

---

## *Enhancing Food Supply Chain Efficiency: A Consolidation Shipping Approach For Multi-Product and Multiechelon*

### **Meningkatkan Efisiensi Rantai Pasokan Pangan: Pendekatan Konsolidasi Pengiriman Untuk Multi-Produk dan Multiechelon**

Dwi Iryaning Handayani<sup>1\*</sup>, Kurnia Iswardani<sup>2</sup>, Haryono<sup>3</sup>, Tri Prihatiningsih<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Panca Marga

Email : [dwiiyanning@upm.ac.id](mailto:dwiiyanning@upm.ac.id)<sup>1</sup>, [iswardanik@gmail.com](mailto:iswardanik@gmail.com)<sup>2</sup>, [haryono@upm.ac.id](mailto:haryono@upm.ac.id)<sup>3</sup>, [prihatiningsih@upm.ac.id](mailto:prihatiningsih@upm.ac.id)<sup>4</sup>

---

#### **ABSTRAK**

Penelitian ini menyelidiki penerapan konsolidasi pengiriman dalam konteks rantai pasok makanan multi-produk dan multiechelon, sebagai strategi untuk mengatasi tantangan efisiensi operasional dan mengelola biaya. Tujuannya adalah untuk menerapkan konsolidasi dalam sistem distribusi multi-produk dan multiechelon, guna mengoptimalkan penempatan dan distribusi produk secara efisien. Metode yang diadopsi yaitu model Linear Programming, yang mempertimbangkan variabel-variabel kunci seperti jumlah barang yang akan dikirim, rute pengiriman, alokasi sumber daya, kapasitas armada, dan batas waktu pengiriman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsolidasi pengiriman, dengan penjadwalan pengiriman yang ditunda hingga hari kedua atau ketiga, memungkinkan penggabungan pesanan dalam satu pengiriman besar, sehingga meningkatkan efisiensi muatan dan rute, mengurangi frekuensi perjalanan, dan memperoleh penghematan biaya transportasi yang signifikan. Strategi ini berhasil meningkatkan efisiensi muatan dan rute, mengurangi jumlah perjalanan yang diperlukan, dan menghasilkan penghematan biaya transportasi yang substansial. Melalui metode ini, biaya total pengiriman dan penyimpanan sebesar 1.328.834. Strategi konsolidasi ini terbukti krusial dalam mengoptimalkan jenis pengiriman, di samping memfasilitasi perencanaan rute yang lebih efektif, mengurangi jarak dan waktu perjalanan, serta menghasilkan penghematan biaya operasional secara signifikan.

**Kata Kunci** : Efisiensi Rantai Pasokan, Konsolidasi, Pengiriman, Multi-Product, Multiechelon

#### **ABSTRACT**

*This research applies the application of delivery consolidation in the context of a multi-product and multi-echelon food supply chain, as a strategy to address operational efficiency and cost management. The aim is to implement consolidation in multi-product and multi-echelon distribution systems, in order to optimize product placement and distribution efficiently. The method adopted is the Linear Programming model, which considers key variables such as the number of goods to be sent, delivery route, resource allocation, fleet capacity and delivery time limit. The research results show that shipment consolidation, by scheduling shipments that are delayed until the second or third day, allows combining orders into one large shipment, thereby increasing load and route efficiency, reducing trip frequency, and achieving significant transportation cost savings. This strategy successfully increased load and route efficiency, reduced the number of trips required, and resulted in substantial transportation cost savings. Using this method, the total shipping and storage costs are 1,328,834. This consolidation strategy has proven crucial in optimizing delivery types, in addition to facilitating more effective route planning, reducing travel distances and times, and resulting in significant operational cost savings.*

---

**Meningkatkan Efisiensi Rantai Pasokan Pangan: Pendekatan Konsolidasi Pengiriman Untuk Multi-Produk dan Multiechelon/** Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2023 Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih

**Keywords :** *Supply Chain Efficiency, Consolidation, Shipping, Multi-Product, Multiechelon*

## PENDAHULUAN

Efisiensi distribusi merupakan salah satu isu kunci dalam manajemen rantai pasok, terutama dalam industri pangan. Efisiensi distribusi di industri pangan berdampak signifikan terhadap kecepatan dan keandalan pemenuhan permintaan konsumen, penurunan biaya operasional, penguatan keamanan pangan dan peningkatan daya saing harga[1]. Disamping itu efisiensi distribusi tidak hanya fokus pada pengurangan biaya operasional dan waktu pengiriman. Akan tetapi efisiensi distribusi juga melakukan pengiriman produk tepat waktu dari produsen ke konsumen akhir. Dengan begitu efisiensi distribusi akan berdampak langsung pada kepuasan pelanggan[2]. Dimana apabila terjadi perubahan dalam permintaan, dapat menyesuaikan dengan cepat, walaupun melewati beberapa tahap dari produsen ke konsumen akhir.

Namun, efisiensi untuk rantai pasok makanan dengan karakteristik *multi-product* dan *multiechelon* dapat menimbulkan kompleksitas sehingga memerlukan manajemen logistik yang cermat. Dalam rantai pasok makanan yang melibatkan banyak jenis produk dan melalui berbagai tahapan distribusi mengakibatkan pengelolaan logistik jadi rumit. Ada banyak produk yang masing-masing mempunyai cara penyimpanan dan waktu kadaluarsa yang berbeda, dan permintaan dari pelanggan yang sering berubah-ubah. Selain itu, sistem multiechelon, produk melewati banyak tahapan distribusi (misalnya, dari pabrik ke gudang distribusi, kemudian ke pengecer) [3]. Hal ini memerlukan kerjasama yang baik agar semuanya berjalan lancar.

