

MODEL MULTI OBJEKTIF UNTUK PEMILIHAN SUPPLIER INDUSTRI CPO PADA JARINGAN RANTAI PASOKAN RAMAH LINGKUNGAN DENGAN KETIDAKPASTIAN PASOKAN

Rizki Habibi¹, Arie Candra Panjaitan²

¹Universitas Negeri Medan, Jl. Williem Iskandar Ps V, Sumatera Utara, Indonesia

²Politeknik Cendana, Jl. Williem Iskandar No. 261, Sumatera Utara, Indonesia

Email: pakhabibi@gmail.com

Article History

Received: 19-02-2024

Revision: 23-02-2024

Accepted: 25-02-2024

Published: 27-02-2024

Abstract. This study proposes a mathematical model for the problem of selecting suppliers for the palm oil industry by considering the green factor. Stochastic parameters are also considered to deal with uncertain parameters in green supply chain networks. The objective of this model is to select suppliers considering the total costs and total greenhouse gas emissions. This paper aims to present a more comprehensive model based on real-world conditions for the supplier selection problem of green supply chain in the palm oil industries under uncertainty. Besides economic issues, environmental issues are also considered from several aspects such as selecting environmentally friendly suppliers and purchasing from them and considering the environmental impact of the finished product. The results show that increasing one of the indicators such as the number of products and market demand leads to an increase in the value of the total objective function, which is caused by an increase in problem size. On the other hand, the cost function increases when most supplier selection is environmentally friendly suppliers. Meanwhile, the function of the objective level of greenhouse gas emissions increases when the selection of suppliers is most suppliers with high greenhouse gas emissions, but the objective function of costs decreases.

Keywords: Multi-Objective Model, Supplier, CPO Supply Chain

Abstrak. Penelitian ini mengusulkan sebuah model matematis untuk menyelesaikan tantangan dalam pemilihan pemasok untuk industri CPO dengan mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan. Parameter-parameter stokastik digunakan untuk mengatasi ketidakpastian yang mungkin muncul dalam rantai pasok yang ramah lingkungan. Model ini bertujuan untuk menemukan pemasok terbaik dengan memperhitungkan total biaya dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan. Tujuan penelitian adalah untuk mengembangkan model yang mencerminkan kondisi dunia nyata dalam konteks pemilihan pemasok dalam rantai pasokan industri CPO yang berfokus pada keberlanjutan lingkungan, terutama dalam menghadapi ketidakpastian dalam pasokan. Selain mempertimbangkan aspek ekonomi, penelitian ini juga menitikberatkan pada isu lingkungan dengan memperhatikan berbagai faktor seperti pemilihan pemasok yang ramah lingkungan dan analisis dampak lingkungan dari produk akhir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungsi biaya meningkat ketika mayoritas pemilihan pemasok adalah pemasok ramah lingkungan. Sebaliknya, peningkatan salah satu indikator seperti jumlah produk dan permintaan pasar menyebabkan peningkatan nilai fungsi tujuan total yang disebabkan oleh peningkatan ukuran masalah. Sedangkan fungsi tingkat objektif emisi gas rumah kaca meningkat namun fungsi tujuan biaya menurun ketika pemilihan pemasok mayoritas adalah pemasok dengan emisi gas rumah kaca tinggi.

Kata Kunci: Model Multi Objektif, Suplier, Rantai Pasok CPO

How to Cite: Habibi, R & Panjaitan, A. C. (2024). Model Multi Objektif untuk Pemilihan Supplier Industri CPO pada Jaringan Rantai Pasokan Ramah Lingkungan dengan Ketidakpastian Pasokan. *Indo-MathEdu Intellectuals Journal*, 5 (1), 1294-1305. <http://doi.org/10.54373/imeij.v5i1.885>

