

## PENERAPAN MODEL TRANSPORTASI UNTUK OPTIMASI BIAYA ALOKASI MATERIAL PADA PROYEK KONSTRUKSI JALAN

Suriati Abd. Muin<sup>1\*</sup>, Suharman Hamzah<sup>2</sup>, Muhammad Asad Abdurrahman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Doktor Ilmu Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan

<sup>2</sup> Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan

\*Email: suriati.abdmuin@umi.ac.id

### Abstrak

Alokasi material pada proyek konstruksi jalan merupakan salah satu komponen biaya terbesar yang sering belum optimal akibat penggunaan metode konvensional. Oleh karena itu perlu adanya model transportasi untuk efisiensi biaya alokasi material. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan biaya minimum dan menentukan pola alokasi material agregat kelas A. Metode yang digunakan adalah model transportasi seimbang dengan *North West Corner Rule* (NWCR) sebagai solusi awal, *method of multipliers* untuk menguji optimalitas dan *Loop Construction* untuk memperoleh solusi optimal yaitu memperbaiki alokasi hingga tercapai biaya minimum. Data yang dianalisis meliputi volume kebutuhan material, kapasitas sumber, dan biaya transportasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini mampu menurunkan biaya distribusi material. Biaya alokasi material agregat kelas A mengalami penurunan biaya sebesar Rp. 34.671.000,- dengan efisiensi 0,607%. Dengan demikian, penerapan model transportasi efektif dalam mengoptimalkan alokasi material. Sebagai rekomendasi, penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar perencanaan alokasi material untuk meningkatkan efisiensi biaya proyek.

**Kata kunci:** alokasi material, optimasi biaya, model transportasi, northwest corner rule, loop construction

### Abstract

*Material allocation in road construction projects is one of the largest cost components that is often not optimal due to the use of conventional methods. Therefore, it is necessary to have a transportation model for material allocation cost efficiency. This study aims to obtain the minimum cost and determine the allocation pattern of class A aggregate materials. The data analyzed include the volume of material requirements, source capacity, and transportation costs. The results of the study show that this method is able to significantly reduce distribution costs. The cost of class A aggregate material allocation has decreased by Rp. 34,671,050 with an efficiency of 0.607%. Thus, the application of the transportation model is effective in optimizing material allocation. As a recommendation, this research is expected to be used as a basis for material allocation planning to improve project cost efficiency.*

**Keywords:** material allocation, cost optimization, transportation model, northwest corner rule, loop construction

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Alokasi material dalam proyek konstruksi jalan merujuk pada proses strategis penentuan jumlah material yang akan disuplai dari setiap sumber ke lokasi pekerjaan secara efektif. Distribusi material yang tidak terencana dengan baik dapat menyebabkan ketidakseimbangan antara *supply* dan *demand*, peningkatan biaya transportasi, keterlambatan pekerjaan, serta menurunnya efisiensi pelaksanaan proyek. Hamzah et al. (2023) menegaskan bahwa pengelolaan material dan proses logistik konstruksi merupakan faktor kunci dalam mendukung pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan, khususnya pada proyek-proyek berskala besar yang melibatkan penggunaan material dalam jumlah signifikan. Praktik manajemen material yang efektif telah terbukti berkontribusi pada peningkatan kinerja proyek, termasuk peningkatan pengendalian biaya, waktu, dan produktivitas, sedangkan ketidakefisienan dalam manajemen material berisiko menyebabkan pemborosan biaya dan gangguan kelancaran pelaksanaan proyek (Yıldız, 2024; Kar & Jha, 2020).

Model transportasi dalam pengangkutan material adalah sebuah pendekatan yang digunakan untuk mengorganisir distribusi material dari sumber ke tujuan dengan alokasi produk yang dipertimbangkan sedemikian rupa sehingga biaya yang dikeluarkan dapat dioptimalkan (Achmad Sutarna et al., 2024).

Di sisi lain, penelitian yang secara khusus mengkaji tentang model transportasi khususnya kombinasi metode *Northwest Corner Rule* dan *Loop Construction* untuk mengoptimalkan biaya alokasi material konstruksi masih relatif terbatas. Banyak studi membahas NWCR atau metode optimasi transportasi lainnya

secara terpisah, namun belum secara sistematis mengeksplorasi bagaimana kombinasi kedua metode tersebut dapat diterapkan untuk menghasilkan pola alokasi material yang efisien dari sisi biaya pada proyek infrastruktur jalan. Akibatnya, terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) antara pengembangan metode optimasi transportasi secara teoritis dan penerapannya secara kontekstual untuk menjawab permasalahan biaya alokasi material konstruksi di lapangan.

Penelitian di bidang konstruksi jalan yang membahas manajemen material umumnya juga menitikberatkan pada aspek inventori, penjadwalan, atau manajemen rantai pasok secara konseptual (Ahyaningsih, 2023; Putra et al., 2020). Pendekatan tersebut sering kali belum dilengkapi dengan formulasi matematis alokasi material yang eksplisit dan pengujian optimalitas secara kuantitatif, sehingga belum mampu memberikan solusi operasional yang terukur untuk pengambilan keputusan alokasi material di tingkat proyek (Zhang et al., 2021; Li & Lu, 2022). Kondisi ini juga menunjukkan adanya kesenjangan antara teori optimasi transportasi dan praktik pengelolaan material pada proyek infrastruktur jalan khususnya di Indonesia.