Memahami hal-hal ini sangat penting untuk memastikan bahwa semua produk dapat sampai ke tempat yang tepat, tepat waktu, dengan cara yang efisien. Untuk itu diperlukan *shipment consolidation*, yang merupakan sebuah konsep dalam manajemen logistik dimana dua atau lebih pengiriman diangkut dengan menggunakan kendaraan yang sama dengan tujuan untuk menggunakan sumber daya yang lebih sedikit [4]. Hal ini memungkinkan rute pengiriman dioptimalkan, mengurangi jarak dan waktu pengiriman. Manfaat dari metode ini termasuk penghematan biaya transportasi, pengurangan emisi karbon, peningkatan efisiensi pengiriman, dan penggunaan sumber daya seperti kendaraan dan tenaga kerja secara lebih efisien. Pendekatan ini berkontribusi pada operasi logistik yang lebih efektif dan berkelanjutan [5].

Namun, kenyataannya dalam menerapkan *consolidation* terdapat berbagai tantangan seperti perlu adanya sistem manajemen logistik yang tepat untuk mengkoordinasikan pengiriman dari berbagai sumber menjadi satu. Perusahaan perlu mempertimbangkan jadwal produksi yang berbeda, lokasi penyimpanan, dan permintaan pelanggan yang fluktuatif. Selain itu, memadukan kargo dari berbagai pemasok memerlukan komunikasi dan kerjasama yang erat antara semua pihak.

Oleh karena itu penerapan *Shipment consolidation* dapat meningkatkan utilisasi kendaraan dengan menggabungkan dua atau lebih pesanan pengiriman, dikirim sebagai unit agregat [6]. Dengan *Shipment consolidation* Jinagam [7] berpandangan dapat menghemat biaya untuk jaringan transportasi. Selain itu dapat menentukan jumlah akumulasi pengiriman yang ekonomis dan optimal pada proses pengiriman rantai pasok makanan [8]. Begitu juga dengan [9] mengemukakan pandangan yang sama bahwa konsolidasi banyak produk dengan tingkatan distribusi yang berbeda dapat mengurangi biaya pengiriman.

Pengiriman berbasis konsolidasi bertujuan mengurangi biaya transportasi dengan menggabungkan dua atau lebih pesanan, menjadi pesanan yang lebih besar untuk mencapai skala ekonomi [10,11]. Selain itu jarak tempuh dapat dikurangi dengan melakukan pengiriman dalam satu rute. Sehingga dapat mengurangi frekuensi pengiriman, yang akhirnya dapat menurunkan biaya operasional secara signifikan dalam biaya transportasi secara keseluruhan. Meskipun konsolidasi dalam sistem distribusi *multi-product* dan *multiechelon* memberikan keuntungan bagi

**Meningkatkan Efisiensi Rantai Pasokan Pangan: Pendekatan Konsolidasi Pengiriman Untuk Multi-Produk dan Multiechelon/ Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih**

perusahaan, namun penelitian yang mempertimbangkan konsolidasi dalam sistem distribusi *multi-product* dan *multiechelon* pada rantai pasok makanan masih terbatas. Sebagaimana penelitian sebelumnya seperti [7] menerapkan konsolidasi untuk *Multiechelon* pada perishable products. Sama halnya dengan [9] melakukan konsolidasi pengiriman produk *perishable products* sebagai upaya menjaga kesegaran produk. Di sisi lain [12] menggunakan konsolidasi dalam industri pelayaran. Sedangkan [10] memperkenalkan metodologi berbasis konsolidasi untuk mengatasi pertumbuhan e-commerce.

Dengan keterbatasan penelitian yang mempertimbangkan konsolidasi pada sistem distribusi multi-product dan multiechelon pada rantai pasok makanan. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk melakukan konsolidasi dalam sistem distribusi dengan *multi-product* dan *multiechelon*. Penelitian ini menggunakan pendekatan Linier Programming model matematis yang digunakan untuk menemukan solusi optimal dalam masalah lokasi dan alokasi produk, dalam melakukan *shipment consolidation*. Pendekatan Linier Programming melibatkan berbagai keterbatasan sumber daya, dengan menggunakan fungsi objektif yang perlu dioptimalkan misalnya, meminimalkan biaya dan serangkaian keterbatasan dalam bentuk persamaan linier [13]. Metode ini dipercaya dapat membantu dalam membuat keputusan efisien dan memudahkan analisis dan pemecahan masalah kompleks di berbagai bidang.

## METODE

Penelitian ini dilakukan pada perusahaan makanan yang terdiri dari tiga jenis produk yaitu coklat (produk 1), milk coklat (produk 2) dan dark coklat (produk 3). Ketiga produk ini ditentukan berdasarkan data penjualan internal, data pasar, dan laporan industri. Perusahaan ini memiliki 2 warehouse yang lokasinya berbeda. Untuk memenuhi demand market, produk dikirim dari perusahaan langsung dan dari warehouse. Pada saat ini, biaya distribusi yang dikeluarkan oleh Perusahaan makanan ini cukup tinggi karena melakukan pengiriman produk dimana jumlah produk ditentukan menggunakan insting pengirim. *Shipment consolidation* pada penelitian ini yaitu proses pengiriman barang dimana permintaan produk hari t bisa dikirim harian atau pada hari t+1, dengan mempertimbangkan biaya transportasi dan *holding cost*. Dalam penelitian ini *holding cost* adalah biaya yang terkait dengan penyimpanan inventaris selama periode tertentu. Biaya ini meliputi berbagai aspek seperti biaya gudang, biaya bahan, biaya tenaga kerja, biaya asuransi, dan depresiasi barang. Dalam konteks *shipment consolidation*, *holding cost* menjadi pertimbangan penting karena waktu penyimpanan barang dapat bertambah jika pengiriman dikonsolidasi.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan Linear Programming (LP) model matematis. Metode ini dipilih dalam pengelolaan distribusi karena kemampuannya untuk mengoptimalkan sejumlah variabel seperti jumlah barang yang dikirim, rute pengiriman, dan alokasi sumber daya, sekaligus memperhitungkan berbagai keterbatasan seperti kapasitas armada dan batas waktu pengiriman [14]. Metode ini membantu dalam meminimalkan biaya total dan mengurangi waktu pengiriman, yang sangat penting dalam distribusi.