PENDAHULUAN

Selama empat dekade terakhir, industri minyak CPO Indonesia telah mengalami pertumbuhan yang signifikan. Pada tahun 2018, produksi minyak CPO global mencapai 72 juta ton, dengan Indonesia menyumbang 57% dari jumlah tersebut, yaitu sekitar 41 juta ton. Industri CPO menghadapi dua tantangan utama dari pasar internasional, yakni masalah lingkungan dan penerimaan pasar (Ritchie & Roser, 2021). Isu lingkungan telah menjadi salah satu perhatian utama dalam aspek sosial dan komersial saat ini. Ini menunjukkan pentingnya menerapkan Manajemen Rantai Pasokan Hijau atau *Green Supply Chain Management* (GSCM) di semua tingkat rantai pasok industri CPO. GSCM berperan krusial dalam meningkatkan kinerja ekonomi (Zhu & Sarkis, 2004), daya saing, dan kondisi lingkungan (Rao & Holt, 2005). Berbagai keuntungan dan manfaat dari manajemen rantai pasokan hijau dalam meningkatkan kinerja lingkungan di antaranya adalah menciptakan nilai tambah bagi pelanggan, efisiensi dalam penggunaan sumber daya energi, pengurangan limbah, penurunan emisi, dan pada akhirnya, peningkatan produktivitas bagi perusahaan.

Pemilihan pemasok adalah salah satu komponen terpenting dalam rantai pasokan. Pemilihan pemasok dalam rantai pasokan merupakan keputusan strategis yang sangat penting bagi keberhasilan organisasi; oleh karena itu, telah menarik perhatian banyak peneliti akademis dan non-akademis (Memon et al., 2015). Mempertimbangkan faktor lingkungan dalam pembelian menghasilkan peningkatan pendapatan bersih dan penurunan biaya (Carter, C.R., Kale, R. and Grimm, 2000). Pemilihan pemasok yang tepat mengurangi biaya operasional organisasi dan meningkatkan kualitas produk mereka di masa depan; di sisi lain, pemilihan pemasok yang salah menyebabkan masalah keuangan dan operasional (Weber et al., 1991). Artikel ini bertujuan untuk menyajikan model permasalahan industri CPO dalam pemilihan pemasok dalam konteks GSCM dengan mempertimbangkan permasalahan lingkungan dari berbagai aspek seperti pemilihan pemasok ramah lingkungan dan pembelian dari mereka, serta memasukkan ketidakpastian intrinsik parameter model dengan menggunakan skenario pemasok terpisah dan pemrograman stokastik.

Pemilihan pemasok di industri CPO merupakan isu penting yang memainkan peran krusial dalam rantai pasok. Untuk menciptakan keunggulan kompetitif, pabrik CPO harus memberikan perhatian yang cukup terhadap pemilihan pemasok. Metode utama yang digunakan untuk menyelesaikan masalah pemilihan pemasok diklasifikasikan ke dalam tiga kategori seperti model matematika, metode *Data Envelopment Analysis* (DEA), dan metode pengambilan keputusan ganda. Memon et al., (2015) menyatakan bahwa masalah pemilihan pemasok melibatkan ketidakpastian acak dan menggunakan kombinasi teori abu-abu dan teori

ketidakpastian untuk menyelesaikannya. Penelitian mereka bertujuan untuk mengurangi risiko membeli dari pemasok. Hajikhani et al., (2017) menyajikan model fuzzy multi-tujuan untuk memilih dan mengalokasikan pesanan ke pemasok dalam kondisi yang tidak pasti, dengan mempertimbangkan kasus multi-periode, multi-sumber, dan multi-produk dengan harga dan rantai pasokan dua tingkat. Mereka memberikan studi kasus pertanian untuk menunjukkan penerapan model mereka dan menyelesaikannya dengan algoritma genetika sekuensing non-dominan (NSGA-II) dan algoritma MOPSO.

