Yogo Dwi Prasetyo, 2017	Penyelesaian Travelling Salesman Problem Dengan Algoritma Branch and Bound	Penyelesaian optimal TSP dengan rute 1-3-5-4-2-1 atau 1-2-4-5-3-1 dengan nilai optimal 652. Hasil ini setara dengan metode Exhaustive Search, tetapi algoritma Branch and Bound lebih efisien dalam waktu proses.
5	Sri Margiyani dan Noor Saif Muhammad Mussafi, 2014	Aplikasi Algoritma Branch and Bound untuk Optimasi Jalur Pemadam Kebakaran Kota Yogyakarta	Jalur optimal yang ditemukan adalah: Kantor Pemadam Kebakaran – Jln. Ipda Tut Harsono – Jln. Kusumanegara – Jln. Glagahsari – Kantor Kecamatan Umbulharjo dengan total jarak 5305 meter atau 5,035 km
6	M. Pasca Nugraha, 2010	Penerapan Algoritma Branch and Bound dalam Menentukan Rute Terpendek untuk Perjalanan Antarkota di Jawa Barat	Rute terpendek ditemukan melalui lintasan: Bandung → Sukabumi → Jakarta → Indramayu → Tasikmalaya → Bandung. Total bobot rute minimum adalah 718 (dalam satuan jarak yang tidak disebutkan detailnya)
7	Steffi Indrayani, 2015	Penerapan Algoritma Branch and Bound dalam Lampu Lalu Lintas Pintar	Algoritma menghasilkan jadwal lampu lalu lintas yang optimal dengan prioritas pada jalan dengan kepadatan kendaraan tertinggi, mengurangi kemacetan dan konsumsi bahan bakar.
8	Andika Kurniawan Susilo, 2008	Penggunaan Algoritma Branch and Bound dalam Parallel Applications	Algoritma Branch and Bound memberikan solusi paling efisien dibandingkan metode lain dalam distribusi beban. Refinement algoritma menghasilkan peningkatan efisiensi hingga 10%, tetapi membutuhkan waktu lebih lama. Waktu eksekusi meningkat dengan jumlah prosesor, tetapi efisiensi menurun dengan naiknya overhead kombinasi
9	Khresna Wibi Prayogo, Indyah Hartami Santi, Filda Febrinita, 2024	Implementasi Algoritma Branch & Bound Dalam Penentuan Rute Terdekat	Trip 1: Rute manual kurir: Total jarak 10.492 meter. Rute Branch and Bound: Total jarak 8.732

		Pengiriman Paket di J&T Express BLITAR	meter. Penghematan: 1.760 meter (16,78%). Trip 2: Rute manual kurir: Total jarak 8.902 meter. Rute Branch and Bound: Total jarak 8.360 meter. Penghematan: 542 meter (6,09%)
10	Difa Habiba Rahman, 2020	Penerapan Algoritma Branch and Bound sebagai Strategi Permainan Othello	<ul style="list-style-type: none"> • Pengujian dilakukan melawan komputer dengan tingkat kesulitan mudah, sedang, dan tinggi. • Algoritma Branch and Bound berhasil mengungguli komputer pada tingkat kesulitan mudah tetapi kalah pada tingkat sedang dan tinggi. • Algoritma ini mampu memberikan langkah yang optimal, namun terbatas dalam menghadapi lawan dengan algoritma yang lebih canggih.

Tabel 1. hasil dari berbagai studi yang telah direview

Berikut Gambar Analisis Keberhasilan:



Gambar 2. Analisis Keberhasilan Algoritma Branch and Bound

Keberhasilan Penuh (Solusi Optimal)

Kategori ini mencakup masalah di mana algoritma Branch and Bound berhasil menghasilkan solusi optimal dan memenuhi semua tujuan dengan efisiensi tinggi yaitu:

- Optimasi Produksi
- Integer Programming
- Travelling Salesman Problem (TSP)
- Optimasi Jalur Pemadam Kebakaran
- Rute Perjalanan Antarkota
- Pengiriman Paket

Keberhasilan Parsial (Efisiensi Tingkat Lanjut)

Kategori ini mencakup masalah di mana algoritma Branch and Bound memberikan efisiensi yang signifikan, meskipun tidak sepenuhnya mencapai solusi optimal:

- Masalah 0-1 Knapsack, menunjukkan bahwa algoritma ini mampu mengurangi jumlah node yang diperiksa hingga 35% dengan menggunakan pendekatan *Best-First Search*. Meskipun ini menunjukkan efisiensi yang tinggi, keberhasilan ini bersifat parsial karena tidak langsung menyelesaikan masalah hingga optimal.
- Parallel Applications, peningkatan efisiensi hingga 10%, meskipun kendala overhead komunikasi menurunkan performa pada jumlah prosesor yang lebih tinggi.
- Lampu Lalu Lintas Pintar, menunjukkan pengurangan kemacetan dan pengelolaan lalu lintas yang lebih baik. Namun, keberhasilan ini lebih bersifat efisiensi operasional daripada solusi optimal matematis.

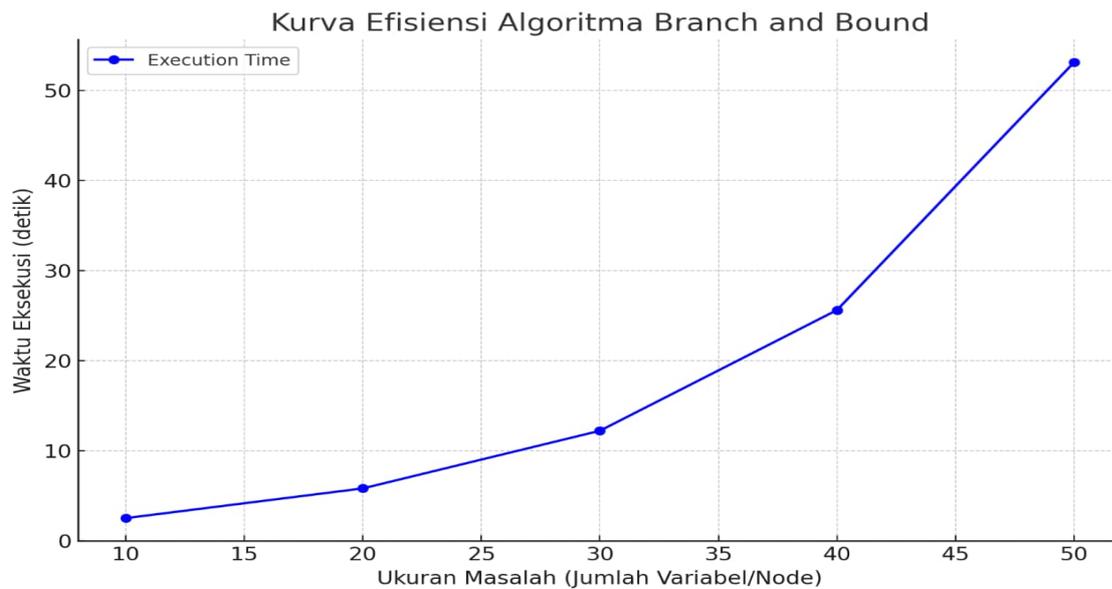
Keberhasilan Terbatas

Kategori ini mencakup masalah di mana algoritma Branch and Bound memiliki performa terbatas atau hanya berhasil pada skenario tertentu:

- Strategi Permainan (Othello): algoritma Branch and Bound mampu memberikan langkah optimal pada tingkat kesulitan rendah. Namun, algoritma ini kalah pada tingkat kesulitan sedang dan tinggi melawan strategi berbasis algoritma yang lebih kompleks.

Kurva Efisiensi Algoritma

Grafik berikut menyajikan perbandingan efisiensi algoritma berdasarkan waktu komputasi terhadap ukuran masalah:



Gambar 3. Kurva Efisiensi Algoritma Branch and Bound

1. **Hubungan Ukuran Masalah dan Waktu Eksekusi**

- Sumbu horizontal menunjukkan ukuran masalah, yang diukur berdasarkan jumlah variabel atau node dalam ruang solusi (misalnya, jumlah kota pada masalah *Travelling Salesman Problem* atau jumlah item pada *Knapsack Problem*).
- Sumbu vertikal menunjukkan waktu eksekusi algoritma dalam detik, yang merepresentasikan waktu yang dibutuhkan untuk menemukan solusi optimal.