### Variabel dan Parameter

Dalam model Linear Programming (LP) untuk rantai pasok makanan, variabel dan kriteria dipilih berdasarkan elemen-elemen kunci dalam proses distribusi dan penyimpanan [15]. Berikut penjelasan tentang bagaimana setiap variabel dan parameter tersebut dipilih dan perannya dalam model. Variabel Keputusan merupakan variabel utama yang menggambarkan jumlah produk yang dikirimkan antara lokasi (pabrik ke warehouse, warehouse ke market, dan pabrik ke market). Pemilihan variabel ini didasarkan pada kebutuhan untuk melacak dan mengoptimalkan aliran produk melalui jaringan distribusi. Sedangkan parameter meliputi :

- a Indeks Lokasi dan Produk (i, j, k, l): Menentukan indeks untuk pabrik, warehouse, dan market, serta jenis produk untuk menyesuaikan model dengan struktur jaringan distribusi nyata. Parameter ini

---

**Meningkatkan Efisiensi Rantai Pasokan Pangan: Pendekatan Konsolidasi Pengiriman Untuk Multi-Produk dan Multiechelon/** Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih

membantu dalam mengidentifikasi dan membedakan antara berbagai sumber, tujuan, dan jenis produk dalam jaringan.

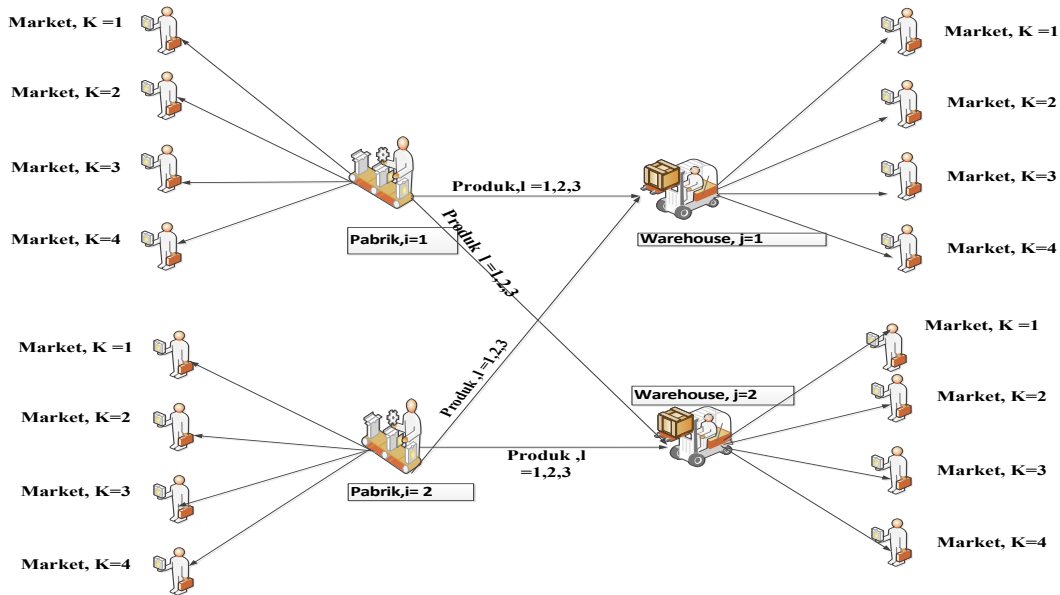
- b Biaya Transportasi (Pijl, Rjklpt, Siklt): Biaya ini menggambarkan biaya pengiriman produk antara berbagai titik dalam jaringan. Penting dalam menghitung biaya total dan memilih opsi pengiriman yang paling ekonomis.
- c Biaya Penyimpanan (hjlt): Biaya penyimpanan per unit per hari di warehouse, krusial untuk menghitung total biaya penyimpanan dan mempengaruhi keputusan penyimpanan.
- d Kapasitas Produksi dan Penyimpanan (Niklt, Cil, Wjl): Kapasitas ini menetapkan batasan atas jumlah produk yang dapat diproduksi dan disimpan, penting untuk menghindari overproduksi atau kekurangan ruang penyimpanan.
- e Permintaan Pasar (Dklt): Permintaan di setiap pasar untuk setiap produk dan periode waktu, krusial untuk memastikan bahwa pasokan memenuhi permintaan.
- f Indeks Waktu dan Jenis Pengiriman (t, p): Waktu penyimpanan di warehouse dan frekuensi pengiriman, penting untuk mengoptimalkan waktu penyimpanan dan frekuensi pengiriman.

Dalam model Linear Programming yang dibahas, terdapat batasan spesifik yang berfokus pada kapasitas produksi pabrik, penyimpanan di gudang, permintaan pasar, keseimbangan aliran produk, dan kapasitas pengiriman maksimum dari pabrik ke pasar. Batasan ini dirancang untuk memastikan bahwa produksi dan distribusi produk tidak melebihi kapasitas yang tersedia dan memenuhi permintaan pasar dengan efisien. Di samping itu, model ini juga bergantung pada asumsi-asumsi umum dalam LP, seperti proporsionalitas dan linearitas hubungan antara variabel, keberlanjutan variabel (tidak harus integer), independensi efek variabel, ketersediaan sumber daya sesuai batasan, serta ketepatan dan keandalan data.

Model Linear Programming (LP) dalam penelitian ini menggunakan bantuan solver pada Excel. Solver merupakan alat bawaan Excel yang dapat mengoptimalkan nilai dalam sel target, berdasarkan batasan yang diberikan pada sel lainnya. Menggunakan software Solver membantu untuk mengoptimalkan aspek tertentu dalam sistem distribusi, seperti minimasi biaya total, optimalisasi rute pengiriman, atau alokasi sumber daya yang paling efisien [16].

### Merancang jaringan distribusi makanan coklat

Jaringan distribusi penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1, dimana pabrik mengirim produknya ke *warehouse* dan mengirim produk langsung ke *market*. *Warehouse* mengirim produk ke *market*.