Seperti pada proyek preservasi jalan yang merupakan salah satu proyek infrastruktur jalan yang secara nyata merepresentasikan kompleksitas permasalahan alokasi material konstruksi di lapangan karena terdiri dari beberapa ruas jalan dalam satu paket pekerjaan. Dalam praktik pelaksanaannya, pengambilan keputusan terkait sumber material, volume distribusi, dan pola pengiriman pada proyek preservasi jalan ini masih didominasi oleh pendekatan konvensional yang berbasis pengalaman teknis dan kebiasaan pelaksanaan pada proyek-proyek sebelumnya. Penentuan alokasi material umumnya dilakukan tanpa perhitungan optimasi matematis yang terstruktur, sehingga belum mempertimbangkan secara sistematis potensi penghematan biaya alokasi dan peningkatan efisiensi distribusi material serta tidak berbasis analisis kuantitatif yang mampu mengidentifikasi kombinasi alokasi material dengan biaya minimum. Akibatnya, peluang efisiensi biaya yang seharusnya dapat dicapai melalui optimasi alokasi material belum dimanfaatkan secara optimal, apalagi pada proyek yang mencakup beberapa ruas jalan, melibatkan lebih dari satu sumber material, serta memiliki variasi jarak angkut dan kebutuhan material yang berbeda-beda di setiap lokasi pekerjaan. Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada penyelesaian matematis model transportasi tanpa melakukan evaluasi terhadap efisiensi biaya distribusi berdasarkan kondisi aktual supply dan demand antar sumber material dan lokasi tujuan. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada optimasi alokasi material agregat kelas A menggunakan model transportasi melalui kombinasi metode *Northwest Corner Rule*, *Method of Multipliers* dan *Loop Construction* untuk memperoleh solusi distribusi dengan biaya minimum pada proyek konstruksi jalan.

Model transportasi dalam riset operasi dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan distribusi material secara sistematis dan optimal. Menurut Taha (2017), model transportasi bertujuan untuk meminimalkan biaya distribusi dengan mempertimbangkan keterbatasan supply dan demand. Sementara itu, metode optimasi seperti *Northwest Corner Rule*, *Method of Multipliers*, dan *Loop Construction* dapat digunakan untuk memperoleh solusi optimal secara bertahap (Erviyanto, 2004). Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan biaya alokasi material konstruksi menggunakan model transportasi sehingga diperoleh pola alokasi material dengan biaya minimum. Kontribusi penelitian ini terletak pada penerapan model transportasi untuk mengoptimalkan distribusi material agregat kelas A berdasarkan kondisi supply-demand aktual pada proyek konstruksi jalan, serta mengevaluasi penghematan biaya distribusi antara kondisi awal dan kondisi optimal.

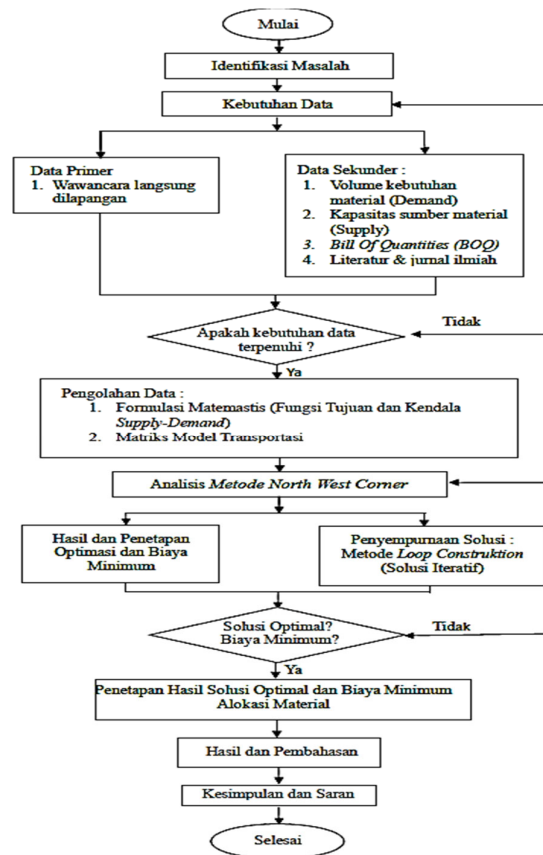
## 2. METODOLOGI

Model transportasi digunakan untuk menentukan alokasi material dari beberapa sumber ke beberapa tujuan dengan tujuan meminimalkan total biaya distribusi. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah model transportasi seimbang untuk menentukan biaya alokasi material dengan biaya minimum. Tahapan analisis dilakukan sebagai berikut:

- 1) Identifikasi sumber material (*supply*) dan lokasi tujuan (*demand*).
- 2) Penentuan volume *supply* dan *demand* berdasarkan data proyek.
- 3) Penyusunan matriks biaya transportasi berdasarkan jarak dan biaya angkut.
- 4) Penentuan solusi awal menggunakan metode *North West Corner Rule*, Adapun langkahnya sebagai berikut:
  - a) Menyusun matriks transportasi yang memuat sumber, tujuan, *supply*, *demand*, dan biaya;
  - b) Melakukan alokasi dari sel pojok kiri atas matriks;
  - c) Menentukan nilai alokasi berdasarkan nilai minimum antara *supply* dan *demand*;

- d) Mengeliminasi baris atau kolom yang telah terpenuhi;
- e) Mengulangi proses hingga seluruh *supply* dan *demand* terpenuhi.
- 5) Proses optimasi biaya menggunakan metode *Loop Construction*, Adapun langkahnya sebagai berikut:
  - a) Menentukan sel kosong yang berpotensi menurunkan biaya;
  - b) Membentuk lintasan tertutup dengan pergerakan horizontal dan vertikal;
  - c) Memberikan tanda positif (+) dan negatif (-) secara bergantian;
  - d) Menghitung nilai perubahan biaya distribusi;
  - e) Melakukan redistribusi alokasi apabila terjadi pengurangan biaya;
  - f) Mengulangi iterasi hingga tidak terdapat lagi penurunan biaya.
- 6) Perhitungan total biaya distribusi material.
- 7) Analisis dan interpretasi hasil untuk penarikan kesimpulan.

Pendekatan iteratif ini memastikan bahwa setiap siklus perbaikan benar-benar menurunkan total biaya distribusi, sehingga solusi yang dihasilkan bersifat optimal secara matematis (Muin S, 2023;). Penelitian ini bersifat kuantitatif karena menggunakan data numerik berupa volume material, jarak distribusi, dan biaya angkut yang dianalisis menggunakan model transportasi. Pendekatan studi kasus digunakan karena penelitian difokuskan pada satu proyek konstruksi jalan. Biaya distribusi aktual per satuan volume merupakan variabel biaya (*cost*) yang akan digunakan sebagai koefisien dalam fungsi tujuan model transportasi.



