



Prosiding Seminar Nasional Agrologistik 2018

Agrologistik 4.0:

Peluang dan Tantangan di Era Agroindustri Digital

IICC Bogor, 18 September 2018

ISBN : 978 - 602 - 53074 - 0 - 9



PROSIDING
Seminar Nasional Agrologistik 2018

Agrologistik 4.0 Peluang dan Tantangan di Era Digital

IPB International Convention Center Bogor, 18 September 2018



Sekolah Pascasarjana
Institut Pertanian Bogor
2018

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia-Nya, sehingga penyusunan prosiding Seminar Nasional Agrologistik 2018 dengan tema “Agrologistik 4.0 Peluang dan Tantangan di Era Digital” dapat diselesaikan dengan baik.

Tujuan dari penyusunan prosiding seminar nasional agrologistik ini adalah untuk menyampaikan hasilhasil penelitian di bidang piranti cerdas agrologistik, rantai pasok logistik pangan dan agroindustri, humaditarian logistik, transportasi dan distribusi, rantai pasok berkelanjutan, serta topik lain yang relafan. Penelitian dilakukan oleh akademisi di bidang supply chain dan logistik dari berbagai perguruan tinggi di Indonesia. Susunan isi prosiding seminar secara berurutan terdiri dari makalah di bidang piranti cerdas agrologistik, rantai pasok logistik pangan dan agroindustri, humaditarian logistik, transportasi dan distribusi, rantai pasok berkelanjutan, serta topik lain yang relafan.

Penyelenggara Seminar Nasional Agrologistik adalah Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, yang bekerjasama dengan Sekolah Vokasi Institut Pertanian Bogor dan Institute Supply Chain dan Logistik Indonesia (ISLI), serta didukung oleh Dewan Guru Besar Institut Pertanian Bogor. Seminar dilaksanakan pada tanggal 18 September 2018 di IPB International Convention Center, Bogor.

Keynote speaker pada seminar nasional ini adalah Menteri Koordinator Bidang Perkenomian yang diwakili oleh Ibu Ir. Musdhalifah Machmud, MT . Pembicara sesi panel adalah Prof. Dr. Ir. Marimin, M.Sc (Guru Besar IPB Bogor), Yuzron Erman (CEO Pos Logistics Indonesia), Herry Nugraha, S.Si, MM (Co Founder & CEO Etanee Food Marketplace)

Kami berharap hasil-hasil penelitian pada prosiding ini dapat bermanfaat bagi pembaca, memperkaya khasanah penelitian di bidang Supply Chain dan Logistik, serta memberikan sumbangsih bagi pembangunan nasional dan dunia industri di era digital saat ini.

Hormat kami

Ketua Panitia

Dr Heti Mulyati, STP, MT

SAMBUTAN

Produk pertanian yang berasal dari berbagai daerah dengan jumlah produksi, mutu, kondisi tanah, sistem pemupukan, dan iklim yang berbeda-beda memerlukan penanganan yang spesifik. Perpindahan kepemilikan produk dari hulu ke hilir dari satu pihak ke pihak lainnya menyebabkan sulitnya pencatatan dan penelusuran produk-produk pertanian sekaligus upaya mempertahankan mutunya. Konsep agrologistik merupakan konsep yang sangat vital dalam distribusi hasil pertanian dari produsen ke konsumen akhir. Agrologistik akan mempermudah distribusi produk pertanian ke tangan konsumen dengan data yang tercatat dan terekam secara efisien, terutama di era industri 4.0.

Indonesia sebagai negara kepulauan memerlukan manajemen logistik yang tepat. Hampir semua persoalan yang dihadapi pertanian Indonesia berkaitan dengan agrologistik. Hal ini menjadikan agrologistik di Indonesia perlu mendapatkan perhatian serius demi memajukan pertanian Indonesia.

Berkaitan dengan hal tersebut, IPB telah menegaskan perannya dalam peningkatan daya saing bangsa dan pembangunan nasional, melalui visi IPB 2045: menjadi Techno - socio Entrepreneurial University. Untuk mewujudkan visi tersebut, dari segi penelitian dan pengembangan inovasi, IPB turut mendorong Riset dan Inovasi IPB 4.0 yang salah satunya dicirikan dengan sistem agrologistik digital.

Prosiding ini berisi hasil Seminar dan Kongres Agrologistik 4.0 yang dilakukan pada tanggal 18 September 2018 di IPB International Convention Center (IICC) Bogor. Kegiatan ini mengkaji berbagai perkembangan pemikiran agrologistik dari berbagai bidang, baik dari akademisi, pemangku kebijakan, maupun pelaku bisnis, dan memberikan kontribusi pemikiran yang strategis dalam rangka meningkatkan daya saing agrologistik nasional. Prosiding terdiri dari berbagai hasil penelitian yang dibagi ke dalam bidang rantai pasok pangan dan agrologistik, transportasi dan distribusi, piranti cerdas, rantai pasok berkelanjutan, *humanitarian, logistics*, dan bidang topik lain yang relevan.

Seminar dan kongres Agrologistik 4.0 ini merupakan kerja sama IPB dengan Institut Supply Chain Indonesia (ISLI) serta didukung oleh Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia, PT Charoen Pokphand Indonesia Tbk dan PT Bank Negara Indonesia (Persero), Tbk . Ucapan terima kasih dipersembahkan kepada segenap panitia yang telah mendedikasikan waktunya dan berkontribusi dalam penyelenggaraan Seminar dan Kongres Agrologistik 4.0 ini, serta kepada seluruh jajaran pimpinan IPB yang telah turut mensukseskan kegiatan ini.

Besar harapan kami agar hasil penelitian di dalam prosiding ini dapat turut berkontribusi dalam perbaikan dan pengembangan sistem Agrologistik nasional pada Era Industri 4.0.

