
*Supply Chain Optimization Model for Fresh Cow's Milk to Reduce
Carbon Emissions and Food Waste*

**Model Optimasi Rantai Pasok Susu Sapi Segar untuk Mereduksi
Emisi Karbon dan Food Waste**

Nofariza Aulia Jeremi^{1*}, Iwan Vanany²

^{1,2}Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri Rekayasa Sistem,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Email: nofarizanofa@gmail.com¹, vanany@ie.its.ac.id²

ABSTRAK

Industri makanan dan minuman menduduki posisi penting di Indonesia dengan pertumbuhan dalam 5 (lima) tahun rata-rata 8,16%. Pada tahun 2022, industri makanan dan minuman telah menyumbang lebih dari sepertiga atau 37,77% dari PDB industri pengolahan non-migas. Pertumbuhan yang dinilai positif bagi perekonomian, namun justru menjadi ancaman bagi lingkungan. Dengan tingginya permintaan makanan, semakin tinggi juga sisa makanan dan juga meningkatnya emisi karbon dari seluruh kegiatan rantai pasokan makanan (Food Supply Chain/FSC). Penelitian ini mengangkat sebuah kasus rantai pasokan pengolahan produk susu di wilayah Jawa Barat dengan multi pemasok susu (KUD Susu), pabrik produksi pengolahan tunggal, multi-distributor, dan multi-ritel konsumen dengan kondisi model multi-echelon, multi-periode, dan multi produk yang ramah lingkungan dengan memperhatikan limbah makanan (food waste) dan emisi karbon sebagai fungsi tujuan model. Dalam menyelesaikan masalah tersebut, digunakan model Mixed Integer Linear Programming (MILP) dalam memodelkan proses rantai pasokan untuk mengoptimalkan total biaya/TC, total food waste/TFW, dan total emisi karbon/TCE. Hasil penyelesaian penelitian menunjukkan total biaya sebesar Rp18,036,770,000, total food waste/TFW sebesar 21,734 liter, dan total emisi karbon/TCE sebesar 109,526 lt.CO₂-eq.

Kata kunci: Rantai Pasokan Makanan, Produk Susu, Mixed Integer Linear Programming (MILP), Food waste, Emisi Karbon.

ABSTRACT

The food and beverage industry occupies an important position in Indonesia, with growth in 5 (five) years, an average of 8.16%. In 2022, the food and beverage industry contributed more than one-third or 37.77% of the GDP of the non-oil and gas processing industry. However, growth considered positive for the economy is actually a threat to the environment. With the high demand for food, food waste and carbon emissions from all food supply chain (FSC) activities increase. This study raises a case of a dairy product processing supply chain in the West Java region with multiple milk suppliers (KUD Susu), a single processing production plant, multi distributors, and multi-consumer retail with multi-echelon, multi-period, and multi-product friendly conditions. Environment by considering food waste and carbon emissions as a function of the objective model. In solving this problem, the Mixed Integer Linear Programming (MILP) model is used in modeling supply chain processes to optimize total cost/TC, total food waste/TFW, and total carbon emissions/TCE. The results of the completion of the research showed a total cost of IDR 18,036,770,000, a total food waste/TFW of 21,734 liters, and a total carbon emission/TCE of 109,526 l.CO₂-eq.

Model Optimasi Rantai Pasok Susu Sapi Segar untuk Mereduksi Emisi Karbon dan Food Waste/ Nofariza Aulia Jeremi, Iwan Vanany

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2023 Nofariza Aulia Jeremi, Iwan Vanany

Keywords: *Food Supply Chain, Dairy Products, Mixed Integer Linear Programming (MILP), Food waste, Carbon Emissions.*

PENDAHULUAN

Industri makanan dan minuman (mamin) menempati posisi penting di Indonesia. Dalam kurun waktu 5 tahun 2015-2019, industri makanan tumbuh sebesar 8,16% atau lebih dari rata-rata pertumbuhan industri pengolahan migas sebesar 4,69%. Akibat dampak pandemi, pertumbuhan industri nonmigas menyusut sebesar 2,52% secara keseluruhan pada triwulan akhir tahun 2020. Berbeda dengan industri makanan dan minuman yang tumbuh positif pada tahun 2020 sebesar 1,58% [1]. Meskipun pertumbuhan ini baik untuk ekonomi, namun juga menimbulkan ancaman bagi lingkungan. Mengingat populasi Indonesia yang besar yaitu lebih dari 273 juta jiwa dan permintaan pangan yang tinggi, limbah dan pemborosan pangan merupakan masalah umum di seluruh rantai pasokan pangan (Food Supply Chain/FSC). Menurut laporan United Nations (United Nations Environment Programme/UNEP) Food waste Index 2021, Indonesia merupakan negara penghasil limbah makanan terbanyak di Asia Tenggara. Jumlah total limbah makanan di Indonesia adalah 20,93 juta ton per tahun [2]. Mengutip riset Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), jumlah sampah makanan di Indonesia bervariasi antara 23 hingga 48 juta ton per tahun antara tahun 2000 hingga 2019. Besarnya jumlah limbah makanan yang dihasilkan setiap negara saat ini meningkatkan minat penelitian di bidang pertanian, yang diharapkan dapat terwujudnya minimasi limbah makanan [3]. Upaya telah dilakukan melalui penelitian maupun upaya pemerintah telah untuk meminimalkan limbah makanan dan emisi yang dihasilkan [4].

Secara pengertian emisi merupakan proses pengiriman keluar zat-zat sisa berupa panas, gas, hingga cahaya dari senyawa atau sebuah objek. Dalam kegiatan industri produktif di Indonesia salah satunya adalah industri peternakan, proses pembibitan sapi merupakan salah satu komponen produksi yang sangat penting, selain itu proses pengolahan produk dari bahan baku menjadi produk jadi juga sangat penting, namun terjadinya kegiatan ini secara terus menerus memberikan dampak negatif kepada lingkungan. Setiap peternakan sapi perah menghasilkan 1,7 juta ton emisi CO₂e, yaitu sekitar 3,4% dari semua emisi CO₂e yang disebabkan oleh manusia dan meningkat 18% dari tahun 2005 karena meningkatnya permintaan konsumen [5]. Emisi juga dipengaruhi oleh konsumsi energi pengoperasian transportasi, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jarak tempuh, jenis bahan bakar yang digunakan (konvensional atau terbarukan) dan metode transportasi yang digunakan dalam pendistribusiannya. Sehingga dalam setiap proses produksi produk susu segar dan produk olahannya menjadi sumber makanan berkualitas tinggi turut memberikan kontribusi signifikan terhadap dampak lingkungan secara langsung maupun tidak langsung [6]. Dengan mempertimbangkan urgensi masalah mengenai tingginya permasalahan food waste dan emisi karbon di Indonesia sehingga perlu segera mencari solusi dan analisa sebagai salah satu solusi yang sesuai, untuk mendukung hal ini diperlukan analisa permasalahan lebih lanjut dan mencari referensi penelitian terdahulu.