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

Secara matematis model transportasi terdiri dari fungsi tujuan dan fungsi kendala sebagai berikut (Hermansyah, Helmi, 2016):

Fungsi Tujuan:

$$\text{M i n i m u m } Z = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Dengan fungsi kendala yang terdiri dari :

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = A_i ; i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = B_j ; j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

Dimana :

$C_{ij}$  = biaya transportasi per unit barang dari sumber  $i$  ke tujuan  $j$

$X_{ij}$  = jumlah barang yang didistribusikan dari sumber  $i$  ke tujuan  $j$

$A_i$  = jumlah barang yang ditawarkan atau kapasitas dari sumber  $i$

$B_j$  = jumlah barang yang diminta atau dipesan oleh tujuan  $j$

$m$  = banyaknya sumber

$n$  = banyaknya tujuan

Permasalahan transportasi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu transportasi seimbang dan transportasi tak seimbang. Namun pada penelitian kali ini hanya digunakan transportasi seimbang. Transportasi dikatakan seimbang apabila jumlah penawaran pada sumber  $i$  sama dengan jumlah permintaan pada tujuan  $j$  yang dapat ditulis sebagai berikut (Hermansyah, Helmi, 2016) :

$$\sum_{j=1}^m A_i = \sum_{i=1}^n B_j \quad (3)$$

### 3.2 Data Penelitian

Data penelitian diperoleh dari kondisi distribusi material pada beberapa ruas proyek konstruksi jalan di Provinsi Sulawesi Selatan. Data yang digunakan meliputi kebutuhan material pada setiap ruas jalan, kapasitas supply dari sumber material, serta biaya distribusi material dari sumber ke lokasi tujuan. Untuk memudahkan proses analisis dan penyajian data dalam model transportasi, identitas ruas jalan dan sumber material direpresentasikan dalam bentuk kode R1–R5 dan SM1–SM3.

Biaya distribusi material disusun berdasarkan data lapangan, estimasi biaya angkutan material, serta penyesuaian terhadap karakteristik jarak distribusi antar lokasi. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam analisis model transportasi untuk mengevaluasi pola alokasi material dan efisiensi biaya distribusi. Nilai biaya distribusi dalam penelitian ini digunakan untuk menggambarkan pola alokasi dan optimasi distribusi material pada kondisi proyek konstruksi jalan.

Tabel 1. Data Kebutuhan Material

No.	Nama Ruas	Kebutuhan (m <sup>3</sup> )
1	Ruas 1 (R1)	133,60
2	Ruas 2 (R2)	1.540,00
3	Ruas 3 (R3)	2.320,00
4	Ruas 4 (R4)	6.985,00
5	Ruas 5 (R5)	100,00
<b>Total Kebutuhan</b>		<b>11.078,60</b>

Tabel 2. Data Ketersediaan pada Sumber Material

No.	Sumber Material	Ketersediaan (Kapasitas Produksi) (m <sup>3</sup> )
1	SM1	6.427,00
2	SM2	3.651,60
3	SM3	1.000,00
<b>Total Kebutuhan</b>		<b>11.078,60</b>

Tabel 3. Biaya material sampai tiba dilokasi (*on site*)

Sumber - Tujuan	Ruas 1 (Rp./m <sup>3</sup> )	Ruas 2 (Rp./m <sup>3</sup> )	Ruas 3 (Rp./m <sup>3</sup> )	Ruas 4 (Rp./m <sup>3</sup> )	Ruas 5 (Rp./m <sup>3</sup> )
SM 1	380.000,00	365.000,00	500.000,00	635.000,00	750.000,00
SM 2	640.000,00	625.000,00	600.000,00	440.000,00	445.000,00
SM 3	480.000,00	485.000,00	645.000,00	775.000,00	900.000,00

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Solusi Awal

Solusi awal diperoleh menggunakan metode *Northwest Corner Rule* yang menghasilkan alokasi material berdasarkan urutan supply dan demand tanpa mempertimbangkan biaya minimum. Hasil ini menjadi dasar untuk proses optimasi selanjutnya.

Tabel 4. Solusi Awal menggunakan Metode *Northwest Corner Rule*

SUMBER - TUJUAN	R.1 (V1)	R.2 (V2)	R.3 (V3)	R.4 (V4)	R.5 (V5)	SUPPLY
SM1 (U1)	$\frac{380.000}{133,60}$	$\frac{365.000}{1.540,00}$	$\frac{500.000}{2.320,00}$	$\frac{635.000}{2.433,40}$	$\frac{750.000}{NB}$	6.427,00
SM2 (U2)	$\frac{640.000}{NB}$	$\frac{625.000}{NB}$	$\frac{600.000}{NB}$	$\frac{440.000}{3.651,60}$	$\frac{445.000}{NB}$	3.651,60
SM3 (U3)	$\frac{480.000}{NB}$	$\frac{485.000}{NB}$	$\frac{645.000}{NB}$	$\frac{775.000}{900,00}$	$\frac{900.000}{100,00}$	1.000,00
DEMAND	133,60	1.540,00	2.320,00	6.985,00	100,00	11.078,60

Variabel yang termasuk dalam variabel basic yaitu U1V1, U1V2, U1V3, U1V4, U2V4, U3V4, dan U3V5. Dan yang termasuk dalam variabel *non basic* yaitu U1V5, U2V1, U2V2, U2V3, U3V5, U3V1, U3V2, dan U3V3.

