

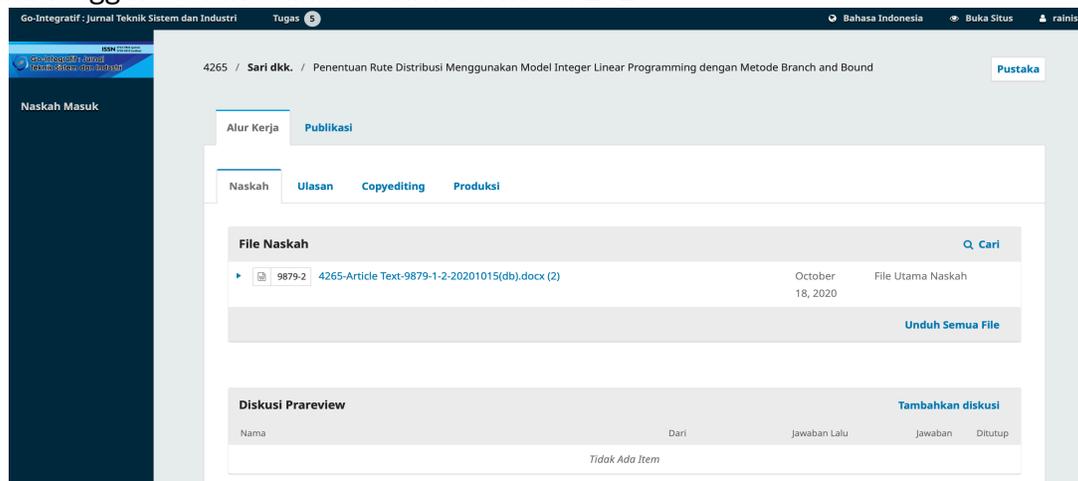
Judul Artikel: Penentuan Rute Distribusi Menggunakan Model Integer Linear Programming dengan Metode Branch and Bound

Jurnal: Go-Integratif: Jurnal Teknik dan Sistem Industri

Penulis: Gratia Melina Sari, Rainisa Maini Heryanto, Santoso

Volume 1 Nomor 1 Tahun 2020

1. Bukti tanggal submit artikel awal: 18 Oktober 2020



2. Keputusan penerimaan artikel: 21 November 2020



3. Bukti review artikel: 25 November 2020

Verifikasi Akhir Artikel ✕

Partisipan
Winarno, S.T., M.T., Ph.D. (winarno)
Rainisa Maini Heryanto, S.T., M.T. (rainisa)
Ibu Dewanti Anggrahini, S.T., M.T. (d_anggrahini)

Pesan

Rekam	Dari
Dear Penulis, Berikut kami sampaikan file naskah yang berisi komentar dan saran untuk memperbaiki tulisan naskah tersebut sesuai template artikel GIJTSI. Terima kasih. Salam, Winarno, S.T., M.T. Chief Editor 4265-Verifikasi akhir (25 Nov 2020).docx	winarno 2020-11-25 12:14 PM
▶ Yth. Pak Winarno, Berikut saya kirimkan file yang sudah direvisi sesuai masukan. Terima kasih. Regards, Rainisa Artikel Gratia, Rainisa, Santoso.docx	rainisa 2020-11-25 02:36 PM
▶ Yth. Pak Winarno, Berikut saya kirimkan file artikel yang sudah direvisi akhir sesuai masukan terakhir. Terima kasih. Regards, Rainisa Artikel Gratia, Rainisa, Santoso.docx	rainisa 2020-11-25 05:36 PM
Yth. Bu Rainisa, Baik, terima kasih. Salam. Winarno	winarno 2020-11-25 08:48 PM

[Tambah Pesan](#)

4. Tanggal terbit online: 30 November 2020

PENGUMUMAN TERBITAN TENTANG KAMI CARI

BERANDA / ARSIP / VOL 1 NO 01 (2020): GO-INTEGRATIF : JURNAL TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI / Artikel

Penentuan Rute Distribusi Menggunakan Model Integer Linear Programming dengan Metode Branch and Bound

Melina
Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Maranatha

Maini
Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Maranatha

Santoso Santoso
Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Maranatha

DOI: <https://doi.org/10.35261/gjitsi.v1i01.4265>

ABSTRAK

Biaya distribusi merupakan biaya yang dapat diminimalisasi perusahaan. Biaya distribusi dalam jaringan distribusi memiliki kontribusi 10% sampai 20% dari biaya akhir barang. Salah satu cara untuk meminimalisasi biaya distribusi adalah menentukan rute distribusi yang optimal yang memberikan total biaya minimum. Penelitian ini membahas penentuan rute distribusi menggunakan model Integer Linear Programming untuk menyelesaikan masalah Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW). Metode yang



PDF

DITERBITKAN

2020-11-30

BAHASA

Bahasa Indonesia
English

Online Submission

ADDITIONAL MENU

Fokus dan Ruang Lingkup
Dewan Editor
Mitra Bestari
Panduan Penulis
Proses Tinjauan Sejawat
Etika Publikasi
Hak Cipta
Kebijakan Akses Terbuka
Pengecekan Plagiarisme
Biaya Penulis

Penentuan Rute Distribusi Menggunakan Model *Integer Linear Programming* dengan Metode *Branch and Bound* (Studi Kasus di PT XYZ)

Gratia Melina Sari¹, Rainisa Maini Heryanto², Santoso^{3*}

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Maranatha
Jl. Prof. drg. Surya Sumantri MPH No. 65, Bandung 40164

Abstrak

Biaya distribusi merupakan biaya yang dapat diminimalisasi perusahaan. Biaya distribusi dalam jaringan distribusi memiliki kontribusi 10% sampai 20% dari biaya akhir barang (Toth dan Vigo, 2001). Salah satu cara untuk meminimalisasi biaya distribusi adalah menentukan rute distribusi yang optimal yang memberikan total biaya paling minimum. Penelitian ini membahas penentuan rute distribusi menggunakan model *Integer Linear Programming* untuk menyelesaikan masalah *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW). Metode yang digunakan untuk memecahkan masalah adalah *Branch and Bound* dengan bantuan **MATLAB**.

