

APLIKASI METODE TRANSPORTASI UNTUK OPTIMASI BIAYA SERTA EMISI PADA PENDISTRIBUSIAN MATERIAL PROYEK KONSTRUKSI JALAN LINGKUNGAN KAWASAN KOTA KUPANG

Karlina Juliana Faah

Mahasiswa Magister Manajemen Proyek Konstruksi Fakultas Teknik Sipil
Universitas Katolik Parahyangan, Jln. Merdeka No.30,
Bandung 40117 Tlp. 022-4202351, 4205090 Fax. 022-4200691
*Email: nca3l@yahoo.com

Abstrak

Transportasi merupakan suatu perpindahan barang/orang dari suatu tempat menuju tempat lainnya. Seiring dengan peningkatan kebutuhan masyarakat maka aktivitas transportasi pun juga meningkat. Hal ini di sebabkan adanya pergerakan menuju daerah pemenuhan kebutuhan yang berbeda-beda. Hal ini menjadikan transportasi sangat penting dalam menunjang aktivitas masyarakat dan turut menentukan perkembangan suatu wilayah. Dengan adanya transportasi yang lancar maka distribusi barang dan jasa juga akan semakin mudah. Namun bukan hanya sekedar memenuhi kebutuhan sosial dan memberikan manfaat ekonomi, saat ini transportasi juga harus memikirkan aspek lingkungan sehingga prinsip transportasi keberlanjutan dapat terwujud. Aktivitas transportasi yang ada bukan saja dilakukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat saat ini tetapi juga dapat dirasakan oleh generasi mendatang. Kegiatan transportasi yang memberikan dampak terhadap lingkungan antara lain konstruksi infrastruktur transportasi, perjalanan, perakitan perlengkapan transportasi, pemeliharaan infrastruktur, dan pendukung kendaraan lainnya. Makalah ini bertujuan menghitung simulasi optimalisasi biaya pendistribusian material timbunan pilihan untuk proyek Pekerjaan Jalan Lingkungan Kawasan Kota Kupang dari tiga lokasi sumber material (manulai, Batuplat, Lasiana) menuju 3 (tiga) ruas lokasi Pekerjaan (Belo, BTN kolhua, Manutapen) dan sekaligus menghitung optimalisasi emisi yang dihasilkan dari kendaraan pengangkut tersebut. Metode yang dilakukan yaitu dengan pengumpulan data sekunder serta simulasi biaya dan emisi optimal menggunakan metode transportasi. Adapun optimasi biaya pendistribusian material timbunan pilihan yaitu sebesar Rp.435,637,005.00 dan optimasi emisi CO₂ yang dihasilkan kendaraan pengangkut material yaitu sebesar 491.2899 kg.

Kata-kata kunci: *optimasi biaya, optimasi emis, pembangunan berkelanjutan, transportasi*

PENDAHULUAN

Pembangunan berkelanjutan saat ini merupakan tuntutan yang sedang diupayakan dilaksanakan pada negara-negara berkembang, salah satunya negara Indonesia. Pembangunan berkelanjutan merupakan upaya untuk memuaskan aspirasi manusia untuk kehidupan yang lebih baik. Pembangunan berkelanjutan didasarkan pada 3 (tiga) pilar yaitu aspek sosial (kebutuhan dasar manusia), aspek lingkungan (ekologi), dan aspek ekonomi (uang atau keuntungan).

Konsep pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan diberlakukan di Indonesia melalui Undang-Undang tahun 1992 tentang ketentuan ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang disempurnakan lagi dalam Undang- Undang No. 23 tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan hidup serta komitmen dalam upaya pelestarian lingkungan hidup semakin kuat dengan disahkannya Undang-Undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH) No 32 Tahun 2009 (Lawalata, 2014). Dengan penerapan undang-undang tersebut, maka seluruh pelaksanaan pembangunan diantaranya transportasi, infrastruktur jalan dan jembatan di Indonesia haruslah menerapkan pembangunan yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan hidup. Dalam konferensi tingkat tinggi ke-13 tentang perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) yang diselenggarakan di Bali pada bulan Desember 2007, Indonesia sepakat untuk menurunkan konsentrasi CO₂ di udara sebesar 26% sampai dengan 41% di akhirtahun 2020 dan disepakati tentang "peta jalur hijau" dengan pola pembangunan abad ke-21 yang berkadar rendah karbon (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 61 tahun 2011).

