

**OPTIMASI BIAYA DISTRIBUSI ALAT BERAT KONSTRUKSI DENGAN METODE
VOGEL APPROXIMATION (VAM) DAN STEPPING STONE PADA PROYEK
DAERAH KEPULAUAN DI PROVINSI MALUKU**

Andrela Tessa Ferdinandus¹⁾, C.G. Buyang²⁾, Meidy Kempa³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pattimura
¹⁾tessandrela@gmail.com, ²⁾cg.buyang@fatek.unpatti.ac.id, ³⁾meidykempa@yahoo.com

ABSTRACT

Constraints in the distribution of heavy equipment in Maluku Province are related to the selection of routes in the distribution network due to limited supply from several source and certain demands from the project site with minimum transportation costs. From the field survey data in Ambon, Maluku, it can be seen that there is a limited supply of excavator heavy equipment from the three distributors in meeting the needs at four project locations, so it is necessary to pay attention to distribution costs so that there is no cost swelling. Difference the distance from the source location to the destination location causes differences in the distribution costs of excavator heavy equipment due to differences in transportation routes to the destination. This study was conducted to calculate the optimal cost of distribution of heavy construction equipment using the Vogel Approximation (VAM) and Stepping Stone methods on an archipelago project in Maluku Province. The method used is the Vogel Approximation (VAM) method as the initial solution and the Stepping Stone method as the optimal test. The result of the research conducted at the four project sites in the archipelago in Maluku Province, it is known that the optimal distribution of the proposal is to the project site in Bula, East Seram as many as 3 excavator units distributed from PT. A and PT. C with transportation costs of Rp. 82.750.000,-, to the project site in Kairatu, West Seram as much as 1 unit distributed from PT. C with transportation costs of Rp. 36.250.000,-, to the project site in Saumlaki, Tanimbar Islands as many as 2 units distributed from PT. B and PT. C with transportation costs Rp. 102.250.000,- and to the project site in Babar Island, Southwest Maluku as many as 2 units ditributed from PT. A with transportation costs of Rp. 52.000.000,-. So, it can be concluded that the cost is optimized from the calculation using the Vogel Approximation (VAM) method and the Stepping Stone method is Rp. 273.250.000,-.

ABSTRAK

Kendala pendistribusian alat berat di Provinsi Maluku berhubungan dengan pemilihan rute dalam jaringan distribusi karena penawaran yang terbatas dari beberapa sumber dan permintaan tertentu dari lokasi proyek dengan biaya transportasi minimum. Dari data survei lapangan di Ambon, Maluku terlihat bahwa adanya keterbatasan penyediaan alat berat excavator dari ketiga distributor dalam pemenuhan kebutuhan pada empat lokasi proyek sehingga, perlu diperhatikan biaya distribusinya agar tidak terjadi pembengkakkan biayanya. Perbedaan jarak lokasi sumber ke lokasi tujuan menyebabkan perbedaan biaya distribusi alat berat excavator karena perbedaan rute tranportasi ke lokasi tujuan. Penelitian ini dilakukan untuk menghitung biaya optimal distribusi alat berat konstruksi dengan metode *Vogel Approximation* (VAM) dan *Stepping Stone* pada proyek daerah kepulauan di Provinsi Maluku. Metode yang digunakan adalah Metode *Vogel Approximation* (VAM) sebagai solusi awal dan Metode *Stepping Stone* sebagai pengujian optimal. Hasil dari penelitian yang dilakukan pada keempat lokasi proyek daerah kepulauan di Provinsi Maluku diketahui bahwa, pendistribusian usulan yang optimal adalah untuk ke lokasi proyek di Bula, Seram Bagian Timur sebanyak 3 unit excavator didistribusi dari PT. A dan PT. C dengan biaya transportasi sebesar Rp. 82.750.000,-, untuk ke lokasi proyek di Kairatu, Seram Bagian Barat sebanyak 1 unit didistribusi dari PT. C dengan biaya transportasi sebesar Rp. 36.250.000,-, untuk ke lokasi proyek di Saumlaki, Kepulauan Tanimbar sebanyak 2 unit didistribusi dari PT. B dan PT. C dengan biaya transportasi sebesar Rp. 102.250.000,- dan untuk ke lokasi proyek di Pulau Babar, Maluku Barat Daya sebanyak 2 unit didistribusi dari PT. A dengan biaya transportasi sebesar Rp. 52.000.000,-. Sehingga, dapat disimpulkan biaya yang dioptimalkan dari perhitungan menggunakan metode *Vogel Approximation* (VAM) dan metode *Stepping Stone* adalah sebesar Rp. 273.250.000,-.

Kata kunci: *Optimasi Biaya; Alat Berat; Vogel Approximation; Stepping Stone*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pendistribusian suatu jenis alat berat konstruksi untuk proyek daerah kepulauan di Provinsi Maluku dilakukan apabila, pada satu lokasi proyek yang membutuhkan alat berat tidak tersedia alat berat yang dibutuhkan. Proses pendistribusian alat berat konstruksi ke proyek daerah kepulauan di Provinsi Maluku yang tidak tersedia alat berat yang dibutuhkan, bisa dilakukan menggunakan lander, kapal atau feri. Oleh karena itu, biaya transportasi perlu diperhatikan agar tidak terjadi pembengkakan biaya yang dapat mengakibatkan kerugian terhadap perusahaan. Kendala pendistribusian alat berat untuk proyek daerah kepulauan di Provinsi Maluku pada umumnya berhubungan dengan pemilihan rute dalam jaringan distribusi, penawaran yang terbatas dari beberapa sumber atau distributor dan permintaan tertentu dari lokasi proyek dengan biaya transportasi minimum.