Model matematis yang digunakan yaitu model Toth dan Vigo (2002) dengan dilakukan beberapa modifikasi. Studi kasus yang digunakan dalam perhitungan adalah PT XYZ, perusahaan manufaktur cat yang melakukan pendistribusian produk dari gudang ke konsumen. Saat ini, kebijakan pemesanan dan pengiriman perusahaan membuat biaya distribusi tidak efisien dan terjadi gagal pengiriman.

Penelitian ini memberikan 2 skenario usulan pengiriman. Pada skenario 1, pengiriman dilakukan sesuai dengan kebijakan pada perusahaan saat ini dengan mencari biaya optimal. Pada skenario 2, permintaan akan dikumpulkan pada hari Jumat dan pengiriman akan dilakukan pada minggu berikutnya. Dari hasil perhitungan didapatkan total biaya per bulan pada rute aktual perusahaan adalah Rp. 1.349.053,49 sedangkan skenario 1 memberikan hasil Rp. 1.067.207,73 (penghematan **20.89%**) dan skenario 2 memberikan hasil Rp. 602.105,21 (penghematan **55.37%**).

Kata kunci: biaya; *branch and bound*; CVRPTW; distribusi; *integer linear programming*; rute

Abstract

Distribution costs are costs that could be minimize by the company. Distribution cost in distribution network contribute 10% to 20% of the final cost of products (Toth and Vigo, 2001). One of the way to minimize distribution costs is determine the optimal distribution route that provides minimum total costs. This research will study about route determination using integer linear programming model in solving the problem of Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows (CVRPTW). Method that used to solve the problem is branch and bound with the support of MATLAB software.

The mathematical model used was based on Toth and Vigo (2002) model with some modifications. Case study in this research is PT XYZ, a paint manufacturing company that distributes product from warehouse to several customers. Currently, order and delivery company's policies make inefficiency in distribution costs and delivery failures occur.

This study gives 2 proposed delivery scenario. In first scenario, delivery was carried out according to the current system policies in the company by looking for optimal costs. In

*Rainisa Maini Heryanto
Alamat email: rainisa.mh@eng.maranatha.edu

Commented [WL1]: Di abstrak tidak perlu ada sitasi

Commented [WL2]: Kata "paling" tidak perlu karena kata "minimum" sudah bermakna paling kecil

Commented [WL3]: Kalimat berikutnya langsung nyambung di baris ini sehingga dalam abstrak hanya ada 1 paragraf

Commented [RF4]: Maksimal 200 kata dalam abstrak.

Commented [WL5]: Gunakan tanda “,” pada desimal sesuai EYD

Commented [WL6]: Harusnya bentuk past tense karena kalimat pasif

Commented [WL7]: Tambahkan -s karena subjectnya singular

Commented [WL8]: Perlu tambah -s

Commented [WL9]: Antara is dan determine harus ada kata penghubung

second scenario, demand were collected on Friday and deliveries were made at the following week. From the calculation results, the total costs per month generated by the actual route is IDR. 1,349,053.49, first scenario is IDR. 1,067,207.73 (20.89% saving), and second scenario is IDR. 602.105.21 (55.37% saving).

Keywords: branch and bound; cost; CVRPTW; distribution; integer linear programming; route

Pendahuluan

Kegiatan distribusi menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan oleh perusahaan karena kegiatan ini dapat mempengaruhi biaya akhir barang. Biaya distribusi dalam jaringan distribusi memiliki kontribusi 10% sampai 20% dari biaya akhir barang (Toth dan Vigo, 2001). Oleh karena itu, biaya distribusi harus dapat diminimalisasi oleh perusahaan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kegiatan distribusi dapat berupa kapasitas yang tersedia, banyaknya permintaan konsumen, dan ketepatan waktu distribusi. Kegiatan distribusi juga dapat mempengaruhi kepuasan konsumen. Setiap konsumen berharap barang yang dipesan bisa sampai dengan tepat waktu, kondisi barang yang baik, dan jumlahnya sesuai dengan pesanan. Proses distribusi memiliki peran penting dalam sebuah jaringan bisnis, baik itu untuk konsumen maupun untuk kepentingan perusahaan (Yohanes dkk, 2020).

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meminimalisasi biaya distribusi adalah penentuan rute distribusi yang optimal. Penentuan rute distribusi akan menentukan lamanya waktu yang diperlukan dan biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan (Stephanie dkk, 2019). Studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah PT XYZ yaitu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang *paint industry and chemical construction*. Dalam kegiatan distribusi, perusahaan melakukan pendistribusian barang dari gudang bahan jadi (gudang pusat) ke beberapa lokasi tujuan seperti *retailer*, distributor, dan industri *property*.

Pada saat ini, waktu kegiatan distribusi belum sesuai dengan harapan perusahaan, dimana perusahaan menginginkan waktu pengiriman barang sesuai dengan waktu yang dialokasikan dan tidak ada yang gagal kirim. Perusahaan pernah mengalami masalah gagal kirim karena konsumen yang dituju sudah tutup. Selain itu, kebijakan yang diterapkan perusahaan saat ini membuat biaya distribusi menjadi kurang efisien karena dalam satu minggu, konsumen yang sama dapat dikunjungi lebih dari satu kali oleh supir jika konsumen tersebut sering melakukan pemesanan. Metode penentuan rute pada perusahaan juga masih bersifat impulsif karena rute pengiriman barang saat ini ditentukan sesuai dengan keinginan supir.

Studi Pustaka

Supply Chain Management (SCM)

SCM merupakan pengelolaan rantai siklus yang lengkap mulai dari bahan mentah dari berbagai *supplier*, dilanjutkan dengan kegiatan operasional di perusahaan, dan berlanjut dengan pendistribusian hingga sampai ke tangan konsumen (Chopra and Meindhl, 2013). *Supply chain* melibatkan seluruh bagian, baik secara langsung atau tidak langsung, untuk memenuhi permintaan konsumen. Rantai pasokan tidak hanya berkaitan dengan manufaktur dan pemasok, tetapi juga melibatkan transportasi, gudang, *retailer*, dan pelanggan itu sendiri. Tujuan dari *supply chain* yaitu untuk memaksimalkan keseluruhan nilai. Keseluruhan *value supply chain* tersebut adalah perbedaan di antara

Commented [WL10]: Harusnya pakai "was" jika subject singular

Commented [RF11]: Silakan disesuaikan kembali menjadi 200 kata untuk abstrak Bahasa Inggris.

