Jurnal Derivat, Volume 11 No.3 Desember 2024
ISSN: 2549-2616

Penyelesaian Masalah *Transshipment* pada Pendistribusian Tempe Menggunakan Metode *Max-Min*

Febriana[1)], Helmi[2)], Fransiskus Fran[3)]
[1,2,3]Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura
email: [1]h1011201014@student.untan.ac.id
[2]helmi@math.untan.ac.id
[3]fransiskusfran@math.untan.ac.id

Abstrak:

Tempe merupakan makanan keseharian masyarakat Indonesia yang terkenal akan kandungan nutrisinya yang tinggi. Salah satu industri rumahan yang memproduksi tempe di Kota Pontianak adalah Pabrik Tempe Tuan Y. Dalam mendistribusikan tempe, Pabrik Tempe Tuan Y menerapkan sistem *transshipment* dengan dua pasar sebagai tempat transit, dimana kedua pasar ini memiliki lokasi yang berbeda-beda. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan solusi pada masalah pendistribusian tempe dan menentukan biaya distribusi minimum yang dapat dikeluarkan oleh Pabrik Tempe Tuan Y. Permasalahan pada penelitian ini adalah masalah *transshipment* dengan kendala campuran, dimana kendala sumber dan tujuan tidak hanya terdiri dari tanda persamaan tetapi juga tanda pertidaksamaan. Metode *Max-Min* merupakan metode untuk menyelesaikan masalah *transshipment* dengan kendala campuran yang dapat digunakan untuk memperoleh solusi yang optimal dari penyelesaian semua jenis masalah *transshipment*. Masalah *transshipment* disusun dalam bentuk tabel transportasi. Tabel tersebut kemudian diselesaikan menggunakan metode *Max-Min*. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan total biaya transportasi yang awalnya Rp 292.136,00 menjadi Rp 260.193,00 dengan selisih biaya sebesar Rp 31.943,00.

Kata Kunci: Masalah Transportasi, Masalah *Transshipment* dengan Kendala Campuran, Metode *Max-Min.*

Abstract:

Tempe is a daily food of Indonesian people that is famous for its high nutritional content. One of the home industries that produce tempe in Pontianak City is Pabrik Tempe Tuan Y. In distributing tempe, Pabrik Tempe Tuan Y applies a transshipment system with two markets as transit points, where these two markets have different locations. This study aims to determine the solution to the tempe distribution problem and determine the minimum distribution cost that can be incurred by Pabrik Tempe Tuan Y. The problem in this study is a transshipment problem with mixed constraints, where the source and destination constraints consist not only of equation signs but also inequality signs. The Max-Min method is a method for solving transshipment problems with mixed constraints that can be used to obtain optimal solutions from solving all types of transshipment problems. The transshipment problem is organized in the form of a transportation table. The table is then solved using the Max-Min method. The results showed a decrease in total transportation costs from Rp 292,136.00 to Rp 260,193.00 with a cost difference of Rp 31,943.00.

Keywords: *Transportation Problem, Transshipment Problem with Mixed Constraints, Max-Min Method.*

1. PENDAHULUAN

Tempe merupakan makanan keseharian masyarakat Indonesia yang terkenal akan kandungan nutrisinya yang tinggi. Tempe merupakan makanan tradisional Indonesia yang mendunia, dibuat pertama kali oleh masyarakat di daerah Jawa Tengah dan muncul pada tahun 1700-an. Tempe mengandung protein, vitamin B12, antioksidan, fitokimia dan zat bioaktif lainnya (Astuti *et al*., dalam Kristiadi & Lunggani, 2022). Industri tempe tidak

hanya berkembang di Indonesia, tempe juga diproduksi dan dijual di mancanegara. Selain kaya nutrisi, tempe mudah dijumpai dan harganya terjangkau. Oleh karena itu, tempe sangat diminati oleh masyarakat.

Salah satu industri rumahan yang memproduksi tempe di Kota Pontianak adalah Pabrik Tempe Tuan Y. Pabrik tersebut dapat memproduksi maksimal 200 kg tempe per harinya. Tempe yang telah diproduksi kemudian didistribusikan agar dapat dinikmati konsumen. Adapun distribusi diartikan sebagai kegiatan pemasaran yang berusaha memperlancar dan mempermudah penyampaian barang dan jasa dari produsen ke konsumen, sehingga penggunaanya sesuai dengan yang diperlukan (jenis, jumlah, harga, tempat, dan saat dibutuhkan) (Agustina *et al*., 2023). Distribusi dilakukan sedemikian sehingga permintaan dari beberapa tempat tujuan dapat dipenuhi dari beberapa tempat asal yang masing-masing dapat memiliki permintaan dan kapasitas yang berbeda (Aisyah *et al*., 2018). Tujuan dari kegiatan distribusi yaitu menyalurkan barang maupun jasa dari produsen ke konsumen, meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi, tercapainya pemerataan produk dan mempercepat sampainya produk ke konsumen. Dalam hal ini, pendistribusian tempe tergantung pada jarak dari pabrik ke distributor, dari distributor ke pengecer, dan harga BBM di daerah setempat.

