

45.615/H/12



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



RT1
658.53
Tri
P-1
2011

TESIS - TI 09327

**PENGEMBANGAN MODEL DISTRIBUSI PRODUK
PERISHABLE MULTI TEMPERATUR DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN BIAYA ENERGI**

LUKI TRIHARDANI
NRP. 2509 203 008

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng
Iwan Vanany, ST, MT, PhD

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	12-8-2011
Terima Dari	H
No Agenda Prp.	-

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN LOGISTIK DAN RANTAI PASOK
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2011



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

THESIS - TI 092327

DISTRIBUTION MODEL DEVELOPMENT FOR MULTI TEMPERATURE PERISHABLE PRODUCT CONSIDERING ENERGY COST

LUKI TRIHARDANI
NRP 2509 203 008

SUPERVISORS

Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng
Iwan Vanany, ST, MT, PhD

MAGISTER PROGRAM

LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT CONCENTRATION
INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
2011

PENGEMBANGAN MODEL DISTRIBUSI PRODUK PERISHABLE MULTI TEMPERATUR DENGAN MEMPERTIMBANGKAN BIAYA ENERGI

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :
LUKI TRIHARDANI
NRP. 2509 203 008

Tanggal Ujian : 22 Juli 2011
Periode Wisuda : September 2011

Disetujui oleh Tim Penguji Tesis:

1. Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng.
NIP: 196811091995031003


(Pembimbing I)

2. Iwan Vanany, ST., MT., PhD.
NIP: 1969051219994021001


(Pembimbing II)

3. Prof. Ir. Suparno, MSIE., Ph.D.
NIP: 194807101976031002


(Penguji)

4. Ir. Budi Santosa, MS., Ph.D.
NIP: 196905121994021001

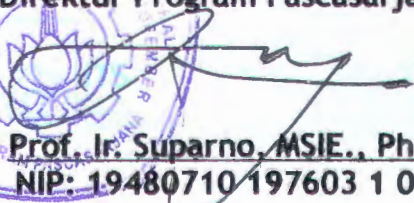

(Penguji)

5. Stefanus Eko Wiratno, ST., MT.
NIP: 197103171998021001


(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,




Prof. Ir. Suparno, MSIE., Ph.D.
NIP: 19480710 197603 1 002

**PENGEMBANGAN MODEL DISTRIBUSI PRODUK
PERISHABLE MULTI TEMPERATUR DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN BIAYA ENERGI**

Nama : Luki Trihardani
NRP : 2509203008
Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng
Ko – pembimbing : Iwan Vanany, ST, MT, PhD

ABSTRAK

Temperatur menjadi atribut penting yang konsisten mempertahankan kualitas serta keamanan produk *perishable* sebelum diterima pelanggan. Penelitian ini mengembangkan model *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) untuk menentukan rute serta penjadwalan pengiriman produk *perishable* multi *item* multi temperatur. Penelitian ini merupakan pengembangan model sebelumnya mengenai VRPTW produk *perishable single item single* temperatur. Tujuan model ini adalah meminimalkan biaya distribusi yang tidak hanya memperhatikan kendala kapasitas serta *time windows*, tetapi juga variasi temperatur pada *cold chain*. Kedua *trade off* yang terintegrasi disini adalah biaya perjalanan yang berhubungan dengan jarak serta biaya energi yang berhubungan dengan temperatur penyimpanan.

Kasus ini menggunakan dua strategi yang berbeda untuk menentukan rute. Kedua strategi tersebut adalah strategi *dependent distance* yang fokus terhadap jarak (*route first, cluster second*) serta strategi *dependent temperature* yang fokus terhadap temperatur penyimpanan (*cluster first, route second*). Penelitian ini juga membandingkan antara kedua strategi tersebut untuk menilai keefektifan strategi pengiriman produk *perishable*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Nearest Neighbor* (NN) serta *Particle Swarm Optimization* (PSO). Rute hasil NN akan dijadikan solusi inisial PSO. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa biaya energi berkontribusi signifikan terutama pada kelas data terklaster. Lokasi pelanggan yang terklaster menyebabkan biaya energi semakin besar, tetapi biaya transportasi dan penggunaan kendaraan semakin kecil. Selain itu antara strategi *dependent distance* dengan *dependent temperature* memiliki dua *trade off* yang berbeda, biaya transportasi dan penggunaan kendaraan serta biaya energi

Kata kunci : *cold storage*, energi, produk *perishable*, temperatur, VRPTW,

DISTRIBUTION MODEL DEVELOPMENT FOR PERISHABLE PRODUCT MULTI TEMPERATURE CONSIDERING ENERGY COST

By : Luki Trihardani
Student Identity Number : 2509203008
Supervisor : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng
Co – supervisor : Iwan Vanany, ST, MT, PhD

ABSTRACT

Temperature has become an essential attribute at cold chain management consistently to maintain quality and safety perishable products before received by customer. In this paper, we develop a model of Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) to determine the route and schedule of cold storage vehicle in order to meet customer demand that consist of multi item multi temperature perishable product. We extended the existing models from VRPTW perishable product single item single temperature. The objective of the model is to minimize distribution cost that considers not only capacity and time windows constraint but also storage temperature variation at cold chain. There are two integrated trades off, travel cost which related to distance and energy cost which related to varying storage temperature.

In this case, we utilize two different strategies for determining route, dependent distance strategy that focus on travel distance (route first, cluster second) and dependent temperature strategy that focus on storage temperature (cluster first, route second). Finally, this study also compares detailed flow both strategy as basic foundation to assess effective distribution strategy of perishable products. Method that applied on this research is *Nearest Neighbor* (NN) also *Particle Swarm Optimization* (PSO). NN's result will become initial solution for PSO. Numerical experiment shows that energy cost contributed significantly, especially for data class clustered. Clustered customer location caused bigger energy cost, while lower dispatching and transportation cost. Also dependent distance and dependent temperature strategy have two different trades off, energy cost also transportation cost.

Key words: cold storage, energy, perishable product, temperature, VRPTW

KATA PENGANTAR

Syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat terselesaikan tesis dengan judul “PENGEMBANGAN MODEL DISTRIBUSI PRODUK PERISHABLE MULTI TEMPERATUR DENGAN MEMPERTIMBANGKAN BIAYA ENERGI“, sebagai salah satu persyaratan akademis dalam rangka menyelesaikan kuliah di Program Pasca Sarjana Fakultas Teknologi Industri bidang keahlian Rantai Pasok Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini kami menyampaikan terima kasih yang tulus dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng selaku dosen pembimbing untuk segala dedikasi, motivasi, serta segala upaya membantu penulis menyelesaikan tesis ini tepat waktu. Sekiranya hanya Allah SWT yang membalas budi baik Bapak.
2. Bapak Iwan Vanany, ST, MT, PhD selaku dosen ko pembimbing atas bimbingan, saran dan petunjuk dalam penyelesaian tesis ini.
3. Suamiku, *my man, my lifetime partner, my pleasure*, Muhammad Nur Rohman atas segala cinta, support, tutorial, serta bantuan tak terkira selama ini. Terima kasih!
4. Bapak dan Ibu yang selalu mendoakan penulis tanpa pamrih dan tanpa batas
5. Mbak Ririn, Mas Ruli, Lukman yang selalu menghibur, mendoakan, dan mensupport
6. Teman-teman seperjuangan, Maria, Mbak Erly, Mbak Pipit, Ika
7. Suidiana Wirasambada ST: Terimakasih menginspirasi penulis menggunakan metode PSO.
8. Teman-teman seperjuangan di Lab SCM TI ITS (Atim, Febru, Ibnu, Rama, Dysti, Linda, Rescha, Mas Teno, dan asisten-asisten lainnya.)
9. Bapak Prof. Ir. Suparno, MSIE, Ph.D, Bapak Ir. Budisantosa, MSc, PhD, Bapak Stefanus Eko Wiratno, ST, MT selaku penguji pada Seminar Proposal dan Sidang tesis. Terima kasih atas segala saran yang diberikan.

10. Bapak Prof. Ir. Suparno, MSIE, Ph.D. selaku Direktur Program Pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
11. Bapak Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M. Eng. dan Ibu Naning Aranti Wessiani, S.T., M.M. selaku Ketua dan Sekretaris Program Studi Pascasarjana Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
12. Seluruh dosen pengajar di Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, yang telah banyak memberikan tambahan ilmu pengetahuan dan wawasan selama masa perkuliahan.
13. Mbak Rahayu, Mbak Ima, Mas Teguh dan seluruh staf TU Teknik Industri ITS lainnya yang belum sempat disebutkan atas setiap bantuan administrasi kepada penulis.
14. Semua teman-teman TI ITS S2 yang telah banyak membantu selama perkuliahan.
15. Semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan dan doa kepada penulis yang belum disebutkan diatas.

Penulis mohon maaf dan sangat mengharapkan kritik serta saran sebagai masukan yang dapat memperbaiki dan menyempurnakan Tesis ini karena penulis menyadari bahwa Tesis ini jauh dari kesempurnaan. Akhirnya, semoga Thesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan pihak yang membacanya.

Surabaya, Juli 2011

Luki Trihardani

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Asumsi Penelitian	7
1.6 Kontribusi Penelitian	7
1.7 Sistematika Penulisan	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Definisi Produk <i>Perishable</i>	9
2.2 <i>Cold Chain Management</i>	10
2.2.1 Pengelolaan Temperatur Produk <i>Perishable</i>	11
2.3 Energi Pengelolaan Temperatur.....	13
2.4 <i>Loss</i> Produk <i>Perishable</i>	15
2.5 <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP).....	16
2.5.1 <i>Vehicle Routing Problem with Time Windows</i> (VRPTW).....	18
2.6 Model Distribusi Produk <i>Perishable</i>	20
2.6.1 Model Dasar VRPTW <i>Perishable</i> : Deterministik	21
2.6.2 Model Dasar VRPTW <i>Perishable</i> : Stokastik- <i>Soft Time Windows</i>	23

2.7	Heuristik untuk Penyelesaian VRPTW	26
2.7.1	Penyelesaian Model Dasar: Algoritma <i>Nearest Neighbor</i>	27
2.7.2	<i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO).....	27
2.8	Studi Literatur, Posisi, dan Kesenjangan (<i>Gap</i>) Penelitian.....	31
2.8.1	Studi Literatur Penelitian	31
2.8.2	Posisi Penelitian	33
2.8.3	Kesenjangan Penelitian	34

BAB 3 PENGEMBANGAN MODEL

3.1	Dasar Pengembangan Model	37
3.2	Deskripsi Pengembangan Model	38
3.3	Formulasi Pengembangan Model	41
3.3.1	Himpunan dan Indeks Model.....	42
3.3.2	Parameter Model	42
3.3.3	Variabel Model	44
3.4	Tahap 1: Pengembangan Model Matematis.....	44
3.4.1	Modifikasi Fungsi Tujuan.....	44
3.4.2	Modifikasi Fungsi Kendala.....	46
3.5	Penyelesaian Model <i>Dependent Distance</i> dan <i>Temperature</i>	49
3.6	Tahap 2: Penyusunan Rute Algoritma <i>Nearest Neighbor</i>	51
3.7	Tahap 3: Penyusunan Rute Algoritma <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO)	53
3.7	Tahap 4: Analisa Sensitivitas.....	58

BAB 4 PERCOBAAN NUMERIK dan ANALISIS HASIL

4.1	Data Numerik.....	61
4.2	Parameter Inisial	62
4.3	Validasi Model.....	64
4.3.1	Validasi Model: <i>Nearest Neighbor</i> (NN)	66
4.3.2	Validasi Model: PSO.....	70
4.4	Perbandingan Algoritma NN – PSO dengan PSO	71
4.5	Penyelesaian Model Algoritma NN- PSO	73

4.6	Perbandingan Biaya	75
4.6.1	Tanpa dan Mempertimbangkan Biaya	75
4.6.2	<i>Dependent Distance Vs Dependent Temperature</i>	77
4.6.3	Biaya Transportasi dengan Biaya Energi.....	80
4.7	Uji Numerik dan Analisis Hasil.....	82