Commented [RF12]: Kaidah pengutipan daftar pustaka seluruhnya silakan diperbaiki menggunakan style IEEE.

nilai dari produk akhir terhadap pelanggan dan upaya rantai pasokan dalam memenuhi permintaan (Pujawan dan Mahendrawathi, 2017). Distribusi merupakan suatu proses penyampaian barang atau jasa dari produsen ke konsumen dan para pemakai, sewaktu dan dimana barang atau jasa tersebut diperlukan. Agar suatu kegiatan penyaluran barang dapat berjalan dengan baik, maka para pemakai saluran pemasaran harus mampu melakukan sejumlah tugas penting, yaitu; penelitian, promosi, kontak, penyaluran, negosiasi, **disrtibusi** fisik, pembiayaan, dan pengambilan resiko (Kotler, 1993).

Vehicle Routing Problem (VRP)

VRP pertama kali diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramser (1959) dan semenjak itu telah dipelajari secara luas. VRP sebenarnya merupakan perkembangan atau perluasan dari *Travelling Salesman Problem* (TSP). VRP merupakan sebuah cara pencarian atas penggunaan yang efisien dari sejumlah kendaraan yang harus melakukan perjalanan untuk mengunjungi sejumlah tempat untuk mengantar dan menjemput orang atau barang. Tujuan umum dari VRP yaitu mengantarkan barang kepada pelanggan dengan biaya minimum melalui rute kendaraan yang berangkat dari depot dan kembali ke depot yang sama. Pada umumnya fungsi tujuan dari permasalahan VRP adalah meminimalisasi total jarak yang ditempuh oleh kendaraan serta meminimalisasi jumlah kendaraan yang akan digunakan. Selain itu, fungsi tujuan lain yang dapat ditambahkan yaitu seperti rentang waktu penyelesaian antar kendaraan, ataupun jenis fungsi tujuan lain sesuai kebutuhan dan karakteristik dari masing-masing permasalahan (Prana, 2007).

Terdapat beberapa jenis VRP yang tergantung pada jumlah faktor pembatas dan tujuan yang akan dicapai. Pembatas yang paling umum digunakan yaitu jarak dan waktu. Berdasarkan faktor pembatasnya, VRP terbagi menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah **CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem)** dimana kendaraan yang memiliki keterbatasan daya angkut (kapasitas) barang yang harus diantarkan ke suatu tempat. Jenis lain dari VRP adalah **VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows)** dimana setiap konsumen yang dilayani oleh kendaraan memiliki batas waktu menerima pelayanan. Kombinasi dari CVRP dan VRPTW adalah **CVRPTW (Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows)** yang bertujuan untuk membentuk rute optimal untuk memenuhi permintaan konsumen yang dilakukan secara *delivery* dengan kendala kapasitas dan *time windows*.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah VRP yaitu metode eksak, metode heuristik, dan metode metaheuristik (Braekers dkk, 2016). Ketiga metode mempunyai pendekatan yang berbeda dalam pencarian solusi. Metode eksak adalah metode pencarian solusi dari seluruh ruang solusi yang ada sehingga dapat memberikan solusi yang optimal. Metode heuristik akan menyelesaikan masalah didasarkan pada konsep **trial and error** tetapi mengikuti langkah-langkah yang disusun secara sistematis untuk menghasilkan solusi.

Linear Programming dan Branch and Bound

Linear programming merupakan teknik optimisasi yang digunakan dalam pemecahan masalah dalam mengalokasikan variabel-variabel untuk mencapai fungsi tujuan (minimum/maksimum). Dalam model *linear programming* dikenal dua macam fungsi, yaitu fungsi objektif (*objective function*) dan fungsi kendala (*constraint function*). Pada model *linear programming* terdapat bentuk model yang lebih khusus seperti *integer linear*

Commented [WL13]: Kalau single depot tidak perlu kata "yang sama"

Commented [WL14]: Harusnya "di antaranya" karena "di" bukan diikuti kata kerja

Commented [WL15]: Sebaiknya nama panjang baru singkatannya

Commented [WL16]: Cetak miring

programming yang merupakan sebuah model pemrograman *linear* bilangan bulat yang dapat menghasilkan solusi dengan nilai-nilai baik *integer* maupun *non-integer*.

Metode *Branch and Bound* pertama kali diperkenalkan oleh Land dan Doig (1960). Ide dasarnya adalah untuk membagi daerah solusi *feasible* menjadi daerah solusi *feasible* yang lebih kecil. Metode *Branch and bound* merupakan suatu algoritma yang digunakan dalam permasalahan optimisasi. Pencarian solusi pada algoritma ini dimulai dengan menjabarkan kandidat solusi yang akan dicabangkan menggunakan pohon pencarian (*search tree*) di mana setiap simpul menggambarkan kemungkinan solusi. Simpul yang lebih kecil ini kemudian dapat dievaluasi secara sistematis sampai solusi terbaik ditemukan.

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, model matematis yang digunakan mengacu pada referensi tentang VRP dan penerapan model matematis dalam industri (Toth dan Vigo, 2002) –dengan dilakukannya beberapa modifikasi yaitu penambahan indeks periode dan beberapa fungsi lain. Model matematis dibuat dengan mengidentifikasi faktor apa saja yang berpengaruh terhadap variabel keputusan.

Beberapa asumsi yang digunakan dalam membuat model permasalahan CVRPTW, yaitu:

1. Jika jumlah permintaan pada suatu periode melebihi kapasitas kendaraan, maka kelebihanannya akan dikirimkan pada kendaraan berikutnya.
2. Jika waktu tempuh pada suatu periode melebihi waktu tutup konsumen, maka pengiriman akan dilakukan dengan beberapa kendaraan.
3. Tingkat kemacetan untuk setiap periode diasumsikan sama sehingga waktu tempuh untuk setiap periode sama.
4. Kegiatan istirahat dilakukan di tempat yang searah dengan tempat tujuan berikutnya.