Pendistribusian tempe dimulai dari pabrik tempe ke distributor, selanjutnya masing-masing tempe didistribusikan ke pengecer dan disalurkan ke konsumen. Pabrik Tempe Tuan Y mempunyai dua distributor yaitu Pasar Kemuning dan Pasar Pagi. Pendistribusian tempe menggunakan alat transportasi yaitu mobil toyota kijang dan sepeda motor. Alat transportasi mobil toyota kijang mendistribusikan tempe dari pabrik ke distributor dan dari satu distributor ke distributor lainnya. Alat transportasi sepeda motor mendistribusikan tempe dari pabrik ke Toko Sayur PG, dan dari distributor ke pengecer. Biaya pendistribusian tempe sepenuhnya ditanggung oleh Tuan Y. Oleh karena itu, Tuan Y harus mengeluarkan biaya seoptimal mungkin. Biaya pendistribusian yang optimal akan berpengaruh pada keuntungan yang diperoleh Tuan Y. Untuk menentukan biaya distribusi yang optimal dapat digunakan pemrograman linear.

Pemrograman linear adalah teknik matematika untuk memilih program terbaik dari sehimpunan alternatif yang mungkin dengan menggunakan fungsi linear, dimana masalah pemrograman linear adalah mengoptimalkan (memaksimumkan/meminimumkan) variabel terikat (fungsi linear dari variabel bebas) terhadap sejumlah kendala linear (Zulyadaini, 2017). Salah satu metode dalam pemrograman linear yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah pendistribusian produk adalah metode transportasi. Metode transportasi merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengatur distribusi dari sumber-sumber yang menyediakan produk yang sama ke tempat-tempat yang membutuhkan secara optimal dengan biaya yang termurah, dimana alokasi produk ini harus diatur sedemikian rupa karena terdapat perbedaan biaya-biaya alokasi dari satu sumber atau beberapa sumber ke tempat tujuan yang berbeda (Trihudiyatmanto, 2018). Istilah transportasi atau distribusi mengandung makna bahwa adanya perpindahan atau aliran barang dan jasa dari suatu tempat ke tempat yang lain, dimana dalam mendistribusikan barang memerlukan alat dan biaya transportasi (Nufus & Nurdin, 2016). Namun seringkali dalam kegiatan distribusi, produk tidak langsung dikirimkan dari sumber ke tujuan, melainkan dapat melalui satu atau beberapa tempat perantara. Permasalahan seperti ini disebut dengan permasalahan *transshipment*.

Transshipment merupakan salah satu masalah dari model transportasi yaitu suatu masalah transportasi dimana sebagian atau seluruh barang yang diangkut dari tempat asal tidak langsung dikirim ke tempat tujuan tetapi harus melalui tempat-tempat tertentu terlebih dahulu (transit) (Zulfikar *et al*., 2021). Masalah *Transshipment* pertama kali diperkenalkan oleh Orden tahun 1956, dalam artikel tersebut diberikan perluasan masalah transportasi awal dengan memasuk-kan kemungkinan *transshipment* yaitu setiap titik pengiriman atau

penerimaan diperbolehkan untuk bertindak sebagai titik perantara (Khurana, 2015). Tujuan utama masalah *transshipment* adalah untuk menentukan jumlah barang yang akan dikirim dari suatu sumber ke tempat tujuan akhir meskipun melalui tempat transit dengan ketentuan kebutuhan pada tempat tujuan akhir bisa terpenuhi, dengan total biaya yang seminimum mungkin (Basriati *et al*., 2018).

Banyak literatur yang membahas masalah *transshipment* dengan kendala sumber dan tujuan berupa persamaan, salah satunya yaitu penelitian Safir *et al*., (2017). Penelitian tersebut membahas masalah pendistribusian pupuk dengan kendala sumber dan tujuannya berbentuk persamaan. Penelitian ini menggunakan model *transshipment* untuk memodelkan proses pendistribusiannya dan menggunakan metode *Vogel's Approximation* untuk mengoptimalkan biaya pendistribusian. Penelitian lain juga membahas masalah *transshipment* dengan kendala sumber dan tujuan berupa persamaan yaitu penelitian Kurnia *et al*., (2020). Penelitian ini menggunakan software Lingo untuk menyelesaikan masalah *transshipment* tidak seimbang pada pendistribusian barang bangunan. Kajian selanjutnya dilakukan oleh Batubara *et al*., (2018) yang membahas tentang model matematika dari masalah *transshipment* dengan melakukan transformasi masalah *transshipment* ke dalam masalah transportasi

Dalam kehidupan nyata, kendala sumber dan tujuan pada permasalahan *transshipment* tidak hanya berbentuk persamaan, melainkan terdapat masalah *transshipment* dengan kendala campuran. Masalah *transshipment* dengan kendala campuran adalah model *transshipment* standar dimana kendala sumber dan tujuan tidak hanya terdiri dari tanda persamaan tetapi juga tanda lebih besar dari sama dengan atau kurang dari sama dengan (Kumari & Kumar, 2018). Masalah pada penelitian ini adalah masalah *transshipment* dengan kendala campuran sehingga metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikannya adalah dengan metode *Max-Min*. Metode *Max-Min* pertama kali diperkenalkan oleh Nikky Kumari dan Ravinder Kumar (2017). Dalam penelitian tersebut membahas tentang penerapan metode baru untuk masalah *transshipment* dengan kendala campuran, yaitu metode "*Max-Min*". Dalam penelitiannya membahas tentang contoh numerik masalah *transshipment* seimbang dengan kendala campuran yang melibatkan dua titik sumber dan dua titik tujuan. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh solusi yang optimal dari contoh yang dibahas. Metode ini dapat digunakan untuk memperoleh solusi yang optimal dari penyelesaian semua jenis masalah *transshipment*, baik maksimasi dan minimasi, seimbang atau tidak seimbang, dan terbatas.