Transportasi merupakan suatu perpindahan barang/orang dari suatu tempat menuju tempat lainnya. Seiring dengan peningkatan kebutuhan masyarakat maka aktivitas transportasi pun juga meningkat. Hal ini di sebabkan adanya pergerakan menuju daerah pemenuhan kebutuhan yang berbeda-beda. Hal ini menjadikan transportasi sangat penting dalam menunjang aktivitas masyarakat dan turut menentukan perkembangan suatu wilayah. Dengan adanya transportasi yang lancar maka distribusi barang dan jasa juga akan semakin mudah.

Tidak selamanya aktivitas transportasi berdampak positif, aktivitas transportasi juga dapat memberikan dampak negatif salah satunya yaitu dampak terhadap lingkungan. Aktivitas transportasi yang tidak dikendalikan, terutama transportasi dengan kendaraan bermotor, dapat merugikan lingkungan dan ekosistem yang ada didalamnya. Dampak negatif dari masalah aktivitas transportasi adalah tingginya kadar polutan akibat emisi (pelepasan) dari asap kendaraan bermotor.

Proyek konstruksi membutuhkan transportasi sehingga dapat mendistribusikan material maupun alat ke lokasi pekerjaan dan sebaliknya. Sebagai bagian dari pengendalian proyek konstruksi dibutuhkan adanya perencanaan biaya yang optimal sehingga tidak terjadi pemborosan anggaran dengan maksud sisa anggaran dapat digunakan untuk kegiatan lainnya. Selain optimasi biaya juga perlu dihitung emisi optimal sehingga pendistribusian material setidaknya memberikan sedikit dampak negatif terhadap lingkungan, sehingga tujuan transportasi yang berkelanjutan yaitu dengan memenuhi kebutuhan generasi masa kini dengan tidak mengorbankan pemenuhan kebutuhan generasi masa mendatang dapat tercapai. Adapun penelitian ini bertujuan untuk menghitung biaya optimal dari pendistribusian material timbunan pilihan pada proyek jalan lingkungan kawasan Kota Kupang dan sekaligus menghitung emisi dari kendaraan pengangkut distribusi material dengan menggunakan metode transportasi.

METODOLOGI

Perhitungan perencanaan biaya dan emisi optimum pada pendistribusian material menggunakan metode transportasi diaplikasikan pada Pekerjaan Jalan Lingkungan Kawasan Kota Kupang yang terdiri dari 3 (Tiga) ruas jalan yaitu Jalan Manutapen, Belo dan BTN. Adapun metode transportasi yang digunakan yaitu Metode VAM (*Vogels Approximation Method*) untuk menentukan solusi awal dan metode MODI (*Modified Distribution Method*) dan *Stepping Stone* (SS) serta *Solver* untuk optimalisasi data.

Informasi Umum Kegiatan

Informasi kegiatan yang dilaksanakan pada tahun 2014 sesuai dokumen rencana yang dibiayai oleh dana Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) Provinsi NTT adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Proyek pekerjaan jalan lingkungan kota kupang

No	Ruas Penanganan	Target Penanganan	Kebutuhan Material Timbunan Pilihan	Waktu Pelaksanaan	Penyedia jasa	Jenis Penanganan
1	Belo	735 m	1176 m3	120 HK	CV. Teguh Karya	Jalan Perkerasan
2	Batu Plat	212 m	163.50 m3	120 HK	CV. Teguh Karya	Jalan Lapen Baru
3	Manutapen	2, 946 Km	53,25 m3	120 HK	CV. Teguh Karya	Peningkatan Jalan Lapen

Data Sumber Material (Quarry)

Berikut ini adalah data sumber material yang dibutuhkan dalam pekerjaan jalan lingkungan Kota Kupang, dalam penelitian ini dikhususkan pada sumber material timbunan pilihan. Adapun harga material dapat dilihat pada tabel 2. Besaran jarak antara lokasi dengan quarry dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2. Harga material dan kuantitas material timbunan pilihan yang dapat disupply

