

OPTIMASI JARINGAN DISTRIBUSI MULTI ESELON DALAM RANTAI PASOK MULTI PRODUK MENGGUNAKAN *MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING*

Amelia Khoidir ¹⁾, Baiq Firyal Salsabila Safitri ²⁾, Dewi Rahmasari ³⁾

^{1,2,3)} Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang
Email : ameliakhoidir@umm.ac.id

Abstrak, Pengelolaan distribusi suku cadang otomotif menghadapi kompleksitas jaringan distribusi ke pelanggan. Distributor suku cadang dituntut untuk selalu menjaga ketersediaan suku cadang disetiap fasilitas distribusi. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan jaringan distribusi multi eselon pada perusahaan manufaktur suku cadang otomotif dengan melalui penambahan fasilitas seperti *distribution center* (DC). Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dengan tujuan untuk meminimasi biaya distribusi. Model MILP mengintegrasikan keputusan pengiriman produk suku cadang dari pabrik manufaktur ke DC dan dari DC ke retailer. Model MILP juga digunakan untuk mengaktifasi fasilitas DC berdasarkan biaya paling minimum. Hasil optimasi studi kasus menunjukkan bahwa biaya distribusi perusahaan berkurang sebesar 1,33 % dari biaya awal perusahaan. Pola distribusi usulan terbentuk dengan penambahan 2 fasilitas DC. Fasilitas DC tersebut dapat digunakan untuk mengonsolidasi pengiriman produk dan pengalokasian retailer secara lebih efisien berdasarkan kedekatan geografis dan biaya distribusi paling minimum. Dimana, penambahan DC dapat menurunkan biaya operasional logistik dan meningkatkan koordinasi pemenuhan permintaan retailer. Strategi multi eselon juga berkontribusi terhadap peningkatan kecepatan layanan pengiriman dan pengelolaan persediaan produk yang lebih efektif dan efisien.

Kata Kunci: distribusi, multi eselon, *mixed integer linear programming*, multi produk, rantai pasok.

PENDAHULUAN

Manajemen rantai pasok (*supply chain management/SCM*) merupakan elemen krusial dalam menjamin kelancaran pengaliran barang, data atau informasi, dan keuangan dari supplier hingga sampai kepada konsumen akhir (*end user*) (Tien, Anh, & Thuc, 2019). Dalam penerapan manajemen rantai pasok tidak hanya difokuskan pada penghubung antara proses produksi dan distribusi, tetapi juga harus dapat mengoptimalkan setiap aktivitas yang mengedepankan efisiensi serta peningkatan layanan bagi pelanggan (Blanchard, 2021). Salah satu tantangan utama dalam rantai pasok yaitu mengatur jaringan distribusi yang rumit dan kompleks, terutama saat melibatkan berbagai macam produk (multi produk) di berbagai tingkat distribusi (multi eselon) (Ribas, Lusa, & Corominas, 2019). Situasi tersebut diperburuk dengan meningkatnya ekspektasi konsumen akan kecepatan dan keandalan pengiriman barang, yang mengharuskan perusahaan untuk mengelola sistem distribusi yang lebih strategis.

Banyak perusahaan hanya memperhatikan peningkatan distribusi di satu tingkat saja yang disebut dengan *single echelon* (Qu et al., 2022). Pendekatan *single echelon* menilai seberapa

baik distribusi bekerja hanya dalam satu level jaringan tanpa melihat interaksi dengan level lain dalam rantai pasokan. Meskipun sistem *single echelon* cukup sederhana dan mudah untuk diterapkan, namun model tersebut tidak dapat merepresentasikan kompleksitas nyata dari jaringan distribusi modern saat ini (Sun, Tang, Fu, Chen, & Niu, 2020). Jaringan distribusi modern saat ini membutuhkan pengelolaan jaringan yang lebih luas dengan produk yang beragam sehingga membuat pendekatan multi eselon menjadi semakin krusial. Pendekatan multi eselon mempertimbangkan keterkaitan antara berbagai level jaringan distribusi secara simultan sehingga mampu menghasilkan solusi yang lebih efisien untuk rantai pasok (Sarrafha, Rahmati, Niaki, & Zaretaab, 2015).

