

**IMPLEMENTASI METODE *VOGEL'S APPROXIMATION METHOD* (VAM) DAN *STEPPING STONE* UNTUK OPTIMALISASI BIAYA DISTRIBUSI MATERIAL BESI BETON PADA DAERAH KEPULAUAN DI PROVINSI MALUKU**

**Meidy Kempa**

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pattimura  
[meidykempa@yahoo.com](mailto:meidykempa@yahoo.com)

**ABSTRACT**

The difference in the distance between the source location and the destination location, the difference in transportation routes for each destination location, and the difference in material prices for each source location cause differences in material distribution costs. The results of the survey and calculation show that the distribution cost of Ø8 steel bar materials each bar from supplier A to each project location, namely in Southwest Maluku of Rp49,164.99, South Buru of Rp45,424.82, and Central Maluku of Rp40,890.81. The difference in material distribution costs can problems in distribution costs if the distribution process is not carried out properly. In addition, another factor is the long-time of supplier due to lack of mastery of material prices, which can result in cost overruns due to a less than optimal distribution process and the material needed do not arrive on time in the field. The purpose of this research was to obtain the optimum cost of distribution of steel bar material from the location of the material source to the project site in the archipelago territory. This research uses the transportation method with the initial solution is Vogel's Approximation Method (VAM) and the optimal solution using Stepping Stone Method. The results showed that the optimum cost for the distribution process of Ø8 steel bar materials was Rp33,156,609.80 and Ø10 steel bar materials were Rp169,987,444.79. The optimum cost is obtained from the steel bar material distribution planning is the project in the Southwest Maluku location comes from supplier C, the project in the South Buru location comes from suppliers B and C, the project in the Central Maluku location comes from suppliers A, B, and C, and the project at the location West Seram comes from supplier C.

**ABSTRAK**

Perbedaan jarak antara lokasi sumber dengan lokasi tujuan, perbedaan rute transportasi setiap lokasi tujuan dan perbedaan harga material setiap lokasi sumber menyebabkan adanya perbedaan biaya distribusi material. Hasil survei dan perhitungan menunjukkan bahwa biaya distribusi material besi beton Ø8 per staf dari *supplier* A ke masing-masing lokasi proyek yakni di Maluku Barat Daya sebesar Rp49.164,99, Buru Selatan sebesar Rp45.424,82 dan Maluku Tengah sebesar Rp40.890,81. Perbedaan biaya distribusi material dapat mengakibatkan adanya masalah pada biaya distribusi apabila proses distribusi tidak dilakukan dengan baik. Selain itu, faktor lain yaitu lamanya pemilihan *supplier* dikarenakan kurangnya penguasaan harga material dapat mengakibatkan adanya pembengkakan biaya akibat proses distribusi yang kurang optimal dan material yang dibutuhkan tidak tiba tepat waktu di lapangan. Tujuan penelitian ini untuk memperoleh biaya optimum distribusi material besi beton dari lokasi sumber material ke lokasi proyek daerah kepulauan. Penelitian ini menggunakan metode transportasi dengan solusi awal yaitu metode *Vogel's Approximation (VAM)* dan solusi optimal menggunakan metode *Stepping Stone*. Hasil penelitian menunjukkan biaya optimum untuk proses distribusi material besi Ø8 sebesar Rp33.156.609,80 dan material besi Ø10 sebesar Rp169.987.444,79. Biaya optimum diperoleh dari perencanaan distribusi material besi yaitu proyek di lokasi Maluku Barat Daya berasal dari *supplier* C, proyek di lokasi Buru Selatan berasal dari *supplier* B dan C, proyek di lokasi Maluku Tengah berasal dari *supplier* A, B dan C, dan proyek di lokasi Seram Bagian Barat berasal dari *supplier* C.

**Kata Kunci:** *Distribusi Material; Vogel's Approximation (VAM); Stepping Stone*

**1. PENDAHULUAN**

Sebagai daerah kepulauan, provinsi Maluku membutuhkan sistem jaringan transportasi yang kuat untuk memaksimalkan pemberdayaan potensi yang dimiliki, termasuk di dalamnya hasil perikanan, pertanian, perkebunan, bahan pokok, dan hasil pembangunan. Menurut data BPS Provinsi Maluku (2018), provinsi Maluku memiliki luas 712.480 km<sup>2</sup> yang terdiri dari sekitar 92,4% lautan dan 7,6% daratan, dengan jumlah pulau mencapai 1412 pulau

(besar dan kecil), dengan jumlah penduduk sekitar 1,5 juta yang tersebar dalam 9 kabupaten dan 2 kota. Dengan kondisi geografis seperti ini, maka karakteristik wilayah tiap daerah pun berbeda-beda, sehingga menyebabkan perkembangan pembangunan di beberapa wilayah di provinsi Maluku menjadi tidak merata. Pemusatan kegiatan ekonomi, pembangunan, perdagangan, sosial budaya, dan administratif hanya dipusatkan pada daerah tertentu saja, dalam hal ini cenderung pada pulau-pulau yang besar saja. Untuk

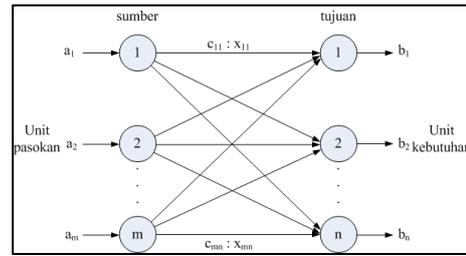
memaksimalkan kegiatan pembangunan di provinsi Maluku, kegiatan transportasi antar pulau dilakukan dengan sarana transportasi laut dan udara. Sedangkan transportasi internal daerah dalam satu pulau cenderung menggunakan transportasi darat.