BAB 5 KESIMPULAN dan SARAN

4.1	Kesimpulan	85
4.2	Saran.....	85

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIOGRAFI PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Penurunan Kualitas Kontinu Produk <i>Perishable</i>	10
Gambar 2.2	Aliran <i>Cold Chain Management</i>	10
Gambar 2.3	Penggunaan RFID <i>Tag</i> Untuk Integrasi Pengelolaan Temperatur... 12	
Gambar 2.4	Perspektif <i>Cold Storage</i>	13
Gambar 2.5	Konsep <i>Freeze Power</i>	14
Gambar 2.6	<i>Loss</i> Pengiriman Produk <i>Perishable</i>	16
Gambar 2.7	Model Sederhana VRP	17
Gambar 2.8	Komponen VRP	17
Gambar 2.9	Penalti VRPHTW dan VRPSTW.....	19
Gambar 2.10	Penalti VRPSSTW	19
Gambar 2.11	Representasi Pergerakan Kawanan Dalam PSO	28
Gambar 2.12	Ringkasan Skema Penelitian-Penelitian Sebelumnya	34
Gambar 3.1	Tahap Pengembangan Model Dan Algoritma.....	39
Gambar 3.2	<i>Flow</i> Strategi <i>Dependent Distance Vs Dependent Temperature</i>	48
Gambar 3.3	Ilustrasi Strategi <i>Dependent Distance Vs Dependent Temperature</i>	50
Gambar 3.4	Aliran Algoritma <i>Nearest Neighbor</i> VRPTW	52
Gambar 3.5	Input Data Awal	54
Gambar 3.6	Aliran algoritma PSO VRPTW	59
Gambar 4.1	Hasil Running VBA Algoritma NN.....	66
Gambar 4.2	Hasil Running VBA Penentuan Biaya Algoritma NN.....	69
Gambar 4.3	Hasil Running VBA Algoritma PSO	71
Gambar 4.4	Grafik <i>Breakdown</i> Elemen Biaya Distribusi.....	77
Gambar 4.5	Grafik <i>Breakdown</i> Elemen Biaya Distribusi DD Vs DT	78
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Biaya Energi Vs Transportasi C1	81
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Biaya Energi Vs Transportasi R1	82
Gambar 4.8	Uji Numerik Skenario Perbedaan Temperatur	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Temperatur maksimum pengiriman berdasar ATP	11
Tabel 2.2	Posisi penelitian terhadap penelitian sebelumnya	35
Tabel 3.1	Matriks jarak serta waktu tempuh	52
Tabel 3.2	Pembangkitan dan pengurutan bilangan random	53
Tabel 3.3	Contoh evaluasi fungsi tujuan (partikel 2)	53
Tabel 3.4	Penyusunan rute dan evaluasi fungsi tujuan.....	53
Tabel 3.5	Penentuan P_{best} dan G_{best}	54
Tabel 3.6	Kecepatan dan posisi partikel diperbarui	54
Tabel 4.1	Parameter Inisial Percobaan Numerik	64
Tabel 4.2	Data Validasi	65
Tabel 4.3	Matriks Jarak Data Validasi	65
Tabel 4.4	Matriks Waktu Data Validasi	65
Tabel 4.5	Rekapitulasi Model NN (manual)	67
Tabel 4.6	Hasil Manual Penentuan Biaya Algoritma NN	69
Tabel 4.7	Rekapitulasi <i>Running</i> NN-PSO	72
Tabel 4.8	Rekapitulasi <i>Running</i> PSO	72
Tabel 4.9	Penyelesaian Model NN-PSO <i>Dependent Distance</i> C1	73
Tabel 4.10	Penyelesaian Model NN-PSO <i>Dependent Distance</i> R1	74
Tabel 4.11	Penyelesaian Model NN-PSO <i>Dependent Temperature</i> C1.....	74
Tabel 4.12	Penyelesaian Model NN-PSO <i>Dependent Temperature</i> R1.....	75
Tabel 4.13	Biaya Distribusi dengan dan Tanpa Memepertimbangkan Energi....	77
Tabel 4.14	Perbandingan <i>Dependent Distance</i> Vs <i>Dependent Temperature</i>	78
Tabel 4.15	<i>Load Factor</i> C1 <i>Dependent Temperature</i>	79
Tabel 4.16	<i>Load Factor</i> r1 <i>Dependent Temperature</i>	79
Tabel 4.17	Biaya Energi Vs Transportasi Tanpa Biaya Penggunaan Kendaraan	80



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi produk tidak tahan lama (*perishable*), terutama produk makanan *perishable* meningkat signifikan pada dekade terakhir. Penjualan produk makanan *perishable* berkontribusi sepertiga dari total penjualan ritel dunia tahun 2006, yang melebihi \$1000 miliar (Broekmeulen dan Donselaar, 2009). Selain itu, sebagian besar belanja rata-rata pelanggan Eropa (lebih dari 60%) berasal dari pembelian produk makanan dingin (*chilled foods*), makanan beku (*frozen foods*), serta produk makanan yang dapat dikonsumsi tanpa pemanasan (Jackson dkk., 2007). Peningkatan permintaan produk *perishable* disamping menjanjikan keuntungan juga memiliki resiko tersendiri.

Produk *perishable* memiliki umur ketahanan (*shelf life*) relatif terbatas. Sepanjang *shelf life*, nilai (*value*) produk *perishable* kontinu menurun yang rentan menyebabkan kehilangan (*loss*). *Loss* kuantitas dan kualitas produk *perishable* mulai produksi sampai ritel diperkirakan mencapai 20% di negara berkembang dan 10% di negara maju (Kader dan Rolle, 2004). Kedua *trade off* ini menuntut pihak-pihak sepanjang rantai pasok mampu mengintegrasikan atribut *perishable* dalam proses bisnisnya. Selain efektif dan seefisien, proses transformasi dan distribusi rantai pasok produk *perishable* harus mampu mempertahankan *shelf life* serta kualitas produk.

Pengelolaan temperatur berkontribusi signifikan mempertahankan *shelf life*, kualitas, serta keamanan produk *perishable* (Bogataj dkk., 2005; Montanari, 2008; Ovca dan Jevsnik, 2009; Kuo dan Chen, 2010). Pada produk *perishable*, kestabilan temperatur mampu meminimalkan resiko pembusukan karena lambatnya pertumbuhan mikroorganisme. Berbagai produk *perishable* lainnya: kosmetik, vaksin, obat-obatan, bunga, film, dan lain-lain, profitnya juga dipengaruhi kestabilan temperatur. Selain alasan ekonomis, stabilitas temperatur juga memiliki alasan keamanan bagi produk *perishable* (khususnya produk

makanan dan medis). HACCP dan ATP adalah contoh-contoh regulasi pengaturan standar temperatur penyimpanan sepanjang rantai pasok karena alasan keamanan (Bogataj dkk., 2005)

Kritisnya faktor temperatur juga menjadi alasan penggunaan kendaraan ruang berpendingin (*cold storage*) untuk pengiriman produk *perishable*. *Cold storage* berfungsi mengendalikan temperatur dalam kendaraan agar tetap stabil tidak mengikuti fluktuasi temperatur lingkungan. Seiring naiknya permintaan, pengiriman produk *perishable* juga semakin membutuhkan *cold storage*. Tercatat lebih dari 50,000 *cold storage* terdaftar di Jerman untuk pendistribusian produk *perishable* (Jedermann dkk., 2006). Integrasi proses bisnis dari produsen ke pelanggan produk *perishable* terangkum dalam *cold chain management*. Pada *cold chain*, perubahan jarak serta temperatur menyebabkan peningkatan biaya, sementara nilai tambah (*added value*) rantai pasok semakin berkurang (Bogataj dkk., 2005)

Sistem distribusi yang efisien adalah salah satu faktor penunjang keberhasilan rantai pasok. Fakta empiris menunjukkan kenaikan biaya transportasi sebesar 10% berkontribusi menurunkan volume perdagangan lebih dari 20% (Rodrigue dkk., 2006). Manajemen distribusi, di sisi lain, perkembangannya juga semakin kompleks. Hal ini diindikasikan dengan munculnya *point of sale* pelanggan yang jumlahnya semakin banyak dan bervariasi. Sudah umum apabila distributor mengirimkan produk ke berbagai *point of sale*: hipermarket, supermarket, mini market, toko, atau langsung pelanggan akhir melalui pembelian *online*. Selain *point of sale*, terjadi pergeseran paradigma sistem distribusi, dari *manufacturer oriented* ke *customer oriented*. Setiap pelanggan memiliki karakteristik permintaan yang berbeda-beda, baik jenis maupun banyaknya item yang dipesan. *Mass customization* sistem distribusi menjadi perhatian karena intensnya penggunaan kendaraan kapasitas kecil serta tuntutan waktu pemenuhan pesanan yang semakin pendek.

Sistem distribusi sederhana diawali dari sentral depot untuk *loading* muatan kendaraan. Perlu diperhatikan, muatan yang diangkut tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan. Muatan ini kemudian dikirimkan ke pelanggan sesuai permintaan, dimana setiap pelanggan hanya boleh dilayani satu kendaraan saja. Setelah menyelesaikan rute perjalanan, kendaraan kembali ke sentral depot untuk

unloading muatan. Suatu sistem distribusi harus mampu menyusun strategi rute perjalanan kendaraan yang *cost effective* mampu meminimalkan biaya distribusi. Permasalahan tersebut merupakan salah satu cabang ilmu dari manajemen distribusi, *Vehicle Routing Problem* (VRP).

Sepanjang pengetahuan, masih sedikit penelitian yang fokus pada permasalahan VRP produk *perishable*. Literatur produk *perishable* kebanyakan membahas *pricing*, kebijakan pengembalian, serta pengendalian persediaan di ritel (Chen dkk., 2009). Padahal faktor penentuan rute (*routing*) begitu kritis pada distribusi produk *perishable*. Selain kebutuhan mempertahankan kualitas dengan standar regulasi temperatur, penentuan rute produk *perishable* juga harus *cost effective*. Ketidakefektifan penentuan rute berpotensi menyebabkan *loss* karena barang tertahan (*idle*) saat pendistribusian, baik dalam sentral depot maupun dalam kendaraan. Pakar-pakar yang penelitiannya membahas VRP produk *perishable* adalah: Hwang (1999); Tarantilis dan Kiranoudis (2001, 2002); Faulin (2003); Pridenzis dkk. (2003); Belenguer dkk. (2005); Hsu dkk (2007); Osvald dan Stirn (2008). Materi penelitian-penelitian tersebut telah dirangkum dalam pembahasan literatur Bab 2.

Kebanyakan penelitian-penelitian VRP produk *perishable* tersebut mengkaitkan karakteristik *perishability* dengan kebutuhan penyelesaian masalah yang cepat dan efisien. Hanya penelitian Hsu dkk. (2007) serta Osvald dan Stirn (2008) yang mempertimbangkan *perishability* sebagai bagian sistem distribusi produk *perishable*. Menariknya dari kedua penelitian tersebut, hanya penelitian Hsu dkk. (2007) yang memasukkan biaya energi sebagai elemen integral biaya distribusi. Berdasar eksperimen numerik yang dilakukan Hsu dkk. (2007), biaya energi berkontribusi signifikan pada total biaya distribusi produk *perishable*.

Biaya energi berkontribusi signifikan karena penggunaan kendaraan *cold storage* untuk mempertahankan *perishability*. Kendaraan *cold storage* selain investasinya lebih mahal juga mengkonsumsi energi lebih banyak dibandingkan kendaraan umum. Estimasi konsumsi energi *cold storage* di Amerika Serikat mencapai 0.082 *gigajoule/ton/hari* dengan konsumsi tahunan 1,254 kWh per *cold storage* (Vanek dan Sun, 2008). Energi ini digunakan untuk menstabilkan temperatur ruangan agar tidak mengikuti fluktuasi temperatur lingkungan. Melihat

besarnya konsumsi energi *cold storage*, sangat beralasan mempertimbangkan biaya energi sebagai bagian total biaya distribusi produk *perishable*.

Penelitian ini berangkat dari model SVRPSTW (*Stochastic Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows*) Hsu dkk. (2007). Model dasar ini bertujuan untuk meminimasi total biaya distribusi, yang terdiri dari biaya tetap penggunaan kendaraan, biaya transportasi, biaya persediaan, biaya energi, serta biaya penalti karena melanggar *time windows*. Penelitian Hsu dkk. (2007) selain mempertimbangkan *perishability* juga mempertimbangkan ketidakpastian waktu perjalanan. Berbagai faktor tidak terkendali (cuaca, kondisi lalu lintas, kecelakaan) akan mempengaruhi lama perjalanan yang akan berpotensi menyebabkan *loss*.

Berdasar studi literatur, penentuan rute Hsu dkk. (2007) dilakukan berdasar preferensi jarak tempuh yang meminimalkan biaya distribusi. Preferensi ini melakukan penentuan rute terlebih dahulu (*route first*) berdasar jarak tempuh sesuai kendala *time windows* serta kapasitas kendaraan. Apabila suatu rute tidak memenuhi kendala maka akan disusun rute baru sehingga terbentuk klaster-klaster pengiriman (*cluster second*). Selanjutnya strategi pengiriman ini akan kita sebut sebagai strategi *dependent distance* atau *dependent route*. Hsu dkk. (2007) juga mengasumsikan hanya ada satu jenis *item* saja yang diangkut, sehingga temperatur *cold storage* disesuaikan sesuai standar temperatur *item* tersebut. Singkatnya model penelitian Hsu dkk. (2007) mempertimbangkan pengiriman *single item*, *single* temperatur menggunakan strategi *dependent distance* (*route first, cluster second*).

Permasalahan penelitian ini salah satunya dimotivasi kondisi nyata sistem distribusi ritel terbesar di Jepang, *Seven Eleven* (SE). Menurut Chopra (2005) penjualan tahunan SE meningkat fenomenal dari 386 milyar yen (tahun 1986) menjadi 2,343 miliar yen (tahun 2003). Peningkatan ini mayoritas (lebih dari 70%) disumbangkan dari penjualan produk makanan *perishable*. SE menerapkan strategi pengiriman unik, berbeda dengan ritel-ritel kebanyakan. Sebelum diberangkatkan ke ritel, berbagai produk akan dikelompokkan dalam suatu kendaraan *cold storage* dengan satu temperatur. Pengelompokan ini membuat satu ritel seringkali dilewati beberapa kendaraan, dimana masing-

masing kendaraan membawa muatan dengan temperatur penyimpanan yang berbeda pula. Selain mampu menjamin pengiriman yang reliabel, strategi distribusi ini berhasil mengurangi jumlah kepemilikan kendaraan *cold storage*, dari 70 kendaraan pada tahun 1974 tersisa hanya 11 kendaraan pada tahun 1994 (Chopra, 2005). Berdasar kondisi nyata tersebut, penelitian ini semakin menarik apabila mempertimbangkan perbedaan karakteristik produk *perishable* yang dikirim.