Yousefi et al., (2016) menggunakan metode DEA untuk pemilihan pemasok. Mereka menyadari bahwa meskipun metode DEA menentukan pola unit yang tidak efisien, mereka tidak dapat membedakan unit yang efisien. Untuk mencapai tujuan ini, mereka mengusulkan unit dinamis yang ideal menggunakan DEA dinamis dan model berbasis skenario dan mengukur efektivitasnya dengan studi kasus. Pandey et al., (2017) mengembangkan kerangka kerja untuk masalah ini dengan mengevaluasi pemasok berdasarkan data kuantitatif dan kualitatif. Mereka mengusulkan metode pemrograman objektif fuzzy dua fase yang menggabungkan fungsi keanggotaan hiperbolik untuk memecahkan masalah pemilihan pemasok dalam kondisi ketidakpastian. Lo et al., (2018) mengusulkan model baru yang mengintegrasikan metode terbaik-terburuk (BWM), teknik fuzzy yang dimodifikasi untuk preferensi pesanan dengan kemiripan dengan solusi ideal (TOPSIS), dan pemrograman linier multi-objektif fuzzy (FMOLP) untuk memecahkan masalah dalam pemilihan pemasok ramah lingkungan dan alokasi pesanan. Javad et al., (2020) mengidentifikasi pemasok alternatif perusahaan dan kriteria pemilihan pemasok yang paling efektif berdasarkan kemampuan inovasi ramah lingkungan pemasok ditentukan. Metode *Best-Worst* digunakan untuk menentukan peringkat berbagai kriteria pemilihan pemasok ramah lingkungan dalam masalah pengambilan keputusan multi-kriteria. Kemudian, Fuzzy TOPSIS digunakan untuk menentukan peringkat berbagai pemasok berdasarkan kriteria tertimbang untuk memilih pemasok yang paling efektif di antara sekumpulan pemasok alternatif.

Berbagai penelitian tersebut menyelidiki masalah pemilihan pemasok dengan pendekatan yang berbeda-beda, dimana kondisi ketidakpastian masih sangat terbatas dibahas. Artikel ini bertujuan untuk menyajikan model berdasarkan kondisi dunia nyata untuk masalah pemilihan pemasok CPO dalam rantai pasokan ramah lingkungan dalam kondisi ketidakpastian.

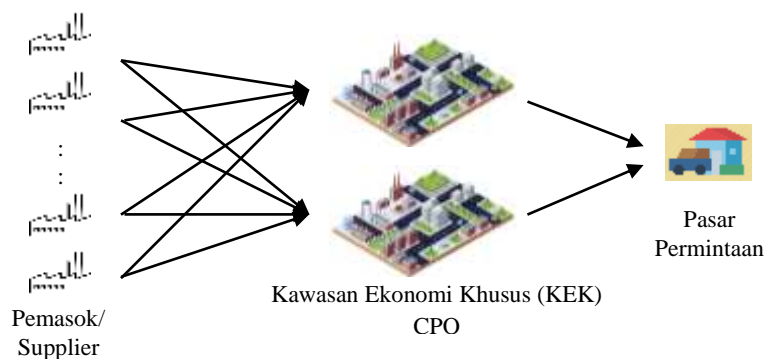
METODE

Penelitian ini mengembangkan model matematis multiobjektif untuk permasalahan pemilihan pemasok pabrik CPO dalam konteks GSCN. Terdiri dari dua fungsi tujuan, yaitu

meminimalkan biaya ekonomi; dan meminimalkan emisi gas rumah kaca. Pemrograman stokastik digunakan untuk menangani tantangan yang melekat pada parameter input, skenario dipertimbangkan untuk setiap parameter dan untuk menyelesaikan model matematika multi-objektif yang diusulkan sebagai model objektif tunggal dengan metode LP-metrik. Kemudian, contoh numerik diberikan untuk menunjukkan efektivitas model.

Deskripsi masalah dan model matematika

Dalam penelitian ini, masalah pemilihan pemasok (pabrik CPO) dipertimbangkan dimana Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) yang mengolah CPO menjadi “produk jadi” mengirimkan produknya ke pasar permintaan setelah membeli CPO dari pemasok dan menghasilkan produk jadi dari CPO. Tujuan dari penelitian ini untuk meminimalkan total biaya dan mengurangi dampak lingkungan dengan memilih dan membeli dari pemasok ramah lingkungan. Jaringan rantai pasokan yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Jaringan rantai pasokan industri CPO

Asumsi

- Produk yang dihasilkan dianggap sebagai produk tunggal;
- Lokasi fasilitas seperti pemasok dan KEK ditentukan di awal;
- Kapasitas masing-masing fasilitas diketahui di awal;

Set

- I : Pemasok;
 J : KEK yang mengolah CPO menjadi produk jadi;

Parameter

- a_{is} : Biaya pembelian per Metrik Ton (MT) CPO dari Pemasok i berdasarkan Skenario;
 c_{js} : Biaya produksi per unit produk jadi di KEK j berdasarkan Skenario s ;
 k_{js} : Biaya transport produk jadi antara KEK j dan Pasar Permintaan pada Skenario s ;