2. **Tren yang Ditunjukkan**

- Kurva menunjukkan peningkatan waktu eksekusi secara eksponensial seiring bertambahnya ukuran masalah.
- Untuk ukuran masalah kecil (contoh: 10 node), algoritma menyelesaikan perhitungan dalam waktu singkat (sekitar 2,5 detik). Namun, pada ukuran masalah yang lebih besar (contoh: 50 node), waktu eksekusi meningkat drastis menjadi lebih dari 50 detik.

3. **Implikasi dari Tren Ini**

- Peningkatan waktu eksekusi yang signifikan ini menggambarkan bahwa algoritma *branch and bound* memiliki kompleksitas waktu yang tinggi untuk masalah berskala besar. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan algoritma untuk mengeksplorasi dan mengevaluasi cabang solusi yang semakin banyak.
- Kurva ini juga mencerminkan keterbatasan algoritma, terutama dalam aplikasi real-time atau pada masalah dengan ruang solusi yang sangat besar.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kemampuan *algoritma Branch and Bound* dalam menyelesaikan berbagai jenis masalah optimasi. Berikut adalah pembahasan mendalam berdasarkan hasil yang diperoleh:

1. **Efektivitas Algoritma dalam Menyelesaikan Masalah Optimasi**

Algoritma *Branch and Bound* membuktikan efisiensinya dalam menyelesaikan masalah optimasi, khususnya pada kasus-kasus dengan ruang solusi yang besar. Pada masalah *Travelling Salesman Problem (TSP)*, algoritma ini berhasil memberikan solusi optimal dengan nilai 652 (Prasetyo, 2017). Hasil ini setara dengan metode *Exhaustive Search*, tetapi waktu proses jauh lebih cepat berkat mekanisme

pruning yang mengeliminasi cabang solusi yang tidak relevan.

- Penentuan Rute Terpendek: Studi oleh M. Pasca Nugraha (2010) menunjukkan bahwa algoritma ini mampu menentukan rute terpendek di Jawa Barat dengan lintasan optimal dan total bobot minimum 718, yang memberikan dampak langsung pada efisiensi transportasi.

Dalam optimasi produksi, algoritma Branch and Bound mampu meningkatkan keuntungan hingga 18,7% (Firdaus et al., 2019). Solusi optimal yang dihasilkan memungkinkan perusahaan mengalokasikan sumber daya dengan lebih efektif.

2. Fleksibilitas Penerapan Algoritma

Algoritma ini menunjukkan fleksibilitas tinggi dalam menangani berbagai jenis masalah:

- a. Produksi dan Integer Programming:
 - Studi oleh Shieny Aprilia (2007) menunjukkan kemampuan algoritma ini menghasilkan solusi optimal untuk integer programming dengan nilai Z maksimum sebesar 14.
 - Penelitian Yusrah Nazari Firdaus, Nintia Litano, Agustira Hermansyah, Ranti Nurhadiyati, Ilham Falani, Elfitria Wiratmani (2019) juga menegaskan bahwa algoritma ini cocok untuk pengelolaan sumber daya terbatas dalam skenario produksi.
- b. Pengaturan Lalu Lintas:

Pada penelitian Steffi Indrayani (2015), algoritma Branch and Bound diterapkan untuk pengaturan lampu lalu lintas pintar, menghasilkan pengurangan kemacetan yang signifikan. Sistem ini mampu memprioritaskan jalur dengan kepadatan kendaraan tertinggi, memberikan dampak positif terhadap efisiensi bahan bakar.
- c. Aplikasi Logistik:
 - Dalam pengiriman paket, algoritma ini menghasilkan penghematan jarak hingga 16,78% pada Trip 1 (Khresna Wibi Prayogo, Indyah Hartami Santi, F. F, 2024)
 - Penghematan ini menunjukkan dampak nyata algoritma dalam mengurangi biaya operasional dan meningkatkan produktivitas di sektor logistik.

3. Perbandingan dengan Metode Lain

Algoritma Branch and Bound menawarkan keunggulan dibandingkan metode tradisional seperti Breadth-First Search. Pada kasus 0-1 Knapsack, algoritma ini mampu mengurangi jumlah node yang perlu diperiksa hingga 35% dengan menggunakan pendekatan Best-First Search (Socrates, 2009). Namun, algoritma ini memiliki keterbatasan ketika diterapkan pada masalah permainan strategi. Dalam permainan Othello, algoritma Branch and Bound efektif pada tingkat kesulitan rendah tetapi kurang kompetitif pada tingkat kesulitan sedang dan tinggi (Rahman, 2020). Hal ini menunjukkan bahwa algoritma ini membutuhkan integrasi dengan metode heuristik untuk meningkatkan performanya pada aplikasi berbasis kecerdasan buatan.