Perkembangan pendekatan untuk mengoptimalkan distribusi dalam rantai pasok sangat dipengaruhi oleh kemajuan dalam penelitian operasi serta teknologi informasi. Sejak tahun 1990-an, para peneliti mulai menciptakan berbagai model matematika untuk membantu membuat keputusan dalam jaringan distribusi yang kompleks. Salah satu pendekatan yang mendapat banyak perhatian adalah metode *mixed integer linear programming* (MILP).

Metode MILP dapat mempertimbangkan keputusan-keputusan yang bersifat diskrit seperti penentuan fasilitas yang akan dioperasikan, sekaligus keputusan kontinu seperti jumlah produk yang harus dikirim (Steinrück, 2015). Penggunaan MILP dianggap sangat efisien untuk mengatasi masalah optimasi jaringan distribusi yang memiliki beberapa tingkat dan melibatkan banyak barang serta tempat (Pasandideh, Niaki, & Asadi, 2015).

Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Murugaswamy (2011), berhasil mengatasi masalah distribusi yang melibatkan beberapa tahap dengan menggunakan metode campuran bilangan bulat. Metode ini mencakup penentuan lokasi pusat distribusi, kapasitas fasilitas, dan permintaan dari pelanggan. Teknik dekomposisi Benders digunakan untuk mempermudah penyelesaian masalah yang kompleks. Selanjutnya, Gendron and Semet (2009) merancang model jaringan distribusi yang melibatkan beberapa tahap dengan metode campuran bilangan bulat untuk menyelesaikan masalah yang melibatkan banyak fasilitas dan lokasi. Dalam penelitian tersebut, berbagai variabel diperhitungkan, seperti penetapan lokasi pusat gudang, kapasitas, biaya transportasi, dan jarak antara fasilitas yang menjadi parameter utama dalam proses optimasi.

Wilson and Baker (2016) juga mengemukakan model integrasi untuk jaringan distribusi yang bertujuan menekan biaya pengiriman. Dalam studi ini, fungsi tujuan dirancang untuk menemukan lokasi terbaik dan mengelola pengiriman dengan asumsi bahwa distributor bisa menerima barang dari gudang maupun langsung dari pabrik. Sementara itu, pada sistem logistik yang terdiri dari dua level yang diteliti oleh Rahmani, Ramdane Cherif-Khettaf, and Oulamara (2016) membahas permasalahan perutean lokasi pada dua eselon dengan tujuan untuk menemukan kumpulan fasilitas eselon pertama (pabrik) dan merancang rute kendaraan menuju eselon kedua (pusat distribusi). Tujuan utama model ini adalah untuk mengoptimalkan jalur transportasi agar distribusi antar eselon sampai ke pelanggan akhir menjadi lebih efisien.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Cuda, Guastaroba, and Speranza (2015), ditemukan bahwa perhatian para peneliti dalam sepuluh tahun terakhir lebih banyak terfokus pada masalah rute jaringan distribusi yang

melibatkan beberapa tingkat. Dalam perencanaan distribusi, keputusan dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu keputusan strategis yang mencakup jumlah dan lokasi fasilitas, serta keputusan taktis yang berhubungan dengan penentuan rute pengiriman dan pembagian pelanggan ke fasilitas perantara. Selanjutnya, Rajkanth, Srinivasan, and Gopalakrishnan (2017) menyajikan model matematika untuk mengoptimalkan biaya dalam jaringan distribusi dengan banyak level menggunakan metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Penelitian ini menggunakan variabel biaya seperti biaya produksi, biaya transportasi, dan biaya penanganan produk sebagai faktor utama. Studi ini memperkaya pendekatan sebelumnya dengan mempertimbangkan kerumitan jaringan distribusi nyata yang melibatkan berbagai produk, beberapa pabrik, serta beberapa pusat distribusi.