Hingga saat ini, telah banyak penelitian yang menyelesaikan permasalahan menggunakan model optimasi. Metode yang sering digunakan dalam model optimasi bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan dalam berbagai penelitian sesuai keadaan nyata adalah metode Mixed Integer Linear Programming (MILP) yang dilakukan pengembangan sesuai dengan studi kasus penelitian tersebut. Metode MILP menangani masalah optimasi matematis yang melibatkan dua variabel: variabel diskrit dan kontinu. Baik fungsi tujuan (objective function) maupun kendalanya (constraints) secara linier. MILP merupakan metode yang optimal dalam menyelesaikan banyak masalah nyata (real problems) seperti yang telah dibahas pada banyak penelitian di industri pertanian dan peternakan. Pada industri perikanan dikembangkan model MILP dalam menyelesaikan permasalahan produksi – jaringan distribusi. [7] Handayani mengembangkan model MILP dengan menggabungkan traceability dan emisi karbon pada permasalahan

Model Optimasi Rantai Pasok Susu Sapi Segar untuk Mereduksi Emisi Karbon dan Food Waste/ Nofariza Aulia Jeremi, Iwan Vanany

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2023 Nofariza Aulia Jeremi, Iwan Vanany

distribusi produksi yang belum dibahas secara bersamaan (simultaneously) pada penelitian sebelumnya. Didapatkan model pengembangan dengan fungsi tujuan minimasi total biaya dari 10 komponen biaya dengan batasan pada pemenuhan permintaan, tingkat produksi, keseimbangan kuantitas bahan baku (raw fish) dengan produk ikan kaleng (canned fish products), dan ketercapaian total emisi dengan nilai ambang batas emisi.

[8] Moreno-Camacho juga mengembangkan model MILP dengan permasalahan di industri peternakan yaitu objek susu sapi. Model yang dikembangkan mempertimbangkan pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca atau GRK dan peningkatan kesehatan sosial dan kondisi kehidupan. Seperti penelitian [7] Handayani, pada penelitian ini emisi karbon yang diperhatikan hanya emisi akibat kegiatan transportasi antar titik dan akibat kegiatan produksi pengolahan bahan baku susu (raw milk). Sedangkan pada penelitian [9] Wangsa dilakukan pengembangan model optimalisasi terintegrasi dengan mempertimbangkan pajak karbon dan limbah makanan dalam rantai pasokan bahan makanan dengan objek penelitian produk agrikultur. Sehingga yang membedakan adanya penambahan fungsi tujuan perhitungan food waste pada fungsi tujuan.

Sehingga dengan mempertimbangkan hasil yang optimal terhadap fungsi tujuan yang telah ditentukan penulis melakukan pengembangan model optimasi. Peneliti akan menggunakan metode MILP sebagai model kerangka dan akan didukung metode weighted sum dalam proses pembobotan multi-tujuan menjadi tujuan-tunggal. Tujuannya untuk memudahkan proses optimasi dalam software optimasi, sehingga variabel-variabel keputusan mengenai kuantitas, persediaan, frekuensi kendaraan dan nilai-nilai fungsi tujuan didapatkan. Model ini akan digunakan untuk analisis kondisi eksiting pada industri peternakan produk susu sapi segar (fresh milk) untuk mencari nilai optimal total biaya, total food waste, dan total emisi karbon. Setelah itu model akan dilakukan analisis sensitivitas, yaitu model akan dioptimalkan secara berulang dengan beberapa kondisi tertentu dengan segala kemungkinan yang terjadi untuk mendapatkan solusi optimum.

METODE

Mixed Integer Linear Programming (MILP) merupakan model optimasi yang bertujuan untuk menetapkan nilai variabel keputusan yang ditetapkan baik jumlah yang tidak diketahui (*decision variable*) atau keputusan yang dioptimalkan (*objective function*). Model MILP digunakan pada beberapa penelitian sebagai metode penyelesaian permasalahan nyata yang dapat memberikan hasil optimal salah satunya pada penelitian [8] Moreno-Camacho yang memperhitungkan emisi karbon pada penelitiannya dengan mengategorikan menjadi 2 (dua) yaitu emisi karbon pada kegiatan transportasi dan emisi pada kegiatan produksi pengolahan bahan baku susu (*raw milk*) menjadi produk jadi. Untuk fungsi tujuan *food waste*, model rujukan dasar yaitu pada penelitian [10] Wangsa mengenai sistem rantai pasokan makanan segar dengan *multiple farmers, a single processor, multi-distributor*, konsumen, dan multi-periode. Model dalam penelitian ini mengoptimalkan total pembelian, inspeksi, limbah makanan, pengepakan, penyimpanan dingin, transportasi, dan biaya emisi karbon dengan mengoptimalkan persediaan gudang, dan pengiriman produk.

Penelitian ini dilakukan pada kegiatan rantai pasokan produksi susu sapi segar yang terletak di Bogor, Jawa Barat. Rangkaian kegiatan yang dilakukan adalah pengambilan susu sapi segar oleh KUD sekaligus menjadi pemasok (*supplier*) bagi perusahaan pabrik produksi susu, selanjutnya kegiatan distribusi susu segar dari KUD menuju pabrik produksi, kegiatan produksi pengemasan, penyimpanan pada gudang untuk mempertahankan suhu dan kualitas, dan pengiriman produk jadi ke konsumen. Penelitian ini berfokus pada 5 (lima) KUD pemasok susu yang terletak pada wilayah Jawa Barat ($i = 1, 2, \dots, 5$) dimana terletak pada beberapa kota di Jawa Barat yaitu Bogor, Sukabumi, Bandung, dan Garut yang menjual susu segar mereka ke pabrik produksi. Kemudian pabrik produksi melakukan pengolahan serta pengemasan pada bahan dasar (*raw material*) susu segar menjadi 2 (dua) produk jadi ($p = 1, 2$) yaitu *fresh milk* (susu segar), dan susu UHT (*Ultra-High Temperature*). Produk jadi berupa susu kemasan akan dikirimkan ke *Distribution Center/DC* ($j = 1, 2$) yang terletak pada Kawasan Sentul, dan Cisarua, Jawa Barat dan akan

Model Optimasi Rantai Pasok Susu Sapi Segar untuk Mereduksi Emisi Karbon dan Food Waste/ Nofariza Aulia Jeremi, Iwan Vanany

didistribusikan pada ritel supermarket ($k = 1, 2, \dots, 5$) dengan 3 (tiga) kategori yaitu supermarket besar, supermarket kecil, dan supermarket perusahaan.