Lokasi peninjauan penelitian ini dilakukan pada proyek konstruksi di daerah kepulauan Provinsi Maluku. Dari hasil survei terdapat empat lokasi proyek di Provinsi Maluku tahun 2020-2021 yang pekerjaannya menggunakan alat berat excavator sebagai peralatan utama, yakni Bula, Kab. Seram Bagian Timur; Kairatu, Kab. Seram Bagian Barat; Saumlaki, Kab. Kepulauan Tanimbar dan Pulau Babar, Kab. Maluku Barat Daya.

Untuk itu pada penelitian ini, peneliti memilih pendistribusian alat berat konstruksi yakni, excavator yang merupakan alat utama dalam membantu memudahkan penyelesaian suatu pekerjaan berat di bidang konstruksi. Penelitian ini mendistribusikan alat berat excavator dari tiga lokasi sumber ke empat lokasi tujuan agar metode *Stepping Stone* dapat digunakan sehingga, memperoleh biaya transportasi yang lebih optimal dengan terpenuhinya kebutuhan di lokasi tujuan dari keterbatasan persediaan masing-masing lokasi sumber setelah menggunakan metode solusi awal yakni, metode *Vogel Approximation* (VAM).

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat dirumuskan masalah yaitu : Berapa biaya optimal distribusi alat berat konstruksi dengan metode *Vogel Approximation* (VAM) dan *Stepping Stone* pada proyek daerah kepulauan di Provinsi Maluku? Tujuan penelitian ini yaitu untuk memperoleh biaya optimal distribusi alat berat konstruksi dengan metode *Vogel Approximation* (VAM) dan *Stepping Stone* pada proyek daerah kepulauan di Provinsi Maluku.

Agar penulisan ini lebih terarah maka, penulis memberikan pembatasan penelitian antara lain :

1. Lokasi proyek yang diteliti berada pada daerah kabupaten-kabupaten di Provinsi Maluku.
2. Alat berat excavator hanya didistribusikan dari Kota Ambon
3. Perhitungan biaya distribusi untuk penelitian ini hanya biaya transportasi dari lokasi sumber ke lokasi tujuan.

4. Metode transportasi yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode solusi awal *Vogel Approximation* (VAM) dan metode pengujian optimal *Stepping Stone*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Model Program Linear

Dalam program linear dikenal dua jenis fungsi yaitu fungsi tujuan (*objective function*) dan fungsi kendala (*constraint function*). Fungsi tujuan adalah fungsi yang menggambarkan tujuan dari persoalan program linear yang berkaitan dengan pengoptimalan dalam aspek keuntungan, biaya, persediaan. Nilai yang dioptimalkan dinotasikan dengan Z.

2.2. Optimasi

Optimasi adalah suatu usaha untuk menentukan solusi yang terbaik dari sejumlah alternatif dengan berbagai kendala yang ada pada suatu model. (Bronson, 1996 dalam Ali, dkk., (2013). Hal ini hanya dapat dilakukan apabila dalam pemecahan suatu permasalahan terdapat berbagai macam alternatif penyelesaian, atau dengan kata lain terdapat kebebasan pilihan (*freedom of choice*) dalam penyelesaian suatu masalah. Jadi dapat disimpulkan bahwa, suatu proses untuk memilih atau mendapatkan alternatif terbaik dari berbagai macam alternatif penyelesaian masalah dengan memperhatikan berbagai kendala yang ada.

Untuk mencapai tujuan dari suatu sistem, maka ditempuh berbagai proses. Tahap akhir dari proses tersebut ialah suatu usaha untuk menentukan solusi yang terbaik dari sejumlah alternatif dengan berbagai kendala yang ada pada suatu model atau yang disebut sebagai optimasi. Optimasi hanya dapat dilakukan apabila dalam pemecahan suatu permasalahan terdapat berbagai macam alternatif penyelesaian, atau dengan kata lain terdapat kebebasan pilihan dalam penyelesaian suatu masalah.

2.3. Model Transportasi

Model transportasi adalah suatu model yang digunakan untuk membuat metode penyelesaian dalam distribusi suatu produk dari suatu sumber ke tujuan distribusi. Tujuan model transportasi adalah menentukan jumlah yang harus dikirim dari setiap sumber ke setiap jurusan sedemikian rupa dengan total biaya transportasi minimum (Tamin, 2000 dalam Manurung, 2019).

Alokasi produk harus diatur sedemikian rupa karena terdapat perbedaan biaya dari satu sumber atau beberapa sumber ke tempat tujuan yang berbeda. Oleh karena itu, model transportasi tepat untuk menentukan biaya distribusi yang optimal dalam masalah transportasi. Asumsi dasar model transportasi adalah besarnya ongkos transportasi pada rute tertentu dengan banyaknya jumlah barang yang didistribusikan.

Model transportasi dapat dituliskan ke dalam matriks transportasi.