Gambar 1. Jaringan Distribusi Produk Coklat

Gambar 1 menunjukkan jaringan distribusi untuk produk coklat. Jaringan distribusi pada Gambar 1 dapat diformulasikan menjadi model matematis dengan menggunakan pendekatan linear programming. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini berupa variansi produk, jumlah *warehouse*, , jumlah market, biaya transportasi, *holding cost*, data permintaan masing-masing variansi produk, dan kapasitas perusahaan, kapasitas *warehouse*

**Notasi model :**

Variabel keputusan :

$X_{ijlt}$  = Jumlah produk  $l$  yang dikirimkan dari Pabrik  $i$  ke *Warehouse*  $j$  untuk disimpan selama  $t$  hari

$Z_{jkl}$  = Jumlah produk  $l$  yang disimpan selama  $t$  hari yang akan dikirimkan dari *Warehouse*  $j$  ke Market  $k$

$Y_{ikl}$  = Jumlah produk  $l$  yang dikirimkan dari Pabrik  $i$  ke Market  $k$

**Parameter :**

$i$  = indeks untuk Pabrik (1,2)

$j$  = indeks untuk *Warehouse* (1,2)

$k$  = indeks untuk Market (1,2,3,4,5)

$l$  = indeks untuk Produk (1, 2, 3)

$t$  = indeks untuk waktu (hari) penyimpanan produk  $l$  di *Warehouse*  $j$  yang akan dikirimkan ke Market  $k$  (1,2,3)

$p$  = jenis pengiriman (harian, dua hari sekali, tiga hari sekali)

$P_{ijl}$  = Biaya transportasi produk  $l$  dari Pabrik  $i$  ke *Warehouse*  $j$

$R_{jklpt}$  = Biaya transportasi tiap jenis pengiriman, produk  $l$  dari *Warehouse*  $j$  ke Market  $k$

$S_{iklt}$  = Biaya transportasi produk  $l$  dari Pabrik  $i$  ke Market  $k$  di waktu  $t$

$h_{jlt}$  = Biaya penyimpanan per unit per hari produk  $l$  pada *Warehouse*  $j$

$N_{iklt}$  = Kapasitas produksi dan pengiriman produk  $l$  dari Pabrik  $i$  ke Market  $k$  di waktu  $t$

**Meningkatkan Efisiensi Rantai Pasokan Pangan: Pendekatan Konsolidasi Pengiriman Untuk Multi-Produk dan Multiechelon/ Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih**

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2023 Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih

- Cil = Kapasitas produksi produk l di Pabrik i  
 Wjl = Kapasitas penyimpanan produk l di Warehouse j  
 Dklt = Permintaan produk l pada Market k pada waktu t

### Verifikasi Model dan Validasi Model

Dalam proses verifikasi dan validasi model Linear Programming (LP), ada beberapa langkah kunci yang diambil untuk memastikan keakuratan dan keandalan model yaitu uji internal konsistensi dengan melakukan pemeriksaan menyeluruh untuk memastikan bahwa tidak ada kesalahan logis atau matematis dalam model, termasuk memverifikasi kebenaran semua persamaan dan ketidaksamaan. selain itu melakukan pengujian dengan data Sampel dengan menggunakan data sampel yang hasilnya sudah diketahui untuk menjalankan model dan membandingkan output model dengan hasil yang diharapkan, memastikan model bekerja sesuai desain. Validasi Model Penggunaan Data Historis: Menjalankan model dengan data historis untuk memverifikasi apakah model dapat akurat mereproduksi hasil yang sudah diketahui, menunjukkan keandalan model dalam kondisi nyata.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam model Linear Programming (LP) untuk meminimalkan total biaya, berbagai faktor dan parameter harus dipertimbangkan. Penggunaan Solver dalam permasalahan konsolidasi pengiriman, mencakup detail tentang batasan, parameter, dan konfigurasi. Mengkonfigurasi Solver dengan tepat merupakan kunci untuk memastikan bahwa solusi yang diberikan valid dan berlaku untuk kondisi nyata yang dihadapi oleh sistem distribusi perusahaan. Analisis sensitivitas dalam penelitian ini tidak dipertimbangkan, di mana kondisi dan parameter dianggap tetap dan stabil tanpa adanya perubahan atau gangguan.

Berdasarkan Gambar 1 dapat dirumuskan untuk meminimal-kan total biaya, biaya yang terkait dengan biaya transportasi produk 1, 2 dan 3 dari Pabrik i ke Warehouse j, biaya transportasi tiap jenis pengiriman, produk 1,2 dan 3 dari Warehouse j ke Market k, biaya transportasi produk 1,2 dan 3 dari Pabrik i ke Market k di waktu t dan biaya penyimpanan per unit per hari produk 1,2 dan 3 pada Warehouse j. Persamaan total cost (TC) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Min = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^3 P_{ijl} X_{ijl} + \left( \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^5 \sum_{l=1}^3 \sum_{p=1}^4 \sum_{t=1}^3 R_{jkpl} Z_{jklt} + \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^5 \sum_{l=1}^3 \sum_{t=1}^4 h_{jklt} Z_{jklt} \right) + \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^5 \sum_{l=1}^3 \sum_{t=1}^3 S_{iklt} Y_{iklt}$$

Untuk meminimalkan total cost pada fungsi tujuan terdapat beberapa kendala yang dirumuskan sebagai berikut:

Batasan kapasitas produksi Pabrik i

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^3 X_{ijl} + \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^5 \sum_{l=1}^3 \sum_{t=1}^2 Y_{iklt} \leq C_{il}, \quad \forall i, l$$

Batasan kapasitas penyimpanan Warehouse j

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^3 X_{ijl} \leq W_{jl}, \quad \forall j, l$$

Batasan permintaan Market k

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^5 \sum_{l=1}^3 \sum_{t=1}^2 Y_{iklt} + \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^5 \sum_{l=1}^3 \sum_{t=1}^2 Z_{jklt}, \quad \forall k, l, t$$