Hormat kami

Prof.Dr.Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng

Dekan Pascasarjana Institut Pertanian Bogor

**Prosiding
Seminar Nasional Agrologistik 2018
Agrologistik 4.0 Peluang dan Tantangan di Era Digital**

Editor :

Dr Eng Ir Taufik Djatna, MSi
Dr Heti Mulyati, STP, MT
Hendri Wijaya, STP, MSi

Sesar Husein Santosa, STP, MM
Rizky Amelia, STP, MSc, MSi
Nisa Zahra, STP, MSi

Reviewer :

Dr Ir Hoetomo Lembito, MBA, CSLP
Prof Dr Ir Yandra Arkeman, MEng
Iwan Vanany ST, MT, Ph.D
Dr Eng Ir Taufik Djatna, MSi
Hendri Wijaya, STP, MSi

Desain Sampul & Tata Letak:

Muhammad Hamam Azmi, Amd

ISBN :

Penerbit :

Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor
Bekerja sama dengan Sekolah Vokasi Institut Pertanian Bogor dan Institute Supply Chain dan Logistik Indonesia (ISLI)

Redaksi :

Jl. Raya Darmaga, Gedung Sekolah Pascasarjana IPB,
Kampus IPB Darmaga Bogor 16680
Telp./Fax : +62-251-8628448/8622961
Email : isli2018ipb@gmail.com, sps@apps.ipb.ac.id

Cetakan Pertama, September 2018

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
All Right Reserve

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

**SUSUNAN PANITIA
SEMINAR NASIONAL AGROLOGISTIK 2018
SEKOLAH PASCASARJANA IPB TAHUN 2018**

Steering Commitee	: Prof. Dr. Ir. Yandra Arkeman, MEng : Dr. Ir. Hoetomo Lembito, MBA, CSLP : Ir Pramono D. Fewidarto, MS
Organizing Commitee	
Ketua	: Dr. Heti Mulyati, STP, MT
Sekretaris	: Nisa Zahra, STP, MSi
Bendahara	: Andina Octariana, SE, MSi
Seksi Acara dan Makalah	: Sazli Tuter Risyahadi, STP, MT, MSi : Dian Ardifah Iswari : Ermia Sofiyessi : Willy Bachtiar, S.Ikom, M.Ikom
Seksi Publikasi dan Dokumentasi	: Hendri Wijaya, STP, MSi : Sesar Husen Santosa, STP, MM : Guruh Ramdani, SSn, MSn : Marcel Pragiwaksana, SA, CPSLog
Prosiding	: Dr.Eng. Ir. Taufik Djatna, MSi : Dr. Alim Setiawan, STP, MSi
Seksi Perlengkapan & Konsumsi	: Suhendi Irawan S.ST Log : Anisa Kartinawati, STP, MT : Deris Monica Sari
Humas & Transportasi	: Fatmawati Siregar, SP, MM : Rizky Amelia, STP, MSc, MSi
Student Chapter	: Dwi Apriyani, SP, MSi

AGENDA

Waktu	Kegiatan
08.00 - 09.00	Registrasi Peserta
09.00 - 09.05	Pembukaan
09.05 - 09.10	Pembacaan Do'a
09.10 - 09.15	Sambutan Ketua Panitia
09.15 - 09.20	Sambutan Ketua Umum ISLI
09.20 - 09.25	Sambutan Dekan Sekolah Pascasarjana
09.25 - 09.35	Sambutan Rektor IPB sekaligus Pembukaan Seminar Nasional
09.35 - 10.05	Keynote Speech: Dr. Darmin Nasution (Kemenko Perekonomian)
10.05 - 11.30	Panel Session
11.30 - 12.00	Diskusi
12.00 - 13.00	Ishoma
13.00 - 16.00	Parallel Session
16.00 - 17.00	Kongres ke-2 ISLI dan Kongres ke-1 Student Chapter
17.00 - 17.45	Penutupan: - Art Performance - Pengumuman Pemakalah Terbaik dan Poster Terbaik Student Chapter

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
SAMBUTAN	i
Prosiding	iii
SUSUNAN PANITIA	iv
AGENDA	v
DAFTAR ISI	vi

BIDANG RANTAI PASOK DAN AGROLOGISTIK

PENINGKATAN EFISIENSI KINERJA RANTAI PASOK BROKOLI ORGANIK DENGAN METODE <i>DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)</i>	1
INTEGRASI DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA) DAN SIMULASI MONTE CARLO DALAM MENINGKATKAN KINERJA RANTAI PASOK	17
SERTIFIKASI LOGISTIK HALAL SEBAGAI SALAH SATU BRAND EQUITY UNTUK MENINGKATKAN KESADARAN GAYA HIDUP KONSUMEN AKAN MAKANAN HALAL	26
PENGARUH <i>SUPPLY CHAIN MANAGEMENT</i> TERHADAP KINERJA USAHA: STUDI EMPIRIS PADA UMKM BREM PADAT DI KABUPATEN MADIUN	35
RANCANGAN SISTEM <i>TRACEABILITY</i> HALAL PADA SUPPLY CHAIN MAKANAN UNTUK INDUSTRI KECIL MENENGAH	49

BIDANG TRANSPORTASI DAN DISTRIBUSI

MODEL PERENCANAAN DISTRIBUSI UNTUK MITIGASI PENARIKAN PRODUK	56
OPTIMASI TRANSPORTASI DAN DISTRIBUSI RAMAH LINGKUNGAN UNTUK PRODUK TURUNAN TEKSTIL BERBASIS SERAT NABATI DENGAN <i>VEHICLE ROUTING PROBLEM</i>	65
PENENTUAN LOKASI GUDANG DAN RUTE TRANSPORTASI MENGGUNAKAN <i>EVOLUTIONARY SOLVER</i> UNTUK MEMINIMASI BIAYA LOGISTIK (STUDI KASUS PT X)	74
SIMULASI RISIKO SUSUT BOBOT SAPI AKIBAT TRANSPORTASI	82
EVALUASI PENGGUNAAN JUMLAH MODA TRANSPORTASI UNTUK DISTRIBUSI SEMEN DENGAN MENGGUNAKAN METODE SAVING MATRIX PADA PT INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA Tbk CIREBON	89