Menyikapi tantangan dan kesempatan yang ada, studi ini memiliki tujuan untuk merancang model optimasi jaringan distribusi dengan beberapa tingkat dalam sistem rantai pasok yang menangani berbagai produk dengan menggunakan metode *Mixed Integer Linear Programming*. Model ini diharapkan mampu mengurangi total biaya distribusi yang meliputi biaya transportasi, biaya penyimpanan, dan biaya pemesanan, serta dapat meningkatkan fleksibilitas operasional dalam menanggapi perubahan permintaan pasar.

METODE

Dalam studi ini, metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) diaplikasikan untuk menciptakan model optimasi jaringan distribusi yang terdiri dari beberapa tingkatan yang telah dikembangkan oleh Fatma and Supardi (2021). Pendekatan MILP dipilih karena dapat mengatasi masalah yang melibatkan keputusan kombinatorial, seperti pengaktifan fasilitas pusat distribusi (*distribution center/DC*) dan penempatan pelanggan, serta juga mengoptimalkan aliran produk secara kuantitatif. Pendekatan MILP mampu merumuskan masalah menjadi fungsi objektif yang berbentuk linear dengan variabel keputusan yang sebagian berfungsi sebagai angka bulat (biner) dan sebagian lainnya bersifat kontinu. Dengan cara ini, semua keputusan strategis dan taktis dalam sistem distribusi yang mencakup biaya pengiriman, pengoperasian

fasilitas, dan pemenuhan permintaan pelanggan dapat dioptimalkan secara bersamaan.

Indeks dan Parameter

I	: Produk
J	: Pabrik
K	: <i>Distribution Center</i>
L	: Retailer
$D_{i,l}$	: Permintaan produk i oleh retailer l
$S_{i,j}$	: Kapasitas produk i di pabrik j
$C_{i,j,k}$	: Biaya pengiriman per ton dari pabrik j ke DC k
$G_{i,k,l}$	: Biaya pengiriman per ton dari DC k ke retailer l
F_k	: Biaya tetap untuk mengoperasikan DC k

Variabel Keputusan

$X_{i,j,k}$	: Ton produk i yang dikirim dari pabrik j ke DC k
$Y_{k,l}$	: Variabel biner yang menunjukkan apakah retailer l dilayani oleh DC k
Z_k	: Variabel biner yang menunjukkan apakah DC k diaktifkan

Fungsi Tujuan:

$$\text{Min} \sum_{i,j,k} C_{i,j,k} X_{i,j,k} + \sum_{i,k,l} G_{i,k,l} D_{i,l} Y_{k,l} + \sum_k F_k Z_k \quad (1)$$

Fungsi Kendala:

$$\sum_k X_{i,j,k} \leq S_{i,j}, \forall i, j \quad (2)$$

$$\sum_j X_{i,j,k} = \sum_l D_{i,l} Y_{k,l}, \forall i, k \quad (3)$$

$$\sum_k Y_{k,l} = 1, \forall l \quad (4)$$

$$Y_{k,l} \leq Z_k, \forall k, l \quad (5)$$

$$Y_{k,l} \in \{0,1\}, \forall k, l \quad (6)$$

$$Z_k \in \{0,1\}, \forall k \quad (7)$$

Fungsi tujuan (1) dari model ini adalah untuk meminimalkan total biaya distribusi, yang meliputi biaya pengiriman dari pabrik ke pusat distribusi (DC), biaya pengiriman dari DC ke retailer, dan biaya tetap untuk membuka DC,