Indeks, Parameter, dan Variabel Keputusan

Indeks:

- i = *node* (posisi) awal
- j = *node* (posisi) tujuan
- k = kendaraan
- p = periode pengiriman

Parameter:

- N = total lokasi yang diteliti (pusat dan konsumen)
- K = total jumlah kendaraan yang tersedia
- P = total periode pengiriman
- d_{ij} = jarak yang ditempuh dari *node* i ke j
- cb = biaya bahan bakar
- ck = konsumsi bahan bakar kendaraan
- cl_o = biaya tol dari gudang ke konsumen awal
- cl_n = biaya tol dari konsumen akhir ke gudang
- M_{ip} = jumlah permintaan di *node* i pada periode ke p
- Y_{ikp} = $\begin{cases} 1, & \text{jika } \textit{node } i \text{ dilayani oleh kendaraan } k \text{ pada periode } p \\ 0, & \text{jika } \textit{node } i \text{ tidak dilayani oleh kendaraan } k \text{ pada periode } p \end{cases}$
- Q_{kp} = kapasitas kendaraan k pada periode p
- SS_{ikp} = waktu *node* i mulai dilayani oleh kendaraan k pada periode p
- a = jam buka perusahaan
- b = jam tutup perusahaan
- AT_{ikp} = waktu kendaraan k sampai ke *node* i pada periode p

Commented [WL17]: Jika setelah titik mau ganti paragraf harusnya tekan enter 1 kali untuk membedakan paragraf, kalau tidak harusnya kalimat berikutnya langsung dimulai dalam baris ini

Commented [WL18]: Sebaiknya dibuat uraian paragraf, jadi setelah titik di nomor 1, langsung mulai uraian nomor 2. Penomoran bisa disesuaikan

Commented [WL19]: Semua notasi harus cetak miring, sedangkan angka harus tetap ditulis tegak

AT_{jkp} = waktu kendaraan k sampai ke *node* j pada periode p
 ST_{ikp} = waktu pelayanan (*unloading*) di *node* i oleh kendaraan k pada periode p
 m = bilangan bulat besar
 TW_{kp} = jam kerja tersedia pada kendaraan k untuk periode p

Variabel Keputusan:

X_{ijkp} = $\begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan } k \text{ dibebankan dari } \textit{node} \textit{ i ke } \textit{node} \textit{ j pada periode } p \\ 0, & \text{jika kendaraan } k \text{ tidak dibebankan dari } \textit{node} \textit{ i ke } \textit{node} \textit{ j pada periode } p \end{cases}$

Persamaan Matematis Fungsi Tujuan dan Fungsi Pembatas

$$F(X) = \text{Min} \left[\left(\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P d_{ij} * X_{ijkp} \right) * cb * ck + cl_{0j} + cl_{i0} * X_{ijkp} \right] \quad (1)$$

Persamaan 1 menunjukkan fungsi tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan rute distribusi barang yang menghasilkan biaya terkecil. Adapun komponen biaya yang digunakan yaitu biaya perjalanan yang berhubungan dengan jarak tempuh dan biaya bahan bakar kendaraan dalam pendistribusian barang, serta biaya tol dari gudang ke konsumen pertama dan dari konsumen terakhir ke gudang.

Fungsi pembatas ditentukan sebagai berikut:

1. Total jumlah barang yang dibawa tidak melebihi kapasitas kendaraan ditunjukkan pada persamaan 2 berikut ini:

$$\sum_{i=1}^N M_{ip} * Y_{ikp} \leq Q_{kp} \quad \text{for } k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (2)$$

2. Jumlah kendaraan yang berangkat dan kembali ke pusat (*node* 0) tidak melebihi jumlah kendaraan yang tersedia ditunjukkan pada persamaan 3 berikut ini:

$$\sum_{k=1}^K Y_{ikp} \leq K \quad \text{for } i = 0; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (3)$$

3. Setiap kendaraan hanya bisa mengunjungi *node* (*konsumen*) satu kali ditunjukkan pada persamaan 4 berikut ini:

$$\sum_{k=1}^K Y_{ikp} = 1 \quad \text{for } i = \{1, 2, \dots, 45\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (4)$$

4. Pengaturan *time windows* ditunjukkan pada persamaan 5 sampai dengan persamaan 10 berikut ini:

Waktu memulai pelayanan (SS_{ikp}) lebih besar dari jam buka perusahaan (a) dan lebih kecil dari jam tutup perusahaan (b) untuk semua *node* dan periode.

$$a \leq SS_{ikp} \leq b \quad \text{for } i = \{1, \dots, 45\}; k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (5)$$

Waktu sampai di *node* ke- i (AT_{ikp}) lebih besar dari jam buka konsumen (a) untuk semua kendaraan dan periode

$$AT_{ikp} \geq a \quad \text{for } i = \{1, 2, \dots, 45\}; k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (6)$$

Waktu memulai pelayanan (SS_{ikp}) sama dengan waktu sampai di node i (AT_{ikp}) untuk semua konsumen, kendaraan dan periode.

$$SS_{ikp} = AT_{ikp} \text{ for } i = \{1, 2, \dots, 45\}; k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (7)$$

Waktu sampai di node j (node berikutnya) adalah penjumlahan dari waktu awal buka toko (a) dengan lamanya waktu perjalanan dari pusat ke node j (T_{ijkp}).

$$AT_{ijkp} = a + T_{ijkp} - m^* (1 - X_{ijkp}) \text{ for } i = 1; j = \{1, 2, \dots, 45\}; k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (8)$$

Waktu sampai di node j (node berikutnya) adalah penjumlahan dari waktu dimulainya pelayanan di node i (SS_{ikp}) dan lamanya waktu pelayanan/unloading (ST_{ikp}) dengan lamanya waktu perjalanan dari node i (node awal) ke node j (T_{ijkp}).