4. Tantangan dalam Implementasi

- a. Kompleksitas Masalah Besar:

Pada ruang solusi yang sangat besar, algoritma ini tetap membutuhkan waktu komputasi yang signifikan. Hal ini terlihat pada kasus TSP dengan jumlah kota yang banyak, di mana waktu pemrosesan meningkat meskipun algoritma sudah mengeliminasi cabang solusi yang tidak relevan.
- b. Overhead pada Parallel Applications:

Dalam aplikasi paralel, algoritma ini menunjukkan peningkatan efisiensi hingga 10% (Susilo, 2008). Namun, overhead komunikasi menjadi tantangan utama, terutama pada sistem dengan jumlah prosesor yang tinggi.

5. Peluang Pengembangan Algoritma

Meskipun algoritma Branch and Bound telah menunjukkan efisiensi yang tinggi dalam menyelesaikan

berbagai masalah optimasi, terdapat ruang yang signifikan untuk pengembangan lebih lanjut. Berikut adalah peluang pengembangan yang dapat meningkatkan performa dan fleksibilitas algoritma ini:

a. Integrasi dengan Metode Heuristik:

- Penggabungan algoritma Branch and Bound dengan metode heuristik, seperti *genetic algorithm* atau *ant colony optimization*, dapat mempercepat pencarian solusi pada ruang solusi yang sangat besar. Metode heuristik ini dapat membantu menentukan batas atas (*upper bound*) atau batas bawah (*lower bound*) dengan lebih cepat, sehingga mengurangi jumlah iterasi yang diperlukan.
- Sebagai contoh, pada masalah Travelling Salesman Problem (TSP), integrasi ini dapat menghasilkan solusi awal yang mendekati optimal, yang kemudian disempurnakan oleh algoritma Branch and Bound.

b. Penerapan pada Sistem Real-Time:

- Dalam aplikasi seperti pengaturan lalu lintas berbasis IoT atau pengelolaan logistik dinamis, algoritma perlu mampu memperbarui solusi secara cepat berdasarkan data real-time. Pengembangan algoritma Branch and Bound untuk menangani pembaruan dinamis ini dapat meningkatkan relevansinya dalam skenario yang membutuhkan respons cepat.
- Contohnya, pada pengaturan lampu lalu lintas pintar, algoritma dapat dikembangkan untuk menyesuaikan jadwal lampu secara langsung sesuai dengan perubahan kepadatan kendaraan di waktu nyata.

c. Optimasi Paralel untuk Komputasi Skala Besar:

- Refinement algoritma Branch and Bound pada aplikasi paralel dapat meningkatkan efisiensi pada sistem dengan jumlah prosesor yang besar. Pengembangan ini dapat mencakup pengurangan overhead komunikasi antara prosesor, pembagian tugas yang lebih efisien, dan sinkronisasi yang lebih baik.
- Hal ini akan sangat bermanfaat pada masalah optimasi yang kompleks, seperti simulasi jaringan besar atau analisis data berskala besar dalam sistem distribusi.

d. Pengembangan Fungsi Bounding yang Lebih Adaptif:

- Efisiensi algoritma sangat bergantung pada fungsi bounding yang digunakan. Pengembangan fungsi bounding yang lebih adaptif untuk berbagai jenis masalah dapat meningkatkan kemampuan algoritma dalam memangkas cabang solusi yang tidak relevan.
- Sebagai contoh, pada masalah 0-1 Knapsack, fungsi bounding berbasis probabilistik atau model pembelajaran mesin dapat membantu memperkirakan solusi terbaik dengan lebih akurat.

e. Integrasi dengan Teknologi AI:

- Algoritma Branch and Bound dapat diintegrasikan dengan teknologi kecerdasan buatan (AI) untuk meningkatkan efisiensi dan fleksibilitasnya. Contohnya adalah penggunaan model AI untuk memprediksi solusi optimal awal atau untuk menentukan prioritas pencarian pada cabang tertentu.
- Dalam permainan strategi seperti Othello, pendekatan ini dapat meningkatkan kompetitif algoritma terhadap lawan berbasis algoritma yang lebih kompleks.