Dalam kegiatan pembelian susu dari KUD hingga distribusi susu jadi ke konsumen akhir dilakukan selama 7 (tujuh) hari atau 1 (satu) minggu. Produk susu membutuhkan mesin pendingin (*cold storage*) untuk tetap menjaga suhu agar produk tidak rusak dengan ketentuan suhu $4^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}$, dengan kapasitas gudang sebesar 2,000,000 liter untuk masing-masing jenis produk susu. Jarak antara pabrik produksi pengolahan dengan *Distribution Center/DC* ($j = 1, 2$) adalah 8.5 dan 27.4 km. Untuk masing-masing jarak yang harus ditempuh dalam kegiatan distribusi dari DC 1 menuju supermarket besar A sejauh 7.2 km, supermarket besar B sejauh 13.4 km, supermarket perusahaan sejauh 24.3 km, supermarket kecil A sejauh 20.1 km, dan supermarket kecil B sejauh 24 km. Sedangkan jarak yang harus ditempuh dari DC 2 menuju supermarket besar A sejauh 23.9 km, supermarket besar B sejauh 26.4 km, supermarket perusahaan sejauh 4.2 km, supermarket kecil A sejauh 31,2 km, dan supermarket kecil B sejauh 28.1 km. Dalam penelitian ini, susu segar dikirim oleh KUD dan produk diperiksa dan disortir (*Quality Control/QC*) oleh inspektur QC. Jika terdapat susu yang tidak memenuhi standar kualitas operasional perusahaan, makan susu akan ditolak dan dibuang sebagai sisa makanan dengan biaya sisa makanan. Produk dikirim ke konsumen ritel pada hari yang sama. Masalah operasional lain yang diperhatikan juga mengacu pada jejak karbon kegiatan inspeksi/QC, penyimpanan dan distribusi.

Tahapan setelah dilakukan studi literatur mengenai penelitian dan pada penelitian terdahulu selanjutnya adalah tahapan pengumpulan data. Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara langsung kepada praktisi pabrik perusahaan produk olahan susu di wilayah Jawa Barat. Dalam wawancara tersebut didapatkan informasi mengenai kondisi eksisting, parameter, dan variabel-variabel terkait mengenai penelitian ini. Selain itu adanya pembahasan mengenai batasan penelitian dan asumsi, pertama pada 1 (satu) wilayah di Jawa Barat yang terdiri dari 1 (satu) pabrik produksi dan 2 (dua) *Distribution Center/DC*. Kedua tingkat permintaan pelanggan, tingkat produksi, dan tingkat kerusakan adalah seragam. Ketiga horizon waktu perencanaan atau periode terbatas yaitu dalam waktu 1 (satu) bulan dengan proses pengolahan dari hulu ke hilir membutuhkan waktu 1 (satu) minggu atau 7 (tujuh) hari. Keempat produk susu yang diteliti dilakukan *quality control/QC* untuk mengecek kualitasnya setiap sebelum dan setelah dikemas atau pada akhir proses produksi di pabrik. Kelima produk dalam kemasan dikirim ke pusat distribusi dengan pengangkut kurang dari truk LTL (*Less Than Truckload*) dan didistribusikan ke beberapa pelanggan menggunakan truk. Pada penelitian ini seluruh pengiriman akan menggunakan truk ke ritel milik perusahaan, supermarket besar, dan supermarket kecil. Keenam penentuan suhu pendinginan diasumsikan sama dari hari ke hari untuk semua produk. Terakhir, emisi karbon berasal dari kegiatan pemeriksaan, pengemasan, penyimpanan yang membutuhkan pendingin karena produk susu mudah rusak (*perishable*), dan pengangkutan.

Selanjutnya dilakukan perhitungan numerik berdasarkan model matematis dan input data sebagai parameter yang telah dikumpulkan pada tahap pengumpulan data. Untuk menyelesaikan model percobaan numerik dilakukan dengan bantuan *software* LINGO 17.0 dengan alasan efektivitas *software* untuk menyelesaikan masalah tersebut. Hasil dari perhitungan model matematis adalah total biaya, total *food waste*, dan total emisi karbon yang optimal. Berdasarkan parameter dan asumsi yang dibutuhkan model, permasalahan MILP dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$\text{Minimize} \\ z1 = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P CR_{tip} \cdot ukud_{tip} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P CS_{tip} \cdot zkud_{tip} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P CWKUD_{tip} \cdot ekud_{tip} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P CP_{tp} \cdot xx_{tp} \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P CIR_{tip} \cdot ir_{tip} \cdot COP_p \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P CIP_{tp} \cdot ip_{tp} + \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P CHP_{tp} \cdot ip_{tp} \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P CD_{tjp} \cdot ddc_{tjp} \cdot S_j \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P CK_{tjp} \cdot wdc_{tjp} + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P CWDC_{tjp} \cdot edc_{tjp} \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P CID_{tjp} \cdot id_{tjp} \cdot COP_{dc_{tjp}} + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P CHDC_{tjp} \cdot id_{tjp} \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P CT_{tjkp} \cdot q_{tjkp} \cdot R_{jk} + \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P CET_{tp} \cdot tet_{tp} \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P CEI_{tp} \cdot tei_{tp} + \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P CED_{tp} \cdot ted_{tp} \\
 z2 = & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P DRKUD_{tip}(\%) \cdot zkud_{tip} + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P DRDC_{tjp}(\%) \cdot ddc_{tjp} \tag{2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 z3 = & \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P [(ddc_{tjp} \cdot S_j + q_{tjkp} \cdot R_{jk}) \cdot ET_{tjkp}] + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P [(ir_{tip} + ip_{tp} + id_{tjp}) \cdot EI_{tjip}] \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P [(ekud_{tip} + edc_{tjp}) \cdot ED_{tjip}] \tag{3}
 \end{aligned}$$

Metode Weighted Sum

$$\text{Minimize } Z = (\alpha * z1) + (\beta * z2) + (\gamma * z3) \tag{4}$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^I zkud_{tip} + \sum_{i=1}^I ekud_{tip} \leq \sum_{i=1}^I ukud_{tip}; \forall p, \forall t \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^I zkud_{tip} = xx_{tp} \leq y_{tp} \cdot PCR_{tp}; \forall p, \forall t \tag{6}$$

$$ir_{tip} = ir_{(t-1)ip} + ukud_{tip} - zkud_{tip} - ekud_{tip}; \forall p, \forall i, \forall t \tag{7}$$