Penelitian selanjutnya juga dilakukan oleh Nikky Kumari dan Ravinder Kumar (2018). Dalam penelitiannya membahas tentang contoh numerik masalah *transshipment* seimbang dengan kendala campuran yang melibatkan tiga titik sumber dan tiga titik tujuan. Dalam artikel tersebut menggunakan metode *Zero Suffix* untuk menentukan solusi optimal dari masalah *transshipment* dengan kendala campuran. Penelitian lainnya oleh Kumari dan Kumar (2016) yang membahas mengenai penyelesaian masalah *transshipment* dengan kendala campuran menggunakan metode Span. Metode ini dapat digunakan untuk memperoleh solusi layak awal pada permasalahan *transshipment* dengan kendala campuran (Kumari & Kumar, 2016). Dalam penelitian tersebut, diberikan contoh numerik permasalahan *transshipment* seimbang yang penyelesaiannya dengan cara mengubah kendala campuran menjadi kendala berbentuk persamaan terlebih dahulu. Sedangkan pada metode *Max-Min*, penyelesaian dapat dilakukan tanpa harus mengubah kendala campuran menjadi kendala berbentuk persamaan. Sehingga penelitian ini menggunakan metode *Max-Min*.

Oleh karena masalah pendistribusian tempe oleh Pabrik Tuan Y merupakan masalah *transshipment* dengan kendala campuran, maka metode *Max-Min* merupakan salah satu metode alternatif yang sesuai untuk menyelesaikan masalah ini. Secara khusus, pada artikel membahas penerapan metode *Max-Min* untuk mengoptimalkan pengalokasian tempe

sehingga biaya yang dikeluarkan optimal, khususnya untuk menentukan biaya minimum yang dapat dikeluarkan oleh Pabrik Tempe Tuan Y dalam mendistribusikan tempe.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah studi literatur, wawancara dan observasi. Sebelum melakukan penelitian, peneliti melakukan kajian dari beberapa literatur yang dijadikan acuan pada penelitian. Kemudian wawancara dan observasi dilakukan untuk mendapatkan data primer. Observasi tempat atau pengamatan langsung dilakukan di tempat produksi tempe, pasar kemuning dan pasar pagi, serta ke setiap pengecer yang berlokasi di Kota Pontianak dan Kabupaten Kubu Raya. Wawancara dilakukan kepada pemilik pabrik tempe yaitu Tuan Y. Produk yang dijadikan objek pada penelitian ini adalah tempe. Berdasarkan hasil wawancara dan observasi diperoleh data terkait pendistribusian tempe hasil produksi di Pabrik Tempe Tuan Y. Selanjutnya data tersebut dimodelkan dan diselesaikan menggunakan metode *Max-Min*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dibahas metode *Max-Min* dan implementasinya pada biaya distribusi tempe. Metode ini digunakan untuk meminimumkan biaya distribusi tempe pada Pabrik Tempe Tuan Y. Pembahasan dimulai dengan menjelaskan metode *Max-Min*, kemudian dilanjutkan dengan implementasi metode *Max-Min* pada masalah *transshipment* dengan kendala campuran yaitu pendistribusian tempe pada Pabrik Tempe Tuan Y.

Metode *Max-Min*

Metode *Max-Min* merupakan metode untuk menyelesaikan masalah *transshipment* dengan kendala campuran yang diusulkan oleh Dr. Nikky Kumari dan Dr. Ravinder Kumar pada tahun 2017. Metode ini merupakan metode yang dapat digunakan untuk memperoleh solusi yang optimal dari penyelesaian semua jenis masalah *transshipment*, baik maksimasi dan minimasi, seimbang atau tidak seimbang, dan terbatas (Kumari & Kumar, 2017).

Berikut tahapan menyelesaikan masalah *transshipment* dengan kendala campuran menggunakan metode *Max-Min*:

Langkah 1: Ubah masalah *transshipment* menjadi masalah transportasi yang sesuai dengan kendala campuran

Langkah 2: Pilih biaya terkecil di baris/kolom sel dengan biaya terbesar dan tetapkan kedua sel ini

Langkah 3: Hitung biaya yang terjadi pada kedua sel ini

Langkah 4: Alokasikan X_{ij} ke dalam sel yang memiliki biaya terendah dan satu sel lainnya dikosongkan

Langkah 5: Menghapus baris atau kolom yang telah dialokasikan untuk mendapatkan tabel tereduksi

Langkah 6: Ulangi proses yang sama untuk tabel tereduksi sampai semua persediaan/ permintaan habis

Langkah 7: Mengumpulkan semua sel yang telah dialokasikan dari tabel sebelumnya, sehingga diperoleh solusi optimal dari masalah *transshipment* seimbang dengan kendala campuran.