Dalam kaitannya dengan industri konstruksi, kegiatan transportasi sangat membantu dalam pelaksanaan pembangunan infrastruktur di tiap daerah di provinsi Maluku, khususnya untuk distribusi material konstruksi antar pulau di provinsi Maluku. Distribusi material konstruksi yang lancar, akan berdampak pula pada penjadwalan proyek yang efektif dan efisien. Namun, permasalahan yang terjadi di lapangan adalah bahwa transportasi antar pulau yang tidak lancar, menjadi salah satu permasalahan terjadinya keterlambatan proyek konstruksi. Menurut survey pada Satker P2JN Balai Jalan dan Jembatan Provinsi Maluku (2020), sebanyak 47% proyek preservasi jalan, pembangunan dan penggantian jembatan mengalami keterlambatan yang diakibatkan oleh terlambatnya material konstruksi ke lokasi proyek, terutama proyek yang berada di daerah Kepulauan Aru, Kei, Bula, dan Namlea. Material konstruksi yang sangat berpengaruh pada progress proyek adalah besi beton, khususnya pada proyek pembangunan dan penggantian jembatan. Hal ini disebabkan karena volume material besi beton yang dipakai dalam pekerjaan beton memiliki bobot atau proporsi besar dalam RAB. Sedangkan dari sudut pandang supplier, kendala transportasi yang tidak lancar berdampak pada peningkatan biaya transportasi material, karena supplier harus memikirkan cara yang tepat agar pesanan material besi beton nya dapat tiba tepat waktu di lokasi proyek. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode optimasi yang tepat untuk memaksimalkan biaya distribusi material konstruksi antar tiap daerah di provinsi Maluku. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan biaya distribusi material besi beton yang paling optimal dengan menggunakan metode *Vogel's Approximation Method (VAM)* dan *Stepping Stone* sesuai kebutuhan di setiap lokasi proyek.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. 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 (Manurung, 2019). Alokasi produk harus diatur sedemikian rupa karena terdapat perbedaan biaya dari satu sumber atau beberapa sumber ke tempat tujuan yang berbeda. Jaringan model transportasi dapat dilihat pada Gambar 1. Dari tempat asal ke tujuan dihubungkan dengan rute yang membawa komoditi dimana persediaan di sumber i adalah  $a_i$  dan permintaan di tempat tujuan j adalah  $b_j$ , banyaknya komoditi yang didistribusikan adalah  $x_{ij}$  dan biaya transportasi dari i ke tujuan j adalah  $c_{ij}$ .



Sumber : Purba, 2018

Gambar 1. Jaringan Transportasi

Berdasarkan deskripsi jaringan transportasi dan pengertian model transportasi di atas, maka model transportasi dapat dituliskan ke dalam matriks transportasi, seperti pada Tabel 1.

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

Tabel 1. Matriks Masalah Transportasi

Keterangan :

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

Berdasarkan Tabel 1 di atas, dapat diformulasikan model matematika sebagai berikut :

Minimumkan :

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \tag{1}$$

dengan batasan :

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = Q_i, \quad i = 1,2,3, \dots, m \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j, \quad j = 1,2,3, \dots, n \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^m Q_i = \sum_{j=1}^n d_j \tag{4}$$

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

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 menyuplai kekurangan tersebut sebanyak :

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

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

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

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.

### 2.2. Metode Penyelesaian Transportasi

Langkah pertama dalam menyelesaikan persoalan transportasi adalah menentukan metode penyelesaian. Metode penyelesaian transportasi ada beberapa yaitu Metode *North West Corner*, Metode *Least Cost*, Metode *Vogel's Approximation* (VAM). Metode tersebut akan dioptimalkan dengan Metode *Stepping Stone*, dan Metode *Modified Distribution* (MODI).

### 2.3. 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 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 memilih sel yang demikian ditentukan sel yang bukan basis sedemikian rupa hingga akhirnya  $(m+n-1)$  sel tersebut membentuk pohon basis. Tetapi untuk menghilangkan timbulnya degenerasi basis, ditambahkan transformasi dengan memperkenalkan suatu bilangan  $\epsilon > 0$  sedemikian hingga :

$$\bar{Q}_i = Q_i + \epsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$$\bar{d}_j = d_j, \quad j = 1, 2, \dots, n - 1 \quad (9)$$

$$\bar{d}_n = d_n + m \epsilon \quad (10)$$

dimana  $\epsilon > 0$  tidak mempengaruhi persediaan atau kebutuhan sesungguhnya, jadi dalam praktek  $\epsilon$  dapat dihilangkan.