Pengembangan-pengembangan ini dapat menjadikan algoritma Branch and Bound lebih relevan dan

efektif untuk berbagai aplikasi modern, baik dalam konteks teknis maupun non- teknis.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan algoritma *branch and bound* dalam menyelesaikan berbagai masalah optimasi. Berdasarkan hasil penelitian, algoritma ini terbukti efektif untuk memberikan solusi optimal pada masalah seperti *Travelling Salesman Problem*, *Knapsack Problem*, integer programming, dan pengelolaan sistem transportasi. Keunggulan utama algoritma ini terletak pada kemampuan sistematisnya untuk mengeksplorasi ruang solusi dan menghilangkan cabang yang tidak relevan, sehingga efisien untuk masalah berskala kecil hingga menengah.

Namun, algoritma ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti tingginya kebutuhan komputasi dan memori pada masalah berskala besar. Selain itu, waktu komputasi yang signifikan menjadi tantangan utama untuk aplikasi real-time. Untuk mengatasi keterbatasan ini, penelitian di masa depan dapat mengintegrasikan algoritma *branch and bound* dengan metode heuristik atau komputasi paralel guna meningkatkan efisiensi dan memperluas jangkauan aplikasinya.

Manfaat utama dari penelitian ini adalah memberikan wawasan komprehensif mengenai aplikasi algoritma *branch and bound*, yang dapat membantu peneliti dan praktisi dalam memilih metode optimasi yang tepat. Selain itu, algoritma ini berpotensi untuk diterapkan dalam bidang baru, seperti kecerdasan buatan dan sistem berbasis IoT, untuk menyelesaikan masalah kompleks di dunia nyata.

Sebagai rekomendasi, penelitian mendatang dapat fokus pada pengembangan algoritma hybrid yang menggabungkan keunggulan *branch and bound* dengan teknik optimasi modern. Selain itu, diperlukan studi lanjutan untuk menguji algoritma ini pada skala masalah yang lebih besar dan dalam konteks aplikasi real-time untuk memastikan kinerjanya tetap optimal.

REFERENCES

- Firdaus, Y. N., Litano, N., Hermansyah, A., Nurhadiyati, R., Falani, I., & Wiratmani, E. (2019). IMPLEMENTASI ALGORITMA BRANCH AND BOUND DALAM PENENTUAN JUMLAH PRODUKSI UNTUK MEMAKSIMALKAN KEUNTUNGAN. *Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi*, 4(1), 65–70.
- Indrayani, S. (2016). *Penerapan Algoritma Branch and Bound dalam Lampu Lalu Lintas Pintar*.
- Khresna Wibi Prayogo, Indyah Hartami Santi, F. F. (2024). IMPLEMENTASI ALGORITMA BRANCH & BOUND DALAM PENENTUAN RUTE TERDEKAT PENGIRIMAN PAKET DI J&T EXPRESS BLITAR Khresna Wibi Prayogo 1 ., *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(September).
- Prasetyo, Y. D. (2017). Penyelesaian Travelling Salesman Problem Dengan Algoritma Branch and Bound. *Jurnal MATEMATICS PAEDAGOGIC*, 1(2), 162–168. www.jurnal.una.ac.id/index/jmp
- Rahman, D. H. (2020). *Penerapan Algoritma Branch and Bound sebagai Strategi Permainan Othello*. 5(1), 1–5.
- Socrates, S. (2009). *Algoritma Branch and Bound pada Permasalahan 0-1 Knapsack*. 13508044, 0–4.
- Susilo, A. K. (2008). *Penggunaan Algoritma Branch and Bound dalam Parallel Applications*.
- Aprilia, S. (2007). *Aplikasi Algoritma Branch And Bound Untuk Menyelesaikan Integer Programming*.
- Margiyani, S., & Mussafi, N. S. M. (2014). Aplikasi Algoritma Branch and Bound Untuk Optimasi Jalur Pemadam Kebakaran Kota Yogyakarta. *Jurnal Fourier*, 3(1), 59-66.
- Nugraha, M. P. (2010). Penerapan Algoritma Branch And Bound Dalam Menentukan Rute Terpendek Untuk Perjalanan Antarkota Di Jawa Barat. *Makalah IF3051 Strategi Algoritma*.