Tabel 1. Gambaran Umum Masalah Transportasi

Sumber	Tujuan				Persediaan
	b ₁	b ₂	...	b _n	
a ₁	c ₁₁	c ₁₂	...	c _{1n}	Q ₁
a ₂	c ₂₁	c ₂₂	...	c _{2n}	Q ₂
...
a _m	c _{m1}	c _{m2}	...	c _{mn}	Q _m
Permintaan	d ₁	d ₂	...	d _n	

Sumber: Manurung, 2019

Keterangan :

- a_i = Sumber ke-i, i = 1,2,3, ..., m.
- b_j = Tujuan ke-j, j = 1,2,3, ..., n.
- Q_i = Persediaan ke-i, i = 1,2,3, ..., m.
- d_j = Permintaan ke-j, j = 1,2,3, ..., n.
- c_{ij} = Biaya transportasi dari sumber i ke tujuan j
- z_{ij} = Jumlah barang yang akan diangkut dari sumber i ke tujuan j.

Berdasarkan tabel 2.1 dapat diformulasikan model matematika sebagai berikut :

Minimumkan :

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} z_{ij} \dots \dots \dots (1)$$

dengan batasan :

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

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

$$\sum_{i=1}^m Q_i = \sum_{j=1}^n d_j \dots \dots \dots (4)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1,2,3, \dots, m ; j = 1,2,3, \dots, n \dots \dots \dots (5)$$

Masalah transportasi tidak selamanya seimbang oleh karena itu masalah transportasi dibedakan lagi menjadi dua yaitu masalah transportasi seimbang (*balance*) dan tidak seimbang (*unbalance*). Masalah transportasi dikatakan tidak seimbang apabila jumlah permintaan lebih besar daripada jumlah persediaan atau jumlah persediaan lebih besar daripada jumlah permintaan. Namun metode transportasi adalah suatu program linear yang membutuhkan keseimbangan persamaan. Oleh karena itu persoalan transportasi dapat dibuat seimbang dengan cara memasukkan variabel artifisial (semu) yang dinamakan dengan *dummy*. Jika jumlah permintaan melebihi persediaan maka akan dibuat variabel *dummy* untuk men-supply kekurangan tersebut sebanyak :

$$\sum_j^n d_j - \sum_i^m Q_i \dots \dots \dots (6)$$

sebaliknya, jika persediaan melebihi permintaan maka akan dibuat suatu tujuan *dummy* untuk menyeimbangkan permintaan dan persediaan sebanyak:

$$\sum_i^m Q_i - \sum_j^n d_j \dots \dots \dots (7)$$

Biaya transportasi per unit c_{ij} dari sumber *dummy* ke seluruh tujuan adalah nol. Hal ini dapat dipahami karena pada kenyataannya sumber *dummy* tidak mengalami distribusi atau tidak terjadi pengiriman. Begitu juga dengan biaya transportasi dari sumber/gudang ke seluruh tujuan *dummy* adalah nol.

2.4. Metode Penyelesaian Transportasi

Langkah pertama dalam menyelesaikan persoalan transportasi adalah menentukan metode penyelesaian. Metode penyelesaian transportasi ada beberapa yaitu Metode *North West Corner* atau lebih dikenal dengan Metode Sudut Barat Laut, Metode *Least Cost* atau Biaya Terkecil, Metode *Vogel's Approximation* (VAM) yang merupakan solusi awal. Metode di atas akan dioptimalkan dengan pengujian optimalitas menggunakan Metode *Stepping Stone* atau Batu Loncatan, dan Metode *Modified Distribution* (MODI).

2.5. Degenerasi Dan Redundansi

Degenerasi muncul jika penyelesaian basis awal memuat kurang dari (m+n-1) variabel bebas z_{ij} > 0. Keadaan ini terjadi pada waktu menentukan jawab basis awal atau pada waktu proses iterasi untuk menentukan basis iterasi berikutnya. Kejadian pertama disebabkan karena persediaan dan kebutuhan sama – sama habis pada penentuan jawab awal pertama dan karena itu, peneliti harus berhenti untuk menentukan penyelesaian berikutnya. Kejadian kedua timbul karena hal yang sama yaitu karena sub bagian dari persediaan sama – sama habis dengan kebutuhan atau sebaliknya. Dengan demikian, peneliti berhenti dengan jumlah variabel basis yang lebih kecil dari (m+n-1) variabel z_{ij} > 0. Untuk kasus redundansi, dimana jumlah sel yang terisi melebihi dari persyaratan (m+n-1), maka terjadi penggabungan dua sel atau lebih menjadi satu sel. Penggabungan tersebut dilakukan pada sel – sel baris dengan memperhatikan besarnya permintaan dan persediaan yang ada.