serta biaya konsolidasi dan dekonsolidasi produk di DC. Selanjutnya, model dibatasi oleh lima kendala utama. Kendala (2), adalah kendala yang memastikan agar kapasitas produksi pabrik tidak melebihi batas maksimum yang ditetapkan. Kendala (3) memastikan bahwa aliran produk di setiap DC tetap seimbang, sehingga jumlah barang yang diterima harus sesuai dengan total permintaan dari retailer yang dilayani. Setiap retailer harus dilayani oleh satu DC tertentu yang diatur oleh kendala (4). Sementara itu, kendala (5) memastikan bahwa DC hanya bisa melayani retailer jika DC tersebut sudah aktif, yang diatur melalui hubungan antara variabel biner untuk alokasi dan aktivasi DC. Terakhir, kendala (6) memastikan bahwa variabel keputusan untuk pelayanan retailer dan pembukaan DC bersifat biner, agar keputusan yang diambil dapat tepat dan operasional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan pada sebuah perusahaan yang memproduksi suku cadang otomotif dan memiliki enam jenis produk, yakni timing belt, bearing, kampas rem, piston, shock absorber, dan oli mesin. Perusahaan tersebut memiliki dua pabrik utama dan menyalurkan produknya ke 17 pengecer (*retailer*). Pada awalnya, pengiriman dilakukan langsung dari pabrik ke pengecer tanpa melalui pusat distribusi (DC), sehingga biaya distribusi keseluruhan mencapai Rp693.832.000. Untuk meningkatkan efisiensi, penelitian ini mengusulkan pendirian dua pusat distribusi yang berfungsi sebagai perantara antara pabrik dan pengecer.

Tabel 1. Biaya tetap DC

DC	Fixed Cost (Rp)
DC1	20,500,000
DC2	21,800,000

Tabel 2. Data kapasitas pabrik

Produk	Plant 1 (Pt1)	Plant 2 (Pt1)
Timing Belt (P1)	5000	3000
Bearing (P2)	4500	3500
Kampas Rem (P3)	4000	4000
Piston (P4)	3500	2500
Shock Absorber (P5)	3000	4000
Oli Mesin (P6)	5500	3000

Tabel 3. Data biaya kirim pabrik ke DC

Produk	PL1/ DC1	PL1/ DC2	PL2/ DC1	PL2/ DC2
Timing Belt	120	130	110	125
Bearing	140	135	115	130
Kampas Rem	150	145	120	140
Piston	160	155	125	145
Shock Absorber	170	165	130	150
Oli Mesin	180	175	135	155

Tabel 1 menunjukkan biaya tetap yang diperlukan untuk operasional pusat distribusi. Tabel 2 memperlihatkan kemampuan produksi dari enam tipe produk di dua pabrik, di mana Pabrik 1 biasanya memiliki kemampuan lebih besar dibandingkan Pabrik 2, terutama untuk produk seperti timing belt dan oli mesin. Selanjutnya, Tabel 3 berisi informasi terkait biaya pengiriman per ton dari pabrik menuju pusat distribusi, di mana terdapat perbedaan biaya di antara produk dan rute distribusi.

Berdasarkan optimasi distribusi multi eselon yang didapatkan dari software Lingo 18 yang ditampilkan pada Gambar 1, biaya distribusi dapat diminimasi menjadi Rp684.601.500. Dengan penambahan fasilitas 2 DC, biaya distribusi secara keseluruhan berhasil dikurangi dari sebelumnya Rp693.832.000 menjadi Rp684.601.500. Hasil efisiensi menunjukkan adanya penghematan sebesar 1,33% dari total biaya operasional perusahaan yang menerapkan single eselon. Hasil optimalisasi ini memperkuat konsep dasar dalam teori manajemen rantai pasokan, khususnya pendekatan distribusi multi eselon yang menekankan pentingnya penggunaan fasilitas perantara seperti DC untuk mengurangi jarak rata-rata pengiriman per unit produk, memangkas biaya transportasi, dan mempermudah pengendalian aliran barang (Kiplagat, 2019; Tajik, Hajimolana, & Daneshvar Kakhki, 2024).

Strategi distribusi yang diajukan melibatkan pengiriman produk dari Pabrik 1 (plant 1) dan Pabrik 2 (plant 2) ke DC1 dan DC2 berdasarkan kemampuan produksi dan ongkos pengiriman. DC1 menerima sebagian besar barang dari Pabrik 1, sementara Pabrik 2 lebih banyak mengirimkan barang ke DC2, sesuai dengan rencana pengiriman yang ada di Tabel 4. DC1 menyalurkan barang ke pengecer R1, R2, R4, R5, R8, R9, R11, R12, R13, R15, R16, dan R17, sedangkan DC2 melayani pengecer R3,

R6, R7, R10, dan R14, sesuai dengan yang tercantum dalam Tabel 5 dan Tabel 6. Pola distribusi ini menunjukkan bahwa pengecer yang berada lebih dekat dengan DC tertentu mendapat pasokan dari DC tersebut, sehingga biaya pengiriman dapat diminimalkan.