Apabila permasalahan Hsu dkk. (2007) memfokuskan distribusi *single item* dengan *single* temperatur, fokus permasalahan penelitian ini tertuju pada distribusi multi item dengan multi temperatur. Kendaraan *cold storage* akan memuat berbagai item (*multi item*), dimana setiap item mempunyai standar temperatur penyimpanan yang berbeda-beda (*multi temperatur*). Biaya energi akan menjadi suatu *trade off* permasalahan pengiriman produk *perishable* multi temperatur. Strategi *dependent distance (route first cluster second)* memungkinkan kendaraan mengangkut berbagai *item* dengan berbagai temperatur penyimpanan. Temperatur *cold storage* kendaraan akan *disetting* berdasar kebutuhan temperatur penyimpanan *item* terendah pada setiap klaster. Sebaliknya, pada strategi *dependent temperature*, suatu klaster kendaraan terdiri dari berbagai *item* yang memiliki kesamaan temperatur penyimpanan. Produk yang memiliki kesamaan temperatur penyimpanan akan dikelompokkan dalam suatu klaster kendaraan terlebih dahulu baru ditentukan rute pengirimannya (*cluster first, route second*). Karena memiliki kesamaan temperatur penyimpanan, temperatur *cold storage* kendaraan ditentukan berdasar kebutuhan temperatur penyimpanan item pada setiap klaster.

Kesenjangan (*gap*) yang akan diisi penelitian ini adalah pengembangan model matematis pengiriman produk *perishable* dengan kondisi multi temperatur. Model ini akan diselesaikan menggunakan dua strategi, *dependent distance* dan *dependent temperature*. Efektivitas penggunaan masing-masing strategi dapat dianalisis melalui perbandingan total biaya distribusi yang dihasilkan. Model ini diselesaikan secara heuristik menggunakan algoritma *Nearest Neighbor* (seperti Hsu dkk., 2007) dan metaheuristik *Particle Swarm Optimization*. Penyelesaian model ini menggunakan data Solomon yang mewakili karakteristik pelanggan

dilihat dari penyebaran pelanggan (*random* atau terklaster), Masing-masing teknik penyelesaian akan dianalisis kualitas solusinya, mana yang lebih efektif meminimumkan biaya. Penelitian ini juga akan melakukan analisis sensitivitas antara parameter jarak dan temperatur. Perhitungan numerik algoritma digunakan untuk menganalisis keoptimalan penggunaan strategi (*dependent distance* ataupun *dependent temperature*).

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini terdapat tiga permasalahan utama, yaitu:

1. Bagaimana membangun suatu model distribusi produk *perishable* multi temperatur yang mampu meminimalkan total biaya distribusi. Model tersebut akan digunakan sebagai dasar pembangunan rute dengan dua strategi utama, strategi *dependent distance* dan strategi *dependent temperature*.
2. Bagaimana membangun dan menyelesaikan model dengan algoritma *nearest neighbor* serta *particle swarm optimization* agar diperoleh rute kendaraan yang mampu meminimasi total biaya distribusi, baik untuk strategi *dependent distance* maupun strategi *dependent temperature*.
3. Bagaimana melakukan analisis sensitivitas baik parameter jarak maupun temperatur untuk strategi *dependent distance* ataupun *dependent temperature*.

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan yang ingin dicapai penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan model pengiriman produk *perishable* yang mempertimbangkan kondisi multi temperatur sehingga bisa mengetahui keefektifan penerapan strategi *dependent distance* ataupun *dependent temperature*.
2. Menyelesaikan model pengiriman produk *perishable* dan melakukan perbaikan dengan teknik penyelesaian heuristik yang aplikatif.
3. Melakukan eksperimen numerik untuk melakukan analisis parameter jarak dan temperatur baik strategi *dependent distance* maupun *dependent temperature*.

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Struktur distribusi yang diamati adalah dua eselon, pemasok dengan satu fasilitas (depot) dan banyak pelanggan (ritel)
2. Data yang digunakan adalah data tes Solomon disesuaikan dengan ketersediaan data

1.5 Asumsi Penelitian

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Kondisi kendaraan angkut selalu tersedia, tak terbatas, dan siap pakai
2. Kapasitas kendaraan sama untuk setiap kendaraan angkut
3. Setiap pelanggan hanya memiliki satu item produk yang harus dipenuhi
4. Kendaraan *cold storage* secara instan mampu menstabilkan temperatur
5. Kemampuan *cold storage* untuk mendinginkan tidak terbatas

1.6 Kontribusi Penelitian

Kontribusi penelitian ini adalah untuk mengisi *gap* model distribusi produk *perishable* menggunakan *cold storage* dengan kondisi multi temperatur. Model ini diselesaikan menggunakan dua strategi, strategi *dependent distance* serta *dependent temperature* untuk melihat keefektifan setiap strategi. Melalui analisa sensitivitas, penelitian ini juga berkontribusi menentukan dampak antara parameter jarak dan temperatur yang lebih optimal menggunakan salah satu strategi, *dependent distance* atau *dependent temperature*. Pengujian numerik penelitian ini memperhatikan karakteristik lokasi pelanggan (random serta terklaster). Model ini diselesaikan secara heuristik, menggunakan algoritma NN dan PSO.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, asumsi penelitian, kontribusi penelitian serta sistematika penulisan.

Bab 2 : Tinjauan pustaka

Bab ini menguraikan tentang teori pendukung yang berkaitan dengan permasalahan penelitian, yaitu teori tentang produk *perishable*, energi untuk mendinginkan, *cold chain management*, *loss* produk *perishable*, VRP, model VRPTW produk *perishable*, teknik penyelesaian, serta posisi dan kesenjangan penelitian terhadap penelitian sebelumnya.

Bab 3 : Pengembangan model

Bab ini menguraikan pengembangan model serta teknik pencarian solusi yang digunakan. Pengembangan model berkaitan dengan komponen model permasalahan, rencana pengembangan, serta formulasi model matematis. Teknik pencarian solusi berkaitan dengan *flow* algoritma *Nearest Neighbor*, *Particle Swarm Optimization*.

Bab 4 : Perhitungan numerik dan analisis hasil

Pada bab ini akan dilakukan penentuan set data yang akan diujikan. Data yang akan digunakan adalah data Solomon karena telah terkarakteristikan sesuai lokasi pelanggan. Sedangkan pengujian numerik dilakukan dengan melakukan perubahan parameter beserta analisis pengaruh perubahan parameter input terhadap perilaku model.

Bab 5 : Kesimpulan dan saran

Pada bab ini akan disimpulkan hasil penelitian yang telah dilakukan serta arah bagi penelitian selanjutnya.

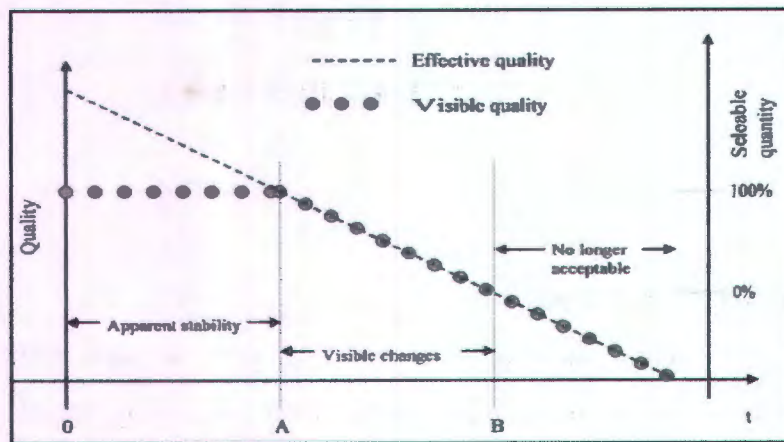
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Produk *Perishable*

Perishability adalah suatu fenomena yang semakin meluas di berbagai sektor, baik sektor jasa maupun manufaktur. Hal yang membedakan produk *perishable* dengan non *perishable* adalah umur ketahanan (*shelf life*) produk. Produk *perishable* memiliki keterbatasan *shelf life* dan setelah melewati *shelf life* tersebut nilai (*value*) produk *perishable* tersebut semakin berkurang. *Perishability* sendiri terjadi karena berbagai alasan yang berbeda-beda. Perubahan fisik produk (misalnya: daging, sayuran, darah, kosmetik), perubahan nilai (misalnya: tiket bioskop dan kamar hotel), serta perubahan teknologi dan preferensi pelanggan (misalnya: produk-produk IT dan elektronik) adalah alasan-alasan mendasar produk menjadi *perishable* (Jian dan Hu, *in press*). Produk *perishable* yang dibahas pada penelitian ini adalah produk yang setelah melewati *shelf life* akan mengalami perubahan fisik.

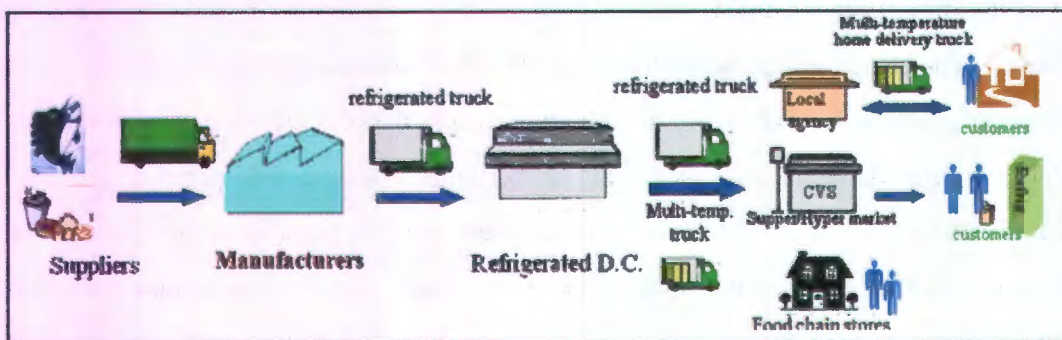
Perubahan fisik produk *perishable* terjadi karena penurunan kualitas secara kontinu sepanjang siklus hidupnya. Osvald dan Stirn (2007) menguraikan penurunan kualitas produk makanan *perishable* pada Gambar 2.1. Penurunan kualitas mulai terjadi pada periode pertama, 0 ke *A* (*apparent stability*). Fase ini umumnya terjadi sesaat setelah proses produksi dan pengemasan produk. Pada fase ini terjadi perubahan kualitas tetapi masih bersifat non visual (penurunan tekstur, rasa, dan nutrisi). Perubahan ini berlanjut kontinu pada periode kedua (*A* ke *B*) atau dikenal dengan istilah perubahan terlihat (*visible changes*). Produk kontinu mengalami penurunan kualitas baik visual maupun non visual pada fase ini. Penurunan kualitas ini terus berlanjut dari titik *B* dimana produk sudah tidak diterima pelanggan karena ancaman keamanan. Degradasi kualitas kontinu menurun sampai *shelf life*-nya berakhir.



Gambar 2. 1 Penurunan Kualitas Kontinu Produk *Perishable* (Osvald dan Stirn, 2007)

2.2 Cold Chain Management

Cold Chain Management (CCM) adalah proses perencanaan, pengimplementasian, serta pengendalian aliran (*flow*) dan penyimpanan yang efektif dan efisien dari produk *perishable* berhubungan dengan jasa dan informasi dari satu atau beberapa titik asal ke titik produksi, distribusi, dan konsumsi untuk memenuhi permintaan pelanggan (Bogataj dkk., 2005). Konsep *cold chain* muncul dipicu dari kebutuhan pengendalian temperatur untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme serta pembusukan produk pada saat pemrosesan, penyimpanan, serta pendistribusian. Diagram alir CCM ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Aliran *Cold Chain Management* (Kuo dan Chen, 2010)

Distribusi *cold chain* didesain untuk mempertahankan kesensitivitasan temperatur produk *perishable* sehingga tetap dalam kondisi segar, baik saat

keberangkatan maupun kedatangan (Hsu dkk., 2007). Meskipun *cold chain* mampu mempertahankan kualitas produk *perishable*, *cold chain* membutuhkan investasi dan biaya operasional lebih mahal. Mempertahankan kualitas produk dengan tetap meminimalkan biaya produksi adalah *trade off* yang paling mendasar dalam CCM.

2.2.1 Pengelolaan Temperatur Produk *Perishable*

Mempertahankan temperatur sesuai kebutuhan adalah faktor kunci kualitas produk *perishable*. Temperatur berkontribusi signifikan menurunkan resiko *loss*, mempertahankan *shelf life*, kualitas, serta keamanan produk, telah diuraikan beberapa pakar (Bogataj dkk., 2005; Montanari, 2008; Ovca dan Jevsnik, 2009; Kuo dan Chen, 2010). Pengelolaan temperatur terutama produk makanan sangat penting karena mampu mengurangi resiko, mempertahankan kualitas produk, serta mengurangi laju pertumbuhan mikroorganisme.

Tabel 2. 1 Temperatur Maksimum Pengiriman Regulasi ATP

Foodstuff	Maximum temperature
Ice cream	-20 °C*
Frozen or quick (deep)-frozen fish, fish products, molluscs and crustaceans and all other quick (deep)-frozen foodstuffs	-18 °C*
All frozen foodstuffs (except butter)	-12 °C*
Butter	-10 °C*
Red offal	+3 °C
Butter	+6 °C
Game	+4 °C
Milk (raw or pasteurized) in tanks, for immediate consumption	+4 °C
Industrial milk	+6 °C
Dairy products (yoghurt, kefir, cream, and fresh cheese)	+4 °C
Fish, molluscs and crustaceans	Melting ice
Meat products	+6 °C
Meat (other than red offal)	+7 °C
Poultry and rabbits	+4 °C

Sumber: Panazzo dan Cortella, 2008

Produk *perishable* makanan memiliki karakteristik keamanan sebagai faktor kritis yang sangat dipengaruhi temperatur. Selain makanan, produk *perishable* medis (obat-obatan serta vaksin) juga memiliki ketergantungan terhadap temperatur untuk menjaga keamanannya (*safety*). Produk *perishable* lainnya meskipun tidak memiliki karakteristik keamanan, profit penjualannya sangat dipengaruhi pengelolaan temperatur (kosmetik, bunga, film, dan lain lain) Berdasarkan penjelasan tersebut, pengelolaan *perishability* sangat penting baik untuk alasan profit ekonomis maupun alasan keamanan.