- l_{ijs} : Biaya transportasi per MT CPO antara Pemasok i dan KEK j berdasarkan Skenario s ;
- h_{js} : Unit biaya pemeliharaan produk jadi berdasarkan Skenario;
- d_{js} : Biaya pembongkaran per MT CPO di KEK j berdasarkan Skenario s ;
- b_s : Biaya keterlambatan pasokan per MT CPO berdasarkan Skenario;
- N : Persentase Volume CPO yang dibutuhkan untuk membuat 1 MT produk jadi;
- u_{is} : Tingkat emisi gas rumah kaca maksimum yang dapat diterima oleh Pemasok i berdasarkan Skenario menurut indikator lingkungan hidup;
- t_s : Biaya yang dikenakan per 1 metrik ton oleh sistem dalam hal pembelian dari pemasok ramah lingkungan berdasarkan Skenario s ;
- g_{is} : Persentase total volume bahan baku yang dibeli dari Pemasok i yang dipasok dengan penundaan berdasarkan Skenario s ;
- f_{is} : Emisi gas rumah kaca per 1 metrik ton pembelian CPO dari Pemasok i berdasarkan Skenario s ;
- e_{is} : Emisi gas rumah kaca di Pemasok i berdasarkan Skenario;
- cap_i : Kapasitas volume bahan baku di Pemasok i (dalam metrik ton);
- D_{js} : Besarnya Permintaan Pasar terhadap produk jadi pada KEK j pada Skenario s ;
- p_s : Probabilitas Skenario s .

Variabel Keputusan

- x_{ijs} : Jumlah CPO yang dikirim Pemasok i ke KEK j berdasarkan Skenario s ;
- y_{js} : Jumlah unit produk jadi yang dikirim KEK j ke pasar permintaan pada Skenario s ;
- w_i : 1 jika total emisi gas rumah kaca dari Pemasok i tetap tingkat yang dapat diterima, 0 sebaliknya.
- z_{ij} : 1 jika Pemasok i dipilih oleh KEK j untuk membeli, 0 sebaliknya;

Model matematika

Fungsi Tujuan:

$$\begin{aligned} \text{Min } f_1 = & \sum_i \sum_j \sum_s p_s \left(x_{ijs} \left(a_{is} + b_s g_{is} + l_{ijs} + d_{js} + (t_s w_i z_{ij}) \right) \right) \\ & + \sum_j \sum_s p_s \left(h_{js} (y_{js} - D_s) + y_{js} (c_{js} + k_{js}) \right) \end{aligned} \tag{1}$$

$$\text{Min } f_2 = \sum_i \sum_s p_s w_i e_{is} + \sum_i \sum_j \sum_s p_s x_{ijs} f_{is} z_{ij} \tag{2}$$

Batasan:

$$\sum_j y_{js} \geq n D_s \quad \forall s \tag{3}$$

$$\sum_j z_{ij} \leq \sum_j x_{ijs} \quad \forall i, s \quad (4)$$

$$\sum_j x_{ijs} \leq \sum_j \text{cap}_i z_{ij} \quad \forall i, s \quad (5)$$

$$w_{is} e_{is} \leq u_{is} \quad \forall i, s \quad (6)$$

$$\begin{aligned} x_{ijs}, y_{js} &\geq 0 \\ z_{ij}, w_i &\in \{0,1\} \end{aligned} \quad (7)$$

Fungsi tujuan (1) meminimalkan biaya pembelian bahan baku, biaya transportasi, biaya produksi, biaya pembongkaran, biaya pemeliharaan, biaya penalti atas keterlambatan dan biaya pemilihan pemasok ramah lingkungan (tanpa memperhatikan jarak, biaya kontrak, dll). Fungsi tujuan (2) adalah mengurangi emisi gas rumah kaca pemasok menggunakan metode max-min. Batasan (3) menyatakan bahwa produk yang dihasilkan lebih besar dari permintaan pasar. Batasan (4) menyatakan jika pemasok i dipilih maka harus ada aliran bahan baku dari pemasok i ke pabrik. Batasan (5) membatasi kapasitas pemasok. Batasan (6) menunjukkan apakah pemasok tersebut ramah lingkungan atau tidak. Batasan (7) menjelaskan jenis-jenis variabel.