$$AT_{ijkp} = SS_{ikp} + ST_{ikp} + T_{ijkp} - M^* (1 - X_{ijkp}) \text{ for } i = \{1, 2, \dots, 45\}; j = \{0, 1, \dots, 45\}; k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\}; j \neq i \quad (9)$$

Total waktu pendistribusian tidak boleh melebihi waktu tutup toko

$$J_{ikp} \leq TW_{ikp} \text{ for } k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (10)$$

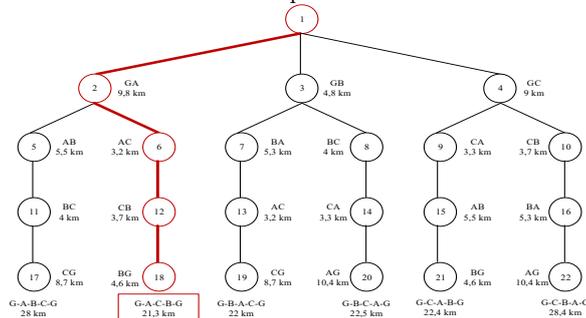
5. Y_{ikp} adalah bilangan biner yang menunjukkan pembebanan kendaraan terhadap konsumen seperti ditunjukkan pada persamaan 11 berikut ini:

$$Y_{ikp} \in \{0, 1\} \text{ for } i = \{0, 1, \dots, 45\}; k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (11)$$

Pengolahan model matematis menggunakan software MATLAB R2019a. Dalam pengolahan data ini dibutuhkan data-data seperti data jarak, jumlah permintaan, lamanya waktu pelayanan, jam kerja yang tersedia, waktu buka dan waktu tutup konsumen, biaya tol, biaya bahan bakar per liter, dan biaya konsumsi bahan bakar untuk kendaraan. Model tersebut dijalankan dengan spesifikasi laptop yang digunakan yaitu sebagai berikut :

Operating System : Windows 10 Pro (64 bit)
 Processor : Intel Core i5-7200U CPU up to 3,16 Hz
 RAM : 4,00 GB
 HDD : 1 TB

Sebelum dilakukan perhitungan, software MATLAB divalidasi dengan menggunakan kasus sederhana yang dihitung secara manual. Validasi dilakukan untuk mengetahui apakah coding yang telah dibuat sudah sesuai dengan perhitungan. Kasus sederhana yang digunakan terdiri dari 1 gudang (G) dan 3 toko (A, B, dan C) menggunakan metode *branch and bound* dengan *search tree* yang dapat dilihat pada Gambar 1 Simpul yang lebih kecil dievaluasi secara sistematis sampai solusi terbaik ditemukan.



Gambar 1. Search Tree

Commented [WL20]: Kata “for” dari persamaan yang ada sebaiknya diganti untuk, karena ejaan bahasa Indonesia

Commented [WL21]: Apakah setelah angka 1, ada titik?

Dari perhitungan manual didapatkan biaya distribusi paling murah adalah Rp. 26.542,78 dengan rute G-A-C-B-G. Data yang sama diinputkan ke dalam *software* MATLAB dan didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.

```
Command Window
Percobaan ke 1 Biaya = 32390.37
Waktu tempuh: 98 menit
Percobaan ke 2 Biaya = 27448.74
Waktu tempuh: 86 menit
Percobaan ke 3 Biaya = 27531.11
Waktu tempuh: 93 menit
Percobaan ke 4 Biaya = 27119.30
Waktu tempuh: 91 menit
Percobaan ke 5 Biaya = 26542.78
Waktu tempuh: 85 menit
Percobaan ke 6 Biaya = 32060.93
Waktu tempuh: 97 menit

HASIL ALGORITMA:
Rute yang paling efisien adalah:
ans =
     1     2     4     3     1
Yang merupakan percobaan ke 5
Jarak tempuh jalur ini adalah 21.3 km
dan dapat ditempuh dalam waktu 85 menit
dan memerlukan biaya sebesar Rp. 26542.78
```

Gambar 2. Output MATLAB

Commented [WL22]: Dimasukkan?

Commented [WL23]: Cetak miring?

Hasil perhitungan manual dan *software* memberikan hasil yang sama, dengan demikian *software* dapat dikatakan valid untuk digunakan pada kasus yang lebih kompleks pada penelitian ini.

Pada penelitian ini, terdapat dua skenario yang diusulkan, skenario pertama yaitu pengiriman sesuai dengan sistem aktual dimana pada skenario 1 tersebut dilakukan pencarian total jarak, waktu tempuh, dan biaya yang optimalnya, sedangkan pada skenario kedua yaitu mengusulkan untuk mengelompokkan konsumen menjadi beberapa *cluster* dengan menggunakan *saving matrix* (Sari, 2018) serta melakukan pengiriman sesuai dengan *cluster* dengan data-data permintaan yang masuk pada hari Senin-Jumat dan akan dikumpulkan pada hari Jumat untuk dilakukan pengelompokkan pengirimannya sesuai dengan kode setiap toko pada minggu berikutnya. Hal tersebut dilakukan agar mempermudah supir dalam melakukan kegiatan distribusi yang sesuai dengan *clusternya*

Hasil dan Pembahasan

Metode penentuan rute yang dilakukan perusahaan saat ini masih bersifat impulsif sehingga waktu tempuh dan jarak diperkirakan masih dapat diperbaiki. Dengan menggunakan metode penentuan saat ini, perusahaan terkadang masih mengalami gagal kirim karena kegiatan distribusi melebihi waktu jam tutup konsumen. Kebijakan pemesanan yang diterapkan perusahaan saat ini masih belum efisien, dimana pesanan konsumen dikumpulkan pada hari yang sama. Perusahaan melakukan pengiriman sehari setelah konsumen melakukan pemesanan. Dalam pandangan perusahaan, jika konsumen yang sama memesan beberapa kali dalam periode satu minggu maka perusahaan harus bisa melayani permintaan konsumen dengan mengirimkan produk di hari berikutnya lebih dari satu kali pengiriman walaupun jumlah pesanan konsumen tidak banyak. Hal ini membuat biaya distribusi yang dikeluarkan oleh perusahaan menjadi tidak efisien.