Maka diperoleh :

$$\sum_{i=1}^m (Q_i + \epsilon) = \sum_{j=1}^{n-1} d_j + d_n + m \epsilon \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^m \bar{Q}_i = \sum_{j=1}^n \bar{d}_j \quad (12)$$

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 PENELITIAN

### 3.1. Waktu & Lokasi Penelitian

Waktu dalam mengumpulkan data penelitian ini adalah 2-3 bulan, dengan meninjau supplier besi beton yang ada di kota Ambon, serta lokasi proyek di provinsi Maluku yang membutuhkan material besi beton untuk kebutuhan proyeknya. Adapun lokasi proyek dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Proyek Pembangunan Bangunan Kantor BPP Pulau Lakor, Kabupaten Maluku Barat Daya
2. Proyek Revitalisasi Pasar Rakyat Modern Namrole, Kabupaten Buru Selatan
3. Rehabilitasi dan Renovasi Pasar Pelauw, Desa Pelauw, Kabupaten Maluku Tengah
4. Pembangunan Rumah Jabatan Medis Puskesmas Persiapan Limboro, Kabupaten Seram Bagian Barat

### 3.2. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa ketentuan yang disusun secara sistematis, antara lain :

1. Survey/Observasi lapangan  
Survey/observasi lapangan dilakukan untuk memperoleh data sebagai berikut :
  - a. Data jumlah kebutuhan material besi beton
  - b. Data harga dan kuantitas material besi beton yang dapat disuplai
  - c. Data biaya angkutan dari sumber ke lokasi
  - d. Rencana Anggaran Biaya (RAB)
2. Wawancara  
Wawancara dilakukan ke pihak-pihak yang terkait, seperti supplier dan kontraktor untuk memperoleh data pendukung tujuan penelitian

### 3.3. Metode Pengolahan Data

Metode yang akan digunakan adalah metode *Vogel Approximation* (VAM) dan *Stepping Stone*. Langkah – langkah pengolahan data adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kebutuhan besi beton
2. Menghitung biaya unit besi beton
3. Membuat formulasi masalah transportasi
4. Membuat model transportasi dalam bentuk tabel
5. Periksa apakah total *demand* (TD) dan total *supply* (TS) sama atau tidak
6. Perhitungan solusi awal menggunakan metode VAM dengan langkah–langkah sebagai berikut :
  - a) Tentukan biaya penalti untuk tiap baris dan kolom dengan cara mengurangkan biaya sel terendah pada baris atau kolom terhadap biaya terendah berikutnya pada baris atau kolom.
  - b) Pilih baris atau kolom dengan biaya penalti tertinggi.
  - c) Alokasikan sebanyak mungkin ke sel fisibel dengan biaya transportasi terendah pada baris atau kolom dengan biaya penalti tertinggi.
  - d) Apabila jumlah penawaran dan permintaan belum terpenuhi semua, ulangi langkah a sampai c hingga semua kebutuhan terpenuhi.

7. Sebelum dilakukan pengujian menggunakan solusi optimal, harus dipastikan tidak terdapat degenerasi dan redundansi
8. Perhitungan solusi optimal menggunakan metode *Stepping Stone* dengan langkah-langkah sebagai berikut :
  - a) Isi tabel awal dengan metode VAM.
  - b) Harus dipastikan bahwa jumlah sel yang terisi harus ada  $(m+n-1)$ , dimana m adalah banyak sumber dan n adalah banyak tujuan. Jika terdapat jumlah sel yang terisi tidak memenuhi syarat  $(m+n-1)$  maka, perlu adanya degenerasi atau redundansi. Degenerasi terjadi apabila jumlah sel yang terisi kurang dari syarat dan redundansi terjadi jika jumlah sel yang terisi melebihi syarat.
  - c) Pilih kotak manapun yang tidak terpakai atau layak untuk dievaluasi.
  - d) Dimulai dari kotak yang tidak terpakai, telusurlah sebuah jalur tertutup yang kembali ke kotak awal melalui kotak-kotak yang sekarang ini yang sedang digunakan (yang diizinkan hanyalah gerakan vertikal dan horizontal). Walaupun demikian, diperbolehkan melewati kotak manapun baik itu kosong atau berisi.
  - e) Mulai dengan tanda plus (+) pada kotak yang tidak terpakai dan tempatkan secara bergantian tanda plus (+) dan tanda minus (-) pada setiap kotak untuk jalur yang tertutup dan baru saja dilewati.
  - f) Hitunglah indeks perbaikan dengan cara menambahkan biaya unit yang ditemukan pada setiap kotak yang berisi tanda plus (+), dilanjutkan dengan mengurangi biaya unit yang ditemukan pada setiap kotak berisi tanda minus (-).
  - g) Ulangi langkah c hingga f sampai semua indeks perbaikan untuk semua kotak yang tidak terpakai sudah dihitung. Jika semua indeks yang dihitung lebih besar atau sama dengan nol, maka solusi optimal sudah tercapai. Jika belum, maka solusi sekarang dapat terus ditingkatkan untuk mengurangi biaya pengiriman total.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1. Data Jumlah Kebutuhan Besi Beton**

Data kebutuhan material besi beton yang diperoleh yaitu jumlah kebutuhan material besi Ø8 dan Ø10 pada setiap lokasi proyek. Berikut data jumlah kebutuhan material besi pada setiap lokasi proyek, diuraikan pada tabel berikut.