Pendekatan Solusi

Banyak pendekatan telah disajikan dalam literatur untuk menyelesaikan optimasi model multi-tujuan. Mereka dapat diklasifikasikan ke dalam lima kategori utama, termasuk metode skalar, metode interaktif, metode fuzzy, metode metaheuristik dan metode bantuan keputusan Rajabi-Bahaabadi et al., (2015). Dalam tulisan ini, metode optimasi multiobjektif dipilih karena: (1) Berdasarkan penilaian para ahli, semua fungsi tujuan sama pentingnya, dan (2) fungsi tujuan mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Fungsi tujuan pada penelitian ini tidak homogen dan tidak mempunyai ukuran yang sama, oleh karena itu digunakan metode LP-metrik (Deb, 2001). Jika kita mengambil q_1 dan q_2 sebagai fungsi tujuan minimasi, kita mempunyai:

$$\text{MIN } Q_{\text{total}}^* = \lambda_1 q_1^{\text{norm}} + \lambda_2 q_2^{\text{norm}} \quad (8)$$

Dalam metode ini, nilai normalisasi q_1 dan q_2 merupakan fungsi minimalisasi objektif yang diperoleh dari persamaan:

$$q_i^{\text{norm}} = \frac{z_i - z_i^{\text{min}}}{z_i^{\text{max}} - z_i^{\text{min}}} \quad (9)$$

HASIL

Untuk memeriksa keakuratan dan efisiensi model yang diusulkan, masalah pengujian dibuat untuk analisis numerik. Pada tahap persiapan rantai pasok diasumsikan terdapat dua KEK (j_1 dan j_2), sepuluh pemasok ($i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7, i_8, i_9$, dan i_{10}), dan satu permintaan pasar. Ketidakpastian parameter masukan dipertimbangkan untuk dua skenario (skenario-1, skenario-2) dengan probabilitas 0,4 dan 0,6. Persentase volume CPO yang dibutuhkan untuk membuat 1 MT produk jadi dianggap $n = 1,46$. Nilai ini menunjukkan bahwa untuk membuat 1MT produk jadi, dibutuhkan 1,46MT CPO. Biaya transportasi berpasangan dari masing-masing pemasok ke KEK (l_{js}), biaya produksi (c_{js}), biaya pembongkaran (d_{js}), biaya perawatan (h_{js}), dan jumlah permintaan pasar terhadap produk jadi (D_{js}) diberikan pada Tabel 1. Parameter l_{js} ini diberikan dengan distribusi seragam antara (15, 30) dan c_{js} antara (250,350), dan d_{js} dan h_{js} antara (2,8). Biaya pembelian CPO per metrik ton (dalam jutaan rupiah) dari masing-masing pemasok (a_{is}), tingkat emisi gas rumah kaca maksimum yang dapat diterima (u_{is}), persentase total bahan baku yang dibeli dari masing-masing pemasok yang disuplai dengan penundaan (g_{is}), tingkat emisi gas rumah kaca dari masing-masing pemasok (e_{is}) dan emisi gas rumah kaca per 1 metrik ton pembelian CPO (f_{is}) diberikan pada Tabel 2. Parameter a_{is} diberikan dengan distribusi seragam antara (500, 700), u_{is} antara (100,200), g_{is} antara (0,2,0,8), e_{is} antara (100,400), dan f_{is} antara (0,2,0,8). Kapasitas volume CPO pada masing-masing pemasok dalam metrik ton (cap_i) diberikan pada Tabel 3. Parameter cap_i diberikan dengan distribusi seragam antara (300, 1500). Biaya keterlambatan pasokan CPO per metrik ton (b_s), biaya yang dibebankan oleh sistem dalam hal pembelian dari pemasok ramah lingkungan (t_s) disajikan pada Tabel 4. Parameter b_s diberikan dengan distribusi seragam antara (20, 30), dan t_s antara (400,500).