Lokasi Material	Harga/m3 (Rp)	Jumlah yg dapat disupply (m3)
Manulai	200.000,-	1200
Batuplat	250.000,-	500
Lasiana	135.000,-	300
Jumlah		2000

Tabel 3. Jarak masing-masing sumber terhadap lokasi pekerjaan

Ke/Dari	Belo (Km)	BTN Kolhua (Km)	Manutapen (Km)
Manulai	8,69	8,79	11,85
Batuplat	5,49	5,47	9,16
Lasiana	15,67	10,37	13,85

Biaya Angkutan dari Lokasi Sumber

Biaya angkutan dipengaruhi oleh jarak dan rute antara tiga lokasi sumber (*quarry*) dan tiga lokasi tujuan/proyek. Biaya angkutan yang akan digunakan adalah data biaya angkutan tiap 1 m³. Data yang didapat dari lapangan dan hasil analisa uraian alat adalah:

- Biaya sewa 1 unit dump truck = Rp. 1.158.000,-/hari
- Bahan bakar solar (harga industri) 1 unit dump truck (60 liter/hari) (1 liter =Rp.12.500,-) = 60 x Rp.12.500,- = Rp. 750.000,-/hari
- Upah/gaji sopir = Rp. 80.000,-/hari
- Upah Pembantu Sopir = Rp. 50.000,-/hari
- Biaya total angkutan 1 unit dump truck= **Rp. 2.038.000,-/hari**

Untuk mencari berapa biaya angkutan tiap 1 m³ dari rute-rute tersebut maka dibutuhkan kapasitas yang dapat diangkut per hari oleh 1 unit dump truck untuk rute-rute yang ada. Berdasarkan analisa harga satuan kapasitas dump truck/hari dapat diperkirakan jumlah retasi (angkutan pulang-pergi) dump truck/hari. Adapun retasi dump truck dari masing-masing lokasi sumber menuju ke-tiga lokasi pekerjaan dapat dilihat pada tabel 4. Kapasitas angkut 1 (satu) unit dump truck/hari diperoleh dari retasi setiap unit dump truck/hari pada masing-masing lokasi sumber ke masing-masing lokasi tujuan dikalikan dengan kapasitas angkut 1 unit dump truck (3,5 m³).

Tabel 4. Retasi 1 unit dump truck/hari. (Ret.)

Dari \ Ke	Belo (Km)	BTN Kolhua (Km)	Manutapen (Km)
Manulai	5	5	4
Batuplat	8	8	5
Lasiana	3	4	3

Ket : 1 Ret = 1 kali angkutan pergi-pulang

Tabel 5. Kubikasi (kapasitas angkut) 1 unit dump truck/hari (m³)

Dari \ Ke	Belo (Km)	BTN Kolhua (Km)	Manutapen (Km)
Manulai	17,5	17,5	14
Batuplat	28	28	17,5
Lasiana	10,5	14	10,5

Biaya angkutan tiap 1 m³ di tiap rute sama dengan biaya sewa 1 unit Dump Truck/hari dibagi dengan jumlah kubikasi atau jumlah (m³) yang dapat diangkut 1 unit dump truck dalam 1 hari pada 1 rute. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 6. Biaya total angkutan untuk 1 m³ diperoleh dengan menjumlahkan biaya angkutan untuk 1 m³ dengan harga material di setiap lokasi sumber. Untuk lebih jelasnya mengenai biaya total dapat dilihat pada tabel 7

Tabel 6. Biaya angkutan untuk 1 m³ (Rp)

Dari \ Ke	Belo (Km)	BTN Kolhua (Km)	Manutapen (Km)
Manulai	116,460.00	116,460.00	145,570.00
Batuplat	72,790.00	72,790.00	116,460.00
Lasiana	194,100.00	145,570.00	194,100.00

Tabel 7. Biaya total untuk 1 m³ (Rp)

Dari \ Ke	Belo (Km)	BTN Kolhua (Km)	Manutapen (Km)
Manulai	316,460.00	316,460.00	345,570.00
Batuplat	322,790.00	322,790.00	366,460.00
Lasiana	329,100.00	280,570.00	329,100.00