**Tabel 2. Total Kebutuhan Material Besi**

Lokasi Proyek	Kebutuhan Material Besi (staf)		Total (staf)
	Ø8	Ø10	
Maluku Barat Daya	85	140	225
Buru Selatan	183	190	373
Maluku Tengah	400	1875	2275
Seram Bagian Barat	-	140	140
Total (staf)	668	2345	3013

Sumber : Meidy, 2021

**4.2. Data Biaya Unit Besi Beton**

**4.2.1. Data Harga & Kuantitas Material Besi Beton dari Supplier**

Data harga material dan kuantitas material yang dapat disuplai diperoleh dari sumber material yaitu *supplier* material dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

**Tabel 3. Daftar Harga & Kuantitas Material Besi Beton dari Supplier**

Diameter Besi	Sumber Material (Supplier)	Harga /staf (Rp)	Kuantitas yang dapat disuplai (staf)
Ø8	A	35,000.00	300
	B	52,500.00	168
	C	42,000.00	200
Ø10	A	54,000.00	1500
	B	83,500.00	300
	C	67,000.00	545

Sumber : (Meidy, 2021)

**4.2.2. Data Biaya Transportasi & Biaya Distribusi Beton dari Supplier ke Lokasi Proyek**

Data biaya transportasi yang diperoleh di lapangan merupakan data biaya transportasi untuk satu kali perjalanan. Biaya transportasi yang disajikan berupa data pengangkutan dan pengiriman material besi dari masing-masing *supplier* yaitu *supplier* A, B dan C ke tujuan yaitu lokasi proyek masing-masing. Berikut data biaya transportasi dari sumber material ke masing-masing lokasi proyek sehubungan dengan proses pengangkutan dan pengiriman material besi, diuraikan pada Tabel 4 berikut.

**Tabel 4. Data Biaya Transportasi dari Sumber Material ke Lokasi Proyek**

Dari Ke	Supplier A		Supplier B		Supplier C	
	Uraian	Harga	Uraian	Harga	Uraian	Harga
Maluku Barat Daya	Biaya mobil pick up ke pelabuhan	300000	Biaya mobil pick up ke pelabuhan	200000	Biaya mobil pick up ke pelabuhan	150000
	Biaya pengiriman menggunakan kapal sabuk nusantara 34	3000000	Biaya pengiriman menggunakan kapal sabuk nusantara 34	3000000	Biaya pengiriman menggunakan kapal sabuk nusantara 34	3000000
	Biaya mobil pick up dari pelabuhan ke lokasi proyek	1000000	Biaya mobil pick up dari pelabuhan ke lokasi proyek	1000000	Biaya mobil pick up dari pelabuhan ke lokasi proyek	1000000
	Total	4300000	Total	4200000	Total	4150000
Buru Selatan	Biaya mobil dump truk lintas Ambon Namrole	5000000	Biaya mobil dump truk lintas Ambon Namrole	5000000	Biaya mobil dump truk lintas Ambon Namrole	5000000
	Total	5000000	Total	5000000	Total	5000000
Maluku Tengah	Biaya mobil pick up lintas Ambon Pelauw	2800000	Biaya mobil pick up lintas Ambon Pelauw	2800000	Biaya mobil pick up lintas Ambon Pelauw	3000000
	Total	2800000	Total	2800000	Total	3000000
Seram Bagian Barat	Biaya truk ke pelabuhan dan buruh angkut	2000000	Biaya truk ke pelabuhan dan buruh angkut	2000000	Biaya truk ke pelabuhan dan buruh angkut	2000000
	Biaya pengiriman menggunakan kapal motor	2000000	Biaya pengiriman menggunakan kapal motor	2000000	Biaya pengiriman menggunakan kapal motor	2000000
	Total	4000000	Total	4000000	Total	4000000

Sumber : Meidy, 2021

Berdasarkan Tabel 4, biaya transportasi pengangkutan dan pengiriman material besi dari sumber material yaitu *supplier* A, B, dan C ke tujuan yaitu lokasi proyek berbeda-beda. Besar harga transportasi ditentukan dari jarak sumber ke lokasi. Selanjutnya, kebutuhan material besi untuk setiap lokasi proyek per staf (12 meter) dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