BIDANG PIRANTI CERDAS, RANTAI PASOK BERKELANJUTAN, HUMANITARIAN LOGISTIK, PIRANTI LUNAK

PERANCANGAN SISTEM PENELUSURAN PRODUKSI BAN KARET MENGGUNAKAN MODUL <i>MANUFACTURING ERP</i> DI PT XYZ TIRE (STUDI TERAPAN)	108
---	-----

BIDANG TOPIK LAIN YANG RELEVAN

ANALISIS PENGARUH METODE PERAMALAN TERHADAP <i>BULLWHIP EFFECT</i> PADA SISTEM RANTAI PASOK MULTI-ESELON DENGAN MENGGUNAKAN <i>BULLWHIP EXPLORER</i>	127
PENERAPAN <i>GOOD MANUFACTURING PRACTICES</i> DAN 5S PADA INDUSTRI TAHU Studi Kasus: Pabrik Tahu Murni	133
PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK <i>CHICKEN CORDON BLEU</i> DENGAN MENGGUNAKAN METODE SIX SIGMA DI PT KANEMORY FOOD SERVICE	142
PERANAN UNIVERSITAS DALAM MENGEMBANGKAN <i>LOCAL ENABLER</i>	150
PERENCANAAN TANAM DAN PANEN PADA TAMBAK IKAN BANDENG	157
AKSI MITIGASI RISIKO RANTAI PASOK PABRIK BAJA LEMBARAN DINGIN MENGGUNAKAN METODE <i>HOUSE OF RISK (HOR)</i>	165

PENENTUAN LOKASI GUDANG DAN RUTE TRANSPORTASI MENGGUNAKAN *EVOLUTIONARY SOLVER* UNTUK MEMINIMASI BIAYA LOGISTIK (STUDI KASUS PT X)

Fakhrur Rozi¹, Rainisa Maini Heryanto², Santoso³

^{1,2,3}Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

Email: fakhrur26rozi@gmail.com, rainisa.mh@eng.maranatha.edu, santoso@eng.maranatha.edu

Abstrak

Penentuan lokasi fasilitas, baik produksi maupun distribusi, memainkan peran penting dalam aktivitas logistik. Penentuan lokasi produksi serta cara distribusi yang tepat akan memberikan penghematan biaya dalam aktivitas perusahaan. Penelitian ini membahas kasus minimasi biaya logistik pada PT X yang merupakan perusahaan yang berperan sebagai penghubung konsumen dan pemasok produk Y. Permintaan konsumen yang semakin meningkat membuat gudang PT X tidak mampu menyimpan produk yang dipesan oleh konsumen. PT X memiliki dua pilihan strategi yang dapat dilakukan yaitu dengan menambah kapasitas gudang saat ini di lokasi yang sama atau membuka gudang baru di lokasi berbeda dengan tetap mempertahankan gudang saat ini.

Penelitian ini bertujuan untuk membantu PT X dalam pengambilan keputusan mengenai strategi yang sebaiknya dipilih berdasarkan total biaya logistik yang dihasilkan. Selain penentuan lokasi, akan diusulkan pula rute transportasi yang dapat meminimasi total biaya logistik. Terdapat beberapa calon lokasi gudang yang menjadi pertimbangan PT X dan akan dipilih satu calon lokasi gudang dengan menggunakan metode factor rating. Penentuan rute transportasi menggunakan model matematis yang diambil dari Perl, et al (1983) mengenai Modified Warehouse Location Routing Problem (MWLRP) yang terdapat pada jurnal Hansen, et al (1994) dan disesuaikan dengan kondisi perusahaan. Pencarian solusi dilakukan dengan menggunakan Evolutionary Solver yang tahapannya terdiri dari mutasi, crossover, dan seleksi. Data yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari wawancara langsung dengan pihak perusahaan dan dari sumber sekunder.

Strategi pertama menghasilkan total biaya logistik sebesar Rp 418.923,- yang terdiri atas biaya transportasi sebesar Rp 402.097,- dan biaya simpan produk sebesar Rp 16.826,-. Sedangkan pada usulan strategi kedua, total biaya logistik yang dihasilkan adalah sebesar Rp 373.307,- yang terdiri atas Rp 352.536,- biaya transportasi dan Rp 20.772,- biaya simpan produk.

Kata Kunci: biaya logistik, Evolutionary Solver, gudang, rute

Pendahuluan

Perancangan jaringan *supply chain* juga merupakan satu kegiatan strategis yang harus dilakukan pada *supply chain management* dan mencakup keputusan tentang lokasi, jumlah, serta kapasitas fasilitas produksi dan distribusi dalam suatu *supply chain* (baik yang dimiliki oleh satu atau sejumlah perusahaan yang berkolaborasi). Tujuan dari keberadaan jaringan *supply chain* untuk memenuhi kebutuhan pelanggan yang tentunya bisa berubah secara dinamis dari waktu ke waktu (Kibli et al, 2010). Dari sisi pelanggan, jaringan yang baik tentunya harus bisa memberikan kecepatan respon yang tinggi (*lead time* yang pendek bagi pelanggan untuk memperoleh barang) dan *service level* yang tinggi, yaitu kemampuan jaringan memasok dengan ketersediaan barang yang cukup tinggi (Sourirajan, 2009). Dari sisi *supply chain*, biaya untuk menyediakan layanan dengan *lead time* yang pendek atau tingkat layanan yang tinggi harus dilaksanakan secara efisien. (Pujawan, 2017).

Menurut Yolanda M. Siagian (2005) logistik merupakan bagian dari rantai pasok (*supply chain*) yang berfungsi merencanakan, melaksanakan, mengendalikan secara efektif, efisien, proses pengadaan, pengelolaan, penyimpanan barang, pelayanan dan informasi mulai dari titik awal (*point of origin*) hingga titik akhir konsumsi (*point of consumption*) dengan tujuan memenuhi kebutuhan konsumen. Penentuan lokasi produksi serta cara distribusi yang tepat akan memberikan penghematan biaya yang signifikan dalam aktivitas perusahaan.