Berikut diberikan tabel aturan untuk pengalokasian pada sel dalam tabel transportasi, dimana batas persediaan dan permintaannya diketahui. Tabel aturan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Aturan pengalokasian pada masalah *transshipment* dengan kendala campuran

Persediaan	Permintaan	Penugasan
s_i	d_j	
$=$	$=$	$\min(s_i, d_j)$
$=$	$\leq$	$\min(s_i, d_j)$
$=$	$\geq$	s_i
$\leq$	$\leq$	0
$\leq$	$=$	$\min(s_i, d_j)$
$\leq$	$\geq$	s_i
$\geq$	$\geq$	$\min(s_i, d_j)$
$\geq$	$=$	d_j
$\geq$	$\leq$	d_j

(*Sumber: Kumari and Kumar, 2017: 8381)*

Kasus Data

Penelitian menggunakan data di Pabrik Tempe Tuan Y. Pabrik tempe tersebut memiliki dua distributor yaitu Pasar Kemuning dan Pasar Pagi dengan enam pengecer yaitu toko sayur PG, toko sayur A, toko sayur P, toko sayur AK, kedai gorengan B dan warung M. Pendistribusian tempe menggunakan mobil toyota kijang dan sepeda motor. Data pada penelitian ini berupa data persediaan, data permintaan dan biaya pendistribusian tempe per hari. Pabrik tempe mampu memproduksi tempe maksimal sebanyak 200 kg, kemudian data permintaan tempe dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 berikut.

Tabel 2. Data permintaan tempe pada distributor

Nama Distributor	Permintaan Tempe per hari (kg)
Pasar Kemuning	60
Pasar Pagi	50
Total	110

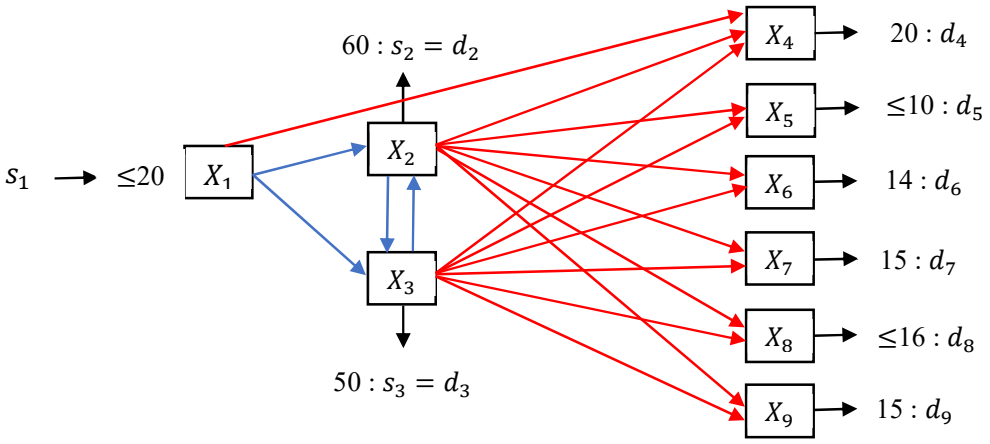
(Sumber: Pabrik Tempe Tuan Y)

Tabel 3. Data permintaan tempe pada pengecer

Nama Pengecer	Permintaan Tempe per hari (kg)
Toko Sayur PG	20
Toko Sayur A	≤10
Toko Sayur P	14
Toko Sayur AK	15
Kedai Gorengan B	≤16
Warung M	15
Total	90

(Sumber: Pabrik Tempe Tuan Y)

Rute yang dapat dilalui untuk mendistribusikan tempe dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Bagan pendistribusian tempe pada Pabrik Tempe Tuan Y

Keterangan:
X_1 : Pabrik tempe
X_2 : Pasar Kemuning
X_3 : Pasar Pagi
X_4 : Toko sayur PG
X_5 : Toko sayur A
X_6 : Toko sayur P
X_7 : Toko sayur AK
X_8 : Kedai Gorengan B
X_9 : Warung M
s_i : banyaknya persediaan pada sumber i
d_j : banyaknya permintaan dari tujuan j
: Alat transportasi mobil
: Alat transportasi motor
: Menunjukkan persediaan dan permintaan

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa tidak terdapat jalur langsung dari X_1 ke X_5 sampai X_9. Hal ini merupakan pertimbangan dari Tuan Y sebagai pemilik pabrik bahwa pendistribusian tempe ke tempat tujuan X_5 sampai X_9 tidak dilakukan dari pabrik melainkan melalui distributor, dikarenakan besarnya biaya distribusi dari X_1 ke X_5 sampai X_9

Adapun biaya pendistribusian tempe yang dikeluarkan oleh pabrik tempe per hari ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Biaya pendistribusian per kg tempe

Asal	Tujuan	Biaya (Rp)
Pabrik Tempe	Pasar Kemuning	709
	Pasar Pagi	691
	Toko Sayur PG	1.503
Pasar Kemuning	Pasar Pagi	761
	Toko Sayur PG	1.600
	Toko Sayur A	1.782
	Toko Sayur P	1.527

	Toko Sayur AK	1.341
	Kedai Gorengan B	1.488
	Warung MT	1.561
Pasar Pagi	Pasar Kemuning	717
	Toko Sayur PG	1.554
	Toko Sayur A	1.886
	Toko Sayur P	1.600
	Toko Sayur AK	1.437
	Kedai Gorengan B	1.398
	Warung M	1.486