Khusus produk makanan *perishable*, pemerintah dan instansi terkait lebih ketat menjaga keamanan pelanggan. Salah satu regulasi yang mengatur distribusi keamanan makanan adalah ATP (*Agreement Transport Perishable*), yang telah digunakan di negara-negara Eropa serta Amerika Serikat. ATP merupakan aturan efektif sertifikasi kendaraan berpendingin sebagai alat transportasi untuk menjamin keamanan produk. Temperatur maksimum pengiriman berdasar regulasi ATP ditunjukkan pada Tabel 2.1. Selain ATP, juga dikenal regulasi *Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP) yang turut menjamin keamanan produk makanan.



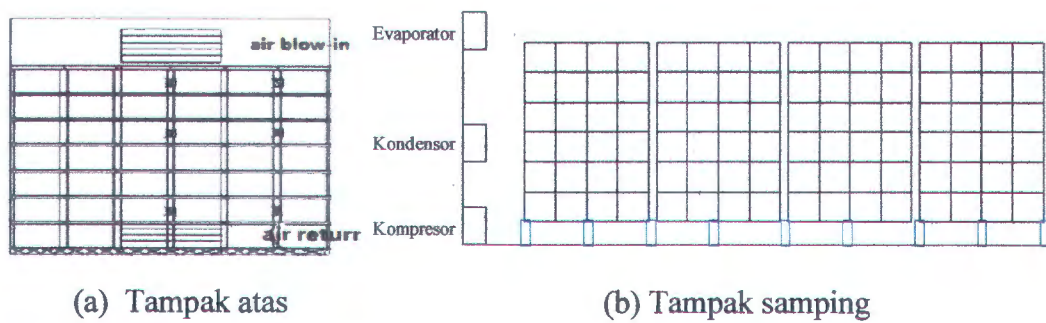
Gambar 2. 3 Penggunaan RFID Tag untuk Integrasi Pengelolaan Temperatur (Abad dkk., 2009)

Pengelolaan temperatur yang baik, faktanya adalah prosedur termudah dan juga terpenting untuk mengurangi resiko loss produk *perishable*. Teknologi pengelolaan dan integrasi temperatur semakin berkembang dari tahun ke tahun,

mulai dari *chart recorder*, indikator *time temperature*, bahkan *tag* RFID yang dilengkapi sensor temperatur. Salah satu contoh penggunaan *tag* RFID dengan sensor temperatur ditunjukkan Gambar 2.3. *Tag* ini diletakkan di bawah *polystyrene* pembungkus ikan yang akan dikirimkan ke Eropa.

2.3 Energi Pengelolaan Temperatur

Seperti dijelaskan sebelumnya, karakteristik *perishability* produk *perishable* dipertahankan dengan menjaga temperatur ruangan pada suhu tertentu. Begitu juga pada saat pendistribusian, pengiriman produk *perishable* menggunakan *cold storage* untuk menjaga kualitas dan keamanannya. Perspektif *cold storage* ditunjukkan Gambar 2.4.



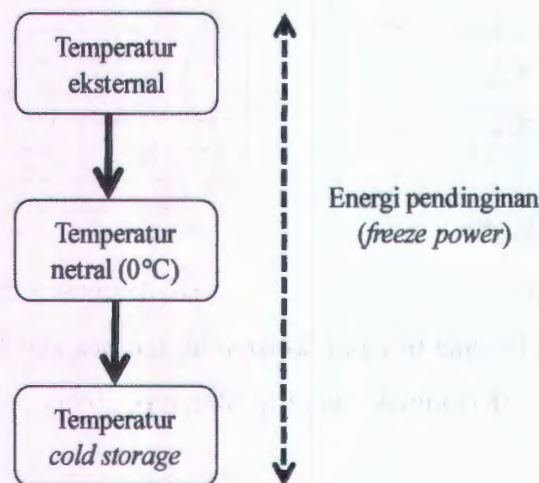
Gambar 2. 4 Perspektif *Cold Storage* (a) tampak atas (Xie dkk., 2011);
(b) tampak samping (Atmojo, 2009)

Penggunaan kendaraan *cold storage* mengkonsumsi energi lebih banyak daripada kendaran biasa. Energi ini selain digunakan untuk transportasi, juga digunakan untuk mendinginkan muatan. Pada penelitian ini, perhitungan energi untuk mendinginkan dilakukan berdasar pendekatan Adler (2010). Menurut Adler, (2010), energi yang diperlukan kompresor untuk mendinginkan terbagi menjadi dua, yaitu *thermal losses* serta *freeze power*. *Thermal losses* atau panas terbuang (*heat losses*) umum terjadi pada barang-barang elektronik yang mengkonsumsi energi. Besarnya *thermal losses* ekuivalen dengan luasan area permukaan yang membuang panas, atau

$$P_t = \frac{1}{s} x k x A x \Delta t^* \quad (2.1)$$

dimana: P_t = energi hilang (*thermal losses*) permukaan (kkal/jam);
 s = ketebalan permukaan (m);
 k = koefisien *insulating material* (umumnya diasumsikan $k = 0.002$);
 A = luasan area permukaan (m^2);
 Δt^* = perbedaan temperatur antara dua sisi permukaan (umumnya diasumsikan $\Delta t^* = 1$)

Selain *thermal losses*, *freeze power* juga berkontribusi pada energi untuk mendinginkan. Energi untuk mendinginkan/membuang panas adalah akumulasi antara energi mendinginkan dari temperatur eksternal ke temperatur netral ($0^\circ C$) serta energi mendinginkan dari temperatur netral ke temperatur *cold storage*. Konsep tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Konsep *Freeze Power*

Energi untuk mendinginkan dipengaruhi oleh karakteristik muatan, berat muatan, serta perbedaan temperatur eksternal dan *cold storage*. Energi untuk mendinginkan ruangan dapat didekati dengan perumusan sebagai berikut: (Adler, 2010)

$$P_f = \frac{1}{24} |(G * C * \Delta t_1) + (G * Cl) + (G * C * \Delta t_2)| \quad (2.2)$$

dimana: P_f = Energi untuk mendinginkan (kkal/jam);

G = berat muatan (kg);

C = spesifikasi panas muatan (kkal); dimana $c = 0.77$ kkal
 Δt_1 = perbedaan antara temperatur eksternal dengan 0°C ;
 Cl = panas laten muatan (kkal/kg); dimana $Cl = 60$ kkal/kg
 Δt_2 = perbedaan antara temperatur 0°C dengan temperatur *cold storage*
 $1/24$ adalah konstanta energi untuk mendinginkan per jam, berdasarkan studi selama 24 jam

Energi yang diperlukan kompresor untuk mendinginkan adalah penambahan antara energi *thermal losses* serta *freeze power*, atau:

$$P = P_t + P_f \quad (2.3)$$

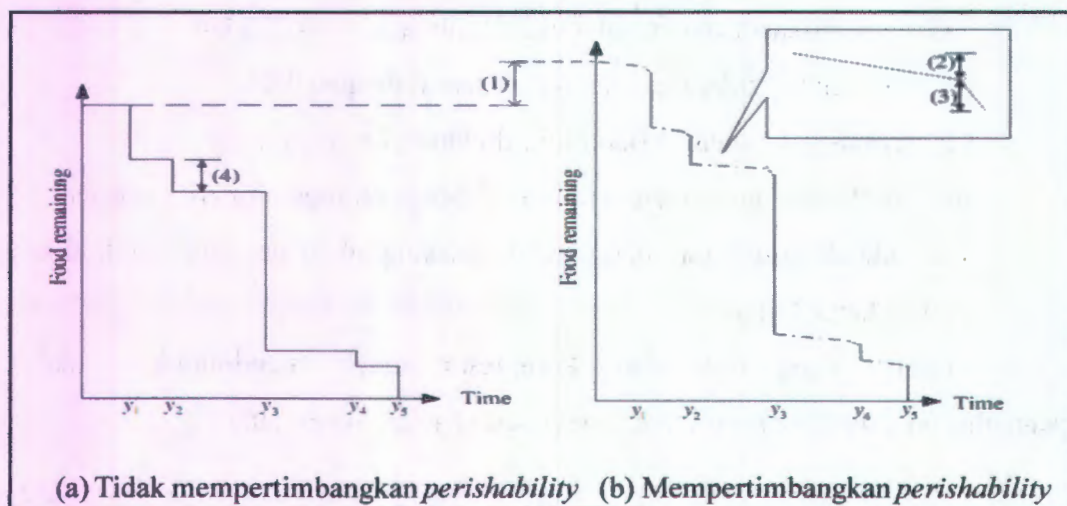
dimana P = Total energi untuk mendinginkan (kkal/jam).

2.4 Loss Produk *Perishable*

Pada siklus hidup produk *perishable*, *loss* (kehilangan) adalah hal yang umum dialami. Menurut Hsu dkk. (2007), *loss* yang terjadi pada saat pengiriman adalah akumulasi antara *loss* selama perjalanan serta *loss* selama pembukaan *cold storage* untuk melayani pelanggan.

Loss selama perjalanan Gambar 2.6 ditunjukkan oleh (2) sedangkan *loss* pembukaan *cold storage* ditunjukkan oleh (3). *Loss* selama perjalanan dipengaruhi jarak pelanggan dengan sentral depot serta kondisi lalu lintas. Semakin jauh jarak pelanggan dengan sentral depot serta kondisi lalu lintas yang semakin padat menyebabkan kemungkinan terjadi *loss* semakin besar. Hal ini disebabkan semakin lama waktu yang dihabiskan produk *perishable* sebelum sampai ke pelanggan.

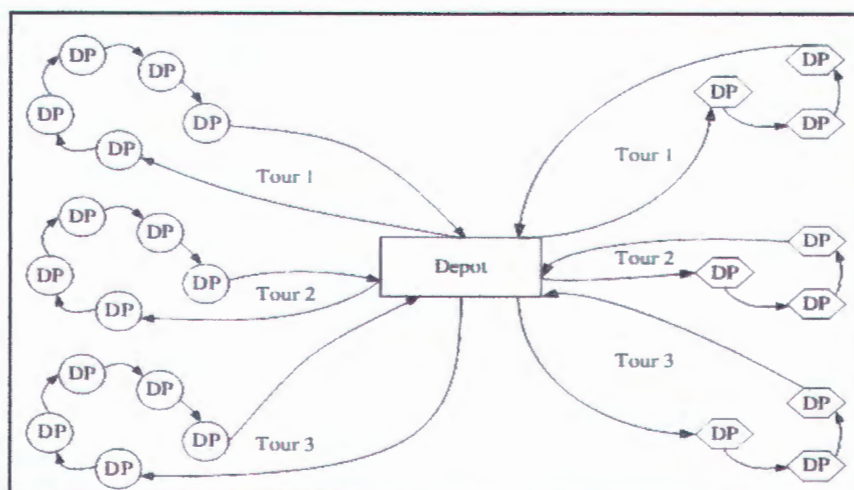
Sedangkan *loss* pembukaan *cold storage* dipengaruhi oleh permintaan pelanggan, semakin banyak permintaan maka kemungkinan *loss* semakin besar. Hal ini disebabkan semakin banyak permintaan, proses *unloading* muatan karena pembukaan *cold storage* semakin lama. Terbukanya *cold storage* menyebabkan temperatur menjadi tidak stabil sehingga rawan terjadi *loss* atau reduksi kuantitas. Barang yang dikirimkan ditunjukkan (1) dan kuantitasnya tereduksi karena *loss* digambarkan (4) pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Loss Pengiriman Produk *Perishable* (Hsu dkk., 2007)

2.5 Vehicle Routing Problem (VRP)

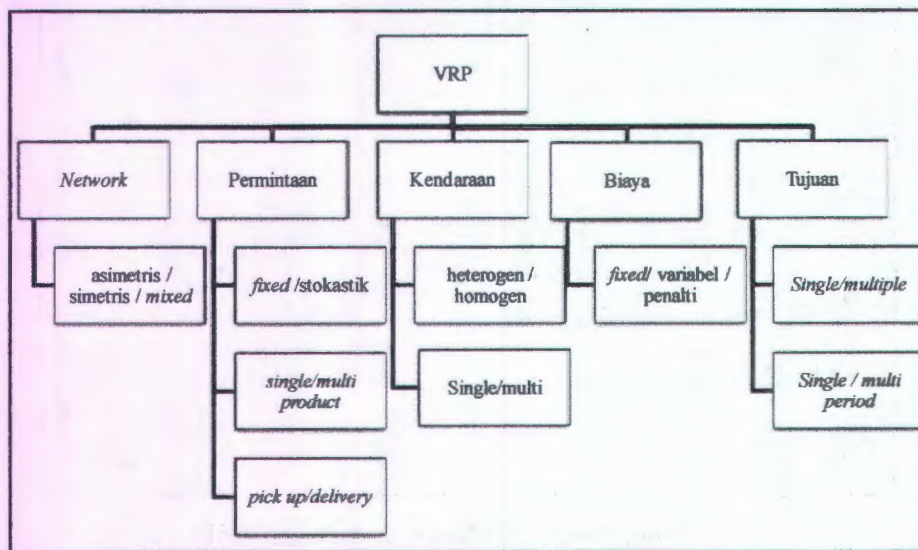
Vehicle Routing Problem (VRP) adalah permasalahan optimasi klasik yang menjadi kunci pengelolaan distribusi dan logistik (Li dkk., 2010). VRP berfokus pada penentuan rute optimal kendaraan yang melayani pelanggan yang tersebar secara geografis. VRP mewakili suatu jaringan simetris $G = (V, A)$ dengan himpunan *node* $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ dimana $1, \dots, n$ mewakili pelanggan serta 0 mewakili sentral depot, dan $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$ adalah himpunan *link*. Setiap *node* atau pelanggan i memiliki permintaan non negatif, d_i , akan dilayani oleh kendaraan m dengan kapasitas terbatas, q . Setiap panah (i, j) berhubungan dengan jarak atau biaya perjalanan, c_{ij} , dimana $c_{ij} = c_{ji}$. Jaringan (*network*) sederhana transportasi barang ditunjukkan Gambar 2.7. Jaringan VRP harus memenuhi persyaratan sebagai berikut: (a) setiap rute berawal dan berakhir di sentral depot, (b) setiap pelanggan dikunjungi hanya oleh satu kendaraan (tidak ada pengiriman terpisah), serta (c) muatan setiap kendaraan tidak melebihi kapasitas kendaraan.