Model Optimasi Rantai Pasok Susu Sapi Segar untuk Mereduksi Emisi Karbon dan Food Waste/ Nofariza Aulia Jeremi, Iwan Vanany

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2023 Nofariza Aulia Jeremi, Iwan Vanany

$$ip_{tp} = ip_{(t-1)p} + xx_{tp} - \sum_{j=1}^J ddc_{tjp} \leq X_{tp}; \forall p, \forall t \quad (8)$$

$$ddc_{tjp} = wdc_{tjp}; \forall p, \forall j, \forall t \quad (9)$$

$$id_{tjp} = id_{(t-1)jp} + wdc_{tjp} - edc_{tjp} - \sum_{k=1}^K q_{tjpk} \leq B_{tjp}; \forall p, \forall j, \forall t \quad (10)$$

$$ip_{tp} + xx_{tp} \geq \sum_{j=1}^J ddc_{tjp}; \forall p, \forall t \quad (11)$$

$$id_{tjp} + wdc_{tjp} + edc_{tjp} \geq \sum_{k=1}^K q_{tjpk}; \forall p, \forall j, \forall t \quad (12)$$

$$q_{tjpk} \geq d_{tjpk}; \forall p, \forall j, \forall k, \forall t \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P [(ddc_{tjp} \cdot S_j + q_{tjpk} \cdot R_{jk}) \cdot ET_{tjpk}] \\ & + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P [(ir_{tip} + ip_{tp} + id_{tjp}) \cdot EI_{tjip}] \\ & + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P [(ekud_{tip} + edc_{tjp}) \cdot ED_{tjip}] \leq \sum_{t=1}^T TELV^t \end{aligned} \quad (14)$$

$$\left(\frac{\sum_{p=1}^P ukud_{tip}}{L} \right) \leq yl_{ti}; \forall i, \forall t \quad (15)$$

$$\left(\frac{\sum_{p=1}^P ddc_{tjp}}{L} \right) \leq yd_{tj}; \forall j, \forall t \quad (16)$$

$$\left(\frac{\sum_{p=1}^P q_{tjpk}}{L} \right) \leq yc_{tjk}; \forall j, \forall k \quad (17)$$

$$zkud_{tip}, ekud_{tip}, ukud_{tip}, xx_{tp}, ddc_{tjp}, edc_{tjp}, ir_{tip}, ip_{tp}, wdc_{tjp}, q_{tjpk}, id_{tjp} \geq 0 \quad (18)$$

Persamaan (1) menunjukkan fungsi objektif telah dimodifikasi sesuai dengan kondisi yang terjadi pada studi kasus perusahaan pengolahan produk susu di Wilayah Jawa Barat dan fokus penelitian pada proses distribusi. Terdapat 16 komponen biaya yang harus diminimasi, biaya tersebut adalah biaya pembelian susu di KUD, biaya QC susu dari KUD pada pabrik produksi, biaya deteriorasi (*food waste*) susu pada pabrik produksi, biaya produksi serta pengemasan susu, biaya pendinginan susu pada pabrik produksi sebelum inspeksi, biaya pendinginan pabrik produksi setelah inspeksi, biaya penyimpanan (*holding cost*) pada gudang pabrik produksi, biaya distribusi dari pabrik produksi ke DC, biaya QC dari pabrik produksi pada DC, biaya deteriorasi (*food waste*) susu pada DC, biaya pendinginan produk susu di DC, biaya penyimpanan (*holding cost*) pada DC, biaya pengiriman (*transportation cost*) DC ke konsumen, dan biaya emisi karbon untuk kegiatan transportasi, pendinginan (*cold storage*) dan *food waste*. Persamaan (2) menunjukkan fungsi objektif meminimumkan total limbah makanan (*food waste*) pada sebelum dan setelah proses *quality control*/QC produk susu pada pabrik produksi dan *Distribution Center*/DC. Persamaan (3) menunjukkan fungsi objektif yaitu meminimumkan total emisi gas karbon pada kegiatan transportasi distribusi, pendinginan, dan *food waste* produk susu. Persamaan (4) menjelaskan adanya asumsi pembobotan ketika dilakukan minimasi biaya pada

Model Optimasi Rantai Pasok Susu Sapi Segar untuk Mereduksi Emisi Karbon dan Food Waste/ Nofariza Aulia Jeremi, Iwan Vanany

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2023 Nofariza Aulia Jeremi, Iwan Vanany

model tujuan (*objective function*). Besar bobot yang ditentukan *deterministik* telah ditentukan oleh praktisi perusahaan produk susu studi kasus dengan prioritas pertama sebesar 60% atau 0.6 untuk biaya (α), 30% atau 0.3 untuk fungsi tujuan *food waste* (β), dan 10% atau 0.1 untuk fungsi tujuan emisi karbon (*carbon emission*) (γ). Persamaan (5) dan (6) menjelaskan total dari susu yang disuplai oleh KUD atau dibeli oleh pabrik produksi harus berjumlah sama dengan kapasitas produksi. Persamaan (7) dan (8) menunjukkan tingkat ketersediaan (*inventory level*) pada pabrik produksi. Persamaan (9) menunjukkan ketepatan jumlah antara susu yang didistribusikan dari pabrik produksi ke DC dengan produk susu yang telah dilakukan *quality control*/QC. Persamaan (10) dan (11) menunjukkan mengenai persediaan produk susu pada *Distribution Center*/DC. Persamaan (12) menunjukkan mengenai tingkat persediaan susu setelah *quality control*/QC di *Distribution Center*/DC ditambah jumlah unit susu yang lolos *quality control*/QC pada *Distribution Center*/DC ditambah jumlah *food waste* pada DC harus lebih besar dari jumlah unit yang terjual oleh konsumen akhir. Persamaan (13) menunjukkan pemenuhan permintaan (*demand*), jumlah susu yang telah terjual ke konsumen nilainya sama dengan lebih besar permintaan sehingga permintaan susu oleh konsumen akhir terpenuhi. Persamaan (14) memastikan bahwa total emisi produksi dan transportasi yang dihasilkan melalui fase distribusi, pendinginan produk (*cold storage*), dan *food waste* untuk produk susu sesuai waktu perencanaan tidak boleh melebihi nilai ambang batas atau tutup karbon (*threshold limit*). Persamaan (15), (16), dan (17) memastikan jumlah yang dikirim ke pelanggan tidak melebihi kapasitas truk yang digunakan pada proses distribusi. Persamaan (18) menunjukkan bahwa variabel keputusan adalah non-negatif dan nilai integer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengolahan Data

Pada Tabel 1 menyajikan data yang berhubungan dengan ritel konsumen yaitu data permintaan produk susu oleh ritel konsumen (*demand*), data jarak dari DC ke banyak pelanggan, biaya transportasi, dan emisi karbon untuk kegiatan distribusi. Produk susu pada penelitian ini diperiksa/QC dan setelah itu dikirim ke konsumen sesuai permintaan dengan menggunakan truk berkapasitas 12,000 liter.