**Tabel 5. Kebutuhan Material Besi Beton (per staf) di Lokasi proyek**

Diameter Besi Beton (Ø)	Kebutuhan Besi di Lokasi Proyek			
	Maluku Barat Daya (MBD)	Buru Selatan	Maluku Tengah	Seram Bagian Barat (SBB)
	(staf)	(staf)	(staf)	(staf)
Ø8	85	183	400	-
Ø10	140	190	1875	140

Sumber : Meidy, 2021

Selanjutnya, dihitung biaya transportasi material besi beton untuk tiap lokasi proyek, dengan cara mengalikan biaya transportasi per kg besi dengan berat jenis besi beton untuk tiap diameter besi. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6. Biaya Transportasi per Kebutuhan Besi**

SUMBER MATERIAL (SUPPLIER)	BIAYA TRANSPORTASI per KEBUTUHAN BESI (Rp per Staf)							
	Maluku Barat Daya (MBD)		Buru Selatan		Maluku Tengah		Seram Bagian Barat (SBB)	
	Ø8	Ø10	Ø8	Ø10	Ø8	Ø10	Ø8	Ø10
Supplier A	14.164,99	22.114,11	10.424,82	16.275,04	841,54	1.313,80	-	28.571,43
Supplier B	13.835,57	21.599,83	10.424,82	16.275,04	856,57	1.337,26	-	28.571,43
Supplier C	13.670,86	21.342,69	10.424,82	16.275,04	901,65	1.407,65	-	28.571,43

Sumber : Meidy, 2021

Setelah itu, dihitung biaya distribusi material besi beton per staf, dengan menjumlahkan biaya transportasi per staf pada Tabel 6 dengan harga besi per staf pada Tabel 3. Hasil perhitungan biaya distribusi dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini.

**Tabel 7. Biaya Distribusi Besi Beton per staf**

SUMBER MATERIAL	BIAYA DISTRIBUSI per KEBUTUHAN BESI (Rp per Staf)							
	Maluku Barat Daya		Buru Selatan		Maluku Tengah		Seram Bagian Barat	
	Ø8	Ø10	Ø8	Ø10	Ø8	Ø10	Ø8	Ø10
Supplier A	49.164,99	76.114,11	45.424,82	70.275,04	40.890,81	63.196,63	-	82.571,43
Supplier B	66.335,57	105.099,83	62.924,82	99.775,04	58.496,01	92.860,85	-	112.071,43
Supplier C	55.670,86	88.342,69	52.424,82	83.275,04	48.311,58	76.853,53	-	95.571,43

Sumber : Meidy, 2021

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat bahwa biaya distribusi besi beton per staf paling besar adalah dari supplier B untuk semua daerah lokasi proyek. Sedangkan untuk lokasi proyek di SBB, biaya distribusi besi Ø8 bernilai 0 karena tidak ada permintaan/kebutuhan besi diameter tersebut.

**4.3. Formulasi Masalah Transportasi**

Setelah membuat data biaya transportasi & biaya distribusi material besi beton untuk tiap lokasi proyek, maka langkah selanjutnya adalah membuat formulasi masalah transportasi. Untuk penyelesaiannya maka p-ISSN: 2302-9579/e-ISSN: 2581-2866

harus diperiksa dulu apakah Total Demand (TD) dengan Total Supply (TS) sama atau tidak. Jika TD = TS, maka dikatakan Tabel Transportasi seimbang (*equilibrium*), jadi tidak perlu ada kolom *dummy* (tujuan *dummy*) maupun baris *dummy* (sumber *dummy*). Formulasi masalah transportasi untuk material besi Ø8 dan Ø10 masing-masing dilakukan sesuai Rumus (1) sampai dengan Rumus (5), dan dirangkum dalam Tabel 8 dan Tabel 9 di bawah ini.

**Tabel 8. Distribusi Awal untuk Material Besi Ø8**

DARI	KE	MBD	Bursel	Malteng	SUPPLY
	A	B	C		
Supplier A (1)		49.164,99	45.424,82	40.890,81	300
Supplier B (2)		66.335,57	62.924,82	58.496,01	168
Supplier C (3)		55.670,86	52.424,82	48.311,58	200
DEMAND		85	183	400	668

Sumber : Meidy, 2021

**Tabel 9. Distribusi Awal untuk Material Besi Ø10**

DARI	KE	MBD (1)	BURSEL (2)	MALTENG (3)	SBB (4)	SUPPLY
	SUPPLIER A (1)		76.114,11	70.275,04	63.196,63	
SUPPLIER B (2)		105.099,83	99.775,04	92.860,85	112.071,43	300
SUPPLIER C (3)		88.342,69	83.275,04	76.853,53	95.571,43	545
DEMAND		140	190	1875	140	2345

Sumber : Meidy, 2021

**4.4. Perhitungan dengan Metode VAM**

Langkah pertama adalah menghitung biaya penalti untuk tiap baris dan kolom menggunakan Tabel Distribusi Awal untuk material besi Ø8 dan Ø10 pada Tabel 8 dan Tabel 9 di atas, 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 lakukan hal yang sama pada bagian kolomnya. 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. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 10 di bawah ini.