3. METODOLOGI

3.1. Lokasi Dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada proyek konstruksi di Provinsi Maluku dan waktu penelitian ini dimulai pada bulan Januari sampai berakhir pada bulan Maret 2021. Terdapat empat lokasi proyek dengan berfokus pada proyek jalan dan jembatan. Berikut ini disajikan tabel lokasi penelitian, antara lain

Tabel 2. Lokasi Penelitian

No.	Lokasi Proyek	Nama Proyek
1.	Bula, Kab. Seram Bagian Timur	Penggantian Jembatan Wai Lola Besar
2.	Kairatu, Kab. Seram Bagian Barat	Pembangunan Jalan Kairatu Hunitctu
3.	Saumlaki, Kab. Kepulauan Tanimbar	Preservasi Jalan di Pulau Yamdena
4.	Pulau Babar, Kab. Maluku Barat Daya	Pembangunan Jembatan Loke Tapa VI

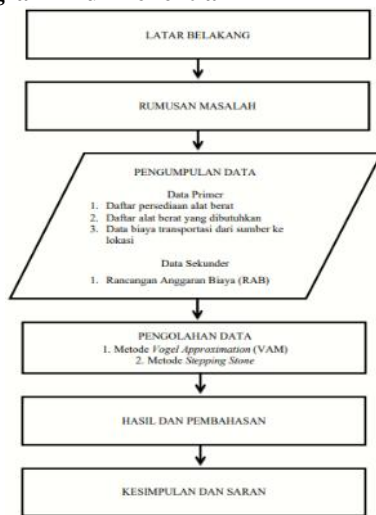
Sumber: Andrela, 2021

3.2. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini variabel bebas, yakni : Variabel X_1 : jumlah alat berat yang dibutuhkan di lokasi proyek (unit), Variabel X_2 : jumlah alat berat yang disediakan sumber (unit) dan Variabel X_3 : biaya angkut alat berat (rupiah). Sedangkan variabel terikat dalam penelitian ini adalah Variabel Y : biaya transportasi optimal distribusi alat berat (rupiah).

Maka, hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat pada penelitian ini adalah biaya transportasi optimal dari pendistribusian alat berat dipengaruhi oleh banyaknya jumlah unit alat berat yang dibutuhkan, banyaknya jumlah unit alat berat yang disediakan oleh sumber serta biaya angkut alat berat menuju lokasi proyek.

3.3. Diagram Alur Penelitian

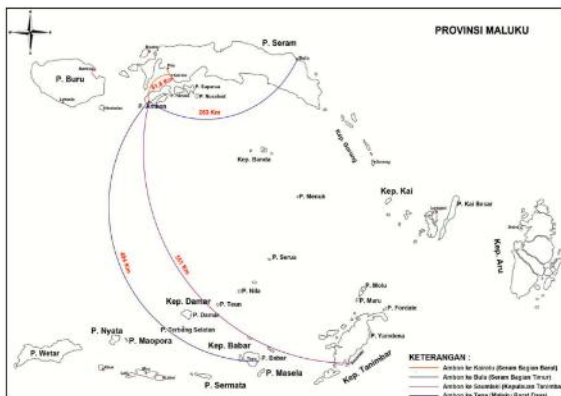


Sumber: Andrela,2021

Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendistribusian alat berat excavator ini dilakukan dari daerah Kota Ambon ke empat lokasi proyek di daerah kepulauan Provinsi Maluku. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Sumber: Andrela,2021

Gambar 2. Peta Lokasi Sumber ke Tujuan

Peta lokasi sumber ke tujuan dibuat berdasarkan lokasi supplier alat berat yang semuanya berada di ambon, dan tujuan sesuai lokasi proyek yang tersebar di beberapa tempat di Provinsi Maluku.

Kebutuhan alat berat excavator didapat dari data proyek yang ditinjau akan kebutuhan alat berat excavator di lapangan. Untuk proyek jalan dan jembatan dibutuhkan masing-masing excavator sesuai lingkup pekerjaannya.

Tabel 3. Kebutuhan Alat Berat Excavator

Lokasi Proyek	Kebutuhan Excavator (unit)
Bula, Seram Bagian Timur	3
Kairatu, Seram Bagian Barat	1
Saumlaki, Kepulauan Tanimbar	2
Pulau Babar, Maluku Barat Daya	2

Sumber: Andrela,2021

Tabel 4. Alat Excavator yang Disediakan Sumber

Lokasi Sumber	Jumlah yang dapat didistribusi
PT. A	3
PT. B	1
PT. C	4

Sumber: Andrela,2021

Biaya transportasi distribusi alat berat excavator didapatkan dengan menguraikan tiap biaya dari supplier ke tujuan masing-masing proyek. Terdapat biaya trailer ke pelabuhan landen, biaya sewa landen dan biaya sewa trailer dari pelabuhan ke lokasi proyek.