Hasil perhitungan biaya operasional distribusi aktual, skenario 1, dan skenario 2 selama 1 bulan dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Biaya Operasional Distribusi Aktual

No	Total Drop Point	Total Muatan (Kg)	Rute Aktual	Jarak Tempuh (Km)	Waktu Tempuh & Pelayanan (menit)	Total Biaya
1	8	530	G-C7-C9-C6-C10-D8-D15-A7-G	88,30	207,68	Rp 81.724,29
2	5	363	G-D2-A5-A6-A1-B9-G	85,40	156,86	Rp 83.335,84
3	6	416	G-D11-D10-D9-D6-A6-B8-G	84,60	183,08	Rp 82.676,96
4	7	378	G-D2-D14-D1-C10-C9-C2-B4-G	104,00	187,72	Rp 98.654,89
5	8	362	G-D6-D14-D1-C11-C8-B1-B6-A9-G	90,90	202,22	Rp 87.865,66
6	6	487	G-C1-D6-C5-C10-A6-B5-A8-A10-G	90,50	172,22	Rp 85.536,22
7	5	424	G-A8-A10-B7-C10-D15-G	74,80	154,87	Rp 74.605,63
8	9	639	G-C11-C3-C10-C4-C8-D2-B4-A10-G	102,20	222,71	Rp 95.172,40
9	7	411	G-D8-D5-C10-C1-B8-A4-A10-G	93,60	192,94	Rp 91.089,40
10	3	520	G-D13-A6-B8-G	52,20	108,36	Rp 55.992,16
11	7	405	G-C11-C5-C9-D2-A8-A7-A3-G	97,10	184,94	Rp 90.972,01
12	4	360	G-C7-D4-B5-A3-G	63,30	121,93	Rp 63.134,18
13	5	309	G-D13-C1-A10-A6-A2-G	60,40	137,21	Rp 62.745,72
14	5	343	G-D2-A2-B2-B3-B8-G	80,51	148,50	Rp 79.308,41
15	1	200	G-D2-G	60,30	66,61	Rp 62.663,36
16	4	481	G-D2-D8-C8-A2-G	72,30	129,10	Rp 72.546,62
17	7	382	G-A9-A4-A6-C10-D3-D12-D5-G	82,60	176,65	Rp 81.029,75
Total				1383,01	2753,59	Rp 1.349.053,49

Commented [RF24]: Seluruh tabel hanya ditampilkan dengan garis horizontal pada bagian atas dan bawah kepala tabel, serta pada bagian akhir tabel, silakan kembali disesuaikan seperti contoh tabel dalam template. Perhatikan juga bahwa judul kolom mengikuti *sentence case*

Tabel 2. Biaya Operasional Distribusi Skenario 1

No	Total Drop Point	Total Muatan (Kg)	Rute Optimisasi	Jarak Tempuh Optimisasi (Km)	Waktu Tempuh Optimisasi (menit)	Biaya Optimisasi
1	8	530	G-A10-A7-D15-D8-C6-C7-C10-C9-G	66,7	181,66	Rp 65.934,43
2	5	363	G-A5-B9-D2-A1-A6-G	45,4	129,34	Rp 50.391,65
3	6	416	G-B8-D6-D11-D10-D9-A6-G	50,3	151,06	Rp 54.427,31
4	7	378	G-B4-C10-C9-D1-D2-D14-G	67,3	166,2	Rp 68.428,59
5	8	362	G-B1-B6-C8-C11-D1-D6-D14-A9-G	62,9	168,2	Rp 64.804,73
6	4	137	G-C5-C10-A6-A8-G	45,5	137,37	Rp 48.474,01
	4	350	G-C1-D6-B5-A10-G	61,4	165	Rp 61.569,33
7	3	313	G-D15-B7-C10-G	57,5	99,19	Rp 58.357,27
8	9	639	G-B4-A7-A10-D2-C8-C11-C10-C4-C3-G	67,8	263,68	Rp 66.840,40
9	7	411	G-C1-C10-B8-D8-D5-A10-A4-G	68,1	174,92	Rp 67.087,48
10	3	520	G-B8-D13-A6-G	38,3	103,37	Rp 44.544,06
11	7	405	G-C5-C9-C11-D2-A3-A7-A8-G	66,9	159,92	Rp 64.069,15
12	4	360	G-C7-B5-D4-A3-G	58,9	117,91	Rp 59.510,32
13	5	309	G-C1-D13-A2-A10-A6-G	43,2	127,19	Rp 46.579,72
14	5	343	G-B3-B8-B2-D2-A2-G	52,4	130,48	Rp 56.156,88
15	1	200	G-D2-G	60,3	66,60	Rp 62.663,36
16	4	481	G-A2-D2-D8-C8-G	57,2	123,07	Rp 58.110,19
17	7	382	G-C10-D3-D5-D12-A9-A4-A6-G	70,7	168,63	Rp 69.228,85
Total				1.040,8	2.496,42	Rp 1.067.207,73

Tabel 3. Biaya Operasional Distribusi Skenario 2

No	Total Drop Point	Total Muatan (Kg)	Rute Optimisasi	Jarak Tempuh Optimisasi (Km)	Waktu Tempuh Optimisasi (menit)	Biaya Optimisasi
1	8	541	G-A5-A10-A8-A1-A7-A11-A9-A6-G	38,80	163,52	Rp 44.955,86
2	6	461	G-B5-B1-B9-B6-B7-G	39,61	151,64	Rp 45.622,98
3	7	434	G-C7-C8-C5-C9-C6-C1-C4-G	49,80	150,78	Rp 50.015,51
4	10	1100	G-D11-D8-D12-D6-D1-D2-D16-D10-D9-D15-G	53,70	232,17	Rp 57.227,57
5	7	725	G-A10-A3-A11-A7-A8-A4-A6-G	39,40	158,69	Rp 45.450,02
6	5	751	G-B2-B9-B9-B6-B8-G	36,61	153,12	Rp 43.162,00
7	7	621	G-C7-C8-C5-C9-C6-C3-C2-G	51,40	155,39	Rp 51.333,28
8	6	551	G-D14-D16-D8-D2-D5-D4-G	60,10	157,52	Rp 62.498,64
9	5	460	G-A4-A9-A11-A2-A6-G	36,80	119,64	Rp 43.308,65
10	4	205	G-B2-B4-B9-B3-G	37,20	100,46	Rp 43.638,09
11	2	225	G-C8-C6-G	48,90	81,89	Rp 49.274,27
12	6	825	G-D13-D5-D8-D3-D2-D14-G	63,90	166,56	Rp 65.628,34
Total				556,22	1791,38	Rp 602.105,21

Commented [WL25]: Penulisan angka di "total" tidak konsisten antara titik atau koma

Dari hasil biaya aktual dan usulan yang telah diolah didapatkan masing-masing total biaya yang berbeda. Berikut merupakan perbandingan total biaya aktual dengan usulan yang dapat dilihat pada Tabel 4.