Gambar 2. 7 Model Sederhana VRP

Tujuan VRP intinya adalah menentukan strategi penjadwalan kendaraan untuk mengirimkan barang. Toth dan Vigo (2002) menjelaskan bahwa tujuan VRP adalah: (i) meminimalkan biaya transportasi, (ii) meminimalkan jumlah kendaraan untuk melayani pelanggan, (iii) menyeimbangkan rute serta muatan kendaraan, serta (iv) meminimalkan penalti, berhubungan dengan pelayanan kepada pelanggan. VRP digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan penentuan rute (*routing*) untuk penugasan kendaraan, pengurutan distribusi, maupun penjadwalan. Permasalahan penentuan rute tidak hanya menyangkut perencanaan operasional, tetapi juga menyangkut perencanaan strategis serta taktis sistem distribusi. Interaksi strategi tersebut menyebabkan penentuan rute menjadi topik riset menarik bagi akademisi serta praktisi.

Dantzig dan Ramzer memperkenalkan VRP pertamakali tahun 1959 untuk penentuan rute distribusi bensin (pangkalan-stasiun pengisian) sehingga seluruh permintaan terpenuhi. Sejak diperkenalkan, fokus penelitian VRP berkembang semakin aplikatif, yaitu: VRP *Time Windows* (Tan dkk., 2001), VRP *Pick Up Delivery* (Dumas dkk., 2001), Multi Depot VRP (Yucenur dan Demirel, *in press*), VRP Heterogen (Braysy dkk, 2011), *Split Delivery* VRP (Bolduc dkk., 2009), VRP Periodik (Baptista dkk., 2002), *Backhaul* VRP (Goetschalckx dan Jacob-Blecha, 1989), dan lain-lain. Penelitian VRP sendiri sudah berkembang lebih luas dalam berbagai komponen. Klasifikasi pengelompokan komponen VRP ditunjukkan pada Gambar 2.8.



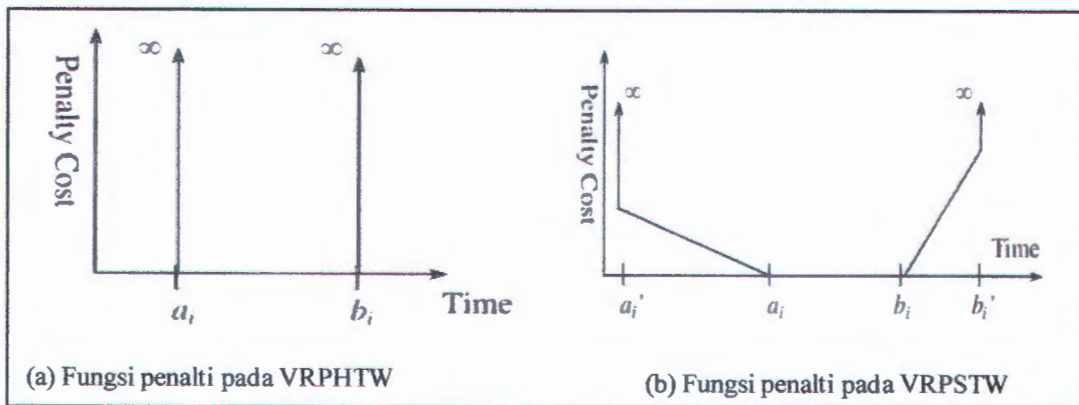
Gambar 2. 8 Komponen VRP (Jozefowicz dkk., 2008)

Penelitian ini didesain menggunakan karakteristik jaringan simetris untuk melayani permintaan pelanggan deterministik serta multi *item*. Kendaraan yang digunakan terdiri dari berbagai kendaraan (*multi vehicle*) dengan kapasitas sama antar kendaraan. Pertimbangan biaya yang digunakan adalah biaya tetap (sesuai dengan jumlah kendaraan yang digunakan), variabel, dan penalti. Tujuan penelitian ini *single objective* meminimalkan biaya distribusi. Model distribusi penelitian ini merupakan pengembangan model Hsu dkk. (2007) yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

2.5.1 Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)

Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) adalah perluasan VRP dimana pelayanan setiap pelanggan dimulai pada rentang waktu tertentu (*time windows*) dan kendaraan harus berada pada rentang waktu tersebut untuk mendapatkan pelayanan (Toth dan Vigo, 2002). Kendala *time windows* diartikan sebagai waktu terawal (*earliest*) memulai pelayanan dan waktu terakhir (*latest*) mengakhiri pelayanan, $[a_i, b_i]$. Munculnya pertimbangan *time windows* karena berbagai alasan, diantaranya: meminimalkan persediaan, mengurangi waktu siklus, mengimplementasikan *just-in-time*, dan lain-lain. Berdasar karakteristik *time windows*, VRPTW terbagi menjadi dua yaitu VRP with *Hard Time Windows (VRPHTW)* dan VRP with *Soft Time Windows (VRPSTW)*.

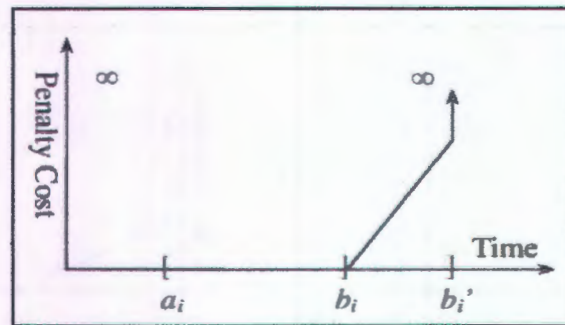
VRPHTW memiliki *time windows* yang ketat sehingga tidak ada toleransi apabila kendaraan datang lebih awal atau lebih lambat dari waktu pelayanan. Biaya penalti yang harus dibayarkan apabila kondisi ini terjadi menjadi sangat besar, seperti ditunjukkan Gambar 2.9 (a). Hal ini menyebabkan rute tidak *feasible* apabila kedatangan kendaraan l terjadi di luar rentang waktu pelayanan pelanggan i . *Hard time windows* sering dilanggar karena berbagai alasan, diantaranya: (i) mengabaikan (*relaxing*) kendala *hard time windows* seringkali memberikan hasil yang lebih baik, (ii) banyak terjadi solusi *unfeasible* jika seluruh *time windows* harus terpenuhi, (iii) pelanggan seringkali memperketat *time windows* dari kebutuhan tetapi sebenarnya spesifik deviasi *time windows* masih diterima pelanggan (Xu dkk., *in press*).



Gambar 2. 9 Penalti VRPHTW dan VRPSTW (Qureshi dkk., 2009)

VRP yang lebih realistis adalah VRPSTW, dimana pengiriman masih bisa dilakukan meskipun kedatangan terjadi di luar *time windows* $[a_i, b_i]$ dengan membayarkan penalti. Apabila kendaraan datang lebih awal pada $[a_i', a_i]$, a_i' adalah *acceptable time* untuk kedatangan lebih cepat ($a_i' \leq a_i$), maka kendaraan bisa langsung dilayani dengan membayarkan penalti. Kendaraan juga masih dilayani meskipun datang terlambat pada $[b_i, b_i']$, b_i' adalah *acceptable time* untuk keterlambatan kedatangan ($b_i' \geq b_i$), dengan membayarkan penalti. Umumnya, penalti yang dibayarkan lebih murah apabila kendaraan datang pada $[a_i', a_i]$, dibandingkan apabila kendaraan datang pada $[b_i, b_i']$. Kedatangan di luar a_i' dan b_i' maka rute menjadi tidak *feasible*, seperti ditunjukkan Gambar 2.9 (b).

Pada penelitian ini, penalti kedatangan lebih cepat, rentang $[a_i', a_i]$, akan diabaikan (*relaxed*). Kendaraan diasumsikan menunggu untuk mendapatkan pelayanan apabila tiba sebelum *time windows* awal, a_i . Penalty akan dibayarkan apabila kendaraan datang terlambat, tetapi masih pada rentang waktu $[b_i, b_i']$ seperti ditunjukkan Gambar 2.10. Kondisi yang hanya mempertimbangkan penalti *time windows* akhir $[b_i, b_i']$, dan mengabaikan penalti *time windows* awal termasuk VRP *Semi Soft Time Windows* (VRPSSTW). Untuk lebih memudahkan, selanjutnya kendala VRPSSTW akan tetap disebut VRPSTW, dimana kendaraan diasumsikan menunggu sampai *time windows* awal. Penalty baru dibayarkan apabila kedatangan di luar *time windows* akhir tetapi masih berada pada rentang *acceptable time windows*.



Gambar 2. 10 Penalty VRPSSTW (Qureshi dkk., 2009)

2.6 Model Distribusi Produk *Perishable*

Penelitian ini akan mengembangkan model VRP produk *perishable* yang telah disusun oleh Hsu dkk. (2007). Mengikuti VRP klasik, penelitian Hsu dkk, 2007 meneliti *network* simetris $G = (V, A)$ dengan himpunan (*set*) $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ dimana v_0 adalah himpunan sentral depot serta v_i adalah himpunan pelanggan i . Titik awal dinotasikan sebagai i dan titik tujuan dinotasikan sebagai j , dimana $j \in n$ sehingga $A = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V, i \neq j\}$. Sementara l adalah indeks model kendaraan angkut dimana $l = 1, 2, \dots, m$. Asumsi-asumsi pada model Hsu dkk. (2007) antara lain adalah:

- Kendaraan untuk pendistribusian memiliki kesamaan kapasitas antara satu dengan yang lain (homogen)

- Produk *perishable* yang dikirim adalah sejenis (*single item*) dengan *single* temperatur

Hsu dkk. (2007) menyusun model distribusinya secara deterministik terlebih dahulu baru mempertimbangkan kondisi stokastik serta *soft time windows*. Pertimbangan kedua kondisi tersebut akan memodifikasi fungsi tujuan serta kendala model deterministik. Kedua model dasar distribusi, baik deterministik maupun stokastik *soft time windows*, diambil berdasar model Hsu dkk. (2007). Terlebih dahulu notasi model ini: himpunan, parameter, serta variabel diuraikan sebagai berikut:

1. Himpunan

A	himpunan <i>link</i>
A'	himpunan <i>link</i> dengan kepadatan, $A' \in A$

2. Parameter

f^l	Biaya penggunaan kendaraan per unit kendaraan l
P	Biaya pembelian barang per unit
c_{ij}	Biaya perjalanan pelanggan i ke j , dimana $c_{ij} = x_{ij}$; x_{ij} = jarak pelanggan i ke j
\bar{q}	Biaya energi per satuan waktu
r_i	Waktu pelayanan terawal pada <i>time windows</i> pelanggan i
s_i	Waktu pelayanan terakhir <i>time windows</i> pelanggan i
S_i	Waktu pelayanan terakhir pelanggan i dengan penalti
u_i	Durasi pelayanan di pelanggan i
\bar{t}_{ij}^l	Lamanya perjalanan yang diharapkan (<i>expected travel time</i>) pelanggan i ke j dengan kepadatan p (pada model stokastik)
β_0	Invers kecepatan kendaraan pada A
β_1, β_2	Invers kecepatan kendaraan pada A' tanpa kepadatan (β_1) dan dengan kepadatan (β_2) dimana $\beta_1 \leq \beta_2$ (pada model stokastik)
p	Probabilitas terjadi kepadatan lalu lintas (pada model stokastik)
d_i	Permintaan pelanggan i yang harus dipenuhi
K^l	Kapasitas kendaraan
$F(-)$	Fungsi kumulatif probabilitas <i>loss</i> , mengikuti <i>shelf life</i> serta durasi

- perjalanan pelanggan i
- $G(d_i)$ Probabilitas *loss* karena membuka *cold storage*, mengikuti *shelf life* dan durasi pelayanan

6. Variabel model

- q_{ij}^l Jika rute (i, j) dilewati kendaraan l ; 1 jika ya, 0 sebaliknya
- z_i^l Jika kendaraan l melayani pelanggan i ; 1 jika ya, 0 sebaliknya
- y_f^l Waktu kedatangan kendaraan l ke sentral depot
- y_i Waktu kedatangan kendaraan ke pelanggan i
- b^l Muatan ekstra untuk mengantisipasi terjadinya *loss*
- L^l Muatan yang dibawa kendaraan l