Dalam penelitian ini, kasus yang diteliti adalah biaya logistik pada PT X yang merupakan perusahaan yang berperan sebagai penghubung konsumen dan pemasok produk Y. PT X memiliki 17 konsumen yang memiliki besar permintaan yang berbeda-beda setiap harinya. Kualitas produk X yang bagus dan harganya yang relatif terjangkau membuat jumlah permintaan konsumen semakin bertambah. Permintaan yang semakin meningkat dan lokasi

konsumen yang semakin menyebar menjadi tantangan baru bagi PT X. Kapasitas gudang yang dimiliki oleh PT X saat ini tidak mampu untuk memenuhi permintaan yang datang.

Aktivitas pengiriman produk dari gudang menuju konsumen dilakukan dengan cara *sharing* menggunakan moda angkutan mobil *box* yang memiliki kapasitas maksimum sebesar 400 unit dalam satu rute pengiriman. Tidak semua konsumen dilayani setiap hari yang menyebabkan rute pengiriman berbeda-beda tergantung pada konsumen yang dilayani di hari tersebut. Jumlah konsumen yang dilayani setiap hari berkisar antara 13-14 konsumen.

PT X memiliki dua pilihan strategi yang dapat dilakukan untuk mengatasi tantangan yang dihadapi tersebut. Strategi pertama adalah dengan menambah kapasitas gudang saat ini di lokasi yang sama. Strategi kedua yang dapat dilakukan adalah dengan cara membuka sebuah lokasi gudang baru dengan tetap mempertahankan gudang saat ini. Kedua strategi ini memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

Metode Penelitian

Bagian ini menjelaskan langkah-langkah pencarian solusi penyelesaian kasus minimasi biaya logistik yang diteliti. Pencarian solusi dimulai dengan menentukan gudang yang akan digunakan pada strategi kedua. Lokasi gudang baru untuk strategi kedua dilakukan dengan menggunakan metode *factor rating* untuk memilih satu dari empat calon gudang yang ada.

Langkah berikutnya adalah penentuan rute pengiriman produk dari gudang menuju konsumen. Penentuan rute pengiriman dimulai dengan menghitung elemen-elemen biaya yang mempengaruhi total biaya logistik. Elemen-elemen biaya tersebut adalah biaya pengiriman per kilometer dan biaya simpan produk per hari. Penentuan rute transportasi dilakukan dengan menggunakan model matematis yang diambil dari Perl, et al (1983) mengenai *Modified Warehouse Location Routing Problem* (MWLRP) yang terdapat pada jurnal Hansen, et al (1994). Model matematis yang digunakan disesuaikan dengan kondisi perusahaan.

a. Fungsi Tujuan

Penelitian ini bertujuan menentukan strategi yang tepat digunakan oleh perusahaan dengan memperhatikan total biaya logistik. Biaya logistik yang diperhitungkan adalah besarnya biaya transportasi dan biaya simpan produk. Rumusan fungsi tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$Min LC = \sum_{g=1}^{N+M} \sum_{h=1}^{N+M} \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P TC \times d_{ghp} \times X_{ghkp} + \sum_{j=i}^{N+M} \sum_{p=1}^P IC \times I_{jp} \quad (1)$$

b. Kendala Masalah

1. Total permintaan konsumen yang dipenuhi dalam satu rute tidak melebihi kapasitas kendaraan.

$$\sum_{h=1}^N \sum_{i=i}^N \sum_{p=1}^P q_{ip} \times X_{ihkp} \leq C, \quad k = 1, \dots, K, \quad (2)$$

2. Setiap titik konsumen yang dilayani harus dikunjungi satu kali.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^{N+M} \sum_{p=1}^P X_{ihkp} = 1, \quad i = 1, \dots, N, \quad (3)$$

3. Moda yang meninggalkan suatu gudang harus kembali ke gudang tersebut.

$$\sum_{h=1}^{N+M} X_{jhkp} - \sum_{h=1}^{N+M} X_{hjkp} = 0, \quad k = 1, \dots, K, \quad j = N, \dots, N+M, \quad p = 1, \dots, P \quad (4)$$

4. *Inventory* akhir merupakan jumlah *inventory* akhir hari sebelumnya ditambah produk yang datang dari pemasok dikurangi permintaan konsumen.

$$I_{jp} = I_{jp-1} - \sum_{i=1}^{N+M} q_{ijp} + Y_j \times Q \quad j = N, \dots, N+M, \quad p = 1, \dots, P \quad (5)$$

Asumsi yang digunakan dalam model yang dirancang pada penelitian ini adalah:

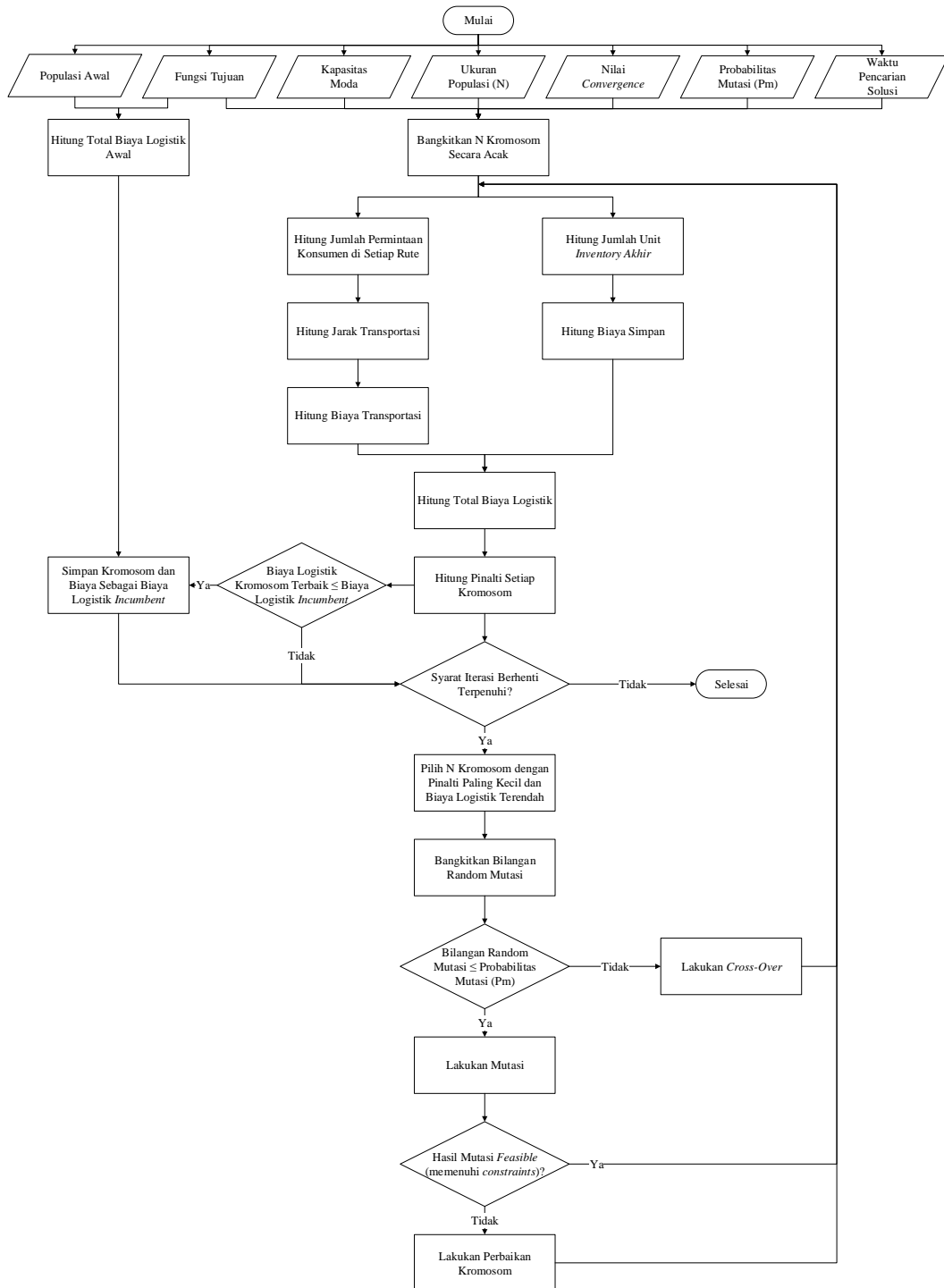
1. Pemasok selalu mampu memenuhi permintaan yang datang dari kosumen.
2. Biaya transportasi dan biaya simpan produk tidak dipengaruhi kapasitas kendaraan/gudang
3. Tidak ada perbedaan kondisi lalu lintas setiap harinya.
4. Penelitian tidak memperhatikan biaya loading/unloading.

Algoritma Pencarian Solusi

Proses pencarian titik optimal suatu persoalan, baik untuk fungsi kontinyus atau persoalan deskret dilakukan dengan meniru fenomena alam seperti evolusi makhluk hidup atau pendinginan baja atau meniru perilaku semut. Proses pencarian dengan meniru fenomena alam ini melahirkan cara baru yang disebut *metaheuristic*. (Santosa, 2017)

Penyelesaian kasus optimasi untuk *non-smooth* (meskipun tidak selalu mendapatkan hasil yang optimal) dapat dilakukan dengan menggunakan *genetic* atau *evolutionary algorithm*. Pada *genetic algorithm*, masalah diterjemahkan dalam susunan bilangan bit yang kemudian dimanipulasi sesuai algoritma yang digunakan. Dalam *evolutionary algorithm*, variabel keputusan dan fungsi tujuan digunakan secara langsung dalam algoritma. (Frontline Solver, 2018). Langkah pencairan solusi dapat dilihat pada Gambar 1.

- Langkah 1** Tentukan fungsi tujuan, variabel, batasan, kapasitas moda angkutan, ukuran populasi, nilai *convergence*, probabilitas mutasi, dan waktu pencarian solusi tanpa adanya perubahan solusi yang signifikan.
- Langkah 2** Bangkitkan N populasi secara acak sebanyak jumlah yang telah ditentukan pada langkah sebelumnya. Ukuran jumlah populasi ini kemudian akan dipertahankan untuk generasi berikutnya.
- Langkah 3** Hitung total biaya logistik untuk semua kromosom yang terbentuk.
- Langkah 4** Hitung pinalti setiap kromosom. Pinalti diberikan bagi kromosom yang tidak memenuhi *constraints*. Jumlah pinalti diberikan sebanyak *constraints* yang dilanggar oleh kromosom tersebut.
- Langkah 5** Pilih N kromosom dengan pinalti paling kecil dan biaya logistik paling rendah. Kromosom yang baik adalah kromosom yang memiliki pinalti paling kecil dan total biaya logistik paling minimal. Seluruh kromosom yang terbentuk akan diurutkan berdasarkan jumlah pinalti yang diterima. Kromosom dengan jumlah pinalti yang sama akan diurutkan berdasarkan biaya logistik yang paling rendah ke paling tinggi dimana kromosom yang memiliki total biaya logistik yang rendah lebih baik dibandingkan yang lebih tinggi. Pertahankan sejumlah N kromosom terbaik untuk generasi berikutnya.
- Langkah 6** Bangkitkan bilangan acak probabilitas mutasi untuk menentukan apakah kromosom mengalami mutasi atau tidak sekaligus menentukan strategi mutasi yang akan dipilih.
- Langkah 7** Lakukan mutasi kepada kromosom yang memiliki nilai bilangan random lebih kecil dibandingkan nilai probabilitas mutasi. Jika terdapat kromosom yang mengalami mutasi maka *Solver* akan memunculkan bilangan acak untuk menentukan gen di dalam kromosom yang akan dimutasi.
- Langkah 8** Lakukan perbaikan kromosom terhadap kromosom hasil mutasi yang tidak memenuhi *constraints* (tidak *feasible*). Operasi perbaikan ini kadang-kadang dapat menghasilkan kromosom yang *feasible*.
- Langkah 9** Lakukan *crossover* terhadap semua kromosom yang tidak mengalami mutasi. *Solver* akan memunculkan bilangan acak untuk menentukan kromosom yang akan dipasangkan untuk menjadi *parent*.
- Langkah 10** Ulang dari langkah 3 hingga syarat penghentian pencarian solusi terpenuhi.