Tabel 1. Data Studi Kasus pada Pabrik Produksi dan DC

Parameter	Nilai	Satuan
PCR_{tp}	$U [114, 000; 684, 000]$	liter
$DRKUD_{tip}$	$U [1. 5\%; 4. 2\%]$	-
$DRDC_{tjp}$	$U [2. 2\%; 4. 0\%]$	-
CR_{tip}	$U [6, 200; 13, 200]$	Rp/liter
CS_{tip}	$U [100; 700]$	Rp/liter
$CWKUD_{tip}$	$U [100; 150]$	Rp/liter
$CWDC_{tjp}$	$U [85; 340]$	Rp/liter
CP_{tp}	$U [3, 447; 7, 583]$	Rp/liter
CIR_{tip}	$U [430; 1, 230]$	Rp/liter
CIP_{tp}	$U [800; 1, 700]$	Rp/liter
CD_{tjp}	$U [80; 110]$	Rp/liter/km
CK_{tjp}	$U [100; 1, 200]$	Rp/liter
CHP_{tp}	$U [1, 190; 3, 800]$	Rp/liter
CID_{tjp}	$U [430; 1, 530]$	Rp/liter
$CHDC_{tjp}$	$U [800; 1, 900]$	Rp/liter
S_j	$U [8. 5; 27]$	km

Parameter	Nilai	Satuan
CET_{tp}	100	Rp/lit.CO ₂ -eq
CEI_{tp}	100	Rp/lit.CO ₂ -eq
CED_{tp}	100	Rp/lit.CO ₂ -eq
$TELV_t$	85,000	liter.CO ₂ -eq
ET_{tp}	0.008	liter.CO ₂ -eq/lit
EI_{tp}	0.006	liter.CO ₂ -eq/lit
ED_{tp}	0.005	liter.CO ₂ -eq/lit
X_{tp}	2,000,000	liter
B_{tjp}	1,000,000;1,500,000	liter
L	12,000	liter

Tabel 2. Data Studi Kasus untuk Permintaan Konsumen, Jarak, Emisi, dan Biaya

Parameter	Konsumen	Nilai	Satuan
$D_{tkp}; d = 1$	Supermarket Besar - A	$U [67,905; 75,450]$	liter
	Supermarket Besar - B	$U [68,085; 75,650]$	liter
	Supermarket Perusahaan	$U [90,585; 100,650]$	liter
	Supermarket Kecil - A	$U [29,205; 32,450]$	liter
	Supermarket Kecil - B	$U [29,655; 32,950]$	liter
$D_{tkp}; d = 2$	Supermarket Besar - A	$U [76,905; 85,450]$	liter
	Supermarket Besar - B	$U [79,785; 88,650]$	liter
	Supermarket Perusahaan	$U [99,585; 110,650]$	liter
	Supermarket Kecil - A	$U [32,805; 36,450]$	liter
	Supermarket Kecil - B	$U [32,355; 35,950]$	liter
$R_{jk}; d = 1$	Supermarket Besar - A	7.2	km
	Supermarket Besar - B	13.4	km
	Supermarket Perusahaan	24.3	km
	Supermarket Kecil - A	20.1	km
	Supermarket Kecil - B	24	km
$R_{jk}; d = 2$	Supermarket Besar - A	23.9	km
	Supermarket Besar - B	26.4	km
	Supermarket Perusahaan	4.2	km
	Supermarket Kecil - A	31.2	km
	Supermarket Kecil - B	28.1	km
$CT_{tjpk}; d = 1$	Supermarket Besar - A	153	Rp/liter/km
	Supermarket Besar - B	184	Rp/liter/km
	Supermarket Perusahaan	197	Rp/liter/km
	Supermarket Kecil - A	137	Rp/liter/km
	Supermarket Kecil - B	172	Rp/liter/km
$CT_{tjpk}; d = 2$	Supermarket Besar - A	131	Rp/liter/km
	Supermarket Besar - B	144	Rp/liter/km
	Supermarket Perusahaan	148	Rp/liter/km
	Supermarket Kecil - A	147	Rp/liter/km
	Supermarket Kecil - B	146	Rp/liter/km
$ET_{tjpk}; d = 1,2$	Supermarket Besar - A	0.0001	lt.CO ₂ -eq/lit/km
	Supermarket Besar - B	0.0001	lt.CO ₂ -eq/lit/km
	Supermarket Perusahaan	0.0001	lt.CO ₂ -eq/lit/km
	Supermarket Kecil - A	0.0001	lt.CO ₂ -eq/lit/km
	Supermarket Kecil - B	0.0001	lt.CO ₂ -eq/lit/km

B. Hasil Perhitungan Numerik

Setelah dilakukan pengembangan model didapatkan hasil *global optimal*. Pada Tabel 3 menunjukkan hasil dari 3 (tiga) fungsi tujuan (*objective function*/OF) yaitu total biaya (TC) sebesar Rp 18,036,770,000, total *food waste* (TFW) sebesar 21,736 liter, dan total emisi karbon (TCE) 109,526 liter.CO2-eq. Total biaya produksi dan pengemasan susu yang dilakukan pabrik produksi menjadi komponen biaya terbesar yaitu sebesar 46.9% atau Rp 8,475,626,161 dibandingkan dengan total biaya keseluruhan. Selanjutnya komponen biaya terbesar adalah biaya pendinginan produk susu sapi segar dalam bentuk *raw material* yang dibeli dari KUD sebelum dilakukan inspeksi/QC pada pabrik produksi dengan persentase sebesar 21.6% Rp 3,905,525,270 dibandingkan total biaya keseluruhan. Untuk fungsi tujuan kedua mengenai *food waste* diketahui bahwa jumlah susu yang tidak lolos inspeksi/QC sebagai *food waste* terbanyak pada *Distribution Center*/DC sebesar 64.56% atau 14.031 liter dibandingkan dengan pada gudang pabrik produksi, dan untuk fungsi tujuan ketiga emisi tertinggi yaitu melalui kegiatan pendinginan dengan persentase sebesar 93.2% 102,077 lt/CO2-eq dari total emisi keseluruhan untuk emisi karbon kegiatan transportasi, pendinginan, dan *food waste*.