2.6.1 Model Dasar VRPTW *Perishable*: Deterministik

2.6.1.1 Fungsi Tujuan Model Dasar VRPTW *Perishable*: Deterministik

Tujuan model Hsu dkk. (2007) adalah meminumkan total biaya distribusi yang terdiri atas: biaya tetap penggunaan kendaraan, biaya transportasi, biaya persediaan, serta biaya energi. Fungsi tujuan model deterministik VRP produk *perishable* Hsu dkk. (2007) adalah sebagai berikut:

$$\text{Min} \sum_{l=1}^m f^l + \sum_{l=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij}^l q_{ij}^l + P \sum_{l=1}^m \sum_{j=1}^n z_j^l \bar{b}_j + \bar{q} \sum_{l=1}^m (y_f^l - y_s^l) \quad (2.4)$$

2.6.1.2 Kendala Model Dasar VRPTW *Perishable*: Deterministik

Berikut kendala yang harus dipenuhi pada model Hsu dkk. (2007):

1. Kendala yang menyatakan, satu kendaraan mengunjungi pelanggan i satu kali.

$$\sum_{l=1}^m z_i^l = \begin{cases} m; & i = 0 \\ 1; & i = 1, \dots, n \end{cases} \quad (2.5)$$

2. Kendala yang menyatakan, satu rute (i, j) hanya menugaskan satu kendaraan.

$$\sum_{i=0}^n q_{ij}^l = z_j^l, j = 0, \dots, n, \quad l = 1, \dots, m \quad (2.6)$$

3. Kendala *time windows*, menyatakan bahwa waktu kedatangan pelanggan $(i+1)$ adalah penjumlahan waktu kedatangan di pelanggan i , lama pelayanan pelanggan i , dan waktu perjalanan pelanggan i ke pelanggan berikutnya $(i+1)$.

$$y_{(i+1)} \geq y_i + u_i + t_{i(i+1)}^l - (1 - x_{i(i+1)}^l)M; \quad i = 1, \dots, n; \quad l = 1, \dots, m \quad (2.7)$$

4. Kendala *time windows*, menyatakan bahwa waktu kedatangan pelanggan i adalah penjumlahan dari waktu keberangkatan kendaraan l dari sentral depot dan lama perjalanan dari sentral depot menuju pelanggan i .

$$y_i \geq y_s^l + t_{0i}^l - (1 - x_{0i}^l)M, \quad i = 1, \dots, n; \quad l = 1, \dots, m \quad (2.8)$$

5. Kendala *time windows*, menyatakan bahwa waktu kembali kendaraan l ke sentral depot adalah penjumlahan dari waktu kedatangan pelanggan $(i+1)$, lamanya pelayanan pelanggan $(i+1)$, serta lamanya perjalanan pelanggan $(i+1)$.

$$y_f^l \geq y_{(i+1)} + u_{(i+1)} + t_{(i+1)0}^l - (1 - x_{(i+1)0}^l)M, \quad i = 1, \dots, n; \quad l = 1, \dots, m \quad (2.9)$$

6. Kendala yang menyatakan batasan waktu mengirimkan barang ke pelanggan i . Waktu kedatangan di pelanggan i berada di antara waktu pelayanan terawal dan waktu pelayanan terakhir pelanggan i .

$$r_i \leq y_i \leq s_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.10)$$

7. Kendala yang menyatakan bahwa jumlah muatan dengan muatan ekstra untuk mengantisipasi *loss* yang dibawa kendaraan l tidak melebihi kapasitas kendaraan l .

$$L^l = \sum_{i=1}^n z_i^l + b^l \leq K^l, \quad l = 1, \dots, m \quad (2.11)$$

8. Kendala yang menyatakan muatan ekstra untuk mengantisipasi *loss* adalah penjumlahan fungsi kumulatif probabilitas *loss* $f(y)$ dengan probabilitas *loss* karena membuka *cold storage*.

$$x_{0i}^l \bar{b}_i = x_{0i}^l L^l x [F(y_i - y_s^l) + G(d_i)], \quad i = 1, \dots, n; \quad l = 1, \dots, m \quad (2.12)$$

Hsu dkk. (2007) mempresentasikan bahwa fungsi kumulatif probabilitas *loss* $f(y)$ atau $F(-)$ adalah perbandingan antara durasi perjalanan dari sentral depot

menuju pelanggan i dengan *shelf life* produk. Sedangkan probabilitas terjadi *loss* karena membuka *cold storage* atau $G(d_i)$ adalah perbandingan antara lama pelayanan pelanggan i dengan *shelf life* produk.

2.6.2 Model Dasar VRPTW *Perishable*: Stokastik dan *Soft time Windows*

Setelah penyusunan model distribusi produk *perishable* deterministik, Hsu dkk. (2007) juga membangun model stokastik distribusi produk *perishable*. Model stokastik Hsu dkk. (2007) mengasumsikan beberapa *link* mengalami kepadatan lalu lintas dengan probabilitas p . Kepadatan lalu lintas terjadi karena berbagai *random nature*, seperti: volume lalu lintas di pusat perkotaan, *rush hour*, kecelakaan, cuaca, dan lain-lain. Kepadatan ini akan mempengaruhi kecepatan kendaraan sehingga waktu perjalanan bukan lagi deterministik, tetapi stokastik. Permasalahan waktu perjalanan stokastik model mempunyai dua kelas keputusan. Pertama, keputusan yang diambil sebelum mengetahui kondisi aktual *states of nature* (*a priori*). Kedua, keputusan yang diambil berdasar observasi aktual waktu perjalanan sehingga variabel *random* diketahui terlebih dahulu (Lambert dkk., 1993).

Model stokastik Hsu dkk. (2007) melibatkan waktu perjalanan yang diharapkan (*expected travel time*). *Expected travel time* kendaraan l yang dipengaruhi kondisi kepadatan (v_i, v_j) , \bar{t}_{ij}^l , adalah:

$$\bar{t}_{ij}^l = \left\{ \begin{array}{ll} \beta_0 c_{ij}^l & \text{jika } (v_i, v_j) \in A \\ [p\beta_1 + (1-p)\beta_2] c_{ij}^l & \text{jika } (v_i, v_j) \in A' \end{array} \right\}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n; l = 1, \dots, m \quad (2.13)$$

Modifikasi waktu perjalanan ini juga menyebabkan perlunya modifikasi kendala *time windows*, yaitu kendala (2.4), (2.5), serta (2.6). Hal ini untuk memfasilitasi waktu perjalanan stokastik, dan bukan lagi deterministik. Detail modifikasi fungsi kendala model stokastik Hsu dkk. (2007) tersebut akan diterangkan pada sub bab selanjutnya.

Selain waktu perjalanan yang bersifat stokastik, Hsu dkk. (2007) juga mempertimbangkan kendala *soft time windows*. *Time windows* akhir masih bisa dilanggar dengan membayarkan penalti. Biaya penalti karena keterlambatan yang melanggar *time windows* diperhitungkan sebagai hilangnya pendapatan karena

barang terlambat datang. Hal ini disebabkan probabilitas *loss* produk *perishable* tergantung rentang waktu antara produksi dengan waktu kadaluarsa (*expire dates*). Semakin lama produk belum digunakan, maka probabilitas *loss* akan semakin meningkat. Apabila λ dan ν adalah parameter, maka biaya penalti keterlambatan adalah sebagai berikut:

$$Q_i(y_i) = \begin{cases} M, & y_i < r_i \\ 0, & r_i \leq y_i \leq s_i \\ \lambda d_i (y_i - s_i)^\nu, & s_i \leq y_i \leq S_i \\ M, & y_i > S_i \end{cases}, i = 1, \dots, n \quad (2.14)$$

Pertimbangan *soft time windows* menyebabkan perlunya modifikasi fungsi obyektif serta kendala (2.10) untuk memfasilitasi penalti keterlambatan. Detail modifikasi fungsi obyektif serta kendala *soft time windows* model Hsu dkk. (2007) tersebut akan diterangkan pada sub bab selanjutnya.

2.6.2.1 Fungsi Tujuan Model Dasar VRPTW *Perishable*: Stokastik dan *Soft Time Windows*

Tujuan model ini adalah meminimumkan biaya dalam distribusi yang terdiri atas: biaya tetap menggunakan kendaraan (*dispatching cost*), biaya transportasi, biaya persediaan, biaya energi, serta biaya penalti apabila melanggar *time windows*. Fungsi tujuan model stokastik *soft time windows* Hsu dkk. (2007) dibangun sama fungsi tujuan (2.4) dengan modifikasi penambahan biaya penalti. Fungsi tujuan model stokastik VRPTW *soft time windows* Hsu dkk. (2007) adalah sebagai berikut:

$$\text{Min} \sum_{l=1}^m f^l + \sum_{l=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij}^l q_{ij}^l + P \sum_{l=1}^m \sum_{j=1}^n z_j^l \bar{b}_j + \bar{q} \sum_{l=1}^m (y_f^l - y_s^l) + \sum_{i=1}^n d_i [(y_i - s_i)]^\nu \quad (2.15)$$

2.6.2.2 Kendala Model Dasar VRPTW *Perishable*: Stokastik dan *Soft Time Windows*

Berikut kendala yang harus dipenuhi pada model Hsu dkk. (2007):

1. Kendala (2.5), (2.6), (2.11), (2.12)

2. Kendala waktu perjalanan stokastik. Pengubahan nilai waktu perjalanan (deterministik) menjadi nilai waktu perjalanan yang diharapkan (stokastik) sesuai persamaan (2.13). Pengubahan ini menyebabkan modifikasi kendala (2.7), (2.8), (2.9) sebagai berikut:

$$y_{(i+1)} \geq y_i + u_i + \bar{t}_{i(i+1)}^l - (1 - x_{i(i+1)}^l) \quad , i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, m \quad (2.16)$$

$$y_i \geq y_s^l + \bar{t}_{0i}^l - (1 - x_{0i}^l)M \quad , i = 1, \dots, n, \quad l = 1, \dots, m \quad (2.17)$$

$$y_f^l \geq y_{(i+1)} + u_{(i+1)} + \bar{t}_{(i+1)0}^l - (1 - x_{(i+1)0}^l)M, i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, m \quad (2.18)$$

3. Kendala *soft time windows*. Pengubahan waktu pelayanan terakhir s_i , menjadi waktu pelayanan terakhir dengan penalti, S_i . Pengubahan ini menyebabkan modifikasi kendala (2.10) sebagai berikut:

$$r_i \leq y_i \leq S_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.19)$$

2.7. Heuristik Penyelesaian VRPTW

VRPTW merupakan persoalan optimasi kombinatorial kategori *NP-hard* (*non polynomial*) sama seperti VRP. Pada persoalan ini peningkatan kesulitan dan kekompleksan akan bertambah secara faktorial seiring bertambah besarnya ukuran problem. Sangatlah diperlukan metode optimisasi yang kompetitif untuk menyelesaikan problem VRPTW.

Teknik penyelesaian VRPTW terbagi menjadi dua metode, yaitu metode eksak serta heuristik. Metode eksak perhitungannya membutuhkan waktu lama sehingga tidak sesuai bila diaplikasikan di dunia nyata (Muller, 2010; Calvete dkk., 2007; Yucenur dan Demirel, *in press*). Para pakar kemudian mengembangkan algoritma heuristik atau *approximation method* untuk memecahkan VRP. Menurut Figliozzi (2010), heuristik untuk permasalahan VRPTW bisa diklasifikasikan sebagai berikut (diurut berdasar kualitas penyelesaiannya): *construction*, *local search*, serta *metaheuristics* (banyak titik-titik calon solusi).

Penyelesaian model Hsu dkk. (2007) menggunakan *construction heuristics* yaitu algoritma *Nearest Neighbor* (NN). Penelitian ini juga

menyelesaikan model menggunakan algoritma NN serta salah satu metode mataheuristik. Metode metaheuristik yang digunakan adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO). Selanjutnya, kedua teknik penyelesaian tersebut akan dibahas pada sub bab berikut.

2.7.1 Penyelesaian Model Dasar: Algoritma *Nearest Neighbor*

Nearest neighbor (NN) sendiri termasuk algoritma *route construction*. Iterasi algoritma dilakukan dengan menyisipkan pelanggan atau node masuk dalam rute parsial sehingga mendapatkan solusi feasibel. Langkah-langkah algoritma NN adalah sebagai berikut: (Hsu dkk., 2007)

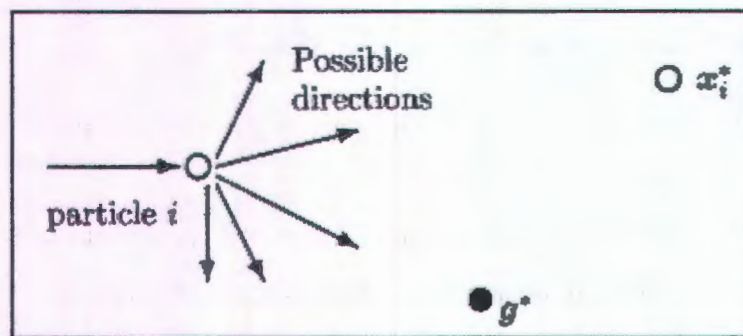
- Langkah 1 Masukkan data dasar, seperti permintaan, parameter pasokan, serta jaringan, $G = (V, A)$.
- Langkah 2 Notasikan sentral depot sebagai titik awal suatu rute.
- Langkah 3 Tentukan pelanggan terdekat dengan pelanggan sebelumnya dan masukkan ke rute.
- Langkah 4 Ulangi langkah 3 sampai kapasitas kendaraan terpenuhi
- Langkah 5 Tugaskan kendaraan lain dan ulangi langkah 2 sampai semua pelanggan terlayani.