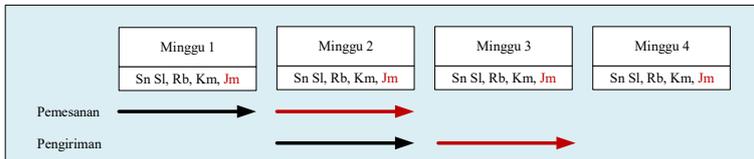
Tabel 4. Perbandingan Total Biaya Aktual dan Usulan

	Total Biaya
Aktual	Rp 1.349.053,49
Skenario 1	Rp 1.067.207,73
Skenario 2	Rp 602.105,21

Total biaya yang dihasilkan rute aktual sebesar Rp. 1.349.053,49 per bulan, skenario 1 sebesar Rp. 1.067.207,73 per bulan, dan skenario 2 adalah sebesar Rp. 602.105,21 per bulan. Total penghematan biaya yang dihasilkan skenario 1 sebesar 20,89% dan skenario 2 sebesar 55,37%. Pada kasus ini, jika perusahaan ingin tetap menerapkan kebijakan pemesanan sebelumnya, maka skenario 1 memiliki biaya yang lebih **minimum**. Jika perusahaan ingin kebijakan pemesanannya dirubah, maka skenario 2 memiliki biaya yang lebih **minimum**. Selain meminimalisasi biaya, pada skenario 1 juga meminimalisasi jarak sebesar 342,21 km atau 24,74%, serta dalam segi waktu dapat diminimalisasi sebesar 257,17 menit atau 9,34%. Skenario 2 juga meminimalisasi jarak sebesar 826,79 km atau 59,78%, serta dalam segi waktu dapat diminimalisasi sebesar 962,21 menit atau 34,94%.

Commented [WL26]: Kecil?

Pada skenario 2 terdapat perubahan kebijakan pemesanan dan pengiriman yaitu dengan melakukan pengumpulan pesanan konsumen terlebih dahulu, yang melakukan pemesanan dari hari Senin sampai Jumat. Pesanan tersebut dikumpulkan pada hari Jumat dan akan dikirim pada hari Senin sampai Kamis minggu berikutnya, penggambaran skenario dapat dilihat pada Gambar 3. Pada skenario 2 ini, kegiatan pengiriman dilakukan sesuai dengan *cluster* sehingga jarak antar konsumen lebih dekat. Pertimbangan yang harus dilakukan dalam menerapkan skenario 2 ini adalah *penalty* pesanan konsumen yang diterima dimana pengirimannya harus mundur beberapa hari, selain itu perlu dipertimbangkan juga adanya *lost sales* karena adanya kemungkinan konsumen berpindah ke pesaing.



Gambar 3. Pemesanan dan Pengiriman Skenario 2

Commented [WL27]: ???

Dalam penerapan skenario 2 ini diperlukan negosiasi dengan konsumen dan dengan adanya perubahan kebijakan ini perlu dilakukan *benefit sharing* bagi perusahaan dan konsumen. Kebijakan usulan memungkinkan biaya distribusi menjadi lebih murah, sehingga keuntungan yang didapat oleh perusahaan meningkat. Di sisi lain mungkin saja konsumen harus menunggu lama. Hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan *benefit sharing* misalnya dengan memberikan potongan harga sesuai dengan hari pengirimannya. Tetapi dengan diterapkan perubahan kebijakan juga memungkinkan adanya ancaman bagi perusahaan karena kompetitor memiliki kesempatan untuk menguasai pasar karena kompetitor tersebut mungkin bisa melakukan pengiriman yang lebih cepat.

Kesimpulan

Metode yang diusulkan untuk memperbaiki masalah rute pengiriman saat ini adalah menggunakan model *Integer Linear Programming* yang diolah menggunakan metode *Branch and Bound* dengan bantuan *software* MATLAB (skenario 1). Model ini digunakan untuk mencari total biaya yang optimal yang bisa dikeluarkan oleh perusahaan dalam melakukan kegiatan distribusi.

Dalam studi kasus, diusulkan agar perusahaan merubah kebijakan pemesanan dan pengiriman di mana pemesanan dilakukan dengan mengumpulkan semua permintaan konsumen selama hari Senin sampai Jumat terlebih dahulu, agar konsumen yang sama yang telah melakukan pemesanan beberapa kali bisa digabungkan pengirimannya. Data-data permintaan yang masuk pada hari Senin sampai Jumat akan dikumpulkan pada hari Jumat untuk dilakukan pengelompokan pengirimannya sesuai dengan kode setiap toko pada minggu berikutnya (skenario 2).

Commented [WL28]: Pengelompokan???

Manfaat dan kelebihan dari metode penentuan rute usulan bagi perusahaan adalah total biaya yang dihasilkan pada skenario 1 dan 2 lebih murah. Selain meminimalisasi biaya, usulan pada skenario 1 juga meminimalisasi jarak dan waktu.

Daftar Pustaka

1. Braekers, K., Ramaekers, K. & Nieuwenhuyse, I.; *“The Vehicle Routing Problem: State of the Art Classification and Review”*, Computers & Industrial Engineering, 99, 300-313, 2016.
2. Chopra, S & Meindl, P.; *“Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation”*, Fifth Edition, Pearson, 2013.
3. Dantzig, G.B., & Ramser, J.H.; *“The Truck Dispatching Problem, Management Science”*, 6, 80-91, 1959.
4. Kotler, Philip.; *“Manajemen Pemasaran (Analisis, Perencanaan, Implementasi dan Pengendalian)”*, Erlangga, 1993.