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian relevan yang pernah dilakukan sebelumnya yaitu Ali, dkk (2013), Aplikasi metode *Stepping-Stone* untuk optimasi Perencanaan biaya pada suatu proyek konstruksi (studi kasus: proyek pemeliharaan ruas jalan di Senduk, tinoor, dan ratahan); Simbolan, dkk (2014), *Aplikasi Metode Transportasi dalam Optimasi Biaya Distribusi Beras Miskin (Raskin) pada Perum Bulog Sub Divre Medan*; Prihastuti (2012), Efisiensi Biaya Transportasi dengan pendekatan metode North West Corner dan *Stepping Stone* (studi kasus Industri air Minum Kemasan di Lampung); Nelwan, dkk (2013), Optimasi Pendistribusian Air dengan Menggunakan Metode Least Cost dan Metode Modified Distribution (Studi Kasus: PDAM Kabupaten Minahasa Utara).

Berikut ini penjelasan singkat mengenai alogartima atau langkah – langkah metode transportasi :

- Untuk menghitung metode transportasi, dilihat apakah kebutuhan/demand dan kapasitas/supply mempunyai nilai yang sama atau tidak. Apabila nilainya sama maka perhitungan dapat dilanjutkan, sedangkan bila nilainya tidak sama maka ditambah kolom atau baris semu sehingga nilainya sama.
- Jika nilai kapasitas dan kebutuhannya sama dilanjutkan dengan membuat matrix transportasinya.
- Setelah dibuat matrixnya maka digunakan metode – metode (Least Cost, North West Corner, Vogell’s Approximation, Russell’s Approximation) untuk mencari solusi awalnya.
- Selesai mencari solusi awal dengan metode – metode yang ada, maka selanjutnya dilakukan test keoptimalan dilakukan dengan metode SS (Stepping Stone) dan atau MODI, jika hasilnya belum optimal maka dilakukan optimalisasi kembali dengan SS dan atau MODI sampai diperoleh hasil yang optimal.
- Selain metode tersebut diatas, dapat juga menggunakan solver sebagai alat bantu untuk mencari tahu nilai optimalnya.

Optimasi Biaya Pendistribusian Material

Adapun tabel transportasi dari pendistribusian material timbunan pilihan dapat dilihat pada tabel 8. Adanya ketidakseimbangan jumlah kebutuhan (demand) dengan jumlah kapasitas (supply), maka perlu penambahan kolom dummy yang ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 8. Matriks Transportasi

		Tujuan			Kapasitas
		Belo (Km)	BTN Kolhua (Km)	Manutapen (Km)	
SUMBER	Manulai	316,460.00	316,460.00	345,570.00	1200
	Batuplat	322,790.00	322,790.00	366,460.00	500
	Lasiana	329,100.00	280,570.00	329,100.00	300
Kebutuhan		1176	163.5	53.5	2000 1393

Tabel 9

Matriks Transportasi ditambahkan kolom dummy

		Tujuan				Kapasitas
		Belo	BTN Kolhua	Manutapen	Dummy	
SUMBER	Manulai	316,460.00 <i>x11</i>	316,460.00 <i>x12</i>	345,570.00 <i>x13</i>	0.00 <i>x14</i>	1200
	Batuplat	322,790.00 <i>x21</i>	322,790.00 <i>x22</i>	366,460.00 <i>x23</i>	0.00 <i>x24</i>	500
	Lasiana	329,100.00 <i>x31</i>	280,570.00 <i>x32</i>	329,100.00 <i>x33</i>	0.00 <i>x34</i>	300 2000
Kebutuhan		1176	163.5	53.5	607	2000

Secara matematis permasalahan transportasi dapat diimodelkan sebagai berikut:

Fungsi tujuan:

$$\text{Minimum } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \tag{1}$$

$$Z = \text{Rp. } 316,460.00X_{11} + \text{Rp. } 316,460.00 X_{12} + \text{Rp. } 345,570.00 X_{13} + \text{Rp. } 322,790.00X_{21} + \text{Rp. } 322,790.00X_{22} + \text{Rp. } 366,460.00X_{23} + \text{Rp. } 329,100.00X_{31} + \text{Rp. } 280,570.00X_{32} + \text{Rp. } 329,100.00X_{33}$$