Formulasi Masalah

Masalah transshipment yang telah diperoleh diformulasikan ke dalam bentuk program linear. Masalah program linear tersebut terdiri dari variabel keputusan, fungsi tujuan dan fungsi kendala.

a. Variabel Keputusan
Variabel keputusan dalam masalah ini adalah banyaknya per kg tempe yang didistribusikan dari sumber i ke masing-masing tujuan j. Banyaknya tempe yang dialokasikan dari sumber i ke tujuan j dinotasikan dengan X_{ij} dengan $i = 1,2,3$ dan $j = 2,3,4, \ldots,9$.

b. Fungsi Tujuan
Tujuan dari penelitian ini adalah meminimumkan biaya distribusi tempe dari sumber ke tujuan. Biaya distribusi merupakan jumlah hasil kali antara biaya transportasi dengan banyaknya tempe yang didistribusikan.
Fungsi tujuan dari penelitian ini yaitu:
Meminimumkan:

$$Z = \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=2}^{9} c_{ij} X_{ij}$$

$$Z = 709X_{12} + 691X_{13} + 1503X_{14} + 761X_{23} + 1600X_{24} + 1782X_{25} + 1527X_{26} + 1341X_{27} + 1488X_{28} + 1561X_{29} + 717X_{32} + 1554X_{34} + 1886X_{35} + 1600X_{36} + 1437X_{37} + 1398X_{38} + 1486X_{39}$$

c. Fungsi Kendala
Terdapat beberapa kendala terkait persediaan dan permintaan tempe. Kendala tersebut diantaranya sebagai berikut:

i) Sumber
$X_{12} + X_{13} + X_{14} \leq 200$

ii) Transit
$X_{12} + X_{32} - X_{23} - X_{24} - X_{25} - X_{26} - X_{27} - X_{28} - X_{29} = 0$
$X_{13} + X_{23} - X_{32} - X_{34} - X_{35} - X_{36} - X_{37} - X_{38} - X_{39} = 0$

iii) Tujuan
$X_{14} + X_{24} + X_{34} = 20$
$X_{25} + X_{35} \leq 10$
$X_{26} + X_{36} = 14$
$X_{27} + X_{37} = 15$
$X_{28} + X_{38} \leq 16$
$X_{29} + X_{39} = 15$

iv) Fungsi kendala tak negatif
$X_{ij} \geq 0$ untuk semua i dan j

Keterangan:
X_{ij} : banyaknya per kg tempe yang didistribusikan dari sumber i ke tujuan j dengan $i = 1,2,3$ dan $j = 2,3,4,\dots,9$.
c_{ij} : biaya pengiriman per kg tempe dari sumber i ke tujuan j dengan $i = 1,2,3$ dan $j = 2,3,4,\dots,9$.

Penyelesaian Pendistribusian Tempe Menggunakan Metode *Max-Min*

Formulasi masalah yang diperoleh dicari solusi optimalnya menggunakan metode *Max-Min*. Berikut ini langkah-langkah penyelesaian masalah pendistribusian tempe:

Langkah 1: Ubah masalah *transshipment* menjadi masalah transportasi yang sesuai dengan kendala campuran.

i) Menyeimbangkan tabel
Dalam penelitian ini jumlah permintaan sama dengan jumlah persediaan yaitu 200 kg tempe, sehingga saat mengubah kedalam tabel transshipment tidak perlu menambahkan variabel *dummy*.

ii) Menentukan titik yang merupakan titik sumber, titik tujuan, dan titik perantara.
Dari Gambar 3.1 terlihat bahwa titik yang merupakan sumber adalah titik X_1, titik yang merupakan tujuan adalah titik X_4, X_5, X_6, X_7, X_8 dan X_9, serta titik yang merupakan perantara adalah titik X_2 dan X_3.

iii) Menentukan jumlah persediaan dan jumlah permintaan tiap titik
Karena $T = s_1 = \sum_{j=3}^{4} d_j = 200$, maka ubah masalahnya menjadi transportasi linier dengan kendala campuran dengan menambahkan 200 kg pada persediaan X_2 dan X_3 serta pada permintaan X_2 dan X_3.

iv) Tentukan biaya pengiriman dari A_i ke B_j.

$$c_{ij} = \begin{cases} c_{ij}\,, & \text{jika ada jalur langsung dari } A_i \text{ ke } B_j \\ 0\,, & \text{jika } i = j \\ M\,, & \text{jika tidak ada jalur langsung dari } A_i \text{ ke } B_j \end{cases}$$

M adalah bilangan positif yang sangat besar.

v) Membuat tabel transportasi
Selanjutnya dapat dibuat tabel transportasi yang sesuai dengan masalah *transshipment* pada penelitian ini, dengan 3 buah baris sumber yakni X_1, X_2, X_3 dan 8 buah kolom tujuan yakni X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, dan X_9.