Hasil perhitungan numerik didapatkan setelah melakukan *running* model pada *software* LINGO 17.0 sehingga mendapatkan hasil pada Tabel 3. Dari hasil perhitungan (lihat Gambar 1) diketahui total biaya kegiatan yang terjadi di pabrik besarnya 82.17% dari total keseluruhan biaya rantai pasokan dari KUD pemasok (*supplier*) ke ritel konsumen, dan sisanya merupakan biaya yang terjadi di gudang pusat distribusi (*Distribution Center*/DC) sebesar 17.82% dan total biaya emisi sebesar 0.01% dari total keseluruhan biaya.

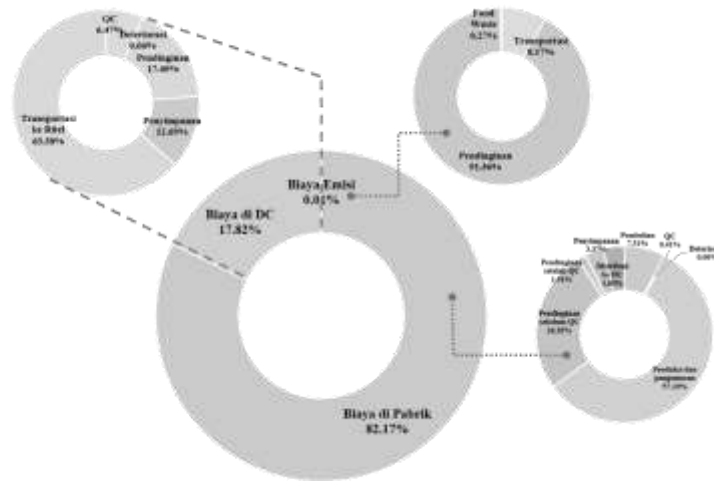
Dapat disimpulkan hasil perhitungan numerik penelitian ini menunjukkan persentase biaya produksi pengolahan dan pengemasan produk susu dengan persentase tertinggi 46.99% dari total biaya berbeda dengan hasil perhitungan numerik penelitian Wangsa [9]. Faktor terbesar yang mempengaruhi tingginya total biaya produksi pengemasan adalah perbedaan parameter antara kedua penelitian. Pada penelitian ini parameter untuk biaya produksi pengemasan untuk 1 (satu) liter adalah Rp 7,583, apabila dibandingkan pada penelitian Wangsa [9] biaya produksi pengemasan lebih rendah Rp 2,083 atau 27% dibandingkan biaya satuan produksi penelitian ini.

Tabel 3. Komponen Tujuan, Total Biaya, *Food waste*, dan Emisi Karbon

No	Komponen Tujuan	Nilai	%
1	Total biaya pembelian susu pada pabrik produksi	Rp 1,083,206,337	6.01%
2	Total biaya <i>Quality Control</i> /QC dari KUD pada pabrik produksi	Rp 60,561,155	0.34%
3	Total biaya deteriorasi pada pabrik produksi	Rp 509,594	0.00%
4	Total biaya pengemasan susu pada pabrik produksi	Rp 8,475,626,161	46.99%
5	Total biaya pendinginan pada pabrik produksi sebelum <i>Quality Control</i> /QC	Rp 3,905,525,270	21.65%
6	Total biaya pendinginan pada pabrik produksi setelah <i>Quality Control</i> /QC	Rp 223,899,529	1.24%
7	Total biaya penyimpanan (<i>holding cost</i>) pada pabrik produksi	Rp 499,693,187	2.77%
8	Total biaya distribusi dari pabrik produksi ke DC (<i>Distribution Center</i>)	Rp 570,941,571	3.17%
9	Total biaya <i>Quality Control</i> /QC susu dari pabrik produksi pada DC (<i>Distribution Center</i>)	Rp 208,082,031	1.15%
10	Total biaya deteriorasi (<i>food waste</i>) pada DC (<i>Distribution Center</i>)	Rp 1,802,319	0.01%
11	Total biaya pendinginan setelah <i>Quality Control</i> /QC pada DC (<i>Distribution Center</i>)	Rp 559,343,654	3.10%
12	Total biaya penyimpanan (<i>holding cost</i>) pada DC (<i>Distribution Center</i>)	Rp 407,806,142	2.26%
13	Total biaya transportasi dari DC (<i>Distribution Center</i>) ke Konsumen	Rp 2,037,488,340	11.30%
14	Total biaya emisi transportasi pada pabrik produksi dan DC (<i>Distribution Center</i>)	Rp 186,678	0.00%
15	Total biaya emisi pendinginan pada pabrik produksi dan DC (<i>Distribution Center</i>)	Rp 2,091,965	0.01%
16	Total biaya emisi limbah makanan (<i>food waste</i>) pada pabrik produksi dan DC (<i>Distribution Center</i>)	Rp 6,068	0.00%
Total Biaya		Rp18,036,770,000	100%
1	Total <i>food waste</i> di pabrik produksi	7,703	35.44%
2	Total <i>food waste</i> di DC (<i>Distribution Center</i>)	14,031	64.56%
Total Food waste		21,734	100%

Model Optimasi Rantai Pasok Susu Sapi Segar untuk Mereduksi Emisi Karbon dan Food Waste/ Nofariza Aulia Jeremi, Iwan Vanany

No	Komponen Tujuan	Nilai	%
1	Total emisi transportasi pada pabrik produksi dan DC	7,021	6.41%
2	Total emisi pendinginan pada pabrik produksi dan DC	102,077	93.20%
3	Total emisi <i>food waste</i> pada pabrik produksi dan DC	428	0.39%
Total Emisi Karbon		109,526	100%



Gambar 1. Komponen Biaya pada Model *Multi-objective*

C. Analisis Hasil Perhitungan Numerik

1. Analisis Skenario Keputusan Model Sentralisasi dan Desentralisasi

Pada analisa hasil perhitungan akan menjelaskan mengenai evaluasi hasil untuk 2 (dua) skenario yaitu sentralisasi dan desentralisasi. Pada Tabel 4 menunjukkan hasil dari perbandingan antara fungsi tujuan tunggal (*single-objective*) dengan fungsi multi tujuan (*multi-objective*).