Batasan keseimbangan aliran produk l

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^3 X_{ijl} = \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^5 \sum_{l=1}^3 \sum_{t=1}^2 Z_{jklt} \cdot \forall j,l$$

Batasan kapasitas produksi dan pengiriman maksimum Pabrik i ke Market k sebesar maksimum 2000 unit.

$$\sum_{k=1}^5 \sum_{t=1}^2 Y_{iklt} \leq 2000, \quad \forall i,l$$

### Data Biaya Distribusi

Data biaya distribusi dari pabrik ke warehouse terdiri dari tiga jenis produk 1,2 dan 3. Pabrik 1 dan pabrik 2 ke warehouse 1 dan warehouse 2. Satuan Biaya distribusi menggunakan satuan dolar, dimana biaya distribusi produk 2 lebih tinggi dibandingkan biaya distribusi produk lainnya. selengkapnya pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Data Biaya Distribution Pabrik ke Warehouse

Pijl	Pabrik	Produk	Warehouse 1	Warehouse 2
Pabrik	1	1	1	3
		2	5	4
		3	2	1
	2	1	4	1
		2	4	5
		3	1	3

Tabel 2 menjelaskan biaya konsolidasi pengiriman warehouse ke market yang terdiri dari warehouse 1 dan 2 dengan tiga jenis produk yang berbeda selama tiga hari. Tabel ini dibagi berdasarkan warehouse, produk, hari, dan harga transportasi. Harga hari ke 1-2: Menunjukkan harga khusus jika pengiriman terjadi antara hari pertama dan kedua. Harga hari ke 2-3: Menunjukkan harga khusus jika pengiriman terjadi antara hari kedua dan ketiga. Hari ke 3: Menunjukkan harga khusus untuk pengiriman yang dilakukan tepat pada hari ketiga. Misalnya, untuk produk 1 dari gudang 1, harga transportasi standar per hari adalah 15, tetapi jika pengiriman terjadi antara hari pertama dan kedua, harga tersebut turun menjadi 5. Lebih lanjut, jika pengiriman terjadi antara hari kedua dan ketiga, harganya adalah 10, dan jika pengiriman dilakukan tepat pada hari ketiga, harganya adalah 4.

Tabel 2. Data Shipment Consolidation Cost dari Warehouse - Market

Harga Transportasi Warehouse - Market						
Warehouse	Produk	Hari	Harga			
			Per hari	hari ke 1-2	Hari ke 2-3	Hari ke 3
1	1	1	15	5	10	4
		2	14			
		3	14		6	
	2	1	13	5	11	5
		2	14			
		3	11		8	
	3	1	12	5	12	4
		2	13			
		3	10		9	
2	1	1	15	6	10	6
		2	11			
		3	11		6	
	2	1	12	8	14	2
		2	10			
		3	13		9	
	3	1	12	6	12	4
		2	12			
		3	12		8	

Tabel 3. Data Distribution Cost dari Pabrik - Market

Harga Transportasi Pabrik- Market									
Yiklt	Pabrik	Produk	Hari	Market 1	Market 2	Market 3	Market 4	Market 5	Total
	1	1	1	13	12	10	13	13	11
			2	12	10	15	10	11	12
			3	12	14	14	11	12	10
		2	1	13	15	14	11	11	14
			2	11	14	11	13	14	12
			3	10	15	14	10	13	14
		3	1	13	11	15	10	12	15
			2	10	11	14	13	11	14
			3	12	14	12	11	15	12
	2	1	1	12	11	11	12	10	12
			2	12	14	14	10	11	11
			3	13	10	13	13	15	14
		2	1	14	11	10	11	11	13
			2	10	13	14	12	13	14
			3	11	11	10	13	11	10
3	1	14	11	15	11	13	12		
	2	14	11	12	11	12	13		
	3	12	10	15	15	13	12		

**Meningkatkan Efisiensi Rantai Pasokan Pangan: Pendekatan Konsolidasi Pengiriman Untuk Multi-Produk dan Multiechelon/** Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2023 Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih



Tabel 4. Data *Holding Cost*

Warehouse	Produk	Hari	Holding Cost	Holding cost 1-2	Holding Cost 2-3	Holding cost 3 hari
1	1	1	1	1	3	4
		2	3	2	4	
		3	2	3	5	
	2	1	4	1	3	5
		2	1	3	5	
		3	5	5	6	
	3	1	2	1	1	3
		2	5	2	3	
		3	1	4	5	
2	1	1	2	2	1	5
		2	1	4	4	
		3	4	6	7	
	2	1	2	2	3	3
		2	5	4	7	
		3	1	6	9	
	3	1	1	2	3	4
		2	4	7	6	
		3	2	9	7	

Tabel 4 menunjukkan *holding cost* dari dua gudang yang berbeda, untuk tiga jenis produk, selama tiga hari berbeda. *Holding cost* artinya biaya penyimpanan produk harian. Sedangkan Biaya Penyimpanan Gabungan (*Holding Cost 1-2, Cost 2-3*): Ini menunjukkan biaya yang dikombinasikan untuk menyimpan produk selama dua hari berturut-turut. Angka-angka ini mungkin menunjukkan biaya yang lebih rendah daripada jumlah biaya harian terpisah, hal ini mencerminkan potensi penghematan dengan menyimpan produk untuk jangka waktu yang lebih panjang. Berbeda halnya dengan biaya Penyimpanan untuk tiga hari (*Holding Cost 3 hari*): Ini adalah biaya untuk menyimpan produk selama tiga hari berturut-turut. Angka ini mungkin juga menunjukkan penghematan yang terkait dengan penyimpanan produk untuk jangka waktu yang lebih panjang.