Tabel 4. Usulan pengiriman produk dari pabrik ke DC

Produk	Plant 1		Plant 2	
	DC1	DC2	DC1	DC2
Timing Belt			3535	1500
Bearing			2600	1090
Kampas Rem			2525	1080
Piston	2085	880		
Shock Absorber	1770	750		
Oli Mesin	3070	1325		

The screenshot shows the 'Lingo 18.0 Solver Status [MMILP]' window. It displays the following information:

- Solver Status:** Model Class: MILP, State: Global Opt, Objective: 6.84602e+006, Infeasibility: 0, Iterations: 2.
- Extended Solver Status:** Solver Type: B-and-B, Best Obj: 6.84602e+006, Obj Bound: 6.84602e+006, Steps: 0, Active: 0.
- Variables:** Total: 63, Nonlinear: 0, Integers: 34.
- Constraints:** Total: 79, Nonlinear: 0.
- Nonzeros:** Total: 420, Nonlinear: 0.
- Generator Memory Used (K):** 68.
- Elapsed Runtime (hh:mm:ss):** 00:00:00.

At the bottom, there are buttons for 'Update Interval: 2', 'Interrupt Solver', and 'Close'.

Gambar 1. Solver Status Lingo

Tabel 5. Usulan alokasi distribusi produk dari DC1 ke retailer

Retail	Produk					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
R1	250	200	175	150	125	225
R2	300	240	225	175	160	275
R3	0	0	0	0	0	0
R4	230	175	180	140	125	200
R5	350	250	250	200	175	300
R6	0	0	0	0	0	0
R7	0	0	0	0	0	0
R8	275	200	185	150	125	225
R9	310	240	225	175	150	265
R10	0	0	0	0	0	0
R11	340	260	265	225	190	325

Retail	Produk					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
R12	365	250	250	210	175	310
R13	210	160	170	130	110	180
R14	0	0	0	0	0	0
R15	350	240	225	210	170	300
R16	230	175	175	145	120	210
R17	325	210	200	175	145	255

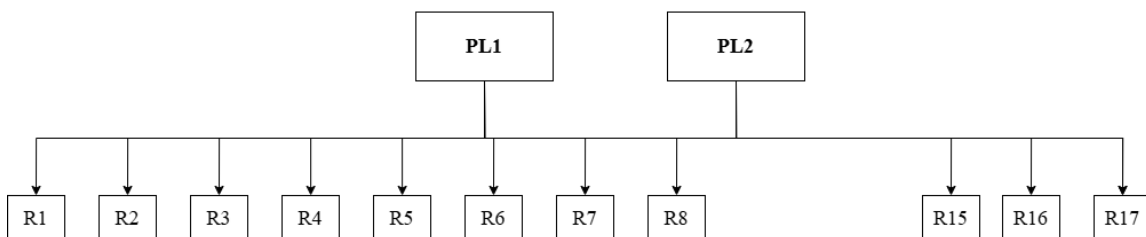
Tabel 6. Usulan alokasi distribusi produk dari DC1 ke retailer

Retail	Produk					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
R1	0	0	0	0	0	0
R2	0	0	0	0	0	0
R3	275	210	200	160	140	250
R4	0	0	0	0	0	0
R5	0	0	0	0	0	0
R6	325	220	225	175	150	275
R7	290	210	200	160	140	250
R8	0	0	0	0	0	0
R9	0	0	0	0	0	0
R10	235	180	175	140	120	210
R11	0	0	0	0	0	0
R12	0	0	0	0	0	0
R13	0	0	0	0	0	0
R14	375	270	280	245	200	340
R15	0	0	0	0	0	0
R16	0	0	0	0	0	0
R17	0	0	0	0	0	0