Unit biaya dalam kondisi ini ( pada bagian basic ) yaitu:

$$\begin{aligned}
 Z &= (X11 \times C11) + (X12 \times C12) + (X13 \times C13) + (X14 \times C14) + (X24 \times C24) + (X34 \times C34) + (X35 \times C35) \\
 Z &= (133,60 \times \text{Rp.}380.000) + (1.540,00 \times \text{Rp.}365.000) + (2.320,00 \times \text{Rp.}500.000) + (2.433,40 \times \text{Rp.}635.000) \\
 &\quad + (3.651,60 \times \text{Rp.}440.000) + (900,00 \times \text{Rp.}775.000) + (100,00 \times \text{Rp.}900.000) \\
 Z &= (\text{Rp.}50.768.000 + \text{Rp.} 562.100.000 + \text{Rp.}1.160.000.000 + \text{Rp.}1.545.209.000 + \text{Rp.}1.606.704.000 + \text{Rp.}697.500.000 + \text{Rp.}90.000.000) \\
 Z &= \text{Rp.}5.712.280.000
 \end{aligned}$$

Maka Solusi awal dari Metode NWC ini untuk material Agregat Kelas A yakni sebesar Rp.5.712.280.000,-

#### 3.2 Hasil Optimasi Biaya Distribusi Material Agregat Kelas A

Setelah mendapatkan total biaya dari solusi basis awal, langkah selanjutnya adalah melakukan optimasi menggunakan *Method of Multipliers*. Metode ini bekerja dengan cara mengevaluasi setiap sel non-basis (sel kosong) melalui pembentukan jalur tertutup (*loop*). Jika hasil perhitungan menunjukkan adanya nilai indeks negatif (atau positif pada nilai evaluasi tertentu), maka alokasi material akan dipindahkan untuk menekan total biaya distribusi hingga mencapai titik optimal.

Biaya awal yang didapatkan pada perhitungan Metode NWC bagian basic adalah Rp.5.712.280.000. Untuk mengetahui komposisi pada tahap ini apakah sudah minimum dengan menggunakan metode *Method of Multipliers* yaitu:

	Jika :	U1	=	0	
U1 + V1	Maka :	V1	=	380.000	
U1 + V2		V2	=	365.000	
U1 + V3		V3	=	500.000	
U1 + V4		V4	=	635.000	
U2 + V4		U2	=	-195.000	
U3 + V4		U3	=	140.000	
U3 + V5		V5	=	760.000	

*Unit cost* (bagian non basic) yaitu :

C15	=	U1	+	V5	-	C15	
	=	0	+	760.000	-	750.000	= 10.000
C21	=	U2	+	V1	-	C21	

	=	-195.000	+	380.000	-	640.000	=	-455.000
C22	=	U2	+	V2	-	C22	=	-455.000
	=	-195.000	+	365.000	-	625.000	=	-455.000
C23	=	U2	+	V3	-	C23	=	-295.000
	=	-195.000	+	500.000	-	600.000	=	-295.000
<b>C25</b>	=	<b>U2</b>	+	<b>V5</b>	-	<b>C25</b>	=	
	=	<b>-195.000</b>	+	<b>760.000</b>	-	<b>445.000</b>	=	<b>120.000</b>
C31	=	U3	+	V1	-	C31	=	40.000
	=	140.000	+	380.000	-	480.000	=	40.000
C32	=	U3	+	V2	-	C32	=	20.000
	=	140.000	+	365.000	-	485.000	=	20.000
C33	=	U3	+	V3	-	C33	=	-5.000
	=	140.000	+	500.000	-	645.000	=	-5.000

C25 mempunyai nilai positif terbesar, maka X25 akan menjadi variabel basic. Karena X25 akan berubah dari variabel non basic menjadi variabel basic maka dalam solusi tersebut harus ada yang dikeluarkan dari variabel basic menjadi non basic, hal ini untuk menjaga keseimbangan antara *supply* dengan *demand* sehingga model tetap seimbang. Untuk menentukan variabel yang akan keluar dapat digunakan metode *Loop Construction* yaitu pembentukan poligon tertutup.

Tabel 5. Iterasi Agregat Kelas A Tahap 1

SUMBER - TUJUAN	SEG.1 (V1)	SEG.2 (V2)	SEG.3 (V3)	SEG.4 (V4)	SEG.5 (V5)	SUPPLY
SM1 (U1)	380.000	365.000	500.000	635.000	750.000	6.427,00
	133,60	1.540,00	2.320,00	2.433,40	NB	
SM2 (U2)	640.000	625.000	600.000	440.000	445.000	3.651,60
	NB	NB	NB	-3.651,60	+NB	
SM3 (U3)	480.000	485.000	645.000	775.000	900.000	1.000,00
	NB	NB	NB	+900	-100	
DEMAND	133,60	1.540,00	2.320,00	6.985,00	100,00	11.078,60

Berdasarkan Tabel 5 variabel yang akan keluar dari basic dan berubah menjadi variabel *non basic* adalah X35 karena mempunyai nilai negatif terkecil yaitu -100.

Tabel 6. Hasil Iterasi Agregat Kelas A Tahap 1

SUMBER - TUJUAN	SEG.1 (V1)	SEG.2 (V2)	SEG.3 (V3)	SEG.4 (V4)	SEG.5 (V5)	SUPPLY
SM1 (U1)	380.000	365.000	500.000	635.000	750.000	6.427,00
	133,60	1.540,00	2.320,00	2.433,40	NB	
SM2 (U2)	640.000	625.000	600.000	440.000	445.000	3.651,60
	NB	NB	NB	3.551,60	100,00	
SM3 (U3)	480.000	485.000	645.000	775.000	900.000	1.000,00
	NB	NB	NB	1.000,00	NB	
DEMAND	133,60	1.540,00	2.320,00	6.985,00	100,00	11.078,60

Variabel yang termasuk dalam variabel basic yaitu U1V1, U1V2, U1V3, U1V4, U2V4, U2V5, dan U3V4. Dan yang termasuk dalam variable non basic yaitu U1V5, U2V1, U2V2, U2V3, U3V1, U3V2, U3V3, dan U3V5.