**Tabel 10. Biaya Penalti VAM ke-1 untuk Besi Ø8**

DARI	KE	MBD	Bursel	Malteng	SUPPLY	Selisih Baris
	A	B	C			
Supplier A (1)		49.164,99	45.424,82	40.890,81	300	4.534,01
Supplier B (2)		66.335,57	62.924,82	58.496,01	168	4.428,81
Supplier C (3)		55.670,86	52.424,82	48.311,58	200	4.113,24
DEMAND		85	183	400	668	
Selisih Kolom		6.505,87	7.000,00	7.420,77		

Sumber : Meidy, 2021

Pada material besi Ø8 di Tabel 10, kolom ketiga memiliki biaya penalti tertinggi yaitu Rp.7.420,77,-. Dari sini, dapat dialokasikan sebanyak mungkin sesuai kebutuhan dan pasokan pada sel fisibel dalam kolom biaya terendah. Dalam baris C, sel Malteng (C) memiliki biaya terendah yaitu Rp.48.311,58,- dan jumlah terbanyak yang dapat dialokasikan adalah 400 staf besi Ø8. Pengalokasian besi Ø8 dapat dilihat pada

Tabel 11 di bawah ini.

**Tabel 11. Alokasi VAM ke-1 untuk Besi φ8**

DARI	KE	MBD	Bursel	Malteng	SUPPLY
		A	B	C	
Supplier A (1)		49.164,99	45.424,82	40.890,81	300
Supplier B (2)		66.335,57	62.924,82	58.496,01	
Supplier C (3)		55.670,86	52.424,82	48.311,58	
DEMAND	85	183	400	668	

Sumber : Meidy, 2021

Dari Tabel 11 di atas, dapat dilihat bahwa sel yang diberi arsiran, merupakan sel yang telah selesai dialokasikan sesuai dengan kebutuhan dan pasokan maka untuk perhitungan berikutnya tidak diperhitungkan lagi. Selanjutnya, dengan cara yang sama langkah perhitungan dilakukan untuk menghitung baris atau kolom dengan biaya penalti tertinggi dan pengalokasian kebutuhan sesuai dengan biaya transportasi terendah. Hal ini dilakukan sampai semua kebutuhan di tiap daerah (proyek) dapat teralokasikan. Dalam penelitian ini, pengolahan data untuk material besi φ8 dilakukan sampai alokasi VAM yang ke-4, dengan hasil sesuai Tabel 12 sebagai berikut.

**Tabel 12. Alokasi VAM ke-4 untuk Besi φ8**

DARI	KE	MBD	Bursel	Malteng	SUPPLY
		A	B	C	
Supplier A (1)		49.164,99	45.424,82	40.890,81	300
Supplier B (2)		66.335,57	62.924,82	58.496,01	
Supplier C (3)		55.670,86	52.424,82	48.311,58	
DEMAND	85	115	183	400	668

Sumber : Meidy, 2021

Dari Tabel 12, dapat dilihat bahwa jumlah pengalokasian sel sebanyak 5 sel. Hal ini dianggap sudah sesuai dengan syarat (m+n-1), dimana m adalah banyaknya sumber, dan n adalah banyaknya tujuan. Sehingga m+n-1 = 3+3-1 = 5, sesuai dengan pendistribusian terakhir dengan jumlah isian sel sebanyak 5 sel. Maka, pendistribusian dengan metode VAM untuk besi φ8 adalah :

Minimumkan :

$$Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 Z_{ij} C_{ij} \quad \text{Sehingga :}$$

$$Z_{min} = \{(55.670,86 \times 85) + (62.924,82 \times 68) + (40.891,81 \times 300) + (58.496,01 \times 100)\}$$

$$= 33.156.609,16$$

Dengan cara yang sama, lakukan pula langkah perhitungan untuk material besi φ10. Pengalokasian data untuk material besi φ10 dilakukan sampai alokasi VAM ke-5, dengan hasil seperti pada Tabel 13.

**Tabel 13. Alokasi VAM ke-5 untuk Besi φ10**

DARI	KE	MBD	BURSEL	MALTENG	SBB	SUPPLY
		(1)	(2)	(3)	(4)	
Supplier A (1)		76.114,11	70.275,04	63.196,63	82.571,43	1500
Supplier B (2)		105.099,83	99.775,04	92.860,85	112.071,43	
Supplier C (3)		88.342,69	83.275,04	76.853,53	95.571,43	545
DEMAND	140	190	190	1875	140	

Sumber : (Meidy, 2021)

Dari Tabel 13, dapat dilihat bahwa jumlah pengalokasian sel sebanyak 6 sel. Hal ini dianggap sudah sesuai dengan syarat (m+n-1), dimana m adalah banyaknya sumber, dan n adalah banyaknya tujuan. Sehingga m+n-1 = 3+4-1 = 6, sesuai dengan pendistribusian terakhir dengan jumlah isian sel sebanyak 6 sel. Maka, pendistribusian dengan metode VAM untuk besi φ10 adalah :