### Total Distribusi Produk

Total distribusi produk ditunjukkan pada Tabel 5 yang menjelaskan jumlah distribusi produk dari pabrik 1 dan pabrik 2 pada masing-masing warehouse yang berbeda. Misalnya, untuk produk 1 dari Pabrik 1, sebanyak 154 unit harus dikirim ke Warehouse 1 dan 21,846 unit ke Warehouse 2, dengan total pengiriman produk 1 dari Pabrik 1 adalah 22,000 unit. Begitu juga dengan pabrik 2 melakukan pengiriman produk 1 pada warehouse 1 sebesar 23,335 unit, untuk pengiriman produk 1 pada warehouse 2 sebesar 1264 unit.

Tabel 5. Total Distribusi Produk

XijL	Pabrik	Produk	Warehouse 1	Warehouse 2	Total
Pabrik	1	1	154	21846	22,000
		2	41	21959	22,000
		3	1670	15330	17,000
	2	1	23335	1264	24,599
		2	21836	164	22,000
		3	16052	239	16,291

**Meningkatkan Efisiensi Rantai Pasokan Pangan: Pendekatan Konsolidasi Pengiriman Untuk Multi-Produk dan Multiechelon/** Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih

Total produk yang dikirim dari pabrik 1 dan pabrik 2 sebesar 123.890 unit, yang terdiri dari Pabrik 1 mengirim produk sejumlah 1865 unit ke warehouse1 dan 59135 unit ke warehouse 2, sehingga total produk yang dikirim pabrik 1 ke warehouse sejumlah 61.000 unit atau 0.49%. Sedangkan pabrik 2 mengirim produk ke warehouse 1 sebesar 61223 unit dan 60802 unit untuk warehouse 2, jadi total yang di distribusikan pabrik 1 ke masing-masing warehouse sejumlah 62890 atau 51%.

**Tabel 6.** Distribusi Produk dari pabrik ke market

Yiklt	Pabrik	Produk	Hari	Market 1	Market 2	Market 3	Market 4	Market 5	Total
	1	1	1	1	0	0	0	999	1000
			2	0	3	0	0	997	1000
			3	0	0	39	0	961	1000
		2	1	0	0	778	222	0	1000
			2	0	1000	0	0	0	1000
			3	6	992	0	2	0	1000
		3	1	8	0	983	4	4	1000
			2	21	0	971	4	4	1000
			3	0	0	4	996	0	1000
	2	1	1	0	0	4	6	991	1000
			2	0	0	0	15	985	1000
			3	36	0	0	0	964	1000
		2	1	0	39	829	132	0	1000
			2	0	1000	0	0	0	1000
			3	0	987	13	0	0	1000
		3	1	0	0	992	4	4	1000
			2	4	0	988	4	4	1000
			3	3	0	11	986	0	1000

Berdasarkan Tabel 6. Distribusi produk dari pabrik ke market sebanyak 1000 unit perhari, hal ini yang menunjukkan kemungkinan kapasitas atau target pengiriman tetap. Terdapat variasi dalam jumlah produk dikirim ke setiap market setiap hari, yang bisa disebabkan oleh permintaan pasar, kapasitas pengiriman, atau faktor operasional lainnya. Beberapa pasar tidak menerima pengiriman pada hari-hari tertentu (misalnya, Market 2 tidak menerima pengiriman Produk 1 dari Pabrik 1 pada Hari 1 dan 2), hal tersebut menunjukkan adanya strategi pengiriman yang berfokus pada permintaan atau strategi alokasi sumber daya. Pengiriman produk 1,2 dan 3 dari pabrik 1 dan 2 untuk kelima market dapat dilihat pada Tabel 5. Market paling tinggi jumlah pengiriman oleh pabrik 1 dan pabrik 2 yaitu market 5 sebanyak 32%. Sedangkan market 3 sebanyak 31%, berikutnya market 2 sebesar 22%, untuk market 4 sejumlah 13 % dan market 1 paling sedikit dibandingkan ke-empat market lainnya.

Tabel 7. Distribusi Produk dengan *Shipment Consolidation*

Yikit	Warehouse	Produk	Hari	Market 1	Market 2	Market 3	Market 4	Market 5	Total	Shipment Consolidation		
1	1	1	1	1003	1150	998	495	2007	5652	hari 1-2, hari 3		
			2	1515	1001	1515	1995	2536	8563			
			3	1982	1508	482	1509	3793	9273			
		2	1	497	459	1475	1531	497	4461		hari 1-2, hari 3	
			2	997	3481	2497	1997	1997	10971			
			3	1484	3504	478	488	490	6445			
		3	1	996	1012	0	492	492	2992		hari 3	
			2	725	0	1521	492	742	3479			
			3	497	2960	2632	3390	1773	11251			
	2	1	1	1	997	811	999	500	2003	5309	hari 1-2, hari 3	
				2	1512	995	1512	1989	2533	8541		
				3	1983	1505	479	1505	3788	9260		
			2	1	502	502	1534	1534	502	4575		hari 3
				2	1002	3484	2502	2002	2002	10993		
				3	1510	3517	510	510	510	6555		
3		1	996	1012	0	500	500	3008	hari 3			
		2	750	0	1521	500	750	3521				
		3	500	1025	2352	3390	1773	9040				