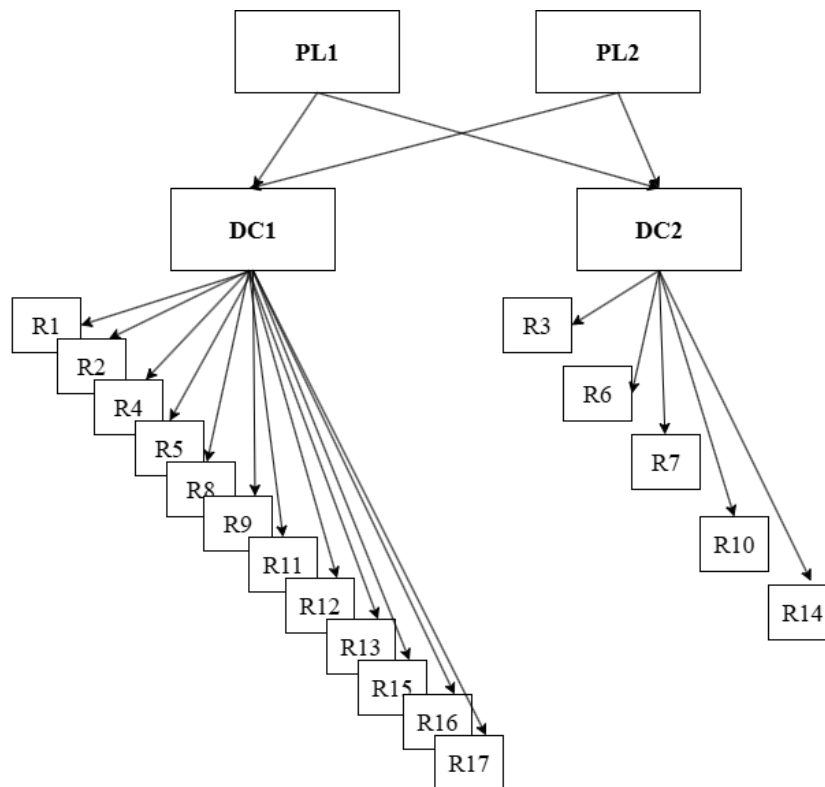
Efisiensi biaya pengiriman terutama terjadi karena produk dikumpulkan di pusat distribusi, sehingga jarak pengiriman produk dari pabrik ke penjual menjadi lebih singkat dan terpusat. Barang dari kedua pabrik tidak perlu dikirim secara terpisah ke setiap penjual dengan strategi membangun 2 fasilitas yaitu DC1 dan DC2, tetapi bisa disatukan di DC dan kemudian disalurkan dengan lebih baik ke lokasi penjual yang lebih dekat. Selain itu, cara penempatan penjual menunjukkan adanya pertimbangan

terhadap efisiensi lokasi, di mana penjual atau retailer yang berada lebih dekat dengan DC tertentu diutamakan untuk dilayani oleh DC tersebut. Dengan demikian, strategi ini tidak hanya mengurangi biaya pengiriman per satuan, tetapi juga meningkatkan kemampuan mengatur persediaan di tingkat pusat distribusi.

Hasil penelitian ini sesuai dengan temuan dari penelitian yang dilakukan oleh Onstein, Tavasszy, and Van Damme (2019) yang menyatakan bahwa memilih tempat distribusi dengan memperhatikan kedekatan dengan kelompok pelanggan dapat mengurangi biaya distribusi dari beberapa lokasi. Hal ini dikarenakan bisa mengurangi jarak rata-rata pengiriman serta memaksimalkan penggunaan kendaraan. Selain itu, strategi mengonsolidasikan produk di pusat distribusi untuk kemudian dikirim ke pengecer juga sejalan dengan model yang dilakukan oleh Onstein et al. (2019). Dengan menggunakan pendekatan *mixed integer programming* dan metode dekomposisi Benders, mereka berhasil merumuskan masalah lokasi distribusi untuk berbagai komoditas dengan mempertimbangkan aliran barang, kapasitas, dan permintaan pelanggan secara bersamaan. Penelitian ini juga mendukung temuan dari Rajkanth et al. (2017) yang menggarisbawahi pentingnya pemilihan lokasi fasilitas perantara dalam jaringan distribusi multi eselon untuk mengoptimalkan aliran barang serta mengurangi total biaya operasional logistik. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya menunjukkan penerapan nyata dari konsep teori optimasi lokasi dan aliran distribusi, tetapi juga menegaskan bahwa penambahan pusat distribusi yang tepat dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam menurunkan biaya dan meningkatkan efisiensi operasional seluruh rantai pasokan.