Minimumkan :

$$Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 Z_{ij} C_{ij} \quad \text{Sehingga}$$

$$Z_{min} = \{(88.342,69 \times 140) + (83.275,04 \times 190) + (63.196,63 \times 1500) + (92.860,85 \times 300) + (76.853,53 \times 75) + (95.571,43 \times 140)\}$$

$$= 169.987.449,15$$

#### 4.5. Pengujian Optimal Metode Stepping Stone

Setelah mendapat solusi awal dengan metode VAM maka selanjutnya mencari solusi optimal dengan menggunakan metode *Stepping Stone*. Sebelum mencari solusi optimal harus dipastikan tidak terdapat degenerasi dan redundansi. Berdasarkan Tabel 12 dan Tabel 13, dapat dilihat bahwa jumlah pengalokasian sel untuk besi φ8 dan besi φ10 masing-masing sudah memenuhi syarat (m + n - 1) sehingga tidak diperlukan degenerasi dan redundansi. Selanjutnya tinggal dicari solusi biaya optimal dengan metode *stepping stone*, sesuai Tabel 14 untuk besi φ8 dan Tabel 15 untuk besi φ10 di bawah ini.

**Tabel 14. Tabel Distribusi Awal Besi φ8 Metode Stepping Stone**

DARI	KE	MBD	Bursel	Malteng	SUPPLY
		A	B	C	
Supplier A (1)	X	49.164,99	45.424,82	40.890,81	300
Supplier B (2)	X	66.335,57	62.924,82	58.496,01	
Supplier C (3)	85	55.670,86	52.424,82	48.311,58	
DEMAND	85	115	183	400	668

Sumber : Meidy, 2021

**Tabel 15. Tabel Distribusi Awal Besi φ10 Metode Stepping Stone**

DARI	KE	MBD	BURSEL	MALTENG	SBB	SUPPLY
		(1)	(2)	(3)	(4)	
Supplier A (1)	X	76.114,11	70.275,04	63.196,63	82.571,43	1500
Supplier B (2)	X	105.099,83	99.775,04	92.860,85	112.071,43	
Supplier C (3)	X	88.342,69	83.275,04	76.853,53	95.571,43	545
DEMAND	140	190	190	1875	140	

Sumber : Meidy, 2021

Langkah selanjutnya melakukan pengujian solusi optimal menggunakan Tabel 14 dan Tabel 15 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 :

**Material Besi φ8**

$$A - MBD = 49.164,99 - 40.890,81 + 58.496,01 - 62.924,82 + 52.424,82 - 55.670,86 = 599,33$$

$$A - Bursel = 45.424,82 - 40.890,81 + 58.496,01 - 62.924,82 = 105,20$$

$$B - MBD = 66.335,57 - 62.924,82 + 52.424,82 - 55.670,86 = 164,71$$

$$C - Malteng = 48.311,58 - 52.424,82 + 62.924,82 - 58.496,01 = 315,57$$

**Material Besi φ10**

$$A - MBD = 76.114,11 - 63.196,63 + 76.853,53 - 88.342,69 = 1.428$$

$$A - Bursel = 70.257,04 - 63.196,63 + 76.853,53 - 83.275,04 = 656,90$$

$$A - SBB = 82.571,43 - 95.571,43 + 76.853,53 - 63.196,63 = 656,90$$

$$B - MBD = 105.099,83 - 92.860,85 + 76.853,53 - 88.342,69 = 749,82$$

$$B - Bursel = 99.775,04 - 92.860,85 + 76.853,53 - 83.275,04 = 492,68$$

$$B - SBB = 112.071,43 - 95.571,43 + 76.853,53 - 82.860,85 = 492,68$$

Dari perhitungan diatas, terlihat tidak ada nilai negatif, sehingga perhitungan biaya menggunakan metode VAM dinyatakan telah optimal. Oleh karena itu, total biaya distribusi material untuk besi φ8 dan φ10 adalah seperti pada Tabel 16 dan Tabel 17 berikut ini.

**Tabel 16. Biaya Distribusi Material untuk Besi φ8**

Dari	Ke	Jumlah (staff)	Biaya per staff	Biaya Total (Rp.)
Supplier A	Malteng	300	40.890,81	12.267.243,00
Supplier B	Bursel	68	62.924,82	4.278.887,76
Supplier B	Malteng	100	58.496,01	5.849.601,00
Supplier C	MBD	85	55.670,86	4.732.023,10
Supplier C	Bursel	115	52.424,82	6.028.854,30
<b>Total Biaya (Rp.)</b>				<b>33.156.609,16</b>

Sumber : Meidy, 2021

**Tabel 17. Biaya Distribusi Material untuk Besi φ10**

Dari	Ke	Jumlah (staff)	Biaya per staff	Biaya Total (Rp.)
Supplier A	Malteng	1500	63.196,63	94.794.945,00
Supplier B	Malteng	300	92.860,85	27.858.255,00
Supplier C	MBD	140	88.342,69	12.367.976,60
Supplier C	Bursel	190	83.275,04	15.822.257,60
Supplier C	Malteng	75	76.853,53	5.764.014,75
Supplier C	SBB	140	95.571,43	13.380.000,20
<b>Total Biaya (Rp.)</b>				<b>169.987.449,15</b>

Sumber : Meidy, 2021

Selanjutnya dilakukan pengelompokan biaya distribusi material untuk tiap lokasi proyek sesuai jumlah kebutuhan yang diperlukan pada proyek tersebut. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 18 s/d Tabel 21.