Tabel awal transportasi dengan biaya transportasi untuk masalah pengiriman tempe yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Tabel awal transportasi

Dari	Tujuan								Persediaan
	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	
X_1	709 X_{12}	691 X_{13}	1503 X_{14}	M X_{15}	M X_{16}	M X_{17}	M X_{18}	M X_{19}	≤200
X_2	0 X_{22}	761 X_{23}	1600 X_{24}	1782 X_{25}	1527 X_{26}	1341 X_{27}	1488 X_{28}	1561 X_{29}	200
X_3	717 X_{32}	0 X_{33}	1554 X_{34}	1886 X_{35}	1600 X_{36}	1437 X_{37}	1398 X_{38}	1486 X_{39}	200
Permintaan	260	250	20	≤10	14	15	≤16	15	600

Langkah 2: Pilih biaya terkecil di baris/kolom sel dengan biaya terbesar dan tetapkan kedua sel ini.

Biaya terbesar pada Tabel 5 adalah M yang sesuai dengan sel (X_1, X_5), (X_1, X_6), (X_1, X_7), (X_1, X_8) dan (X_1, X_9). Misalkan pilih sel (X_1, X_5). Sel dengan biaya terkecil pada barisnya adalah (X_1, X_3) dan sel dengan biaya terkecil pada kolomnya adalah (X_2, X_5).

Langkah 3: Hitung biaya yang terjadi pada kedua sel ini.

Kemungkinan pengalokasian dalam sel (X_1, X_3) dan (X_2, X_5) masing-masing adalah 200 dan 10. Alokasi diperoleh dengan cara mencari nilai minimum dari persediaan X_1 dan permintaan X_3 serta nilai minimum dari persediaan X_2 dan permintaan X_5 yang dinyatakan sebagai berikut:

$$X_{13} = min\{200{,}250\} = 200$$
$$X_{25} = min\{10{,}200\} = 10$$

Selanjutnya menghitung biaya distribusi pada sel (X_1, X_3) dan (X_2, X_5) yang dinyatakan sebagai berikut:

$$c_{13} = 200 \times Rp\ 691{,}00 = Rp\ 138.200{,}00 \text{ dan } c_{25} = 10 \times Rp\ 1.782{,}00 = Rp\ 17.820{,}00$$

Diperoleh biaya distribusi pada sel (X_1, X_3) dan (X_2, X_5) masing-masing sebesar $Rp\ 138.200{,}00$ dan $Rp\ 17.820{,}00$.

Langkah 4: Alokasikan X_{ij} ke dalam sel yang memiliki biaya terendah dan satu sel lainnya dikosongkan. Alokasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Alokasi ke-1

Dari	Tujuan								Persediaan
	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	
X_1	709 X_{12}	691 X_{13}	1503 X_{14}	M 0	M X_{16}	M X_{17}	M X_{18}	M X_{19}	≤200
X_2	0 X_{22}	761 X_{23}	1600 X_{24}	1782 10	1527 X_{26}	1341 X_{27}	1488 X_{28}	1561 X_{29}	190
X_3	717 X_{32}	0 X_{33}	1554 X_{34}	1886 0	1600 X_{36}	1437 X_{37}	1398 X_{38}	1486 X_{39}	200
Permintaan	260	250	20	0	14	15	≤16	15	590

Alokasi ke-1: Alokasikan X_{ij} ke dalam sel yang memiliki biaya terendah yaitu (X_2, X_5) dengan biaya $Rp\ 17.820{,}00$ dan sel (X_1, X_3) dikosongkan. Pada X_{25} dialokasikan 10 kg. Alokasi diperoleh dengan cara mencari nilai minimum dari persediaan X_2 dan permintaan X_5 yang dinyatakan sebagai berikut:

$$X_{25} = min\{10{,}200\} = 10$$

Karena permintaan dari X_5 telah terpenuhi, dengan demikian sisa persediaan X_2 adalah $(200 - 10) = 190$ kg.

Langkah 5: Menghapus baris atau kolom yang telah dialokasikan untuk mendapatkan tabel tereduksi, dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Tabel tereduksi

Dari	Tujuan							Persediaan
	X_2	X_3	X_4	X_6	X_7	X_8	X_9	
X_1	709 X_{12}	691 X_{13}	1503 X_{14}	M X_{16}	M X_{17}	M X_{18}	M X_{19}	≤200
X_2	0 X_{22}	761 X_{23}	1600 X_{24}	1527 X_{26}	1341 X_{27}	1488 X_{28}	1561 X_{29}	190
X_3	717 X_{32}	0 X_{33}	1554 X_{34}	1600 X_{36}	1437 X_{37}	1398 X_{38}	1486 X_{39}	200
Permintaan	260	250	20	14	15	≤16	15	590

Langkah 6: Ulangi proses yang sama untuk tabel tereduksi sampai semua persediaan/permintaan habis.

Jika semua permintaan dan persediaan sudah terpenuhi, lanjutkan pada langkah 7. Jika masih terdapat permintaan dan persediaan yang belum terpenuhi maka ulangi langkah 2 sampai semua alokasi terpenuhi.

Langkah 7: Merangkum semua sel yang telah dialokasikan dari tabel sebelumnya, sehingga diperoleh solusi optimal dari masalah *transshipment* seimbang dengan kendala campuran.

Setelah semua alokasi terpenuhi, masukkan semua hasil alokasi dari tabel tereduksi ke tabel awal transportasi seperti pada Tabel 8 berikut. Kemudian hitung total biaya transportasi.