Tabel 1. Biaya transportasi, biaya produksi, biaya pembongkaran, biaya pemeliharaan, dan permintaan pasar

Skenario 1															
	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8	i_9	i_{10}	c_{js}	k_{js}	d_{js}	h_{js}	D_{js}
j_1	24	17	31	28	18	20	15	21	20	22	282	13	5	2	2000
j_2	22	18	21	21	20	19	29	19	23	16	326	11	6	3	1000
Skenario-2															
	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8	i_9	i_{10}	c_{js}	k_{js}	d_{js}	h_{js}	D_{js}
j_1	25	24	26	21	21	27	17	27	25	22	304	14	5	4	1200
j_2	23	22	15	27	17	21	28	16	29	27	315	18	4	5	2000

Tabel 2. Biaya pembelian, tingkat emisi maksimum, persentase terlambat, dan emisi dari pemasok

Skenario 1										
	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8	i_9	i_{10}
a_{is}	583	502	563	548	595	539	610	500	617	534
u_{is}	168	197	189	180	154	159	175	191	195	151
g_{is}	0,46	0,42	0,24	0,55	0,24	0,46	0,59	0,34	0,51	0,48
e_{is}	151	377	253	116	288	129	261	160	295	327
f_{is}	0,8	0,8	0,3	0,5	0,2	0,8	0,2	0,4	0,5	0,3
Skenario-2										
	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8	i_9	i_{10}
a_{is}	507	636	575	621	594	569	628	532	538	544
u_{is}	185	165	100	108	196	121	173	151	180	185
g_{is}	0,57	0,38	0,42	0,38	0,34	0,56	0,54	0,26	0,32	0,37
e_{is}	382	117	187	138	132	213	374	326	270	148
f_{is}	0,5	0,7	0,4	0,2	0,7	0,8	0,7	0,3	0,4	0,4

Tabel 3. Kapasitas volume CPO di Pemasok i (dalam metrik ton)

	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8	i_9	i_{10}
cap_i	610	1440	1220	570	950	620	380	1080	870	890

Tabel 4. Biaya keterlambatan dan biaya pembelian

	b_s	t_s
Skenario 1	20	500
Skenario-2	30	400

Eksperimen numerik dilakukan pada komputer dengan CPU Intel(R) Core(TM) i5-3427U @ 1,80GHz 2,30 GHz dengan RAM 8 GB. Model matematika yang diusulkan dalam makalah ini dikodekan menggunakan aplikasi solver. Hasil percobaan numerik yang menunjukkan hasil keputusan jumlah pemasok dalam jaringan rantai pasokan hijau pada kedua skenario disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil keputusan pemilihan pemasok

Skena rio	KEK	Permintaan pasar	pemasok ramah lingkungan	pemasok terpilih		Fungsi objektif	
				no. pemasok	Indeks pemasok	Obj-1	Obj-2
Skena rio 1	j1	2000	1, 4, 6, 8	4	2, 5, 8, 10	Rp45.103.840.000	3239
	j2	1000		2	3,1		
Skena rio-2	j1	1200	2,5,10	2	5, 10	Rp52.329.804.000	1619
	j2	2000		3	1,2,3		

DISKUSI

Hasil yang ditunjukkan pada Tabel.5 menjelaskan keputusan pada skenario pertama menunjukkan bahwa diantara 4 pemasok yang ramah lingkungan (pemasok 1, 4, 6, 8), hanya 2 pemasok yang dipilih, yaitu pemasok i_8 yang memasok KEK_1 dan pemasok i_1 yang memasok KEK_2 . Terlihat biaya dapat diminimalkan menjadi Rp45.103.840.000; dengan jauh lebih tinggi tingkat emisi gas rumah kaca dibandingkan skenario kedua. Pada skenario kedua, jumlah permintaan pasar CPO sebesar 2200MT yang harus dipenuhi lebih sedikit dibandingkan pada skenario pertama sebesar 3000MT, namun biaya yang dikeluarkan lebih besar dibandingkan pada skenario pertama sebesar Rp52.329.804.000. Hal ini terjadi karena pada skenario kedua, keputusan diambil antara 3 pemasok ramah lingkungan (pemasok 2, 5, 10), terdapat dua pemasok yang dipilih yaitu pemasok i_5 dan i_{10} yang merupakan pemasok KEK_1 dan KEK_2 serta pemasok i_2 yang mana juga memasok KEK_2 , sehingga hal ini meminimalkan tingkat emisi gas yang dihasilkan hingga 1619.