**Tabel 18. Biaya Distribusi Besi ke Proyek di MBD**

Diameter Besi Ø	Sumber (Supplier)	Jumlah Besi (Staff)	Biaya Distribusi (Rp.)
8	C	85	4.732.023,10
10	C	140	12.367.976,60
<b>Total.</b>			<b>17.099.999,70</b>

Sumber : Meidy, 2021

**Tabel 19. Biaya Distribusi Besi ke Proyek di BurSel**

Diameter Besi Ø	Sumber (Supplier)	Jumlah Besi (Staff)	Biaya Distribusi (Rp.)
8	B	68	4.278.887,76
8	C	115	6.028.854,30
10	C	190	15.822.257,60
<b>Total.</b>			<b>26.129.999,66</b>

Sumber : Meidy, 2021

**Tabel 20. Biaya Distribusi Besi ke Proyek di MalTeng**

Diameter Besi Ø	Sumber (Supplier)	Jumlah Besi (Staff)	Biaya Distribusi (Rp.)
8	A	300	12.267.243,00
8	B	100	5.849.601,00
10	A	1500	94.794.945,00
10	B	300	27.858.255,00
10	C	75	5.764.014,75
<b>Total.</b>			<b>146.534.058,75</b>

Sumber : Meidy, 2021

**Tabel 21. Biaya Distribusi Besi ke Proyek di SBB**

Diameter Besi Ø	Sumber (Supplier)	Jumlah Besi (Staff)	Biaya Distribusi (Rp.)
10	C	140	13.380.000,20
<b>Total.</b>			<b>13.380.000,20</b>

Sumber : Meidy, 2021

**5. PENUTUP**

**5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil perhitungan biaya distribusi material besi beton dari lokasi sumber ke lokasi proyek dengan menggunakan metode VAM dan Stepping Stone, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Biaya optimum distribusi material besi beton φ8 ke seluruh lokasi proyek adalah Rp.33.156.609,16, sedangkan biaya optimum distribusi material besi beton φ10 ke seluruh lokasi proyek adalah Rp. 169.987.444,79.
2. Distribusi material besi ke lokasi proyek di Maluku Barat Daya berasal dari *supplier* C untuk material besi Ø8 dan Ø10 masing-masing sebanyak 85 staf dan 140 staf. Total distribusi material besi ke lokasi proyek di Maluku Barat Daya adalah sebesar Rp17.100.000,00.
3. Distribusi material besi ke lokasi proyek di Buru Selatan berasal dari *supplier* B untuk material besi Ø8 sebanyak 68 staf dan *supplier* C untuk material besi Ø8 dan Ø10 masing-masing sebanyak 115 staf dan 190 staf. Total biaya distribusi material besi ke lokasi proyek di Buru Selatan adalah sebesar Rp26.130.000,00.
4. Distribusi material besi ke lokasi di Maluku Tengah berasal dari *supplier* A untuk material material besi Ø8 dan Ø10 masing-masing

sebanyak 300 staf dan 1500 staf, *supplier* B untuk material besi Ø8 dan Ø10 masing-masing sebanyak 100 staf dan 300 staf dan *supplier* C untuk material besi 10 sebanyak 75 staf. Total biaya distribusi material besi ke lokasi proyek di Maluku Tengah adalah sebesar Rp146.534.054,59.

5. Distribusi material besi ke lokasi proyek di Seram Bagian Barat berasal dari *supplier* C untuk material besi Ø10 sebanyak 140 staf. Total biaya distribusi material besi ke lokasi proyek di Seram Bagian Barat adalah sebesar Rp13.380.000,00.

## 5.2. Saran

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.

## DAFTAR PUSTAKA

- BPS Provinsi Maluku (2018). “*Data Topografi Wilayah Maluku*”. Badan Pusat Statistik Provinsi Maluku
- BPJN Provinsi Maluku (2020). “Rekap Laporan Konsultan Pengawas 2020 – Core Team BPJN Provinsi Maluku”
- 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.
- Septiana, et.al, (2020). “*Optimasi Biaya Pengiriman Kelapa Menggunakan Model Transportasi Metode Stepping Stone*”. Jurnal Rekayasa Sistem Industri, Vol. 5, No. 2, Bandung.
- Supit, Marcell (2019). “*Optimasi Biaya Untuk Pengadaan Material Dengan Metode Aproksimasi Vogel dan Stepping-Stone Pada Peningkatan Kualitas Rusunawa Bitung 1 Kota Bitung*”. Universitas Sam Ratulangi Manado, Manado.