Unit biaya dalam kondisi ini ( pada bagian basic ) yaitu :

$$\begin{aligned}
 Z &= (X11 \times C11) + (X12 \times C12) + (X13 \times C13) + (X14 \times C14) + (X24 \times C24) + (X25 \times C25) + (X34 \times C34) \\
 Z &= (133,60 \times \text{Rp.}380.000) + (1.540,00 \times \text{Rp.}365.000) + (2.320,00 \times \text{Rp.}500.000) + (2.433,40 \times \text{Rp.}635.000) \\
 &\quad + (3.551,60 \times \text{Rp.}440.000) + (1.000,00 \times \text{Rp.}775.000) + (100,00 \times \text{Rp.}445.000) \\
 &= \text{Rp.}50.768.000 + \text{Rp.} 562.100.000 + \text{Rp.}1.160.000.000 + \text{Rp.}1.545.209.000 + \text{Rp.}1.562.704.000 + \\
 &\quad \text{Rp.}775.000.000 + \text{Rp.}44.500.000)
 \end{aligned}$$

Z = Rp.5.700.281.000,-

Maka biaya pada bagian basic adalah Rp.5.700.281.000,- Untuk mengetahui komposisi pada tahap ini apakah sudah minimum dengan menggunakan *Method of Multipliers* yaitu:

	Jika :	U1 =	0
U1 + V1 =	Maka :	V1 =	380.000
U1 + V2 =		V2 =	365.000
U1 + V3 =		V3 =	500.000
U1 + V4 =		V4 =	635.000
U2 + V4 =		U2 =	-195.000
U3 + V4 =		U3 =	140.000
U2 + V5 =		V5 =	640.000

Unit cost (bagian non basic) yaitu :

$C15 = U1 + V5 - C15 = 0 + 640.000 - 750.000 = -110.000$   
 $C21 = U2 + V1 - C21 = -195.000 + 380.000 - 640.000 = -455.000$   
 $C22 = U2 + V2 - C22 = -195.000 + 365.000 - 625.000 = -455.000$   
 $C23 = U2 + V3 - C23 = -195.000 + 500.000 - 600.000 = -295.000$   
 **$C31 = U3 + V1 - C31 = 140.000 + 380.000 - 480.000 = 40.000$**   
 $C32 = U3 + V2 - C32 = 140.000 + 365.000 - 485.000 = 20.000$   
 $C33 = U3 + V3 - C33 = 140.000 + 500.000 - 645.000 = -5.000$   
 $C35 = U3 + V5 - C35 = 140.000 + 640.000 - 900.000 = -120.000$

C31 mempunyai nilai positif terbesar, maka X31 akan menjadi variabel basik. Karena X31 akan berubah dari variabel non basik menjadi variabel basik maka dalam solusi tersebut harus ada yang dikeluarkan dari variabel basik menjadi non basik, hal ini untuk menjaga keseimbangan antara *supply* dengan *demand* sehingga model tetap seimbang. Untuk menentukan variabel yang akan keluar dapat digunakan metode *Loop Construction* yaitu pembentukan poligon tertutup.

Tabel 7. Iterasi Agregat Kelas A Tahap 2

SUMBER - TUJUAN	SEG.1 (V1)	SEG.2 (V2)	SEG.3 (V3)	SEG.4 (V4)	SEG.5 (V5)	SUPPLY
SM1 (U1)	380.000 -133,60	365.000 1.540,00	500.000 2.320,00	635.000 +2433,40	750.000 NB	6.427,00
SM2 (U2)	640.000 NB	625.000 NB	600.000 NB	440.000 3.551,60	445.000 100,00	3.651,60
SM3 (U3)	480.000 +NB	485.000 NB	645.000 NB	775.000 -1.000,00	900.000 NB	1.000,00
DEMAND	133,60	1.540,00	2.320,00	6.985,00	100,00	11.078,60

Berdasarkan Tabel 7 variabel yang akan keluar dari basic dan berubah menjadi *variabel non basic* adalah X11 karena mempunyai nilai negatif terkecil yaitu -133,60.

Tabel 8. Hasil Iterasi Agregat Kelas A Tahap 2

SUMBER - TUJUAN	SEG.1 (V1)	SEG.2 (V2)	SEG.3 (V3)	SEG.4 (V4)	SEG.5 (V5)	SUPPLY
SM1 (U1)	380.000 NB	365.000 1.540,00	500.000 2.320,00	635.000 2.567,00	750.000 NB	6.427,00
SM2 (U2)	640.000 NB	625.000 NB	600.000 NB	440.000 3.551,60	445.000 100,00	3.651,60
SM3 (U3)	480.000 133,60	485.000 NB	645.000 NB	775.000 866,40	900.000 NB	1.000,00
DEMAND	133,60	1.540,00	2.320,00	6.985,00	100,00	11.078,60

Variabel yang termasuk dalam variabel basic yaitu U1V2, U1V3, U1V4, U2V4, U2V5, U3V1 dan U3V4,. Dan yang termasuk dalam variable non basic yaitu U1V1, U1V5, U2V1, U2V2, U2V3, U3V2, U3V3, dan U3V5.

Unit biaya dalam kondisi ini (pada bagian basic) yaitu:

$$Z = (X12 \times C12) + (X13 \times C13) + (X14 \times C14) + (X24 \times C24) + (X25 \times C25) + (X31 \times C31) + (X34 \times C34)$$

$$Z = (1.540 \times \text{Rp. } 365.000) + (2.320 \times \text{Rp. } 500.000) + (2.567 \times \text{Rp. } 635.000) + (3.551,60 \times \text{Rp. } 440.000) + (100 \times \text{Rp. } 445.000) + (133,60 \times \text{Rp. } 480.000) + (866,40 \times \text{Rp. } 775.000)$$

$$Z = \text{Rp. } 562.100.000 + \text{Rp. } 1.160.000.000 + \text{Rp. } 1.630.045.000 + \text{Rp. } 1.562.704.000 + \text{Rp. } 44.500.000 + \text{Rp. } 64.128.000 + \text{Rp. } 671.460.000$$

$$Z = \text{Rp. } 5.694.937.000$$

Maka biaya pada bagian basic adalah Rp. 5.694.937.000,-. Untuk mengetahui komposisi pada tahap ini apakah sudah minimum dengan menggunakan *Method of Multipliers* yaitu:

$$\begin{aligned} U1 + V2 &= \text{Rp. } 365.000 \\ U1 + V3 &= \text{Rp. } 500.000 \\ U1 + V4 &= \text{Rp. } 635.000 \\ U2 + V4 &= \text{Rp. } 440.000 \\ U2 + V5 &= \text{Rp. } 445.000 \\ U3 + V1 &= \text{Rp. } 480.000 \\ U3 + V4 &= \text{Rp. } 775.000 \end{aligned}$$