Dengan kendala:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = a_i; i = 1,2, \dots, m \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i; i = 1,2, \dots, m \tag{3}$$

Kendala Kebutuhan material:

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} \geq 1176$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} \geq 163,5$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} \geq 53,5$$

Kendala Kapasitas material:

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} \leq 1200$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} \leq 500$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} \leq 300$$

$$X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{31}, X_{32}, X_{33} \geq 0$$

Keterangan :

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

X_{ij} = jumlah barang yang di distribusikan 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

Langkah pertama untuk menyelesaikan masalah transportasi adalah dengan menentukan solusi fisibel awal. Metode yang dibahas dalam penelitian ini adalah metode VAM (*Vogel's Approximation Method*) untuk solusi awal dan metode MODI serta *Stepping Stone* untuk solusi optimal. Adapun langkah-langkah metode VAM yaitu:

- Metode VAM dilakukan dengan menentukan alokasi distribusi untuk sel dengan nilai biaya terkecil (b_{ij}) dan terletak pada baris/kolom yang memiliki nilai terbesar dari selisih dua b_{ij} terkecil.
- Hitung selisih dua b_{ij} terkecil pada seluruh baris & kolom
- Pilih baris atau kolom dengan hasil selisih terbesar
- Alokasi distribusi maksimum pada baris atau kolom terpilih.

Adapun solusi awal dengan menggunakan metode VAM ditunjukkan pada tabel 10 dan tabel 11.

Tabel 10. Solusi Awal dengan Metode VAM

SUMBER	Tujuan				Kapasitas	Biaya Selisih
	Belo	BTN Kolhwa	Manutapan	Dummy		
Manulai	316,460.00	316,460.00	345,570.00	0.00	1093	29,110.00
	x11	x12	x13	x14		
Batuplat	322,790.00	322,790.00	366,460.00	0.00	500	322,790.00
	x21	x22	x23	x24		
Lasiana	329,100.00	280,570.00	329,100.00	0.00	83	0
	x31	x32	x33	x34		
Kebutuhan	0	0	0	0	0	0
Biaya Selisih	329,100.00	35,890.00	329,100.00	0		

Tabel 11. Solusi Awal Biaya Pendistribusian Material Dengan Metode VAM

sel	Biaya x Kebutuhan	Jumlah Biaya
x11	IDR 316,460.00 x 1,093.00	IDR 345,890,780.00
x14	IDR - x 107.00	IDR -
x24	IDR - x 500.00	IDR -
x31	IDR 329,100.00 x 83.00	IDR 27,315,300.00
x32	IDR 280,570.00 x 163.50	IDR 45,873,195.00
x33	IDR 329,100.00 x 53.50	IDR 17,606,850.00
		IDR 436,686,125.00

Setelah mendapatkan solusi fisibel awal maka selanjutnya dilakukan tes keoptimalan Metode *Modified Distribution (MODI)* dan metode *Stepping Stone*. Adapun syarat yang harus dipenuhi dalam melakukan tes yaitu jumlah sel yang terkena alokasi distribusi sejumlah: $m + n - 1$ dengan:

- m = jumlah baris = jumlah sumber
- n = jumlah kolom = jumlah tujuan

Sedangkan langkah-langkah metode MODI yaitu:

- Menguji solusi awal dengan menghitung *opportunity cost* pada sel-sel yang tidak terkena alokasi distribusi.
- Tabel sudah dikatakan optimal jika dan hanya jika *opportunity cost* sel-sel kosong negatif atau nol.
- Tentukan parameter berikut:
 - U_i : Angka kunci pada setiap baris i
 - V_j : Angka kunci pada setiap kolom j
 - B_{ij} : Biaya pengiriman terbesar pada sel ij
 - O_{ij} : *Opportunity Cost* pada sel ij
- O_{ij} adalah 0 untuk seluruh sel yang telah teralokasi, maka untuk seluruh sel berlaku:

$$O_{ij} = (U_i + V_j) - B_{ij} \quad \text{-----} \quad (4)$$

e. Langkah-langkah MODI :

- Menentukan nilai U_i dan V_j untuk seluruh baris dan kolom dengan pedoman $O_{ij} = 0$
- Menentukan *opportunity cost* (O_{ij}) pada sel-sel kosong.
- Jika ada *opportunity cost* bernilai positif tabel tidak optimal.