Gambar 1. Flowchart pencarian solusi *Evolutionary Solver*

Setelah hasil pencarian solusi menggunakan *Evolutionary Solver* selesai dilakukan, solusi yang terpilih kemudian diterjemahkan untuk mendapatkan rute transportasi yang harus dilakukan.

Hasil dan Pembahasan

Dalam penentuan lokasi gudang baru, terdapat beberapa calon lokasi gudang yang menjadi pertimbangan PT X dan akan dipilih satu calon lokasi gudang dengan menggunakan metode *factor rating* yang mempertimbangkan beberapa faktor di antaranya adalah faktor kedekatan dengan lokasi pemasok, kedekatan dengan lokasi konsumen, kemudahan akses keluar/masuk, kemudahan bongkar/muat produk, keamanan lingkungan, dan kondisi bangunan saat ini. Penilaian setiap calon gudang terhadap faktor diperhatikan dilakukan dengan memberikan

nilai 0-100 dimana nilai 100 berarti calon gudang tersebut sangat sesuai dengan kondisi yang diinginkan perusahaan. Calon gudang yang terpilih adalah calon gudang yang memiliki total nilai paling tinggi

Tabel 1. *Factor rating* pemilihan calon gudang

No	Faktor yang diperhatikan	Bobot	Calon Gudang 1	Calon Gudang 2	Calon Gudang 3	Calon Gudang 4
1	Kedekatan dengan lokasi konsumen	0,3	80	80	50	90
2	Kedekatan dengan lokasi pemasok	0,2	80	75	70	70
3	Kemudahan akses keluar/masuk	0,15	65	65	80	90
4	Kemudahan bongkar/muat produk	0,15	80	75	90	70
5	Keamanan lingkungan	0,15	75	85	75	80
6	Kondisi bangunan	0,05	60	80	70	80
Total		1	76	76,75	69,25	81

Penentuan calon gudang menggunakan *factor rating* menghasilkan calon gudang 4 sebagai gudang terpilih dalam strategi kedua. Gudang 4 mendapatkan skor 81. Nilai ini paling tinggi jika dibandingkan dengan calon gudang lainnya.

Langkah berikutnya dalam penelitian ini adalah menentukan komponen biaya yang mempengaruhi total biaya logistik. komponen yang akan dicari adalah biaya transportasi per kilometer dan biaya simpan produk per unit setiap harinya. Perhitungan biaya transportasi dilakukan dengan memperhatikan konsumsi bahan bakar per kilometer moda yang digunakan. Perusahaan saat ini menggunakan moda mobil *box* dengan rata-rata konsumsi bahan bakar sebesar 10 km/liter. Bahan bakar yang digunakan adalah pertamax dengan harga Rp 9.500,-/liter. Oleh karena itu, perhitungan biaya transportasi perusahaan adalah sebagai berikut:

$$\text{Biaya Transportasi/Km (TC)} = \frac{\text{Harga Bahan Bakar/Kilometer}}{\text{Jarak Tempuh/Liter}}$$

$$\text{Biaya Transportasi/Km (TC)} = \frac{\text{Rp } 9.500/\text{l}}{10 \text{ km/l}} = \text{Rp. } 950/\text{km}$$

Perhitungan biaya simpan produk dilakukan dengan memperhatikan harga jual produk dan biaya bunga bank setiap tahun. Harga jual produk Y adalah sebesar Rp 90.000,- dengan besar bunga bank 8% setiap tahun.

$$\text{Biaya Simpan/unit (IC)} = \frac{\text{Harga Jual Produk} \times \text{Bunga Bank}}{\text{Jumlah hari dalam satu tahun}}$$

$$\text{Biaya Simpan/unit (IC)} = \frac{\text{Rp } 90.000 \times 8\%}{365} = \text{Rp. } 19,73/\text{unit}$$

Setelah seluruh variabel yang dibutuhkan dalam penelitian didapatkan, pencarian solusi minimasi biaya logistik dapat dilakukan. Untuk dapat menghasilkan solusi yang optimal (atau mendekati nilai optimal), diperlukan beberapa parameter dalam penggunaan *Evolutionary Solver*. Parameter yang dibutuhkan adalah nilai *convergence*, ukuran populasi, probabilitas mutasi, dan *maximum time without improvement*. Nilai yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- *Convergence* : 0,0001
- Ukuran populasi : 100
- Probabilitas mutasi : 0,1
- *Maximum time without improvement* : 120 detik

Pencarian solusi dilakukan dengan menggunakan fitur Solver yang terdapat pada perangkat lunak Microsoft Excel 2010 dan dijalankan pada laptop ASUS A455L yang didukung dengan processor Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @ 2.20GHz dan RAM 4,00 GB. Rangkuman hasil pencarian solusi untuk strategi 1 terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pencarian solusi strategi 1

Hari	Jarak Transportasi	Inventory Akhir	Biaya Transportasi	Biaya Simpan	Total Biaya
1	60,4 km	86 Unit	Rp 57.380	Rp 1.696	Rp 59.076
2	58,22 km	186 Unit	Rp 55.309	Rp 3.669	Rp 58.978
3	61,9 km	80 Unit	Rp 58.805	Rp 1.578	Rp 60.383
4	59,3 km	167 Unit	Rp 56.335	Rp 3.294	Rp 59.629
5	56,42 km	62 Unit	Rp 53.599	Rp 1.223	Rp 54.822
6	63 km	108 Unit	Rp 59.850	Rp 2.130	Rp 61.980
7	64,02 km	164 Unit	Rp 60.819	Rp 3.235	Rp 64.054
Total			Rp 402.097	Rp 16.826	Rp 418.923

Rute transportasi dari gudang menuju setiap konsumen yang dilalui perusahaan pada strategi pertama dijelaskan pada tabel 3.