Gambar 2. Jaringan distribusi perusahaan kondisi awal



Gambar 3. Jaringan distribusi perusahaan kondisi usulan

Gambar 2 menunjukkan bahwa sistem pengiriman awal di perusahaan bergantung pada pengiriman langsung dari pabrik ke pengecer (retailer) tanpa menggunakan perantara (*single eselon*). Strategi distribusi tersebut menyebabkan biaya pengiriman menjadi tinggi karena setiap pengiriman dari pabrik ke pengecer harus dilakukan secara terpisah. Hal ini menyebabkan terjadinya kehilangan kesempatan untuk melakukan konsolidasi muatan dan jalur distribusi tidak efisien. Ini sejalan dengan teori rantai pasokan klasik yang menyatakan bahwa tanpa adanya fasilitas konsolidasi seperti pusat distribusi, biaya transportasi menjadi lebih tinggi karena perusahaan tidak dapat memanfaatkan keuntungan dari skala besar dalam pengiriman (Chopra & Meindl, 2001). Sebaliknya, Gambar 3 menunjukkan rencana distribusi yang diusulkan dengan penambahan dua pusat distribusi (DC) yang berfungsi untuk menggabungkan produk dari pabrik sebelum didistribusikan ke masing - masing retailer. Model distribusi multi eselon tersebut dapat mengurangi total jarak yang ditempuh dan dapat mengoptimalkan rute pengiriman

sehingga secara langsung mengurangi biaya logistik.

Berdasarkan hasil optimasi penambahan DC, penting bagi Perusahaan untuk melakukan evaluasi secara berkala guna memastikan apakah lokasi pusat distribusi masih efisien sesuai dengan perubahan pola permintaan dari retailer. Selain itu, disarankan juga untuk mengintegrasikan data dengan sistem teknologi manajemen rantai pasokan seperti *Warehouse Management System* (WMS) untuk mendukung pengelolaan aliran barang dan memaksimalkan fungsi konsolidasi di pusat distribusi. Hal ini akan membantu Perusahaan dalam meningkatkan ketepatan inventaris dan sekaligus responsif dalam memenuhi permintaan dari retailer dengan tetap menjaga biaya operasional agar tetap minimal. Meskipun begitu, studi ini memiliki batasan terutama terkait asumsi data yang digunakan. Model optimasi yang dibuat masih bergantung pada parameter permintaan konsumen dan biaya pengiriman yang dianggap tetap dan pasti (*deterministic*), padahal di kenyataannya faktor-faktor tersebut sering berubah-ubah (*probabilistic*) karena dinamika pasar atau perubahan harga. Oleh karena itu, dalam