Hasil perhitungan numerik terhadap model matematis dengan fungsi tujuan tunggal (*single-objective*) terdapat 3 (tiga) skenario yaitu fungsi tujuan tunggal total biaya, fungsi tujuan tunggal total *food waste*, dan fungsi tujuan tunggal total emisi karbon, dan kondisi dengan fungsi multi-tujuan. Hasil perhitungan skenario 1 dimana kondisi model matematis dengan fungsi tujuan minimasi total biaya/TC menunjukkan hasil Rp18,036,770,000 dengan nilai yang sama ketika dilakukan minimasi untuk fungsi multi tujuan (*multi-objective*). Perbandingan antara hasil optimasi terhadap 4 (empat) skenario pada Tabel 4 menunjukkan total biaya tertinggi adalah ketika skenario 2 yaitu ketika model matematis fungsi tujuan tunggal minimasi total *food waste* dengan nilai sebesar Rp18,980,390,000, atau selisihnya sebesar Rp943,620,000 (5.23%) dibandingkan hasil perhitungan fungsi multi-tujuan.

Tabel 4. Perbandingan Nilai Hasil Running Model Tunggal dan Multi Tujuan

Komponen Tujuan dan Variabel Keputusan	Skenario			<i>Multi-objective</i>
	Z1	Z2	Z3	
Komponen Tujuan				
1. Total biaya (Jt-Rp)	Rp 18,036.77	Rp 18,980.39	Rp 18,933.54	Rp 18,036.77
2. Total <i>food waste</i>	21,734	16,517	17,723	21,734
3. Total emisi karbon	109,526	114,549	109,455	109,526
Variabel Keputusan				

Model Optimasi Rantai Pasok Susu Sapi Segar untuk Mereduksi Emisi Karbon dan Food Waste/ Nofariza Aulia Jeremi, Iwan Vanany

Komponen Tujuan dan Variabel Keputusan	Skenario			
	Single-Objective			Multi-objective
	Z1	Z2	Z3	
1. Kuantitas yang dibeli; ukd_{tip}	256,043	252,065	252,065	256,043
2. Kuantiti diinspeksi/ QC pada pabrik; $zkud_{tip}$	248,340	248,340	248,340	248,340
3. Food waste di pabrik; $ekud_{tip}$	7,703	3,725	3,725	7,703
4. Susu yang dikemas; xx_{tp}	248,340	248,340	248,340	248,340
5. Susu yang didistribusikan ke DC	571,452	511,168	571,452	571,452
6. Kuantiti diinspeksi/QC pada DC; ddc_{tjp}	571,452	511,168	571,452	571,452
7. Food waste pada DC; wdc_{tjp}	14,031	12,792	13,998	14,031
8. Susu terjual ke ritel; q_{tjkr}	1,203,645	1,170,807	1,203,679	1,203,645
9. Frekuensi truk KUD ke pabrik; yl_{ti}	21	21	21	21
10. Frekuensi truk pabrik ke DC; yd_{tj}	48	43	47	48
11. Frekuensi truk DC ke ritel; yc_{tjk}	100	100	100	100

Hasil perhitungan skenario 2 dimana kondisi fungsi tujuan yaitu minimasi total *food waste*/TFW menunjukkan hasil sebesar 16,517 liter. Hasil skenario 2 ketika dibandingkan dengan hasil skenario fungsi multi-tujuan (*multi-objective*) dapat menemukan nilai optimal dengan selisih 5,217 liter atau 24% lebih rendah dengan nilai optimasi fungsi multi-tujuan sebesar 21,734 liter. Apabila dilakukan perbandingan antara 4 (empat) skenario, diketahui bahwa total *food waste* tertinggi adalah ketika optimasi fungsi tujuan tunggal skenario 1 yaitu ketika fungsi tujuan fokus untuk minimasi total biaya dan nilainya sama ketika optimasi multi-tujuan dengan nilai sebesar 21,734 liter.

Hasil perhitungan skenario 3 dimana kondisi fungsi tujuan yaitu minimasi total emisi karbon/TCE menunjukkan hasil sebesar 109,455 lt.CO₂-eq. Hasil skenario 2 ketika dibandingkan dengan hasil skenario fungsi multi-tujuan (*multi-objective*) dapat menemukan nilai optimal dengan selisih 71 lt.CO₂-eq atau 0.065% lebih rendah dibandingkan dengan nilai optimasi fungsi multi-tujuan sebesar 109,526 lt.CO₂-eq. Ketika dibandingkan antara 4 (empat) skenario, diketahui bahwa total emisi karbon tertinggi adalah ketika optimasi fungsi tujuan tunggal skenario 2 yaitu ketika fungsi tujuan fokus untuk minimasi total *food waste* dengan nilai sebesar 114,549 lt.CO₂-eq dengan selisih 5,094 lt.CO₂-eq atau 4.65% dibandingkan dengan skenario 3, dan selisih 5,023 lt.CO₂-eq atau 4.59% dibandingkan dengan skenario fungsi multi-tujuan.

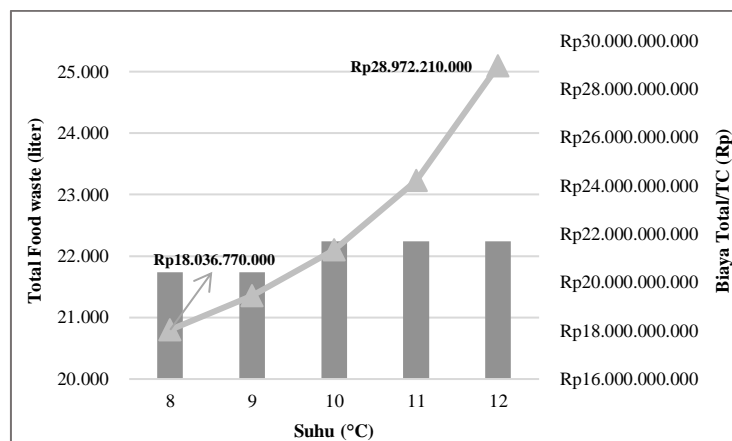
2. Analisis Efek Pengaturan Suhu pada Fungsi Tujuan