Tabel 5. Biaya Transportasi Distribusi Alat Berat Excavator

Ke Dari	SHT		SBB		KKT		MBD	
	Unitan	Harga	Unitan	Harga	Unitan	Harga	Unitan	Harga
PT.A	Biaya trailer ke pelabuhan landen	7.500.000	Biaya trailer ke pelabuhan landen	7.500.000	Biaya tronton ke pelabuhan Yos Soedhoro	8.500.000	Biaya tronton ke pelabuhan landen	2.750.000
	Biaya sewa landen	15.000.000	Biaya sewa landen	25.000.000	Biaya sewa kapal	40.000.000	Biaya sewa landen	20.000.000
	Biaya trailer dari pelabuhan ke lokasi proyek	3.750.000	Biaya trailer dari pelabuhan ke lokasi proyek	4.000.000	Biaya tronton dari pelabuhan ke lokasi proyek	4.000.000	Biaya tronton dari pelabuhan ke lokasi proyek	3.250.000
	Total	26.250.000	Total	36.500.000	Total	52.500.000	Total	26.000.000
PT.B	Biaya trailer ke pelabuhan landen	7.250.000	Biaya trailer ke pelabuhan landen	7.000.000	Biaya tronton ke pelabuhan Yos Soedhoro	8.500.000	Biaya tronton ke pelabuhan landen	3.000.000
	Biaya sewa landen	18.000.000	Biaya sewa landen	25.000.000	Biaya sewa kapal	37.750.000	Biaya sewa landen	25.000.000
	Biaya trailer dari pelabuhan ke lokasi proyek	3.750.000	Biaya trailer dan damage ke lokasi proyek	4.000.000	Biaya tronton dari pelabuhan ke lokasi proyek	4.000.000	Biaya tronton dari pelabuhan ke lokasi proyek	2.500.000
	Total	29.000.000	Total	36.000.000	Total	50.250.000	Total	30.500.000
PT.C	Biaya trailer ke pelabuhan landen	7.000.000	Biaya trailer ke pelabuhan landen	7.250.000	Biaya tronton ke pelabuhan Yos Soedhoro	8.000.000	Biaya tronton ke pelabuhan landen	2.500.000
	Biaya sewa landen	17.500.000	Biaya sewa landen	25.000.000	Biaya sewa kapal	40.000.000	Biaya sewa landen	30.000.000
	Biaya trailer dari pelabuhan ke lokasi proyek	3.750.000	Biaya trailer dari pelabuhan ke lokasi proyek	4.000.000	Biaya tronton dari pelabuhan ke lokasi proyek	4.000.000	Biaya tronton dari pelabuhan ke lokasi proyek	3.000.000
	Total	28.250.000	Total	36.250.000	Total	52.000.000	Total	35.500.000

Sumber: Andrela,2021

4.1. Formulasi Masalah Transportasi

Meminimumkan :

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}Z_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

c_{ij} = Biaya transportasi dari sumber i ke tujuan j

z_{ij} = Jumlah barang yang akan diangkut dari sumber i ke tujuan j

$$Z = \sum_1^3 \sum_1^4 c_{ij} z_{ij} \dots\dots\dots (8)$$

$$Z = \text{Rp. } 26.250.000z_{11} + \text{Rp. } 36.500.000z_{12} + \text{Rp. } 52.500.000z_{13} + \text{Rp. } 26.000.000z_{14} + \text{Rp. } 29.000.000z_{21} + \text{Rp. } 36.000.000z_{22} + \text{Rp. } 50.250.000z_{23} + \text{Rp. } 30.500.000z_{24} + \text{Rp. } 28.250.000z_{31} + \text{Rp. } 36.250.000z_{32} + \text{Rp. } 52.000.000z_{33} + \text{Rp. } 35.500.000z_{34}$$

Dengan batasan–batasan :

$$\sum_{i=1}^m z_{ij} = Q_i \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

Q_i = Persediaan ke- i , $i = 1,2,3, \dots, m$.

$$\text{Rp. } 26.250.000z_{11} + \text{Rp. } 36.500.000z_{12} + \text{Rp. } 52.500.000z_{13} + \text{Rp. } 26.000.000z_{14} = 3 \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{Rp. } 29.000.000z_{21} + \text{Rp. } 36.000.000z_{22} + \text{Rp. } 50.250.000z_{23} + \text{Rp. } 30.500.000z_{24} = 1 \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Rp. } 28.250.000z_{31} + \text{Rp. } 36.250.000z_{32} + \text{Rp. } 52.000.000z_{33} + \text{Rp. } 35.500.000z_{34} = 4 \dots\dots\dots (11)$$

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} = d_j \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

d_j = Permintaan ke- j , $j = 1,2,3, \dots, m$.

$$\text{Rp. } 26.250.000z_{11} + \text{Rp. } 29.000.000z_{21} + \text{Rp. } 28.250.000z_{31} = 3 \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{Rp. } 36.500.000z_{12} + \text{Rp. } 36.000.000z_{22} + \text{Rp. } 36.250.000z_{32} = 1 \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{Rp. } 52.500.000z_{13} + \text{Rp. } 50.250.000z_{23} + \text{Rp. } 52.000.000z_{33} = 2 \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{Rp. } 26.000.000z_{14} + \text{Rp. } 30.500.000z_{24} + \text{Rp. } 35.500.000z_{34} = 2 \dots\dots\dots (15)$$

$$\sum_{i=1}^m Q_i = \sum_{j=1}^n d_j \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \dots\dots\dots (16)$$

$$3 + 1 + 4 = 3 + 1 + 2 + 2 \text{ (TS = TD)}$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ untuk semua } i \text{ dan } j \dots\dots\dots (5)$$

Berdasarkan formulasi masing-masing biaya diatas, maka dibuatkan matriks transportasi awal untuk mempermudah optimasi.