Tabel 3. Rute transportasi strategi 1

Rute Transportasi	
Hari 1	▪ G1 - K14 - K15 - K7 - K1 - K5 - G1 ▪ G1 - K12 - K6 - K13 - K2 - G1
Hari 2	▪ G1 - K5 - K11 - G1 ▪ G1 - K16 - K14 - K3 - G1
Hari 3	▪ G1 - K9 - K4 - K6 - K13 - G1 ▪ G1 - K14 - K3 - K16 - K7 - K1 - K5 - G1
Hari 4	▪ G1 - K16 - K14 - K3 - K15 - K5 - G1 ▪ G1 - K9 - K8 - K17 - K10 - K1 - G1
Hari 5	▪ G1 - K5 - K11 - K1 - K13 - K6 - G1 ▪ G1 - K8 - K17 - K10 - K9 - G1
Hari 6	▪ G1 - K9 - K4 - K13 - G1 ▪ G1 - K16 - K14 - K3 - K15 - G1 ▪ G1 - K5 - G1
Hari 7	▪ G1 - K16 - K7 - G1 ▪ G1 - K5 - K11 - G1 ▪ G1 - K9 - K2 - K1 - G1

G1=Gudang1, K1= Konsumen 1, K2=Konsumen 2, dst

Tabel 4 menjelaskan hasil pencarian solusi untuk strategi kedua. Strategi ini menggunakan 2 gudang yang akan melayani setiap konsumen setiap harinya.

Tabel 4. Hasil pencarian solusi strategi 2

Hari	Jarak Transportasi	Inventory Akhir		Biaya Transportasi	Biaya Simpan	Total Biaya
		Gudang 1	Gudang 2			
1	49,85 km	36 unit	50 unit	Rp 47.358	Rp 1.696	Rp 49.054
2	51,9 km	180 unit	6 unit	Rp 49.305	Rp 3.669	Rp 52.974
3	53,05 km	128 unit	152 unit	Rp 50.398	Rp 5.523	Rp 55.921
4	54,2 km	59 unit	108 unit	Rp 51.490	Rp 3.294	Rp 54.784
5	49,82 km	7 unit	55 unit	Rp 47.329	Rp 1.223	Rp 48.552
6	59,95 km	93 unit	15 unit	Rp 56.953	Rp 2.130	Rp 59.083
7	52,32 km	19 unit	145 unit	Rp 49.704	Rp 3.235	Rp 52.939
Total				Rp 352.536	Rp 20.772	Rp 373.307

Rute yang dilewati oleh perusahaan untuk mengirimkan produknya ke konsumen setiap hari pada usulan penambahan gudang di lokasi baru ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rute transportasi strategi 2

Rute Transportasi		
	Dari Gudang 1	Dari Gudang 2
Hari 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G1 - K5 - K1 - K12 - K6 - K13 - G1 ▪ G1 - K14 - K15 - K7 - G1 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G2 - K2 - K4 - K9 - G2 ▪ G2 - K10 - K8 - K17 - G2
Hari 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G1 - K16 - K14 - K3 - G1 ▪ G1 - K5 - K11 - K1 - K6 - K13 - G1 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G2 - K2 - K9 - G2 ▪ G2 - K10 - K8 - K17 - G2
Hari 3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G1 - K5 - K14 - K3 - K16 - K7 - G1 ▪ G1 - K1 - K6 - K13 - G1 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G2 - K10 - K8 - K17 - G2 ▪ G2 - K2 - K4 - K9 - G2
Hari 4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G1 - K14 - K3 - K15 - K16 - K1 - G1 ▪ G1 - K5 - K12 - K6 - K13 - G1 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G2 - K10 - G2 ▪ G2 - K2 - K9 - K5 - K17 - G2
Hari 5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G1 - K3 - K14 - K16 - K7 - G1 ▪ G1 - K5 - K11 - G1 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G2 - K13 - K6 - K1 - K9 - K8 - G2 ▪ G2 - K10 - K17 - G2
Hari 6	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G1 - K1 - K12 - K13 - G1 ▪ G1 - K14 - K3 - K15 - K16 - G1 ▪ G1 - K2 - K4 - K5 - G1 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G2 - K6 - K9 - K8 - K17 - G2
Hari 7	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G1 - K5 - K11 - K7 - G1 ▪ G1 - K16 - K14 - K3 - K15 - G1 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ G2 - K2 - K8 - K17 - G2 ▪ G2 - K13 - K6 - K1 - K9 - G2

G1=Gudang 1, G2= gudang 2, K1= Konsumen 1, K2=Konsumen 2, dst

Hasil pencarian solusi diatas menunjukkan bahwa jumlah rute yang dilalui setiap hari oleh moda angkutan berbeda-beda. Perhitungan total biaya logistik pada strategi 1 menghasilkan hasil sebesar Rp 418.923,- yang terdiri atas biaya transportasi sebesar Rp 402.097,- dan biaya simpan produk sebesar Rp 16.826,-. Sedangkan pada strategi 2, total biaya logistik yang dihasilkan adalah sebesar Rp 373.307,- yang terdiri atas Rp 352.536,- biaya transportasi dan Rp 20.772,- biaya simpan produk.