penelitian yang akan datang dapat dikembangkan model dengan pendekatan acak atau analisis skenario untuk menangani ketidakpastian tersebut. Penelitian selanjutnya juga bisa mempertimbangkan variabel waktu pengiriman dan tingkat pelayanan agar solusi distribusi tidak hanya efisien dari segi biaya tetapi juga memenuhi standar kecepatan dan keandalan pengiriman yang diinginkan oleh konsumen.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa menambah dua pusat distribusi (DC) dalam jaringan distribusi multi eselon perusahaan suku cadang otomotif terbukti efektif untuk menekan biaya pengiriman. Dengan menerapkan sistem distribusi baru yang mengumpulkan produk dari pabrik ke DC sebelum dikirim ke retailer dapat menurunkan total biaya distribusi dari Rp693. 832.000 menjadi Rp684. 601.500 atau sebesar 1,33%. Pendekatan MILP juga memanfaatkan efisiensi lokasi dengan mengurangi jarak tempuh rata-rata serta meningkatkan konsolidasi muatan barang. Hasil ini menyatakan bahwa penggunaan DC yang ditempatkan dengan bijak dapat menjadi cara praktis untuk mengurangi biaya transportasi dan meningkatkan efektivitas rantai pasokan. Oleh karena itu, perusahaan disarankan untuk menerapkan jaringan distribusi multi eselon secara berkelanjutan dan memanfaatkan teknologi pendukung agar distribusi menjadi lebih responsif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Blanchard, D. (2021). *Supply chain management best practices*: John Wiley & Sons.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2001). Strategy, planning, and operation. *Supply Chain Management*, 15(5), 71-85.
- Cuda, R., Guastaroba, G., & Speranza, M. G. (2015). A survey on two-echelon routing problems. *Computers & operations research*, 55, 185-199.
- Fatma, E., & Supardi, M. (2021). Optimasi Biaya Distribusi Multi-eselon untuk Multi-produk Menggunakan Mix Integer Linier Programming. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, 8(1), 75-82.
- Gendron, B., & Semet, F. (2009). Formulations and relaxations for a multi-echelon capacitated location–distribution problem. *Computers & operations research*, 36(5), 1335-1355.
- Kiplagat, N. K. (2019). Role of multi-echelon distribution systems on performance of manufacturing firms in Kenya.
- Murugaswamy, R. (2011). A Multi-echelon Facility Location Model for a Food Supply Chain Using Benders Decomposition.
- Onstein, A. T. C., Tavasszy, L. A., & Van Damme, D. A. (2019). Factors determining distribution structure decisions in logistics: a literature review and research agenda. *Transport Reviews*, 39(2), 243-260.
- Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Asadi, K. (2015). Optimizing a bi-objective multi-product multi-period three echelon supply chain network with warehouse reliability. *Expert Systems with Applications*, 42(5), 2615-2623.
- Qu, T., Huang, T., Nie, D., Fu, Y., Ma, L., & Huang, G. Q. (2022). Joint decisions of inventory optimization and order allocation for omni-channel multi-echelon distribution network. *Sustainability*, 14(10), 5903.
- Rahmani, Y., Ramdane Cherif-Khettaf, W., & Oulamara, A. (2016). The two-echelon multi-products location-routing problem with pickup and delivery: formulation and heuristic approaches. *International Journal of Production Research*, 54(4), 999-1019.
- Rajkanth, R., Srinivasan, G., & Gopalakrishnan, M. (2017). Material flow optimisation in a multi-echelon and multi-product supply chain. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 26(1), 105-124.
- Ribas, I., Lusa, A., & Corominas, A. J. I. J. o. P. R. (2019). A framework for designing a supply chain distribution network. 57(7), 2104-2116.
- Sarrafha, K., Rahmati, S. H. A., Niaki, S. T. A., & Zareitalab, A. (2015). A bi-objective integrated procurement, production, and distribution problem of a multi-echelon supply chain network design: A new tuned MOEA. *Computers & operations research*, 54, 35-51.
- Steinrücke, M. (2015). Integrated production, distribution and scheduling in the aluminium industry: a continuous-time

- MILP model and decomposition method. *International Journal of Production Research*, 53(19), 5912-5930.
- Sun, J., Tang, J., Fu, W., Chen, Z., & Niu, Y. (2020). Construction of a multi-echelon supply chain complex network evolution model and robustness analysis of cascading failure. *Computers & Industrial Engineering*, 144, 106457.
- Tajik, M., Hajimolana, S. M., & Daneshvar Kakhki, M. (2024). Production Planning Optimization in a Two-Echelon Multi-Product Supply Chain with Discrete Delivery and Storage at Manufacturer's Warehouse. *Mathematics*, 12(13), 1986.
- Tien, N. H., Anh, D. B. H., & Thuc, T. D. (2019). Global supply chain and logistics management. In: Academic Publications, Dehli.
- Wilson, D., & Baker, R. E. (2016). Multi-level methods and approximating distribution functions. *AIP Advances*, 6(7).