Tabel 6. Matriks Transportasi Awal

KE DARI	SBT A	SBB B	KKT C	MBD D	SUPPLY
PT. A X	26.250.000	36.500.000	52.500.000	26.000.000	3
PT. B Y	29.000.000	36.000.000	50.250.000	30.500.000	1
PT. C Z	28.250.000	36.250.000	52.000.000	35.500.000	4
DEMAND	3	1	2	2	8

Sumber: Andrela,2021

Keterangan :

Demand= Permintaan dari setiap tujuan (kebutuhan excavator di proyek)

Supply = Persediaan dari setiap sumber (pasokan excavator)

4.1.1. Perhitungan Solusi Awal Menggunakan Metode Vogel Approximation (VAM)

Tabel 7. Matriks Transportasi Awal (dalam juta rupiah)

KE DARI	SBT A	SBB B	KKT C	MBD D	SUPPLY
PT. A X	26,25	36,50	52,50	26,00	3
PT. B Y	29,00	36,00	50,25	30,50	1
PT. C Z	28,25	36,25	52,00	35,50	4
DEMAND	3	1	2	2	8

Sumber: Andrela,2021

Langkah pertama adalah Menghitung biaya penalti untuk tiap baris dan kolom menggunakan Tabel 7 dengan cara cek baris pertama dua angka biaya terkecil, kemudian hitung selisih kedua angka biaya terkecilnya setelah itu lakukan hal yang sama pada baris kedua dan ketiga. Selanjutnya cek kolom pertama dua angka biaya terkecil, kemudian hitung selisih kedua nilai terkecil tersebut setelah itu lakukan hal yang sama pada kolom kedua dan ketiga. Setelah selesai menghitung selisih dua angka biaya terkecil pada masing-masing baris dan kolom itu, lihat hasil selisih terbesar antara setiap baris dan setiap kolom kemudian alokasikan sebanyak kebutuhan dan pasokan pada sel dengan biaya terkecil. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 8. Biaya Penalti VAM ke-1 (dalam juta rupiah)

KE DARI	SBT A	SBB B	KKT C	MBD D	SUPPLY	Selisih Baris
PT. A X	26,25	36,50	52,50	26,00	3	0,25
PT. B Y	29,00	36,00	50,25	30,50	1	1,50
PT. C Z	28,25	36,25	52,00	35,50	4	7,25
DEMAND	3	1	2	2	8	
Selisih Kolom	2,00	0,25	1,75	4,50		

Sumber: Andrela,2021

Alokasi awal dalam metode VAM dilakukan pada baris atau kolom yang memiliki biaya penalti tertinggi. Pada Tabel 7 baris PT. A (X) memiliki biaya penalti tertinggi yaitu Rp. 7.250.000,-. Dapat dialokasikan sebanyak mungkin sesuai kebutuhan dan pasokan pada sel fisibel dalam kolom biaya terendah. Dalam baris PT. C (Z), sel SBT (A) memiliki biaya terendah yaitu Rp. 28.250.000,- dan jumlah terbanyak yang dapat dialokasikan adalah 3 unit excavator. Pengalokasian unit excavator tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 8.

**Tabel 8. Alokasi VAM ke-1
(biaya dalam Juta rupiah)**

KE \ DARI	SBT A	SBB B	KKT C	MBD D	SUPPLY
PT. A X	26,25	36,50	52,50	26,00	3
PT. B Y	29,00	36,00	50,25	30,50	1
PT. C Z	28,25	36,25	52,00	35,50	4
DEMAND	3	1	2	2	8

Sumber: Andrela, 2021

Seperti terlihat pada Tabel 8 diatas, sel yang diberi arsiran merupakan sel yang telah selesai dialokasikan sesuai dengan kebutuhan dan pasokan maka untuk perhitungan berikutnya tidak diperhitungkan lagi. Selanjutnya ulangi dari langkah pertama sampai semua sel teralokasikan.

**Tabel 9. Alokasi VAM ke-4
(biaya dalam juta rupiah)**

KE \ DARI	SBT A	SBB B	KKT C	MBD D	SUPPLY
PT. A X	26,25	36,50	52,50	26,00	3
PT. B Y	29,00	36,00	50,25	30,50	1
PT. C Z	28,25	36,25	52,00	35,50	4
DEMAND	3	1	2	2	8

Sumber: Andrela, 2021

Pada kolom terakhir biaya terendah adalah Rp. 50.250.000 sehingga dialokasikan terlebih dahulu sesuai kebutuhan dan pasokan yaitu sebanyak 1 unit excavator, kemudian untuk biaya Rp. 52.000.000 dialokasikan juga sesuai kebutuhan dan pasokan tersisa yaitu 1 unit excavator sehingga pada Tabel 9 terlihat pendistribusian berakhir dengan jumlah isian sel sebanyak 5. Maka biaya transportasi pendistribusian dengan metode VAM adalah :

Meminimumkan:

$$Z_{min} = \{(28.250.000 \times 3) + (36.500.000 \times 1) + (50.250.000 \times 1) + (52.000.000 \times 1) + (26.000.000 \times 2)\} \dots\dots\dots (17)$$

$$Z_{min} = 275.500.000$$

Setelah mendapat solusi awal dengan Metode *Vogel Approximation* (VAM) maka, selanjutnya melakukan pengujian optimal dengan perhitungan solusi optimal menggunakan Metode *Stepping Stone*. Sebelum mencari solusi optimal harus dipastikan tidak terdapat degenerasi dan redundansi. Degenerasi dan redundansi artinya tidak terpenuhinya syarat pengujian bahwa jumlah sel yang terisi harus ada $(m + n - 1)$, dimana m adalah banyak sumber dan n adalah banyak tujuan. Pada degenerasi, sel yang terisi kurang dari persyaratan yang ditentukan, sedangkan redundansi, sel yang terisi melebihi dari persyaratan yang ditentukan. Pada Tabel 9 jumlah sel yang terisi

sebanyak 5 yang artinya tidak memenuhi syarat $(m + n - 1 = 3 + 4 - 1 = 6)$ dengan $m = 3$ dan $n = 4$, sehingga perlu ada degenerasi karena sel yang terisi kurang dari persyaratan maka, pada salah satu sel yang kosong harus ditambahkan nilai epsilon (ϵ) (catatan : jangan menempatkan nilai ϵ pada sel yang kosong dimana disekelilingnya terdapat tiga sel yang terisi).