2.7.2 Penyelesaian Model Dasar: *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah *evolutionary algorithm* yang diilhami perilaku sosial kawanan (*swarm*) makhluk hidup, atau teknik *swarm intelligence* (Jie dkk., 2008). Algoritma pencarian berdasar populasi ini diperkenalkan oleh Kennedy dan Ebenhart tahun 1995 diilhami perilaku pencarian kawanan makhluk hidup (kelompok lebah, ikan, burung). Mekanisme ini kemudian diadaptasi dalam permasalahan optimasi, dimana penyelesaian terbaik berada pada posisi tertentu pada ruang pencarian.

Pergerakan kawanan partikel terdiri atas dua komponen utama, yaitu komponen deterministik serta komponen stokastik. Setiap partikel (individu populasi) bertendensi bergerak acak untuk mendapatkan posisi terbaik. Simultan dengan pergerakan acak, setiap partikel juga bergerak menuju posisi terbaik kawanan, g^* dari posisi terbaik partikel i , x_i^* . Ketika suatu partikel menemukan

posisi makanan yang lebih baik dari posisi sebelumnya, maka posisi ini akan dimutakhirkan (*updated*) sebagai posisi terbaik partikel i . Setiap partikel saling bekerjasama mencari posisi terbaik, dimana posisi terbaik partikel tersebar sejumlah n partikel pada iterasi t . Tujuan pergerakan ini adalah mendapatkan posisi terbaik kawanan diantara posisi terbaik partikel sampai tidak ada perbaikan fungsi tujuan atau mencapai iterasi tertentu. Representasi pergerakan kawanan dalam PSO ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Representasi Pergerakan Kawanan dalam PSO (Yang, 2010)

Pada iterasi PSO, tiap partikel yang tersebar pada posisi dan kecepatan acak, terbang menuju posisi baru dengan menyesuaikan kecepatan terbang. Kedua karakteristik tersebut, posisi dan kecepatan, akan selalu dimutakhirkan di setiap iterasi. Penyesuaian kecepatan mencari posisi terbaik didasarkan dua perilaku, yaitu, perilaku kognitif individu serta perilaku sosial partikel. Posisi terbaik partikel, meniru perilaku kognitif, adalah posisi terbaik yang dikunjungi suatu partikel berdasar fungsi tujuan yang dicapai. Sedangkan posisi terbaik global, meniru perilaku sosial partikel, adalah posisi terbaik yang dikunjungi semua partikel dalam kawanan.

Algoritma PSO bisa dengan mudah dan efisien diaplikasikan pada permasalahan klasik optimasi, seperti VRP, tetapi relatif masih jarang digunakan (Ai dan Kachitvichyanukul, 2009). Kemudahan *coding* serta kemampuan mengeksplorasi baik lokal maupun global, memicu keefisienan yang tidak meninggalkan kualitas penyelesaian. Berbeda dengan metode heuristik lainnya, PSO

hanya menghitung dua variabel setiap anggota populasi, yaitu posisi serta kecepatan pada setiap iterasi. Berikut akan dijelaskan prosedur penyelesaian permasalahan VRP menggunakan PSO.

2.7.2.1 Prosedur *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Metode PSO bertujuan menemukan posisi terbaik dimana posisi tersebut ditunjukkan oleh angka. Oleh karena itu, hubungan posisi partikel dengan penyelesaian masalah perlu didefinisikan terlebih dahulu agar penggunaan PSO aplikatif. Secara umum algoritma penyelesaian PSO adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi

Pada fase inisialisasi, ukuran kelompok atau jumlah partikel ditentukan sebanyak N , dimana $N = 1, 2, \dots, j$. Semakin besar jumlah partikel maka evaluasi perhitungannya menjadi semakin panjang tetapi kemungkinan menemukan penyelesaian terbaik semakin besar. Setiap populasi partikel lalu dibangkitkan acak, menyebar pada rentang $[X_{min}, X_{max}]$. Untuk lebih memudahkan, posisi dan kecepatan partikel j pada iterasi i dinotasikan sebagai $X_j(i)$ dan $V_j(i)$. Penentuan vektor posisi ini diikuti dengan evaluasi nilai fungsi tujuan setiap partikel, $f[X_j(i)]$ dilanjutkan dengan perhitungan kecepatan setiap partikel. Awalnya semua kecepatan partikel diasumsikan sama dengan nol. Set iterasi $i = 1$.

2. Pemutakhirkan (*updated*) perilaku kognitif serta perilaku sosial

Perilaku kognitif individu maupun perilaku sosial perlu disimpan dan dimutakhirkan pada fase ini. Pada perilaku kognitif, nilai terbaik suatu partikel $X_j(i)$ atau $P_{best,j}$ adalah nilai fungsi obyektif terendah (kasus minimasi) suatu partikel $X_j(i)$, $f[X_j(i)]$. Sedangkan pada perilaku sosial, nilai terbaik semua partikel $X_j(i)$ atau G_{best} adalah nilai fungsi obyektif terendah (kasus minimasi) semua partikel $X_j(i)$, $f[X_j(i)]$.

3. Pemutakhiran pergerakan partikel (kecepatan dan posisi partikel)

Setiap partikel bergerak dari posisi satu ke posisi lain berdasar vektor kecepatan yang mengendalikan pergerakan. Setiap partikel akan mengevaluasi solusi permasalahan dari berbagai perspektif posisi pergerakan partikel.

3a. Pemutakhiran kecepatan

Setiap partikel terbang stokastik menuju solusi potensial P_{best} dan G_{best} untuk menghindari *local optima*. Kecepatan $X_j(i)$ dapat ditentukan sebagai berikut:

$$V_j(i) = V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - x_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - x_j(i-1)] \quad (2.20)$$

c_1 dan c_2 masing-masing adalah koefisien akselerasi kognitif individu dan sosial sedangkan r_1 dan r_2 adalah bilangan random pada rentang $[0, 1]$. Koefisien akselerasi c_1 dan c_2 mengendalikan seberapa jauh partikel akan bergerak setelah iterasi. Nilai dari c_1 dan c_2 biasanya adalah 2 sehingga perkalian $c_1 r_1$ dan $c_2 r_2$ memastikan bahwa partikel-partikel akan mendekati target sekitar setengah selisihnya (Santosa dan Willy, 2011).

Algoritma PSO penelitian ini berdasar pengembangan PSO dengan bobot inersia yang diusulkan oleh Shi dan Eberhart. Bobot inersia θ selain berfungsi mengontrol histori kecepatan terhadap kecepatan sekarang, juga berfungsi mengontrol konvergenitas PSO. Vektor kecepatan dengan memperhatikan bobot inersia pada pengembangan PSO adalah sebagai berikut:

$$V_j(i) = \theta V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - x_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - x_j(i-1)] \quad (2.21)$$

$$\theta(i) = \theta_{max} - \frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{i_{max}} i \quad (2.22)$$

Nilai bobot inersia menyangkut *trade off* antara kemampuan pencarian global dan kemampuan pencarian lokal. Semakin besar bobot inersia maka lebih memfasilitasi kemampuan pencarian global, sebaliknya bobot inersia kecil menekankan pada kemampuan pencarian lokal. Bobot inersia selalu dimutakhirkan dalam setiap iterasinya seperti ditunjukkan persamaan (2.22). Nilai θ_{max} dan θ_{min} adalah nilai maksimum dan minimum bobot inersia, i adalah iterasi sekarang, dan i_{max} adalah maksimum iterasi.

3b. Pemutakhiran posisi

Setelah kecepatan dimutakhirkan, partikel akan bergerak menuju posisi tertentu. Setiap posisi dievaluasi nilai fungsi tujuan setiap partikel sebagai $f[X_j(i)]$. Posisi atau koordinat $X_j(i)$ sekarang dapat dihitung sebagai berikut:

$$X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i) \quad (2.23)$$

4. Pengontrolan iterasi serta penghentian

Iterasi terus dilanjutkan sampai semua partikel menuju ke nilai fungsi tujuan yang sama (konvergen). Jika nilai fungsi tujuan belum konvergen, maka iterasi akan diperbarui, $i + 1$ dan kembali fase 2 untuk mendapatkan $P_{best,j}$ dan G_{best} . Iterasi dihentikan apabila nilai fungsi tujuan semua partikel telah konvergen atau apabila kriteria penghentian terpenuhi, $i = i_{max}$.

2.8 Studi Literatur, Posisi, dan Kesenjangan (*Gap*) Penelitian

2.8.1 Studi Literatur Penelitian

Berdasar studi literatur, sepanjang pengetahuan berbagai pengembangan model VRP yang telah ada, hanya beberapa penelitian yang fokus pada VRP produk *perishable*. Berikut akan disajikan ringkasan studi literatur yang telah dilakukan mencakup deskripsi singkat penelitian, tujuan penelitian, teknik penyelesaian, kontribusi serta hasil penelitian.

Hwang (1999) mengembangkan model distribusi yang efektif untuk penentuan rute pasokan makanan serta alokasi persediaan. Tujuan pengembangan model ini adalah penentuan rute terbaik yang meminimalkan jarak perjalanan serta memaksimalkan pasokan untuk mengurangi kelaparan karena kekurangan pasokan di Korea Utara. Teknik penyelesaian model ini menggunakan *Genetic Algorithm* dan *Hybrid Dynamic*. Penelitian ini berkontribusi mengembangkan model yang mengintegrasikan antara alokasi persediaan, metode pengklasteran, serta penentuan rute berdasar klaster, dengan karakteristik multi depot, multi pelanggan. Kesimpulan analisis numerik kasus kelaparan di Korea Utara ini menunjukkan bahwa alokasi persediaan, VRP, serta keefektifan pasokan penting dipertimbangkan dalam keputusan logistik. Model ini juga bisa digunakan pengambil keputusan logistik untuk mendapatkan jadwal pasokan terbaik.

Tarantilis dan Kiranoudis (2001, 2002) menggunakan algoritma *Threshold Based Accepting* (TBA) untuk memecahkan permasalahan VRP. Tarantilis dan Kiranoudis (2001) mengembangkan algoritma TBA untuk permasalahan VRP *heterogeneous fixed fleet* dengan kasus distribusi susu segar. Penelitian ini kemudian dikembangkan Tarantilis dan Kiranoudis (2002) untuk

open VRP multi depot, kasus distribusi daging. Pengembangan model ini diharapkan mampu menyelesaikan permasalahan penentuan rute dengan cepat dan *robust* karena frekuensinya berulang setiap minggunya. Kontribusi penelitian ini adalah pengembangan algoritma TBA agar tidak terlalu awal terjebak dalam *local minimum* dengan mensimulasikan nilai batas (*threshold*). Nilai *threshold* bisa dinaikturunkan, tergantung keberhasilan konfigurasi baru menggantikan rute lama. Kesimpulan analisis numerik menunjukkan bahwa dibandingkan TBA biasa, algoritma ini mampu mengurangi jarak tempuh dan jumlah kendaraan dalam waktu lebih cepat.

Faulin (2003) mengembangkan metode MIXALG untuk memecahkan memecahkan permasalahan penentuan rute ukuran sedang. Tujuan penelitian ini adalah meminimalkan jarak distribusi sayuran beku dengan mempertimbangkan jadwal kedatangan bahan baku serta keberangkatan produk akhir. Kontribusi penelitian menggabungkan algoritma heuristik ALGACEA dengan algoritma eksak *Linear Programming*, dalam prosedur *Mixed Algorithm*. Prosedur ini hanya mempertimbangkan satu tujuan saja, yaitu meminimalkan jarak sementara tujuan lain seperti meminimalkan jumlah kendaraan tidak dipertimbangkan.

Pridenzis dkk. (2003) mempresentasikan peran *Application Service Provider* (ASP) untuk mengkoordinasikan semua informasi penyelesaian masalah VRP pada *Central Food Market*. Kontribusi penelitian ini adalah menyusun *interface* antara berbagai analisis geografis ASP dengan *tabu list* pada algoritma *tabu search*. ASP kemudian diintegrasikan dengan Java Web sehingga perubahan informasi bisa dilakukan *online*. Sistem ini otomatis menyusun rute yang memenuhi permintaan tanpa melanggar kendala dan mampu meminimalkan biaya kendaraan serta jarak tempuh.

Belenguer dkk. (2005) mengembangkan sistem pengambilan keputusan: RutaRep yang otomatis menentukan rute pengiriman industri daging di Spanyol. Tujuan penelitian ini adalah menyusun model yang mampu meminimalkan jarak tempuh serta meminimalkan keterlambatan. Penelitian ini menggunakan algoritma *Solomon Insertion* sebagai solusi awal serta *Tabu Search* untuk perbaikan solusi. Kontribusi penelitian ini adalah pengembangan sistem pengambilan keputusan yang cepat dan fleksibel. Perangkat lunak ini lebih cocok untuk diterapkan untuk

industri berskala kecil karena mempertimbangkan jarak tempuh yang pendek. Kesimpulan penelitian ini adalah ternyata kepuasan pelanggan meningkat karena keterlambatan bisa berkurang dan penghematan dua sampai tiga kendaraan sebenarnya bisa dilakukan tetapi mengorbankan keterlambatan kendaraan.