Berdasarkan Tabel 7, menjelaskan pengaruh hari dalam konsolidasi terhadap total produk yang didistribusikan. Hari 1-2, hari 3 menerangkan bahwa barang akan dikirim dua tahap yang pertama produk permintaan hari 1 akan dikirim di hari ke-2 bersama permintaan produk hari ke 2, yang kedua permintaan produk hari ke 3 dikirim pada hari 3. Sedangkan penjasalakan hari 3 yaitu semua permintaan produk hari 1 dan hari 2 akan dikirim dihari 3 bersama pengiriman permintaan produk hari 3. Dengan demikian, [11] berpandangan bahwa pengiriman dengan konsolidasi dapat membantu dalam mengoptimalkan rute pengiriman dan strategi inventori untuk mencapai efisiensi distribusi yang lebih tinggi. Hal ini dilakukan dengan cara menggabungkan pengiriman beberapa produk dalam satu pengiriman atau rute untuk mengurangi jumlah perjalanan yang diperlukan [6]. Strategi ini sering digunakan dalam manajemen rantai pasok untuk mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi [17]. Pendapat yang sama diungkapkan [4] berdasarkan hasil penelitiannya yang membandingkan dua model transportasi, dengan dan tanpa konsolidasi, hasilnya menunjukkan bahwa konsolidasi pengiriman mengurangi total biaya sebesar 40% dan juga mengkonsumsi lebih sedikit bahan bakar, sehingga menghasilkan lebih sedikit emisi. Begitu juga dengan penelitian ini menghasilkan total biaya sebesar 1.328.834 dengan rincian sebagai berikut pengiriman mulai dari pabrik-wholsaler-market, pabrik-market dan biaya simpan di pabrik dan wholsaler. Berbeda halnya dengan penelitian [18] dalam mencapai efisiensi operasional dan keuntungan ekonomi, lebih mengutamakan pengurangan jejak karbon dan peningkatan kebijakan ramah lingkungan dalam praktik logistik. Sementara penelitian terkini terkait dengan konsolidasi dilakukan oleh [19] dimana penelitian ini melakukan konsolidasi pengiriman dengan menggabungkan keputusan pengisian ulang persediaan dan pengiriman barang, yang dapat mempengaruhi berbagai aspek operasional, biaya dalam pengelolaan gudang dan distribusi.

Menurut [20] pengiriman yang lebih sering dengan volume lebih kecil mengurangi biaya holding tetapi meningkatkan biaya transportasi, sementara pengiriman yang lebih besar dan jarang dapat menurunkan biaya transportasi tetapi meningkatkan biaya holding. Oleh karena itu konsolidasi pengiriman adalah strategi logistik yang mengintegrasikan beberapa pengiriman kecil menjadi satu pengiriman besar untuk memaksimalkan pemanfaatan kapasitas kendaraan, sehingga menurunkan biaya transportasi per unit. Ini juga memfasilitasi pemilihan rute yang lebih efisien, mengurangi jarak tempuh dan waktu perjalanan, yang berkontribusi pada penghematan biaya operasional. Dalam konteks pengelolaan *holding cost*, konsolidasi memungkinkan perencanaan inventaris yang lebih

**Meningkatkan Efisiensi Rantai Pasokan Pangan: Pendekatan Konsolidasi Pengiriman Untuk Multi-Produk dan Multiechelon/ Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih**

efektif, dengan mengurangi durasi penyimpanan barang di gudang melalui pengoptimalan jadwal pengiriman. Dengan demikian hasil konsolidasi pengiriman dalam penelitian ini dilaksanakan pada hari kedua dan ketiga, atau secara khusus pada hari ketiga, artinya biaya transportasi ditentukan berdasarkan jadwal waktu pengiriman yang spesifik. Hal ini melibatkan penjadwalan pengiriman dengan harga yang bervariasi tergantung pada hari pengiriman yang dipilih. Skema ini mendorong penundaan pengiriman untuk mengkonsolidasi lebih banyak pesanan dalam satu pengiriman, dengan insentif berupa harga transportasi yang lebih rendah. Begitu juga dengan [21] melakukan penggabungan pengiriman untuk memanfaatkan efisiensi, dimana biaya per unit menurun seiring peningkatan volume pengiriman. Selain itu dapat mencapai efisiensi waktu pengiriman, hal ini dikarenakan menggabungkan produk dalam pengiriman pada hari yang sama, sehingga meningkatkan kecepatan penyampaian produk ke pasar dan merespon lebih cepat terhadap permintaan pelanggan

## SIMPULAN

Biaya transportasi dan biaya *holding cost* akan berpengaruh terhadap *jenis shipment consolidation* yang akan digunakan. Kedua faktor ini memainkan peran krusial dalam menentukan jenis konsolidasi pengiriman yang paling efisien. Dengan menggabungkan banyak pengiriman kecil menjadi satu pengiriman besar, dapat meningkatkan pemanfaatan kapasitas kendaraan, untuk mengurangi biaya transportasi per unit. Selain itu, konsolidasi memfasilitasi perencanaan rute yang lebih efisien, mengurangi jarak tempuh dan waktu perjalanan, sehingga menghemat biaya operasional. Di sisi lain, dengan mengurangi frekuensi pengiriman, konsolidasi dapat meningkatkan durasi penyimpanan barang di gudang, yang mempengaruhi *holding cost*. Namun, dengan perencanaan yang cermat, strategi ini bisa menyinkronkan pengiriman dengan kebutuhan produksi dan permintaan pasar, mengoptimalkan jadwal pengiriman untuk mengurangi waktu penyimpanan dan, oleh karenanya, mengurangi *holding cost*. Penelitian ini memiliki keterbatasan mengenai pola permintaan pasar yang mungkin tidak berlaku di semua situasi, terutama dalam pasar yang fluktuatif. Model matematis yang digunakan dalam analisis tidak sepenuhnya mencerminkan kompleksitas operasional nyata dan tidak memperhitungkan perkembangan teknologi terkini dalam transportasi dan logistik. Selain itu, faktor eksternal seperti perubahan harga bahan bakar dan regulasi pemerintah tidak sepenuhnya diperhitungkan. Keterbatasan ini menekankan pentingnya melakukan analisis yang lebih mendalam dan kontekstual untuk memahami kapan dan bagaimana konsolidasi pengiriman menjadi pilihan strategis yang efektif, sambil mempertimbangkan trade-off antara biaya transportasi dan *holding cost*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P.-O. Groß, J. F. Ehmke, and D. C. Mattfeld, "Cost-Efficient and Reliable City Logistics Vehicle Routing with Satellite Locations under Travel Time Uncertainty," *Transportation Research Procedia*, vol. 37, pp. 83–90, 2019, doi: 10.1016/j.trpro.2018.12.169.
- [2] Y. Kush, M. Tonkoshkur, K. Vakulenko, A. Ryabev, N. Davidich, and A. Galkin, "The efficiency of food supply chain engineering (case study in Ukraine)," *AoT*, vol. 55, no. 3, pp. 51–71, Sep. 2020, doi: 10.5604/01.3001.0014.4222.
- [3] Y.-C. Tsao, "Designing a Fresh Food Supply Chain Network: An Application of Nonlinear Programming," *Journal of Applied Mathematics*, vol. 2013, pp. 1–8, 2013, doi: 10.1155/2013/506531.
- [4] N. A. Mostafa and O. Eldebaiky, "A Sustainable Two-Echelon Logistics Model with Shipment Consolidation," *Logistics*, vol. 7, no. 1, p. 18, Mar. 2023, doi: 10.3390/logistics7010018.
- [5] D. Prajapati, S. Pratap, M. Zhang, Lakshay, and G. Q. Huang, "Sustainable forward-reverse logistics for multi-product delivery and pickup in B2C E-commerce towards the circular economy," *International Journal of Production Economics*, vol. 253, p. 108606, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.ijpe.2022.108606.