Jika  $U1 = 0$ , Maka

$$\begin{aligned} V1 &= \text{Rp. } 340.000 \\ V2 &= \text{Rp. } 365.000 \\ V3 &= \text{Rp. } 500.000 \\ V4 &= \text{Rp. } 635.000 \\ U2 &= -\text{Rp. } 195.000 \\ U3 &= \text{Rp. } 140.000 \\ V5 &= \text{Rp. } 640.000 \end{aligned}$$

*Unit cost* (bagian non basic) yaitu :

$$\begin{aligned} C11 &= U1 + V1 - C11 = 0 + 340.000 - 380.000 = -40.000 \\ C15 &= U1 + V5 - C15 = 0 + 640.000 - 750.000 = -110.000 \\ C21 &= U2 + V1 - C21 = -195.000 + 340.000 - 640.000 = -495.000 \\ C22 &= U2 + V2 - C22 = -195.000 + 365.000 - 625.000 = -455.000 \\ C23 &= U2 + V3 - C23 = -195.000 + 500.000 - 600.000 = -295.000 \\ \mathbf{C32} &= \mathbf{U3 + V2 - C32 = 140.000 + 365.000 - 485.000 = 20.000} \\ C33 &= U3 + V3 - C33 = 140.000 + 500.000 - 645.000 = -5.000 \\ C35 &= U3 + V5 - C35 = 140.000 + 640.000 - 900.000 = -120.000 \end{aligned}$$

C32 mempunyai nilai positif terbesar, maka X32 akan menjadi variabel basic. Karena X32 akan berubah dari variabel non basic menjadi variabel basic maka dalam solusi tersebut harus ada yang dikeluarkan dari variabel basic menjadi non basic, hal ini untuk menjaga keseimbangan antara *supply* dengan *demand* sehingga model tetap seimbang. Untuk menentukan variabel yang akan keluar dapat digunakan metode *Loop Construction* yaitu pembentukan poligon tertutup.

Tabel 9. Iterasi Agregat Kelas A Tahap 3

SUMBER - TUJUAN	SEG.1 (V1)	SEG.2 (V2)	SEG.3 (V3)	SEG.4 (V4)	SEG.5 (V5)	SUPPLY
SM1 (U1)	380.000,00	365.000,00	500.000,00	635.000,00	750.000,00	6.427,00
	NB	1.540,00	2.320,00	2.567,00	NB	
SM2 (U2)	640.000,00	625.000,00	600.000,00	440.000,00	445.000,00	3.651,60
	NB	NB	NB	3.551,60	100,00	
SM3 (U3)	480.000,00	485.000,00	645.000,00	775.000,00	900.000,00	1.000,00
	133,60	+NB	NB	866,40	NB	
DEMAND	133,60	1.540,00	2.320,00	6.985,00	100,00	11.078,60

Berdasarkan Tabel 9 variabel yang akan keluar dari basic dan berubah menjadi variabel *non basic* adalah X34 karena mempunyai nilai negatif terkecil yaitu 866,40.

Tabel 10. Hasil Iterasi Agregat Kelas A Tahap 3

SUMBER - TUJUAN	SEG.1 (V1)	SEG.2 (V2)	SEG.3 (V3)	SEG.4 (V4)	SEG.5 (V5)	SUPPLY
SM1 (U1)	380.000,00	365.000,00	500.000,00	635.000,00	750.000,00	6.427,00
	NB	673,60	2.320,00	3.433,40	NB	
SM2 (U2)	640.000,00	625.000,00	600.000,00	440.000,00	445.000,00	3.651,60
	NB	NB	NB	3.551,60	100,00	
SM3 (U3)	480.000,00	485.000,00	645.000,00	775.000,00	900.000,00	1.000,00
	133,60	866,40	NB	NB	NB	
DEMAND	133,60	1.540,00	2.320,00	6.985,00	100,00	11.078,60

Variabel yang termasuk dalam variabel basic yaitu U1V2, U1V3, U1V4, U2V4, U2V5, U3V1, dan U3V2,. Dan yang termasuk dalam variable *non basic* yaitu U1V1, U1V5, U2V1, U2V2, U2V3, U3V3, U3V4, dan U3V5.

Unit biaya dalam kondisi ini (pada bagian basic) yaitu:

$$Z = (X_{12} \times C_{12}) + (X_{13} + C_{13}) + (X_{14} \times C_{14}) + (X_{24} \times C_{24}) + (X_{25} \times C_{25}) + (X_{31} \times C_{31}) + (X_{32} \times C_{32})$$

$$Z = (673,60 \times \text{Rp. } 365.000) + (2.320 \times \text{Rp. } 500.000) + (3.433,40 \times \text{Rp. } 635.000) + (3.551,60 \times \text{Rp. } 440.000) + (100 \times \text{Rp. } 445.000) + (133,60 \times \text{Rp. } 480.000) + (866,40 \times \text{Rp. } 485.000)$$

$$Z = (\text{Rp. } 245.864.000 + \text{Rp. } 1.160.000.000 + \text{Rp. } 2.180.209.000 + \text{Rp. } 1.562.704.000 + \text{Rp. } 44.500.000 + \text{Rp. } 64.128.000 + \text{Rp. } 420.204.000)$$

$$Z = \text{Rp. } 5.677.609.000,00$$

Maka biaya pada bagian basic adalah Rp. 5.677.609.000,-. Untuk mengetahui komposisi pada tahap ini apakah sudah minimum dengan menggunakan *Method of Multipliers* yaitu :