Cell	Opportunity Cost	Keterangan
O_{12}	(48,530.00)	Optimal

O ₁₃	(29,110.00)	Optimal
O ₂₁	(6,330.00)	Optimal
O ₂₂	(54,860.00)	Optimal
O ₂₃	(50,000.00)	Optimal
O ₃₄	12,640.00	Belum Optimal

Selanjutnya dilakukan optimalisasi data dengan metode *Stepping Stone* (SS). Adapun langkah-langkah optimalisasi dengan metode *Stepping Stone* yaitu :

1. Setelah melakukan tes keoptimalan dengan metode MODI diperoleh sel x₃₄ belum optimal karena nilai opportunity costnya bernilai positif. Untuk sel yang belum optimal perhatikan lintasan SS nya berikut nomor urutnya.
2. Pilihlah sel yang bernomor genap yang nilai alokasinya paling kecil, kemudian tambahkan nilai alokasi ini pada sel-sel kosong dan juga untuk semua sel isi yang bernomor ganjil.
3. Kurangi nilai alokasi semua sel bernomor genap dengan nilai alokasi tersebut.
4. Lakukan percobaan pemindahan dengan nilai alokasi baru. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa semua sel sudah optimal yang dibuktikan dengan hasil perhitungan bernilai positif.

Tabel 12 Hasil optimasi dengan metode SS (Stepping Stone)

	Tujuan				Kapasitas
	Belo (Km)	BTN Kolhua (Km)	Manutapen (Km)	Dummy	
Manulai	316,460.00 1176 x11	316,460.00 x12	345,570.00 x13	0.00 24 x14	1200
Batuplat	322,790.00 x21	322,790.00 x22	366,460.00 x23	0.00 500 x24	500
Lasiana	329,100.00 0 x31	280,570.00 163.5 x32	329,100.00 53.5 x33	0.00 83 x34	300
Kebutuhan	1176	163.5	53.5	607	2000

Berdasarkan hasil optimasi dengan metode stepping stone diperoleh biaya optimal dalam pendistribusian material timbunan pilihan ke tiga lokasi pekerjaan sebesar **Rp. 435.637.005,00**.

Biaya optimum diperoleh dari perencanaan distribusi material pada tabel 12 sebagai berikut:

- a. Untuk proyek ruas jalan Belo, jumlah kebutuhan material timbunan pilihan yaitu sebesar 1176 m³ dan semuanya diambil dari Sumber Material Manulai.
- b. Untuk proyek ruas jalan BTN Kolhua, jumlah kebutuhan material timbunan pilihan yaitu sebesar 163,5 m³ dan suplai diambil dari Sumber Material Lasiana.
- c. Untuk proyek ruas jalan Manutapen, jumlah kebutuhan material timbunan pilihan yaitu sebesar 53,5 m³ dan suplai diambil dari Sumber Material Lasiana.

Optmasi Emisi

Dalam menerapkan transportasi yang berkelanjutan, maka dalam penelitian ini juga dilakukan perhitungan optimasi emisi kendaraan yang dihasilkan dengan metode transportasi. Untuk menghitung emisi yang dihasilkan oleh kendaraan pengangkut material dalam hal ini dump truck dengan kapasitas 3,5 m³ menggunakan kalkulator energi dan emisi CO₂ transportasi yang terdapat pada situs www.hijauku.com.

Dari kalkulator tersebut emisi diperoleh dari jarak yang dimasukkan pada kolom kendaraan yang digunakan. Adapun jenis kendaraan yang digunakan yaitu mobil diesel dengan bahan bakar solar, dalam hal ini diasumsikan bahwa kendaraan yang dipakai sejenis. Menghitung emisi menggunakan kalkulator tersebut yaitu dengan cara memasukkan jarak pada jenis kendaraan yang dipakai yang kemudian diperoleh standar energi yang dihasilkan 2604 BTU/Km. untuk dapat mengetahui konsumsi energi dari bahan bakar yang digunakan dalam hal ini solar yaitu dengan

menghitung nilai energi yang dihasilkan per jarak dibagi dengan nilai konversi energi/BTU yaitu sebesar 36645 sehingga dihasilkan konsumsi energi sebesar 0,07016 liter. Dan untuk menghitung emisi CO₂ diperoleh dari nilai konversi emisi/BTU dari bahan bakar solar sebesar 2.7 dikalikan dengan konsumsi energi yang dihasilkan oleh bahan bakar 0.07016 liter. Berdasarkan perhitungan tersebut maka diperoleh data emisi yang dihasilkan berdasarkan jarak dari lokasi sumber menuju lokasi pekerjaan yang ditunjukkan pada tabel 13.