4.1.2. Perhitungan Solusi Optimal Menggunakan Metode *Stepping Stone*

Dari Tabel 10 penempatan ϵ dapat dilakukan pada X – SBT, X – KKT, Y – SBT, Y – SBB, Y – MBD, Z – SBB atau Z – MBD. Nilai ϵ ditempatkan pada X – SBT seperti terlihat pada tabel berikut ini.

Tabel 10. Matriks Transportasi Awal untuk Metode *Stepping Stone* (dalam juta rupiah)

KE \ DARI	SBT A	SBB B	KKT C	MBD D	SUPPLY
PT. A X	26,25	36,50	52,50	26,00	3
PT. B Y	29,00	36,00	50,25	30,50	1
PT. C Z	28,25	36,25	52,00	35,50	4
DEMAND	3	1	2	2	8

Sumber: Andrela, 2021

Langkah selanjutnya melakukan pengujian solusi optimal menggunakan Tabel 10 dengan cara menghitung sel-sel yang kosong dengan arah horisontal dan vertikal saja kemudian melewati sel-sel yang terisi dan kembali ke sel yang kosong karena perhitungannya secara tertutup sehingga diperoleh perhitungan sebagai berikut :

Sel-sel yang kosong :

$$X - KKT = 52,50 - 26,25 + 28,25 - 52,00 = 2,50$$

$$Y - SBT = 29,00 - 50,25 + 52,00 - 28,25 = 2,50$$

$$Y - SBB = 36,00 - 50,25 + 52,00 - 28,25 + 26,25 - 36,50 = -0,75 \text{ (masih bernilai negatif)}$$

$$Y - MBD = 30,50 - 50,25 + 52,00 - 28,25 + 26,25 - 26,00 = 4,25$$

$$Z - SBB = 36,25 - 28,25 + 26,25 - 36,50 = -2,25 \text{ (masih bernilai negatif)}$$

$$Z - MBD = 35,50 - 28,25 + 26,25 - 26,00 = 7,50$$

Dari hasil perhitungan tersebut, terlihat masih ada beberapa nilai negatif. Untuk pemecahan selanjutnya dipilih nilai negatif terbesar, yaitu (-2,25). Pilihlah Z – SBB karena masih bernilai negatif terbesar, kemudian dilakukan pergeseran sebagai berikut.

Tabel 11. Pergeseran Z-SBB

ϵ	1	Menjadi	1	0
(+1)	(-1)			
3	X		2	1
(-1)	(+1)			

Sumber: Andrela, 2021

Dari hasil perhitungan pergeseran Z – SBB pada Tabel 11 diatas, sehingga tabel berubah menjadi :

Tabel 12. Biaya Transportasi dengan Metode Stepping Stone Tahap 1

KE DARI	SBT A	SBB B	KKT C	MBD D	SUPPLY
PT. A X	1	26,25	36,50	52,50	26,00
PT. B Y		29,00	36,00	50,25	30,50
PT. C Z	2	28,25	36,25	52,00	35,50
DEMAND	3	1	2	2	8

Sumber: Andrela,2021

Dari Tabel 12 diatas, terlihat jumlah sel yang terisi adalah 6 yang artinya telah memenuhi syarat ($m + n - 1$) maka, tidak perlu penambahan nilai ϵ pada perhitungan berikutnya. Selanjutnya kembali menghitung sel-sel yang kosong seperti langkah-langkah sebelumnya sampai menghasilkan nilai yang tidak ada bilangan negatif.

Karena hasil perhitungan terakhir dari Tabel 12 tidak ditemukan nilai negatif (penghematan biaya), maka proses eksekusi telah selesai. Alokasi dari sumber ke lokasi proyek menurut perhitungan solusi awal menggunakan Metode VAM yang diuji dengan perhitungan solusi optimal menggunakan Metode Stepping Stone, sehingga total biaya transportasinya dapat dilihat pada tabel 13 berikut ini.

Tabel 13. Biaya Transportasi dengan Metode Stepping Stone (dalam juta rupiah)

Dari	Ke	Jumlah	Biaya per unit	Biaya (Rp.)
PT. A	SBT	1	26,25	26,25
PT. A	MBD	2	26,00	52,00
PT. B	KKT	1	50,25	50,25
PT. C	SBT	2	28,25	56,50
PT. C	SBB	1	36,25	36,25
PT. C	KKT	1	52,00	52,00
Total Biaya (Rp.)				273.25

Sumber: Andrela,2021

Dari hasil perhitungan solusi awal menggunakan Metode Vogel Approximation (VAM) dan pengujian optimal dengan perhitungan solusi optimal menggunakan Metode Stepping Stone, maka biaya transportasi untuk setiap lokasi proyek dapat dilihat pada tabel 14 dibawah ini.