Tabel 8. Hasil solusi menggunakan metode *Max-Min*

Dari	Tujuan								Persediaan
	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	
X_1	709 99	691 81	1503 20	M	M	M	M	M	0
X_2	0 161	761	1600	1782 10	1527 14	1341 15	1488	1561	0
X_3	717	0 169	1554	1886	1600	1437	1398 16	1486 15	0
Permintaan	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan Tabel 8 diketahui jumlah alokasi tempe yang didistribusikan dari sumber i ke tujuan j sebesar:

$X_{12} = 99, X_{13} = 81, X_{14} = 20,\ X_{25} = 10, X_{26} = 14, X_{27} = 15, X_{38} = 16, X_{39} = 15$

Berdasarkan jumlah alokasi tempe tersebut, diperoleh biaya transportasi yang dikeluarkan sebesar:

$$Z = 709X_{12} + 691X_{13} + 1353X_{14} + 1782X_{25} + 1527X_{26} + 1341X_{27} + 1398X_{38} + 1486X_{39}$$

$$Z = 709(99) + 691(81) + 1503(20) + 1782(10) + 1527(14) + 1341(15) + 1398(16) + 1486(15)$$

$$Z = 70.191 + 55.971 + 30.060 + 17.820 + 21.378 + 20.115 + 22.368 + 22.290$$

$$Z = 260.193$$

Diperoleh biaya transportasi pendistribusian tempe menggunakan metode *Max-Min* sebesar Rp. 260.193,00.

Perbandingan Jalur Awal dengan Jalur Hasil Analisis

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode *Max-Min* maka dilakukan perbandingan rute lama pendistribusian dengan rute pendistribusian hasil analisis.

Tabel 9. Jalur awal

No	Jenis Kendaraan	Jalur	Banyaknya Tempe yang Dikirim (Kg)	Biaya Pendistribusian (Rp)
1	Mobil	Pabrik ke Pasar Pagi	100	69.100,00
2	Mobil	Pasar Pagi ke Pasar Kemuning	40	28.680,00
3	Mobil	Pabrik ke Pasar Kemuning	80	56.720,00
4	Mobil	Pabrik ke Toko Sayur PG	20	30.060,00
5	Motor	Pasar Kemuning ke Toko Sayur P	14	21.378,00
6	Motor	Pasar Kemuning ke Toko Sayur AK	15	20.115,00
7	Motor	Pasar Kemuning ke Kedai Gorengan B	16	23.808,00
8	Motor	Pasar Kemuning ke Warung M	15	23.415,00
9	Motor	Pasar Pagi ke Toko Sayur A	10	18.860,00
		Total		**292.136,00**

Berdasarkan Tabel 9 jalur awal pendistribusian berjumlah 9 jalur dengan biaya pendistribusian sebesar Rp 292.136,00.

Tabel 10. Jalur menggunakan metode *Max-Min*

No	Jenis Kendaraan	Jalur	Banyaknya Tempe yang Dikirim (Kg)	Biaya Pendistribusian (Rp)
1	Mobil	Pabrik ke Pasar Kemuning	99	70.191,00
2	Mobil	Pabrik ke Pasar Pagi	81	55.971,00
3	Mobil	Pabrik ke Toko Sayur PG	20	30.060,00
4	Motor	Pasar Kemuning ke Toko Sayur A	10	17.820,00
5	Motor	Pasar Kemuning ke Toko Sayur P	14	21.378,00
6	Motor	Pasar Kemuning ke Toko Sayur AK	15	20.115,00
7	Motor	Pasar Pagi ke Kedai Gorengan B	16	22.368,00
8	Motor	Pasar Pagi ke Warung M	15	22.290,00
		Total		260.193,00

Berdasarkan Tabel 10, diperoleh biaya distribusi hasil analisis sebesar Rp 260.193,00 dengan pendistribusian tempe pada masing-masing tujuan yaitu:

a. Pabrik Tempe mengalokasikan barang sebanyak 99 kg ke Pasar Kemuning, sebanyak 81 kg ke Pasar Pagi dan sebanyak 20 kg ke Toko Sayur PG.
b. Pasar Kemuning mengalokasikan barang sebanyak 10 kg ke Toko Sayur A, sebanyak 14 kg ke Toko Sayur P dan sebanyak 15 kg ke Toko Sayur AK.

c. Pasar Pagi mengalokasikan barang sebanyak 16 kg ke Kedai Gorengan B dan sebanyak 15 kg ke Warung M.

Dari Tabel 9 dan Tabel 10, dapat dilihat perbandingan antara jalur distribusi awal dan jalur distribusi usulan. Adanya jalur distribusi usulan, pemenuhan permintaan untuk Toko Sayur A tidak dilakukan oleh Pasar Pagi melainkan dilakukan oleh Pasar Kemuning, pemenuhan permintaan untuk Kedai Gorengan B dan Warung M tidak dilakukan oleh Pasar Kemuning melainkan dilakukan oleh Pasar Pagi. Jalur pendistribusian seperti ini dapat meminimalkan biaya pengiriman. Banyaknya pengalokasian barang menurut kebijakan pabrik tempe dengan pengalokasian barang pada model *transshipment* yang menggunakan metode *Max-Min* terdapat perbedaan yang cukup signifikan, serta perbedaan biaya distribusi yang berbeda. Dari kebijakan Pabrik Tempe Tuan Y biaya yang diperlukan untuk mendistribusikan tempe sebesar Rp 292.136,00, sedangkan hasil analisis dengan metode *Max-Min* diperoleh biaya pendistribusian sebesar Rp 260.193,00. Jika menggunakan analisis tersebut maka dapat menekan biaya distribusi yang dikeluarkan oleh pabrik sebesar Rp 31.943,00. Dari analisis tersebut, dapat diketahui bahwa proses pendistribusian barang di Pabrik Tempe Tuan Y belum efektif, sehingga diharapkan pada masa yang akan datang kebijakan yang efektif terutama pada pendistribusian barang akan lebih baik dan tepat.