Tabel 13. Hasil Perhitungan Emisi CO₂ Kendaraan Pengangkut Material Berdasarkan Jarak

Dari \ Ke	Belo (Kg)	BTN Kolhua (Kg)	Manutapen (Kg)
Manulai	1.66728	1.68647	2.27356
Batuplat	0.39012	1.04949	1.75746
Lasiana	3.00648	1.9896	2.65729

Dari data tersebut dihitung optimasi emisi kendaraan yang dihasilkan dengan metode transportasi menggunakan bantuan software Solver yang terdapat pada Microsoft Excel. Dimana biaya transportasi pada setiap masing-masing lokasi sumber menuju lokasi pekerjaan diganti dengan total emisi CO₂ yang dihasilkan kendaraan tersebut. Sedangkan untuk jumlah Kapasitas dan Kebutuhan yang awalnya diisi dengan Kapasitas dan Kebutuhan Material dalam satuan m³ di konversi menjadi jumlah retasi dengan cara membagi kebutuhan dan kapasitas material dengan kapasitas angkut truck yaitu sebesar 3,5 m³ yang nantinya akan menghasilkan jumlah retasi dari kendaraan truck tersebut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14. Matriks Transportasi Total Emisi Kendaraan Pengangkut Material

Dari \ Ke	Belo (Kg)	BTN Kolhua (Kg)	Manutapen (Kg)	Kapasitas (Retasi)	Kapasitas (Material → M ³)
Manulai	1.66728 X ₁₁	1.68647 X ₁₂	2.27356 X ₁₃	343	1200
Batuplat	0.39012 X ₂₁	1.04949 X ₂₂	1.75746 X ₂₃	143	500
Lasiana	3.00648 X ₃₁	1.9896 X ₃₂	2.65729 X ₃₃	86	300
Kebutuhan (Retasi)	336	47	15		
Kebutuhan (Material → M ³)	1176	163.5	53.5		

Keterangan: Retasi = Total Material/3,5 (Kapasitas angkut 1 unit truck)

Berikut ini merupakan formulasi dari Optimasi Emisi:

$$Z = 1.66728X_{11} + 1.68647X_{12} + 2.27356X_{13} + 0,39012X_{21} + 1.04949X_{22} + 1.75746X_{23} + 3.00648X_{31} + 1.9896X_{32} + 2.65729X_{33}$$

Dengan kendala untuk Penawaran:

$$\begin{aligned} \text{Manulai : } & X_{11} + X_{12} + X_{13} \leq 343 \\ \text{Batuplat: } & X_{21} + X_{22} + X_{23} \leq 143 \\ \text{Lasiana: } & X_{31} + X_{32} + X_{33} \leq 86 \end{aligned}$$

Kendala Permintaan:

$$\begin{aligned} \text{Belo} & : X_{11} + X_{21} + X_{31} \geq 336 \\ \text{BTN Kolhua} & : X_{12} + X_{22} + X_{32} \geq 47 \\ \text{Manutapen} & : X_{13} + X_{23} + X_{33} \geq 15 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan dengan solver diperoleh optimalisasi emisi yang dapat dihasilkan oleh kendaraan pengangkut material timbunan pilihan yaitu sebesar **491.2899 kg.** untuk lebih jelasnya mengenai jumlah retasi menuju tiga lokasi pekerjaan untuk memperoleh optimasi emisi dapat ditunjukkan pada tabel 15.