Hasil dari skenario pertama dan kedua menunjukkan pentingnya mempertimbangkan trade-off antara biaya operasional dan tingkat emisi gas rumah kaca dalam pemilihan pemasok dalam rantai pasokan hijau. Pada skenario pertama, meskipun hanya dua pemasok yang dipilih dari empat pemasok ramah lingkungan yang tersedia, keputusan ini menghasilkan biaya yang lebih rendah namun dengan tingkat emisi gas rumah kaca yang lebih tinggi. Ini menunjukkan bahwa fokus pada pengurangan biaya operasional dapat menghasilkan konsekuensi yang tidak diinginkan terkait dengan dampak lingkungan. Di sisi lain, pada skenario kedua, walaupun biaya yang dikeluarkan lebih tinggi, keputusan untuk memilih pemasok dari segi emisi gas rumah kaca lebih optimal, menghasilkan tingkat emisi yang lebih rendah. Hal ini menggambarkan pentingnya mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan dan ekonomi secara bersamaan dalam pengambilan keputusan rantai pasokan hijau sebagaimana uji kasus lanjutan dari penelitian Khalilzadeh & Derikvand (2018) yang mengusulkan sebuah model matematika untuk memilih pemasok terbaik dengan mempertimbangkan total biaya, total kualitas bagian, dan total emisi gas rumah kaca. Model ini juga menangani ketidakpastian dengan menggunakan pemrograman stokastik, dan menyelesaikan model multi-objektif sebagai model tunggal dengan metode LP-metric. Hasil penelitian ini juga memberikan gambaran serupa dengan kajian dari MIT-IDF (2018) yang mengeksplorasi bagaimana perusahaan-perusahaan terkemuka berkolaborasi dengan pemasok mereka untuk mengurangi emisi gas rumah kaca di seluruh rantai nilai. Dengan demikian, perusahaan perlu mempertimbangkan trade-off ini dengan cermat dan mengadopsi pendekatan yang seimbang antara keberlanjutan lingkungan

dan efisiensi biaya dalam pengelolaan rantai pasokan ramah lingkungan. Langkah-langkah seperti diversifikasi pemasok, penggunaan teknologi ramah lingkungan, dan kolaborasi dengan pemangku kepentingan dapat membantu dalam mencapai keseimbangan ini secara optimal.

KESIMPULAN

Dalam tulisan ini, model pemrograman bilangan bulat campuran multi-tujuan dikembangkan untuk pemilihan pemasok dalam rantai pasokan hijau dan untuk lebih dekat dengan masalah dunia nyata, pemilihan tersebut telah dipilih dalam model. Dalam model yang disajikan, pemilihan pemasok diusulkan untuk mengurangi biaya ekonomi secara optimal, dan mengurangi emisi gas rumah kaca terkait pemasok. Model matematika diselesaikan dan hasil analisis yang diperoleh dilakukan dengan menggunakan analisis sensitivitas. Analisis hasil menunjukkan bahwa peningkatan salah satu indikator seperti jumlah produk dan permintaan pasar menyebabkan peningkatan nilai fungsi tujuan total yang disebabkan oleh peningkatan ukuran masalah. Sebaliknya fungsi biaya meningkat ketika mayoritas pemilihan pemasok adalah pemasok ramah lingkungan. Sedangkan fungsi tingkat objektif emisi gas rumah kaca meningkat ketika pemilihan pemasok mayoritas adalah pemasok dengan emisi gas rumah kaca tinggi, namun fungsi tujuan biaya menurun.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian yang telah disajikan, beberapa rekomendasi dapat diambil untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan rantai pasokan ramah lingkungan. Optimalkan pemilihan pemasok, yaitu memastikan bahwa pemilihan pemasok dioptimalkan untuk mengurangi biaya ekonomi secara optimal dan mengurangi emisi gas rumah kaca terkait dengan pemasok. Ini bisa dilakukan dengan menggunakan model matematika yang disajikan dalam penelitian untuk menentukan kombinasi pemasok yang paling menguntungkan dari segi ekonomi dan lingkungan. Kemudian, mengingat peningkatan jumlah produk dan permintaan pasar akan menyebabkan peningkatan nilai fungsi tujuan total, penting untuk memperhatikan tren pertumbuhan pasar dan memperbarui strategi pemilihan pemasok secara berkala untuk mengakomodasi perubahan ini. Disamping itu, Meskipun fungsi biaya dapat meningkat ketika mayoritas pemilihan pemasok adalah pemasok ramah lingkungan, langkah-langkah harus diambil untuk lebih memprioritaskan pemasok yang ramah lingkungan dalam rangka menurunkan emisi gas rumah kaca dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Selain itu, penting untuk secara teratur mengevaluasi kinerja pemasok dalam hal emisi gas rumah kaca dan upaya ramah lingkungan lainnya. Ini dapat membantu dalam mengidentifikasi pemasok