Hasil di atas memperlihatkan bahwa strategi 2 menghasilkan total biaya yang lebih kecil dibandingkan strategi 1. Total biaya yang dihasilkan strategi 2 memiliki selisih Rp 45.616,- atau 10,88% dibandingkan strategi 1. Hal ini dikarenakan penambahan gudang di lokasi baru akan menurunkan biaya transportasi akibat semakin dekatnya perusahaan dengan konsumen. Penambahan gudang pada lokasi yang baru juga mempengaruhi besarnya biaya simpan produk. Total biaya simpan yang harus dikeluarkan naik sebesar Rp 3.945 atau 23,44%. Hal ini sesuai dengan fenomena *risk pooling effect*. Peningkatan ini disebabkan karena setiap gudang memiliki *inventory* masing-masing.

Selain itu, pencarian solusi pada strategi 2 memperlihatkan terjadinya *trade off* antara biaya transportasi dan biaya simpan yang dikeluarkan perusahaan untuk mendapatkan biaya logistik yang paling kecil. *Trade off* ini terlihat pada saat perusahaan harus memilih antara melakukan pengiriman dengan jarak yang lebih jauh atau melakukan pemesanan ke pemasok untuk mendapatkan jarak pengiriman yang lebih dekat namun akan meningkatkan biaya simpan.

Penggunaan *Evolutionary Solver* dalam mencari nilai optimal dari solusi yang luas memiliki beberapa kelebihan, diantaranya metode *Evolutionary Solver* dapat menghasilkan solusi yang baik dengan waktu yang singkat. *Evolutionary solver* juga dapat dimodifikasi dan digunakan untuk berbagai macam kasus lain seperti penentuan jumlah tenaga kerja optimal atau optimasi kapasitas lini produksi. Selain itu, *Evolutionary Solver* menggunakan *interface Microsoft Excel* yang mudah untuk dipahami oleh pengguna.

Selain beberapa kelebihan di atas, *Evolutionary Solver* memiliki kelemahan dibandingkan metode *metaheuristic* lainnya. *Evolutionary Solver* yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada 200 variabel keputusan dan 80 kendala masalah sehingga untuk kasus yang sangat rumit perangkat lunak ini tidak dapat digunakan.

Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan kasus penentuan lokasi dan rute pengiriman dengan memperhatikan biaya transportasi dan biaya simpan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan strategi yang paling tepat dan menghasilkan total biaya logistik yang paling kecil. Pencarian solusi terbaik ini dilakukan dengan menentukan besarnya pengiriman dan rute yang harus dilalui moda angkutan.

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa penambahan gudang di lokasi yang baru akan menghasilkan biaya transportasi yang lebih kecil dibandingkan dengan menambah kapasitas gudang pada lokasi saat ini. Namun biaya simpan yang dikeluarkan akan lebih besar akibat terdapat dua lokasi penyimpanan produk. Selain itu, untuk kasus dimana terdapat lebih dari satu gudang, biaya simpan dan biaya transportasi akan memberikan pengaruh terhadap

rute pengiriman yang harus dilalui. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa penambahan lokasi gudang di lokasi baru memberikan total biaya logistik paling minimum dibandingkan dengan peningkatan kapasitas gudang di lokasi yang sama saat ini.

Daftar Notasi

Notasi yang digunakan pada model matematis yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Parameter Penelitian
 - LC = Total biaya logistik perusahaan setiap minggu
 - IC = Biaya simpan (*inventory*) per unit yang dikeluarkan perusahaan
 - I_{jp} = Total unit produk yang disimpan di gudang j pada hari p
 - d_{gh} = Jarak dari titik g ke titik h
 - TC = Biaya transportasi (*transportation*) per kilometer.
 - q_i = Permintaan konsumen i
- b. Konstanta
 - C = Kapasitas maksimum moda
 - K = Jumlah rute yang diijinkan.
 - M = Jumlah calon gudang.
 - N = Jumlah konsumen yang dilayani.
 - P = Jumlah hari yang satu minggu.
 - Q = Jumlah unit produk yang dipesan ke pemasok
- c. Indeks Penelitian
 - g, h = Titik indeks (konsumen dan gudang) $(1 \leq g \leq N+M; 1 \leq h \leq N+M)$
 - i = Titik indeks konsumen $(1 \leq i \leq N)$
 - j = Titik indeks gudang $(N+1 \leq j \leq N+M)$
 - k = Indeks rute $(1 \leq k \leq K)$
 - p = Indeks hari $(1 \leq p \leq P)$
- d. Variabel Keputusan
 - X_{ghkp} = 1 jika titik g mendahului titik h pada rute k di hari p , 0 jika tidak.
 - X_{ihkp} = 1 jika titik i mendahului titik h pada rute k di hari p , 0 jika tidak.
 - X_{jhkp} = 1 jika titik j mendahului titik h pada rute k di hari p , 0 jika tidak.
 - X_{hjkp} = 1 jika titik h mendahului titik j pada rute k di hari p , 0 jika tidak.
 - Y_j = 1 jika $I_{jp-1} - \sum_{i=1}^{N+M} q_{ijp} < 0$, 0 jika tidak

Daftar Pustaka

- Frontline System. Frontline Solver: Analytic Solver Optimization Analytic Solver Simulation User Guide. 2018.
- Frontline System. Frontline Solver: Reference Guide. 2018.
- Hansen, P.H., Hegedahl, B., Hjortkjer, S. dan Obel, B. "A Heuristic Solution to the Warehouse Location-Routing Problem". European Journal of Operational Research 76 North-Holland, 1994.
- Klibi, W, Martel. Dan Guitoni A. The Design of Robust Value-Creating Supply Chain Network: A Critical Review. European Journal of Operational Research. 2010
- Pujawan, Nyoman. "Supply Chain Management", Gunawidya, 2017.
- Santosa, Budi dan Jin Ai, The. Pengantar Metaheuristik: Implementasi dengan Matlab. Surabaya: ITS Tekno Sains, 2017.
- Siagian. Yolanda M. "Aplikasi Supply Chain Management Dalam Dunia Bisnis". Jakarta : Grasindo, 2005.
- Sourirajan, K., Ozsen, L., dan Uzsoy R. A Genetic Algorithm for a Single Product Network Design Model with Lead Time and Safety Stock Cosideration. European Journal of Operational Research. 2009