4. KESIMPULAN

Penyelesaian masalah *transshipment* pendistribusian tempe di Pabrik Tempe Tuan Y dimulai dari membentuk model matematika masalah *transshipment*, dilanjutkan dengan mengubah masalah *transshipment* ke dalam masalah transportasi, kemudian menentukan solusi menggunakan metode *Max-Min*. Berdasarkan data dari pabrik tempe, biaya pendistribusian tempe dengan menggunakan jalur awal adalah Rp 292.136,00. Sedangkan perhitungan biaya pendistribusian menggunakan metode *Max-Min* dengan mengalokasikan tempe secara optimal adalah Rp 260.193,00. Selisih antara perhitungan biaya pendistribusian dari pabrik tempe dan metode *Max-Min* adalah Rp 31.943,00. Dengan demikian dapat disimpulkan pabrik tempe dapat meminimumkan biaya pendistribusian sebesar Rp 260.193,00 dengan mengalokasikan tempe sesuai perhitungan metode *Max-Min*.

5. REFERENSI

Agustina, E. S., Sonani, N., Awaluddin, Kardini, N. L., & Aghivirwiati, G. A. (2023). *Manajemen Distribusi*. Batam: Yayasan Cendikia Mulia Mandiri.

Aisyah, Purnamasari, I., & Nasution, Y. N. (2018). Penerapan Metode Vogel's Approximation Method (VAM) dan Modified Distribution (MODI) Dalam Penyelesaian Transshipment Problem. *Jurnal EKSPONENSIAL*, *9*(2), 187–196.

Basriati, S., Andriati, R., Safitri, E., Matematika, J., Sains dan Teknologi, F., Sultan Syarif Kasim Riau Jl Soebrantas No, U. H., & Baru, S. (2018). Penyelesaian Model Transshipment dengan Metode Least Cost, North West Corner dan vogel's Approximation Method (Studi Kasus: PT. Subur Bangun Transport). *Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi Dan Industri (SNTIKI-10*, *November*, 2579–5406.

Batubara, P.. Rosmaini, E., & Nababan, E. (2018). Kajian Masalah Transshipment Tidak Seimbang Menggunakan Metode Least Cost - Stepping Stone Dan Metode Least Cost - Modi. *TALENTA Conference Series: Science & Technology*, *1*(1).

Khurana, A. (2015). Variants of transshipment problem. *European Transport Research Review*, *7*(2).

Kristiadi, O. H., & Lunggani, A. T. (2022). TEMPE KACANG KEDELAI SEBAGAI PANGAN FERMENTASI UNGGULAN KHAS INDONESIA: LITERATURE REVIEW Tempeh as Indonesian Special Fermented Food: Literature Review. *Jurnal Andaliman-Jurnal Gizi Pangan, Klinik Dan Masyarakat*, *2*(2), 48–56.

Kumari, N., & Kumar, R. (2016). Span Method for Solving The Transshipment Problem with Mixed Constraints. *International Journal of Mathematical Sciences and Enginering*, *10*(I), 221–232.

Kumari, N., & Kumar, R. (2017). Max-Min Method for Solving Transshipment Problem with Mixed Constraints. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, *13*(12), 8373–8386.

Kumari, N., & Kumar, R. (2018). *Zero Suffix Method for the Transshipment Problem with Mixed Constraints*. *9*(3), 242–251.

Kurnia, N.S., Septiawan, D., & Anggraeni, N.F. (2020). Analisis Masalah Transhipment Menggunakan Software Lingo Di Pt.Sbt. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, *6*(2), 94–99.

Nufus, H., & Nurdin, E. (2016). *Program Linear*. Pekanbaru: Cahaya Firdaus.

Safir, M., Musdalifah, S., & Lusiyanti, D. (2017). Optimalisasi Pendistribusian Pupuk Di Wilayah Sulawesi Tengah Melalui Model Transshipment Dengan Menggunakan Metode Vogel Approximation. *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Terapan*, *12*(2), 211–221.

Trihudiyatmanto, M. (2018). *Riset Operasional (Operation Research) & Penyelesaian Menggunakan Software WinQSB*. Pekalongan: PT Nasya Expanding Management.

Zulfikar, M. R., Isdy, A. P., Haryadi, F., & Fauzi, M. (2021). Analisis Perbandingan Biaya Transshipment Metode Vogel Approximation Method (Vam) Dengan Lingo Pada Distribusi Sepeda Motor Di Pt. Abc. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, *1*(1), 1–9.

Zulyadaini. (2017). *Program Linier*. Yogyakarta: Tangga Ilmu.