yang membutuhkan perbaikan dan memastikan bahwa rantai pasokan terus bergerak menuju keberlanjutan yang lebih tinggi. Dengan mengimplementasikan rekomendasi ini, perusahaan dapat memperbaiki kinerja rantai pasokan mereka secara keseluruhan sambil berkontribusi pada upaya global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan keberlanjutan lingkungan. Terakhir, konsep *time window* dan inventori dalam *green supply chain* dapat dipelajari untuk penelitian lebih lanjut.

REFERENSI

- Carter, C.R., Kale, R. and Grimm, C. M. (2000). Environmental purchasing and firm performance: an empirical investigation. *Logistics and Transportation Research*, 36(3), 219–228.
- Deb, K. (2001). *Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. Jhon Wiley and Sons Ltd.
- Hajikhani, A., Khalilzadeh, M., & Sadjadi, S. J. (2017). A fuzzy multi-objective multi-product supplier selection and order allocation problem in supply chain under coverage and price considerations: An urban agricultural case study. *Scientia Iranica*, 25, 431–449.
- Javad, M. O. M., Darvishi, M., & Javad, A. O. M. (2020). Green supplier selection for the steel industry using BWM and fuzzy TOPSIS: A case study of Khouzestan steel company. *Sustainable Futures*, 2.
- Khalilzadeh, M., & Derikvand, H. (2018). A multi-objective supplier selection model for green supply chain network under uncertainty. *Journal of Modelling in Management*. <https://doi.org/10.1108/JM2-06-2017-0062>
- Lo, H., JH., L., H., W., & Y., T. (2018). An integrated model for solving problems in green supplier selection and order allocation. *Journal of Cleaner Production*, 190, 339–352.
- Memon, M. S., Lee, Y. H., & Mari, S. I. (2015). Group Multi-Criteria Supplier Selection Using Combined Grey Systems Theory And Uncertainty Theory. *Expert Systems with Applications*, 42, 7951–7959.
- MIT-IDF. (2018). Emerging Trends in Supply Chain Emissions Engagement. *Emerging Trends in Supply Chain Emissions Engagement Center For Corporate Climate Leadership U.S. Environmental Protection Agency*.
- Pandey, P., Shah, B. J., & Gajjar, H. (2017). A fuzzy goal programming approach for selecting sustainable suppliers. *Benchmarking: An International Journal*, 24(5), 1138–1165.
- Rajabi-Bahaabadi, M., Shariat-Mohaymany, A., Babaei, M., & Ahn, C. W. (2015). Multi-objective path finding in stochastic time-dependent road networks using non-dominated sorting genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 42(12), 5056–5064.
- Rao, P., & Holt, D. (2005). Do Green Supply Chains Lead To Competitiveness And Economic Performance? *International Journal of Operations & Production Management*, 25(9), 898–916.
- Ritchie, H., & Roser, M. (2021). *Forests and Deforestation*. OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/forests-and-deforestation>
- Weber, C. A., Current, J. R., & Benton, W. (1991). Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, 50(1), 2–18.

- Yousefi, S., Shabanpour, H., Fisher, R., & Saen, R. F. (2016). Evaluating and ranking sustainable suppliers by robust dynamic data envelopment analysis. *Measurement*, 83, 72–85.
- Zhu, Q., & Sarkis, J. (2004). Relationships Between Operational Practices And Performance Among Early Adopters Of Green Supply Chain Management Practices In Chinese Manufacturing Enterprises. *Journal of Operations Management*, 22(3), 265–289.