Tabel 15. Tabel optimalisasi emisi dihitung dari jumlah retasi pada masing-masing lokasi

Dari \ Ke	Belo (Kg)	BTN Kolhua (Kg)	Manutapen (Kg)	Kapasitas (Retasi)
Manulai	193	47	15	255
Batuplat	143	0	0	143
Lasiana	0	0	0	0
Kebutuhan (Retasi)	336	47	15	398

Adapun jumlah retasi kendaraan pengangkut untuk menghasilkan emisi yang optimal dengan memenuhi kebutuhan material timbunan pilihan di setiap lokasi adalah sebagai berikut:

- Untuk proyek ruas jalan Belo, dibutuhkan jumlah retasi kendaraan sebanyak 193 ret dari sumber material lokasi Manulai dan retasi sebanyak 143 ret dari sumber material Batuplat untuk menghasilkan emisi CO₂ yang optimal.
- Untuk proyek ruas jalan BTN Kolhua, dibutuhkan jumlah retasi kendaraan sebanyak 47 ret dari lokasi Manulai untuk menghasilkan emisi CO₂ yang optimal.
- Untuk proyek ruas jalan Manutapen, dibutuhkan jumlah retasi kendaraan yaitu 15 ret dari lokasi Manulai untuk menghasilkan emisi CO₂ yang optimal.

Dari hasil diatas jika dikonversi ke biaya transportasi maka dihasilkan biaya sebesar Rp. 445,551,165.00,- dimana biaya ini menjadi lebih mahal di dibandingkan dengan optimalisasi biaya tanpa memperhitungkan emisi. Untuk lebih jelasnya mengenai perbandingan biaya dan alokasi cellnya dapat dilihat pada tabel 16.

Tabel 16. Perbandingan Biaya Optimalisasi Emisi dan Biaya Transportasi

Optimalisasi Biaya Transportasi				Biaya Transportasi dengan Optimalisasi Emisi			
1176	316460 X ₁₁	0	345570 X ₁₃	675.5	316460 X ₁₁	164.5	345570 X ₁₃
0	322790 X ₂₁	0	366460 X ₂₃	500.5	322790 X ₂₁	0	366460 X ₂₃
0	329100 X ₃₁	163.5	329100 X ₃₃	0	329100 X ₃₁	0	329100 X ₃₃
Total Biaya		Rp. 435.637.005		Total Biaya		Rp. 445.525.220	

Ket: Jumlah material dikonversi dari total retasi x 3,5 m³

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut selisih biaya antara hasil optimasi biaya dan hasil optimasi emisi CO₂ kendaraan sebesar Rp. 9,914,160.00,-

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Dengan menggunakan metode transportasi menggunakan software Solver yang terdapat pada Microsoft Excel diperoleh optimalisasi emisi sebesar 491.2899 kg.
- Jika dibandingkan, biaya transportasi distribusi material timbunan pilihan dengan mempertimbangkan emisi jumlahnya lebih besar yaitu Rp. 445.525.220,- dari perhitungan biaya optimal distribusi material yaitu sebesar Rp. 435.637.005,-. Terdapat selisih sebesar Rp. 9,914,160.00,-.
- Untuk menghasilkan transportasi material yang ramah lingkungan dibutuhkan biaya yg lebih besar, namun jika dalam pendistribusian material perhitungan emisi menjadi faktor pertimbangan maka diharapkan nantinya dapat memberikan manfaat bagi generasi di masa mendatang.
- Perlu adanya penggunaan bahan bakar yang ramah lingkungan sehingga pengurangan emisi dapat terwujud.
- Diperlukan adanya perhitungan emisi yang lebih akurat dengan memperhitungkan umur kendaraan sehingga mendekati solusi optimalnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambar Yuliasuti, 2008, *Estimasi Sebaran Keruangan Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor di Kota Semarang*, fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Aminuddin. *Prinsip-Prinsip Riset Operasi*. Erlangga. Jakarta, (2005).
- Putri Haji Ali, dkk., (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, Juli 2013*. Manado
- Simbolan, dkk., (2014), *Aplikasi Metode Transportasi dalam Optimalisasi Biaya Distribusi Beras Miskin (Raskin) pada Perum Bulog Sub Divre Medan*. *Jurnal Sainia Matematika Vol.02, No.03 (2014)*, pp 299-311. Medan
- <http://hijauku.com/kalkulator/transportasi/#.VvFXjDhp84A>