$$U_1 + V_2 = \text{Rp. } 365.000$$

$$U_1 + V_3 = \text{Rp. } 500.000$$

$$U_1 + V_4 = \text{Rp. } 635.000$$

$$U_2 + V_4 = \text{Rp. } 440.000$$

$$U_2 + V_5 = \text{Rp. } 445.000$$

$$U_3 + V_1 = \text{Rp. } 480.000$$

$$U_3 + V_2 = \text{Rp. } 485.000$$

$$\text{Jika } U_1 = 0, \text{ Maka } V_1 = \text{Rp. } 360.000$$

$$V_2 = \text{Rp. } 365.000$$

$$V_3 = \text{Rp. } 500.000$$

$$V_4 = \text{Rp. } 635.000$$

$$U_2 = - \text{Rp. } 195.000$$

$$U_3 = \text{Rp. } 120.000$$

$$V_5 = \text{Rp. } 640.000$$

*Unit cost* (bagian non basic) yaitu :

$$C_{11} = U_1 + V_1 - C_{11} = 0 + 360.000 - 380.000 = -20.000$$

$$C_{15} = U_1 + V_5 - C_{15} = 0 + 360.000 - 750.000 = -390.000$$

$$C_{21} = U_2 + V_1 - C_{21} = -195.000 + 360.000 - 640.000 = -475.000$$

$$C_{22} = U_2 + V_2 - C_{22} = -195.000 + 365.000 - 625.000 = -455.000$$

$$C_{23} = U_2 + V_3 - C_{23} = -195.000 + 500.000 - 600.000 = -295.000$$

$$C_{33} = U_3 + V_3 - C_{33} = 120.000 + 500.000 - 645.000 = -25.000$$

$$C_{34} = U_3 + V_5 - C_{35} = 120.000 + 635.000 - 775.000 = -20.000$$

$$C_{35} = U_3 + V_5 - C_{35} = 120.000 + 640.000 - 900.000 = -140.000$$

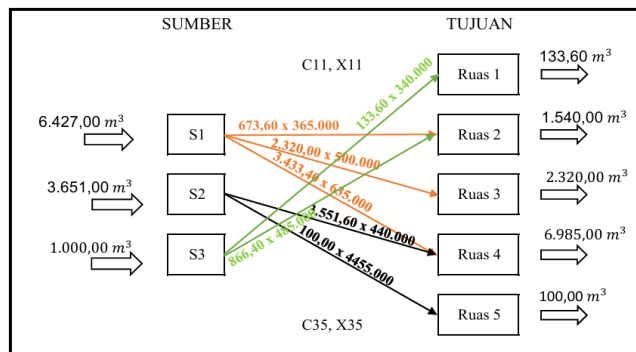
Karena Unit Cost dalam variabel *non basic* telah mendapatkan nilai *negative* (-) semua maka kondisi tersebut telah mencapai biaya minimum.

Setelah diperoleh hasil alokasi optimal melalui serangkaian iterasi, terdapat selisih biaya serta persentase penghematan yang dapat dicapai, yang mempertegas signifikansi penggunaan model transportasi dalam manajemen konstruksi.

Material Agregat Kelas A yang telah melewati beberapa tahap iterasi hingga menemukan biaya minimum pada iterasi 3.

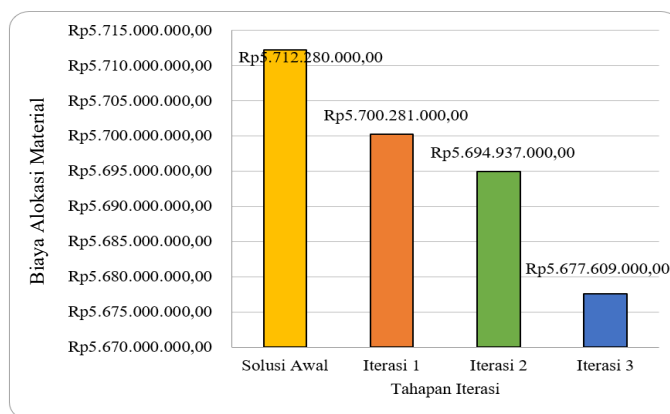
Tabel 11. Persentase Penurunan Biaya Material Agregat Kelas A

Tahap Iterasi	Biaya Material
Solusi Awal	Rp 5.712.280.000,-
Iterasi 1	Rp 5.700.281.000,-
Iterasi 2	Rp 5.694.937.000,-
Iterasi 3	Rp 5.677.609.000,-
<b>Penurunan Biaya</b>	<b>Rp 34.671.000,00</b>
<b>Persentase Penurunan Biaya</b>	<b>0,607%</b>



Gambar 2. Model Alokasi Material Material Agregat Kelas A

Sehingga dapat digambarkan grafik histogram dan kurva hubungan hasil iterasi dengan biaya material Agregat Kelas A sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik Hubungan Iterasi dengan Biaya Alokasi Material Agregat Kelas A

Jadi dengan penerapan metode *North West Corner Rule* kemudian dilanjut dengan metode *Loop Construction* untuk biaya distribusi material agregat kelas A pada proyek Preservasi Jalan Provinsi Sulawesi Selatan dapat diminimumkan sampai mencapai biaya minimum yaitu Rp.5.677.609.000,-

### 3.3 Pembahasan

Hasil optimasi menunjukkan bahwa pola distribusi material agregat kelas A dipengaruhi oleh kombinasi antara kapasitas supply sumber material dan biaya distribusi menuju masing-masing ruas jalan. Berdasarkan hasil optimasi, SM1 menjadi sumber dominan untuk Ruas 3 dan Ruas 4 karena memiliki kapasitas supply yang lebih besar serta biaya distribusi yang relatif lebih rendah dibandingkan sumber lainnya. Kondisi tersebut menyebabkan model transportasi cenderung mengalokasikan material dari SM1 untuk memenuhi kebutuhan ruas dengan volume demand yang tinggi.