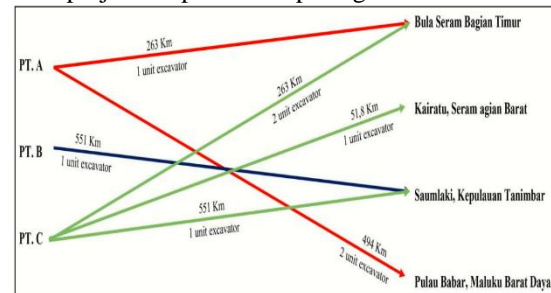
Tabel 14. Biaya Transportasi dari Sumber ke Lokasi Proyek

Dari	Ke	Jumlah (unit)	Biaya (Rp.)
PT. A dan PT. C	SBT	3	Rp. 82.750.000,-
PT. C	SBB	1	Rp. 36.250.000,-
PT. B dan PT. C	KKT	2	Rp. 102.250.000,-
PT. A	MBD	2	Rp. 52.000.000,-
Total Biaya dari Sumber ke Lokasi Proyek (Rp.)			Rp. 273.250.000,-

Sumber: Andrela,2021

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Metode Vogel Approximation (VAM) dan Metode

Stepping Stone diatas, maka dibuat model distribusi alat berat excavator dari sumber ke tujuan. Untuk memperjelas dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Sumber: Andrela,2021

Gambar 3. Model Distribusi Alat Berat Excavator Menggunakan Metode Vogel Approximation (VAM) dan Stepping Stone

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Biaya optimal yang didapat dari hasil perhitungan solusi awal menggunakan Metode Vogel Approximation dan pengujian solusi optimal menggunakan Metode Stepping Stone adalah sebesar Rp. 273.250.000,-
2. Pendistribusian dari PT. A ke lokasi Proyek Penggantian Jembatan Wai Lola Besar di Bula, Kab. Seram Bagian Timur sebanyak 1 unit excavator dengan biaya transportasinya sebesar Rp. 26.250.000,- dan dari PT. C ke lokasi Proyek Penggantian Jembatan Wai Lola Besar di Bula, Kab. Seram Bagian Timur sebanyak 2 unit excavator dengan biaya transportasinya sebesar Rp. 56.500.000,-, sehingga biaya total transportasi ke lokasi Proyek Penggantian Jembatan Wai Lola Besar di Bula, Kab. Seram Bagian Timur adalah sebesar Rp. 82.750.000,-
3. Pendistribusian dari PT. C ke lokasi Proyek Pembangunan Jalan Kairatu – Hunitetu di Kairatu, Kab. Seram Bagian Barat sebanyak 1 unit dengan biaya transportasinya sebesar Rp. 36.250.000,-
4. Pendistribusian dari PT. B ke lokasi Proyek Preservasi Jalan di Pulau Yamdena di Saumlaki, Kab. Kepulauan Tanimbar sebanyak 1 unit dengan biaya transportasinya sebesar Rp. 50.250.000,-, dan dari PT. C ke lokasi Proyek Preservasi Jalan di Pulau Yamdena di Saumlaki, Kab. Kepulauan Tanimbar sebanyak 1 unit dengan biaya transportasinya sebesar Rp. 36.250.000,- sehingga biaya total transportasi ke lokasi Proyek Preservasi Jalan di Pulau Yamdena di Saumlaki, Kab. Kepulauan Tanimbar adalah sebesar Rp. 102.250.000,-
5. Pendistribusian dari PT. A ke lokasi Proyek Pembangunan Jembatan Loke Tapa VI di Pulau Babar, Kab. Maluku Barat Daya sebanyak 2 unit

dengan biaya transportasinya sebesar Rp. 52.000.000,-.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan penulis melalui penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Diharapkan supaya pada penentuan metode awal menggunakan Metode *Vogel Approximation* perlu diperhatikan selisih-selisih dari kedua nilai terendah, karena akan berpengaruh pada proses iterasi-nya yang bisa membuat pembengkakkan biaya transportasinya.
2. Diharapkan pada pengujian optimal menggunakan Metode *Stepping Stone* perlu diperhatikan jalur tertutupnya yang harus kembali ke bagian awal dengan jalur terpendek untuk tiap sel kosongnya agar tidak terjadi pembengkakkan biaya lebih dari perhitungan solusi awal.
3. Untuk peneliti selanjutnya yang ingin mengkaji topik yang sama disarankan menggunakan banyak sumber dan banyak tujuan serta lebih dari satu jenis alat berat yang akan didistribusikan sehingga akan memperoleh hasil yang lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, N.P.H., Tarore, H., Walangitan, D.R.O., & Sibi, M., (2013). “*Aplikasi Metode Stepping-Stone Untuk Optimasi Perencanaan Biaya Pada Suatu Proyek Konstruksi (Studi Kasus : Proyek Pemeliharaan Ruas Jalan di Senduk, Tinoor, dan Ratahan*”. Jurnal Sipil Statik, Vol. 1, No. 8, Manado.
- Manurung, Arnita. (2019). “*Analisis Penerapan Model Transportasi Dengan Metode Vogel Approximation (VAM) Dengan Uji Modified Distribution (MODI) (Studi Kasus : PT. Multi Ganda Scoteknik)*”. Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara.
- Purba, Sustris Eliyani. (2018). “*Analisis Beberapa Metode Transportasi Dalam Optimalisasi Biaya Distribusi*”. Departemen Matematika Universitas Sumatera Utara.