Dampak dari produk dengan variasi suhu terhadap total biaya/TC dan total *food waste*/TFW ditunjukkan seperti pada **Error! Reference source not found.** Operator pabrik produksi yang bertugas untuk mengatur suhu pendingin pada penyimpanan produk susu di pabrik produksi dengan rentang suhu berdasarkan informasi pabrik perusahaan sebagai suhu acuan penyimpanan dingin fresh milk 4°C hingga 7°C atau 277 K hingga 280 K, dan rentang suhu aktual susu pada gudang adalah 8°C hingga 15°C atau 281 K hingga 288 K. Gambar 2 menunjukkan bahwa jika suhu meningkat dari 8°C hingga 12°C atau sebesar 281 K hingga 285 K, total biaya dan total *food waste* akan meningkat. Terjadi peningkatan total *food waste*/TFW mencapai 2.32% antara nilai 21,734 liter pada kondisi suhu 8°C dan 9°C, dengan 22,238 liter pada kondisi suhu 10°C, 11°C, dan 12°C. Hasil perhitungan pada total biaya terjadi peningkatan mencapai rentang 7,8% hingga 60.6% dengan nilai Rp 18,036,770,000 minimum pada suhu 8°C dan Rp 28,972,210,000 maksimum pada suhu 12°C. Dengan selisih antara total biaya suhu 8°C dan 9°C sebesar Rp 1,408,230,000 (7.8%), suhu 10°C sebesar Rp 3,318,640,000 (18.4%), suhu 11°C sebesar Rp 6,183,780,000 (34.3%), dan suhu 12°C sebesar Rp 10,935,440,000 (60.6%). Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa kenaikan suhu berbanding lurus dengan penambahan total biaya, yaitu semakin tinggi suhu aktual semakin tinggi

rasio antara koefisien kinerja, dan semakin tinggi energi yang dibutuhkan untuk membekukan sehingga semakin tinggi biaya total rantai pasokan yang didapatkan.

SIMPULAN

Model MILP berhasil dikembangkan pada penelitian ini dengan referensi model milik [8] Moreno-Camacho dengan menambahkan fungsi tujuan total *food waste* dan model milik [9] Wangsa dengan menambahkan komponen biaya penyimpanan (*holding cost*) pada pabrik produksi dan *Distribution Center/DC*. Hasil perhitungan numerik dengan hasil global optimum untuk model *multi-objective* menghasilkan total biaya/TC sebesar Rp18,036,770,000 (OF 1), total *food waste*/TFW (OF 2) sebesar 21,734 liter dengan *food waste* di pabrik sebesar



Gambar 2. Uji Sensitivitas terhadap Variabel Permintaan (*Demand*)

7,703 liter (35,44%) dan *Distribution Center/DC* sebesar 13,031 liter (65.56%), dan total emisi karbon/TCE (OF 3) sebesar 109,526 lt.CO₂-eq dengan total emisi karbon transportasi sebesar 7,021 lt.CO₂-eq (6.41%), total emisi karbon pendinginan pada gudang sebesar 102,077 lt.CO₂-eq (93.2%), dan total emisi karbon *food waste* sebesar 428 lt.CO₂-eq. Variabel Keputusan (*Decision Variable*) untuk jumlah kuantitas yang diproduksi dan dikemas sejumlah 248,340 liter, jumlah kuantitas yang dibeli oleh pabrik produksi dari pemasok KUD susu sejumlah 256,043 liter, jumlah kuantitas *food waste* pada pabrik sejumlah 7,703 liter, jumlah kuantitas *food waste* pada DC sejumlah 14,031 liter, dan jumlah kuantitas yang terjual oleh ritel konsumen sejumlah 1,203,645 liter. Uji sensitivitas dilakukan untuk mengetahui seberapa berpengaruh kenaikan ataupun penurunan total biaya dan total *food waste* terhadap variasi suhu temperatur penyimpanan produk susu. Hasil uji sensitivitas dengan suhu acuan penyimpanan *fresh milk* 8°C hingga 12°C atau 281 K hingga 285 K bahwa terjadi peningkatan total *food waste*/TFW mencapai 2.32% antara nilai 21,734 liter pada kondisi suhu 8°C dan 9°C, dengan 22,238 liter pada kondisi suhu 10°C, 11°C, dan 12°C, dan terhadap total biaya terjadi peningkatan mencapai rentang 7,8% hingga 60.6% dengan nilai Rp 18,036,770,000 minimum pada suhu 8°C dan Rp 28,972,210,000 maksimum pada suhu 12°C. Disimpulkan bahwa kenaikan suhu berbanding lurus dengan pertambahan total biaya, yaitu semakin tinggi suhu aktual semakin tinggi rasio antara koefisien kinerja, dan semakin tinggi energi yang dibutuhkan untuk membekukan sehingga semakin tinggi biaya total rantai pasokan yang didapatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Indrayani, "Berita Pemerintahan: Industri Makanan dan Minuman Diakselerasi Menuju Transformasi Digital," 19 April 2021. [Online]. Available: <https://www.kominfo.go.id/content/detail/33978/industri-makanan-dan-minuman-diakselerasi-menuju-transformasi-digital/0/berita>.
- [2] N. Naurah, "Food Waste Index 2021: Indonesia Jadi Penghasil Sampah Makanan Terbesar Se-ASEAN," 25 Juli 2022. [Online]. Available: <https://goodstats.id/article/food-waste-index-2021-indonesia-jadi-penghasil-sampah-makanan-terbesar-se-asean-7FgZ2>.
- [3] N. Raak, C. Symmank, S. Zahn, J. Aschemann-Witzel and H. Rohm, "Processing-and product-related causes for food waste and implications for the food supply chain," *Waste Management*, vol. 61, pp. 461-472, 2017.
- [4] SIANI, "Reducing food waste across global food chains," pp. 1-4, 2017.
- [5] IDF, "A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology (Vol. 482)," 2015.
- [6] B. Notarnicola, G. Tassielli, P. A. Renzulli, V. Castellani and S. Sala, "Environmental impacts of food consumption in Europe," *Journal of Cleaner Production*, pp. 753-765, 2017.
- [7] D. Handayani, I. Masudin, A. Rusdiansyah and J. Suharsono, "Production-Distribution Model Considering Traceability and Carbon Emission: A Case Study of the Indonesian Canned Fish Food Industry," *Logistics*, pp. 1-21, 2021.
- [8] C. Moreno-Camacho, J. Montoya-Torres and A. Jaegler, "Sustainable supply chain network design: a study of the Colombian dairy sector," *Annals of Operations Research*, pp. 1-27, 2021.
- [9] I. D. Wangsa, I. Vanany and N. Siswanto, "An optimization model for fresh-food electronic commerce supply chain with carbon emissions and food waste," *Journal of Industrial and Production Engineering*, pp. 1-21, 2022.
- [10] A. Estes, M. Alemany and A. Ortiz, "Impact of product perishability on agri-food supply chains design," *Applied Mathematical Modelling*, pp. 20-38, 2021.
- [11] I. Vanany, I. D. Wangsa, R. R. Putera, N. Savitri and B. M. Wibawa, "Optimization Model for Halal Gelatin Supply Chain with Carbon Emissions," in *The 2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Surabaya, 2022.
- [12] I. D. Wangsa, I. Vanany and N. Siswanto, "A Joint Economic Lot Size Model for a Single-manufacturer, Multiple Retailers, and Multi-product with Electric Trucks and Drone," in *The 2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Surabaya, 2022.