Sementara itu, SM2 menjadi pilihan distribusi untuk Ruas 5 karena memiliki biaya distribusi yang lebih kompetitif dibandingkan sumber lainnya pada lokasi tujuan tersebut. Meskipun kapasitas supply SM2 lebih kecil dibandingkan SM1, biaya distribusi yang lebih rendah menyebabkan alokasi material dari SM2 menjadi lebih efisien untuk memenuhi kebutuhan Ruas 5. Pada sisi lain, SM3 hanya dialokasikan untuk beberapa ruas tertentu karena memiliki biaya distribusi yang relatif lebih tinggi pada sebagian besar tujuan distribusi. Hal ini menunjukkan bahwa model transportasi secara otomatis memilih pola distribusi dengan kombinasi biaya minimum dan kapasitas supply yang paling optimal.

Hasil optimasi menunjukkan adanya penurunan biaya distribusi sebesar 0,607% dibandingkan kondisi awal. Secara persentase, nilai tersebut terlihat relatif kecil, namun dalam konteks proyek konstruksi jalan, penghematan biaya distribusi material tetap memberikan dampak terhadap efisiensi penggunaan anggaran proyek. Selain itu, hasil ini menunjukkan bahwa model transportasi mampu menghasilkan pola alokasi material yang lebih efisien dibandingkan pola distribusi awal.

Efisiensi biaya yang diperoleh juga mengindikasikan bahwa pengambilan keputusan distribusi material tidak hanya dipengaruhi oleh jarak distribusi, tetapi juga oleh keseimbangan antara kapasitas supply sumber material dan kebutuhan material pada masing-masing ruas jalan. Dengan demikian, penerapan model transportasi dapat membantu proses pengambilan keputusan distribusi material secara lebih sistematis dan terukur pada proyek konstruksi jalan.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis optimasi biaya alokasi material dapat disimpulkan bahwa material agregat kelas A pada ruas 1 kebutuhan material sebesar 133,60 m<sup>3</sup> dipenuhi dari sumber material 3 (SM3). Pada ruas 2, kebutuhan material sebesar 673,60 m<sup>3</sup> dipenuhi dari sumber material 1 (SM1) dan 866,40 m<sup>3</sup> dipenuhi dari sumber material 3 (SM3). Pada ruas 3, kebutuhan material sebesar 2.320,00 m<sup>3</sup> dipenuhi dari sumber material 1 (SM1). Pada ruas 4, kebutuhan material sebesar 3.433,40 m<sup>3</sup> dipenuhi dari sumber material 1 (SM1) dan 3.551,60 m<sup>3</sup> dipenuhi dari sumber material 2 (SM2). Pada ruas 5, kebutuhan material sebesar 100,00 m<sup>3</sup> dipenuhi dari sumber material 2 (SM2). Biaya alokasi material setelah menerapkan metode *north west corner rule* dan *loop construction* berhasil menurunkan biaya alokasi material yaitu Rp. 34.671.000,- dengan efisiensi sebesar 0,607%.

Rekomendasi untuk perencana dan pelaksana proyek konstruksi agar dapat meningkatkan perencanaan alokasi material secara lebih sistematis dan terstruktur agar efisiensi biaya dan ketepatan pelaksanaan pekerjaan dapat tercapai secara optimal khususnya dengan menerapkan model transportasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan data dan informasi sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

Achmad Sutarna, A., Ashad, H., & Bachmid, S. (2024). Optimasi Biaya Distribusi Material Dengan Metode Aproksimasi Vogel Pekerjaan D.I Leworeng Kabupaten Soppeng. *Syntax Idea*, 6(3), 1524–1532. <https://doi.org/10.46799/syntax-idea.v6i3.3127>

- Ahyaningsih, F., Nasution, H., & Sitanggang, E. A. (2023). Implementation of North West Corner (NWC) Method and Modified Distribution (MODI) method in optimizing fish distribution costs in CV. horizon group sibolga. *9th Annu. Int. Semin. Trends Sci. Sci. Educ*, 357-367.
- Ervianto, W. I. (2004). *Teori–Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi*. Yogyakarta: Andi.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2015). *Introduction to Operations Research (10th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Hamzah, S., Pangemanan, D., Aprianti, E. (2023). The environmental and sustainable factors on the special economic zones development. *Civil Engineering Journal*, 9(2), 334-342
- Hasbiyati, I., Abdullah, M., Salambue, R., & Ahriyati, A. (2022). NORTHWEST CORNER METHOD FOR NATURAL DISASTER NOTIFICATION. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, 16(1), 271-280.
- Kar, S., & Jha, K. N. (2020). *Examining the effect of material management issues on the schedule and cost performance of construction projects based on a structural equation model: Survey of Indian experiences*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(9), 05020011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001906](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001906)
- Lu, H., Wang, H., Xie, Y., & Wang, X. (2018). Study on construction material allocation policies: A simulation optimization method. *Automation in construction*, 90, 201-212.
- Muin, S. A., Watono, W., Gani, I., Muhammad, A., & Sudarmawanty, S. (2023). Implementation of the North West Corner Rule and Loop Construction Method to Minimize Material Distribution Cost on Ameroro Dam Access Road Project (Package II). *INTEK: Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 10(2), 96–105. <https://doi.org/10.31963/intek.v10i2.4615>
- Mishra, S. (2017). Solving Transportation Problem by Various Methods and Their Comparison. *International Journal of Mathematics Trends and Technology-IJMTT*, 44.
- Putra, F. E., Purba, H. H., & Anggraeni, I. A. (2020). The optimization of distribution and transportation costs for common good products. *International Journal of Industrial Optimization*, 1(2), 111.
- Taha, H. A. (2017). *Operations Research: An Introduction (10th ed.)*. Pearson Education
- Yıldız, S. (2024). *Examining the impact of material management practices on project performance*. *Buildings*, 14(7), 2076. <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/7/2076>
- Zhang, N., & Xie, F. (2025). A Review of Research on the Transportation Problem. *Open Journal of Applied Sciences*, 15(5), 1168-1177.