Commented [RF29]: Seluruh isi referensi setidaknya 80% bersumber dari jurnal ilmiah dengan kemutakhiran 10 tahun terakhir. Sitasi dan daftar pustaka sebaiknya dibuat dengan menggunakan *software reference manager* (seperti Mendeley, EndNote, Zotero, dan sejenisnya) dengan *style* IEEE.

5. Pujawan, I Nyoman. & Mahendrawathi; “**Supply Chain Management**”, Penerbit: Andi Yogyakarta, 2017.
6. Raden Prana A.; “**Aplikasi Kombinatorial pada Vehicle Routing Problem**”, ITB, 2007.
7. Sari, Gratia Melina.; “**Laporan Kerja Praktek Magang Bagian Transportasi Rute di PT XYZ-Bandung**”; Universitas Kristen Maranatha, Bandung, 2018.
8. Stephanie, Yenny., Santoso. & Heryanto, Rainisa Maini.; “**Determination of Distribution Route using Linear Programming Model (Case Study at Washing Jeans Company)**”, Proceeding of the 2019 1st International Conference on Engineering and Management in Industrial System (ICOEMIS 2019), 2019.
9. Toth, Paolo & Vigo, Daniele.; “**An Overview of Vehicle Routing Problems**” In The Vehicle Routing Problem, 1-26 2001.
10. Toth, Paolo & Vigo, Daniele.; “**The Vehicle Routing Problem. Society for Industrial and Applied Mathematics Problem**”, Elsevier, 2002.
11. Yohanes, Ronie.; Santoso., Heryanto, Rainisa Maini.; “**Penentuan Rute Distribusi yang Mempertimbangkan Multi Trips, Time Window, Simultaneous Pickup Delivery dengan Menggunakan Algoritma Sequential Insertion**”, Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri, Universitas Gadjah Mada, 2020.

Reviewer 1:

Penelitian ini menyelesaikan permasalahan CVRPTW dengan metode branch and bound yang diimplementasikan dalam bahas pemrograman matlab. Penelitian menggunakan data dari studi kasus distribusi perusahaan cat. Menurut pandangan reviewer ini memiliki kontribusi menarik, namun perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut.

1. Peneliti harus menambahkan penjelasan mengenai metode branch and bound yang digunakan. Karena pada penjelasan yang ada saat ini sangat kurang. Penulis dapat menggunakan diagram alir untuk memperjelas bagaimana algoritma branch and bound digunakan diimplementasikan. → sudah ditambahkan pada bagian validasi kasus sederhana lewat gambar 1 search tree.

2. Studi pustaka terkait penggunaan metode linear programming untuk permasalahan CVRP ataupun turunannya masih kurang dalam. Saran saya silahkan tambahkan referensi terkait penelitian berikut.

- Redi, A. A. N. P., Maula, F. R., Kumari, F., Syaveyenda, N. U., Ruswandi, N., Khasanah, A. U., & Kurniawan, A. C. (2020). Simulated annealing algorithm for solving the capacitated vehicle routing problem: a case study of pharmaceutical distribution. *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, 4(1), 41-49.

- Winarno & Redi (2020). ANALISA PERBANDINGAN METODE SIMULATED ANNEALING DAN LARGE NEIGHBORHOOD SEARCH UNTUK MEMECAHKAN MASALAH LOKASI DAN RUTE KENDARAAN DUA ESELON. *Jurnal Manajemen Industri dan Logistik*, 4(1), 35-46.

→ sudah ditambahkan pada studi Pustaka mengenai metode yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah VRP, maaf saya tidak menambahkan referensi yang diminta karena belum dibaca

3. Permasalahan yang diselesaikan dalam permasalahan ini tidak cukup besar berkisar antara 5-10 poin. Reviewer menyarankan untuk menggunakan mathematical programming solver seperti AMPL (ampl.com) atau LINGO (www.lindo.com) untuk memverifikasi algoritma dan model yang dibuat. → validasi dilakukan melalui kasus sederhana yang dikerjakan menggunakan software MATLAB dan memberikan hasil yang sama dan sudah ditambahkan penjelasannya pada artikel.

4. Terjadi banyak kesalahan dalam penulisan model matematis, silahkan cek detail permasalahan pada dokumen terlampir. → sudah diperbaiki dengan menambahkan parameter yang belum dan untuk persamaan 1 jika Xijkp paling akhir dihapus, maka hasil running matlab menjadi tidak masuk akal.

Reviewer 2:

Review

1. Periksa kembali penggunaan Bahasa Indonesia baku sesuai KBBI dalam naskah. Kata berikut bukan kata baku: "minimasi." → sudah diperbaiki menjadi minimalisasi
2. Saya tidak sependapat dengan pernyataan kalimat pertama di paragraf pertama: "Kegiatan distribusi menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan oleh perusahaan

karena kegiatan ini tidak memberikan nilai tambah bagi suatu barang." Dalam konsep QCD (*Quality, Cost, Delivery*), operasi distribusi mempengaruhi nilai tambah pada sisi *cost* dan *delivery*. Mohon untuk memberi penjelasan tambahan dari pernyataan tersebut. → sudah diperbaiki pada kalimat kedua abstrak dan bagian pendahuluan

3. Konteks permasalahan dalam studi kasus di PT. XYZ belum dijelaskan, sehingga tidak ada dapat dijustifikasi apakah model Toth dan Vigo memang tepat digunakan sebagai metode penelitian. Selain itu karena konteks permasalahan belum dideskripsikan dalam naskah, bagian hasil dan pembahasan menjadi sulit untuk diakses validitasnya. Mohon untuk memberi penjelasan tentang kasus yang ingin diselesaikan. Model hanya berfungsi sebagai alat, bukan masalah itu sendiri. → permasalahan sudah dijelaskan pada bagian pendahuluan alinea 3 dan ditambahkan pada bagian awal hasil dan pembahasan