**Meningkatkan Efisiensi Rantai Pasokan Pangan: Pendekatan Konsolidasi Pengiriman Untuk Multi-Produk dan Multiechelon/** Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih

- [6] B. Satir, F. S. Erenay, and J. H. Bookbinder, "Shipment consolidation with two demand classes: Rationing the dispatch capacity," *European Journal of Operational Research*, vol. 270, no. 1, pp. 171–184, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.ejor.2018.03.016.
- [7] D. R. K. Jinagam, "A lagrangian relaxation approach to a multi-echelon consolidation of perishable products".
- [8] M. W. Iqbal, M. B. Ramzan, and A. I. Malik, "Food Preservation within Multi-Echelon Supply Chain Considering Single Setup and Multi-Deliveries of Unequal Lot Size," *Sustainability*, vol. 14, no. 11, p. 6782, Jun. 2022, doi: 10.3390/su14116782.
- [9] J. Chen, M. Dong, and L. Xu, "A perishable product shipment consolidation model considering freshness-keeping effort," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 115, pp. 56–86, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.tre.2018.04.009.
- [10] A. Muñoz-Villamizar, J. C. Velazquez-Martínez, and S. Caballero-Caballero, "A large-scale last-mile consolidation model for e-commerce home delivery," *Expert Systems with Applications*, vol. 235, p. 121200, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.121200.
- [11] Chen, J., Ming, D., Chen, F.F., 2017. Joint decisions of shipment consolidation and dynamic pricing of food supply chains. *Rob. Comput. Integr. Manuf.* 43 (1), 135–147
- [12] A. Barkley and K. McLeod, "Congestion and consolidation: An empirical study of a barge shipping merger," *Regional Science and Urban Economics*, vol. 93, p. 103725, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.regsciurbeco.2021.103725.
- [13] D. I. Handayani, I. Masudin, A. Rusdiansyah, and J. Suharsono, "Production-Distribution Model Considering Traceability and Carbon Emission: A Case Study of the Indonesian Canned Fish Food Industry," *Logistics*, vol. 5, no. 3, p. 59, Sep. 2021, doi: 10.3390/logistics5030059.
- [14] E. Hertini, J. Nahar, and A. K. Supriatna, "Application of linier fuzzy multi-objective programming model in travelling salesman problem," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1722, no. 1, p. 012036, Jan. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1722/1/012036.
- [15] R. Yuniarti, I. Masudin, A. Rusdiansyah, and D. I. Handayani, "Model of multiperiod production-distribution for closed-loop supply chain considering carbon emission and traceability for agri-food products," *IJIEOM*, vol. 5, no. 3, pp. 240–263, Aug. 2023, doi: 10.1108/IJIEOM-10-2022-0045.
- [16] Gearhart, J. L., Adair, K. L., Durfee, J. D., Jones, K. A., Martin, N., & Detry, R. J. (2013). Comparison of open-source linear programming solvers (No. SAND2013-8847). Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).
- [17] S. Çetinkaya, F. Mutlu, and B. Wei, "On the service performance of alternative shipment consolidation policies," *Operations Research Letters*, vol. 42, no. 1, pp. 41–47, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.orl.2013.11.003.
- [18] Reis, S. A. D., Leal, J. E., & Thomé, A. M. T. (2023). A Two-Stage Stochastic Linear Programming Model for Tactical Planning in the Soybean Supply Chain. *Logistics*, 7(3), 49.
- [19] B. Wei, S. Çetinkaya, and D. B. H. Cline, "Inbound replenishment and outbound dispatch decisions under hybrid shipment consolidation policies: An analytical model and comparison," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 175, p. 103135, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.tre.2023.103135.
- [20] T. Ardliana, I. N. Pujawan, and N. Siswanto, "A mixed-integer linear programming model for multiechelon and multimodal supply chain system considering carbon emission," *Cogent Engineering*, vol. 9, no. 1, p. 2044589, Dec. 2022, doi: 10.1080/23311916.2022.2044589.

**Meningkatkan Efisiensi Rantai Pasokan Pangan: Pendekatan Konsolidasi Pengiriman Untuk Multi-Produk dan Multiechelon/** Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2023 Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih



Prozima : Vol. 7, No. 2, Desember 2023, 154-167

E. ISSN. 2541-5115

Journal Homepage: <http://ojs.umsida.ac.id/index.php/prozima>

DOI Link: <http://doi.org/10.21070/prozima.v7i2.1673>

Article DOI: <http://doi.org/10.21070/prozima.v7i2.1673>

- 
- [21]Q. Huang, S. Ohmori, and K. Yoshimoto, “Incorporating Transportation Mode Decisions into Production-Shipping Planning: Considering Shipping Consolidation,” *OSCM: An Int. Journal*, pp. 62–72, Dec. 2020, doi: 10.31387/oscm0440286.

---

**Meningkatkan Efisiensi Rantai Pasokan Pangan: Pendekatan Konsolidasi Pengiriman Untuk Multi-Produk dan Multiechelon/** Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2023 Dwi Iryaning Handayani, Kurnia Iswardani, Haryono, Tri Prihatiningsih