Hsu dkk. (2007) mengembangkan model VRPTW produk *perishable* dengan mempertimbangkan *loss* pengiriman serta penggunaan energi. Tujuan penelitian ini adalah tidak hanya meminimalkan biaya tetap untuk mengeluarkan (*dispatching*) kendaraan, tetapi juga biaya transportasi, persediaan, energi, serta penalti. Waktu perjalanan diasumsikan acak mengikuti probabilitas kepadatan lalu lintas serta *time windows* masih bisa dilanggar. Kontribusi penelitian ini adalah mengembangkan model penentuan rute yang mempertimbangkan biaya energi serta persediaan. Teknik penyelesaian model menggunakan algoritma *Nearest Neighbor*. Kesimpulan dari hasil analisis numerik menunjukkan biaya persediaan serta energi signifikan berpengaruh terhadap total biaya pengiriman.

Osvald dan Stirn (2008) mengembangkan algoritma distribusi sayuran segar yang mempertimbangkan degradasi kualitas serta waktu pengiriman yang tidak konstan. Tujuan penelitian ini adalah meminimalkan total biaya distribusi yang meliputi biaya transportasi, biaya perjalanan, biaya penalti karena melanggar *time windows*, serta biaya *loss* kualitas. Kontribusi penelitian ini adalah mempertimbangkan *loss* kualitas sebagai bagian dari keseluruhan biaya distribusi. Penyelesaian model ini menggunakan heuristik *Tabu Search*. Berdasar perhitungan numerik, dapat disimpulkan bahwa *loss* berkontribusi signifikan terhadap biaya distribusi.

2.8.2 Posisi Penelitian

Berdasar studi literatur, penelitian mengenai distribusi produk *perishable* sangat jarang yang mempertimbangkan *perishability*. Kebanyakan penelitian (contohnya: Tarantilis dan Kiranoudis, 2003; Faulin, 2003; Pridenzis dkk., 2003) lebih fokus pada pengembangan algoritma penyelesaian sehingga diharapkan mampu menyelesaikan permasalahan penentuan rute lebih cepat. Hal ini sesuai dengan karakteristik produk *perishable* yang kritis terhadap waktu. Hanya penelitian Hsu dkk. (2007) serta Osvald dan Stirn (2008) yang

mempertimbangkan *perishability*, dimana produk *perishable* berpotensi mengalami *loss* (kuantitas dan kualitas) selama pengiriman.

Menariknya, sedikit penelitian yang mempertimbangkan biaya energi sebagai bagian biaya distribusi produk *perishable*. Hanya penelitian Hsu dkk. (2007) yang mengintegrasikan biaya penyimpanan serta biaya energi sebagai elemen integral biaya distribusi produk *perishable*. Penentuan rute pada penelitian Hsu dkk. (2007) bertujuan meminimalkan total biaya distribusi (biaya *dispatching*, transportasi, persediaan, energi, serta penalti) dengan mempertimbangkan waktu perjalanan stokastik, *time windows*, serta *perishability*. Skema ringkasana penelitian-penelitian sebelumnya digambarkan pada gambar 2.12.

PENELITIAN TERDAHULU: VRP PRODUK <i>PERISHABLE</i>			
Tidak mempertimbangkan <i>perishability</i>		Mempertimbangkan <i>perishability</i>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A food distribution model for famine relief Hwang (1999) </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> Applying MIXALG procedure in a routing problem to optimize food product delivery Faulin (2003) </div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food Osvald dan Stim (2008) </div>	<i>Quality loss</i>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A meta-heuristic algorithm for the efficient distribution of perishable foods Tarantilis & Kiranoudis (2001) </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A business to business fleet management service provider for central food market enterprises Pridenzis dkk. (2003) </div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> Vehicle routing problem with time-windows for perishable food delivery Hsu dkk. (2007) </div>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> Distribution of fresh meat Tarantilis & Kiranoudis (2002) </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> Ruta Rep: a computer package to design dispatching routes in the meat industries Belenguer dkk. (2005) </div>			

Gambar 2. 12 Skema Penelitian Terdahulu

2.5.3 Kesenjangan penelitian

Berdasar posisi penelitian, hanya penelitian Hsu dkk. (2007) yang mengintegrasikan biaya persediaan serta biaya energi sebagai elemen total biaya distribusi. Tetapi, Hsu dkk. (2007) mengasumsikan barang yang dikirimkan

adalah *single item* saja. Asumsi *single item* ini menyebabkan barang yang dikirimkan terbatas hanya mempunyai satu temperatur penyimpanan saja (*single temperatur*). Hsu dkk. (2007) juga menyelesaikan permasalahan distribusi *single item single temperatur* dengan menggunakan metode *Nearest Neighbor* (NN). Pelanggan dengan posisi terdekat dengan ujung rute terakhir akan dilayani lebih dahulu (*dependent distance*). Strategi ini melakukan penentuan rute dahulu, baru melakukan klustering rute kendaraan (*route first, cluster second*).

Kesenjangan yang diisi penelitian ini terletak pada pengembangan model distribusi produk *perishable* multi temperatur. Model ini akan menyelesaikan permasalahan pengiriman berbagai produk *perishable* yang memiliki temperatur penyimpanan masing-masing (multi temperatur). Tujuan model ini adalah meminimalkan total biaya distribusi produk *perishable* yang terdiri atas: biaya tetap penggunaan kendaraan, biaya transportasi, biaya persediaan, biaya energi, serta biaya penalti.

Model ini akan diselesaikan dengan dua strategi, yaitu *dependent distance* dan *dependent temperature*. Strategi *dependent temperature* adalah kebalikan dari strategi *dependent distance*. Produk yang memiliki kesamaan temperatur akan dikelompokkan terlebih dahulu (*cluster first*) terlebih dahulu. Setelah tersusun klaster, baru dilakukan penentuan rute kendaraan setiap klaster (*route second*). Kedua strategi tersebut akan dibandingkan keefektifannya, mana yang lebih optimal meminimalkan biaya.

Metode penyusunan rute penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu *construction heuristics* serta metaheuristik. *Construction heuristics* yang digunakan untuk menyelesaikan model adalah algoritma NN. Selain *construction heuristics* penelitian ini juga menggunakan teknik metaheuristik sebagai teknik penyelesaian. Prosedur metaheuristik yang digunakan pada penelitian ini adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Berdasarkan kesenjangan baik pengembangan model maupun teknik penyelesaian dapat diketahui posisi penelitian. Posisi penelitian terhadap penelitian sebelumnya ditunjukkan Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Posisi Penelitian terhadap Penelitian Terdahulu

Karakteristik model	Hwang (1999)	Tarantilis dan Kiranoudis (2001)	Tarantilis dan Kiranoudis (2002)	Faulin (2003)	Pridenis dkk. (2003)	Belenguer dkk. (2005)	Osvold dan Stim (2008)	Hsu dkk. (2007)	Penelitian ini
Fungsi tujuan									
Minimasi total biaya distribusi	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Variabel keputusan									
jumlah kendaraan	√	√	√	√	√	√	√	√	√
waktu kedatangan	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Delivery option									
Distance dependent	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Temperature dependent	-	-	-	-	-	-	-	-	√
Delivery object									
multi product	-	-	-	-	-	-	-	-	√
Parameter									
jarak	√	√	√	√	√	√	√	√	√
multi temperature	-	-	-	-	-	-	-	-	√
shelf life	-	-	-	-	-	-	√	√	√
time windows	-	-	-	-	-	√	√	√	√
Parameter lainnya									
banyaknya depot	multi	single	multi	single	single	single	single	single	single
lama perjalanan	deterministik	deterministik	deterministik	deterministik	deterministik	deterministik	stokastik	stokastik	stokastik
kapasitas kendaraan	homogen	heterogen	homogen	homogen	homogen	homogen	homogen	homogen	homogen
Teknik penyelesaian	genetic algorithm & hybrid dynamic	threshold based accepting	threshold based accepting	mixed algorithm	tabu search	Solomon insertion & tabu search	tabu search	nearest neighbor	nearest neighbor & particle swarm optimization
Perbaikan rute	-	-	-	Linear Program	-	-	-	-	-

BAB 3

PENGEMBANGAN MODEL

3.1 Dasar Pengembangan Model

Model dasar yang dikembangkan penelitian ini adalah model Hsu dkk. (2007) mengenai distribusi produk *perishable* SVRPSTW (*Stochastics VRP Soft Time Windows*). Hsu dkk. (2007) menyusun model distribusi produk *perishable* dengan melibatkan lima elemen biaya sebagai bagian pengiriman produk *perishable*. Kelima elemen biaya tersebut adalah biaya tetap pengadaan kendaraan, biaya transportasi, biaya persediaan, biaya energi, serta biaya penalti karena melanggar *time windows*. Model ini mengasumsikan waktu perjalanan *random* (mempertimbangkan kemungkinan kepadatan lalu lintas), *soft time windows*, serta homogenitas kapasitas kendaraan (kapasitas tiap kendaraan sama). Unsur *perishability* sebagai bagian proses distribusi produk *perishable* juga turut dipertimbangkan dalam model ini. Selain itu, model dasar ini juga mengasumsikan bahwa produk *perishable* yang diangkut untuk didistribusikan hanya melibatkan satu jenis temperatur saja (*single* temperatur). *Setting* temperatur *cold storage* diatur sesuai standar temperatur penyimpanan temperatur tersebut.

Hsu dkk. (2007) melakukan penyusunan rute berdasar preferensi jarak tempuh yang mampu meminimalkan total biaya distribusi. Strategi ini melakukan penentuan rute terlebih dahulu berdasar jarak tempuh dengan mempertimbangkan kendala kapasitas kendaraan serta *time windows*. Apabila kandidat pelanggan terdekat tidak memenuhi kendala, maka akan dipilih kandidat pelanggan lain yang memenuhi. Apabila kandidat pelanggan yang tersisa tidak juga mampu memenuhi kendala, maka dibentuk rute baru yang diawali dari sentral depot. Penyusunan rute dengan melakukan penentuan rute terlebih dahulu baru melakukan pengklasteran (*route first, cluster second*) selanjutnya akan disebut sebagai strategi *dependent distance*.

Singkatnya, Hsu dkk. (2007) menyusun suatu model distribusi produk *perishable single* temperatur menggunakan strategi *dependent distance (route first, cluster second)*. Model ini kemudian diselesaikan dengan algoritma heuristik *Nearest Neighbor* (NN) untuk penyusunan rute kendaraan. Algoritma NN akan menyisipkan pelanggan paling dekat dari ujung (*edge node*), masuk ke dalam rute satu persatu. Apabila *node* kandidat tersebut tidak memenuhi kendala kapasitas dan *time windows* maka akan digantikan dengan *node* terdekat lainnya.

3.2 Deskripsi Pengembangan Model

Pengembangan model penelitian ini berangkat dari perspektif apabila distribusi barang melibatkan berbagai kebutuhan temperatur penyimpanan (multi temperatur) karena mengangkut berbagai item (multi *item*). Pengembangan penelitian ini salah satunya dimotivasi kondisi nyata sistem distribusi ritel terbesar di Jepang, *Seven Eleven* (SE). SE menerapkan strategi pengiriman yang bersifat unik, berbeda dengan ritel kebanyakan. Pengiriman berbagai produk dari sentral depot akan dikelompokkan dalam suatu kendaraan *cold storage* dengan satu temperatur sebelum diberangkatkan ke pelanggan/ritel. Pengelompokan ini membuat satu ritel seringkali dilewati beberapa kendaraan, dimana masing-masing kendaraan membawa muatan dengan temperatur penyimpanan yang berbeda pula.

Berdasar kondisi nyata tersebut, menarik apabila dilakukan pengembangan penentuan rute pengiriman produk *perishable* multi temperatur. Penentuan rute permasalahan ini dapat dideskripsikan sebagai berikut:

Sentral depot melayani banyak titik sebagai pelanggan dengan permintaan deterministik beragam. Sejumlah kendaraan *cold storage* kapasitas sama digunakan untuk mendistribusikan produk *perishable*. Waktu perjalanan mempertimbangkan kecepatan kendaraan serta kepadatan lalu lintas. Kepadatan lalu lintas diasumsikan *random*, dimana kecepatan kendaraan semakin lambat apabila terdapat kepadatan lalu lintas, demikian pula sebaliknya. Pengiriman juga dibatasi waktu operasional (*time windows*) masing-masing pelanggan serta sentral depot.

Apabila kendaraan tiba lebih cepat dari *time windows* awal pelayanan, maka kendaraan diasumsikan menunggu sampai waktu operasional buka. Pengiriman masih bisa dilakukan walaupun *time windows* akhir pelayanan dilanggar, selama masih dalam rentang *acceptable time windows*. Keterlambatan *soft time windows* ini mengharuskan distributor membayar penalti.

Model matematis yang dikembangkan dari permasalahan ini *single objective*, meminimalkan total biaya distribusi. Total biaya distribusi tersebut sudah mempertimbangkan biaya tetap penggunaan kendaraan, transportasi, persediaan, energi, serta penalti. Terdapat dua biaya *trade off* pada penelitian ini, biaya transportasi berdasar jarak yang ditempuh kendaraan serta biaya energi berdasar *setting* temperatur *cold storage*. Kedua *trade off* ini akan diterapkan pada dua strategi yang berbeda, strategi *dependent distance* dan strategi *dependent temperature*. Strategi *dependent distance* memperhatikan preferensi jarak untuk pemilihan pelanggan yang akan dilayani terlebih dahulu. Strategi *dependent distance* juga dilakukan oleh Hsu dkk. (2007), dimana penentuan rute dilakukan berdasar jarak.

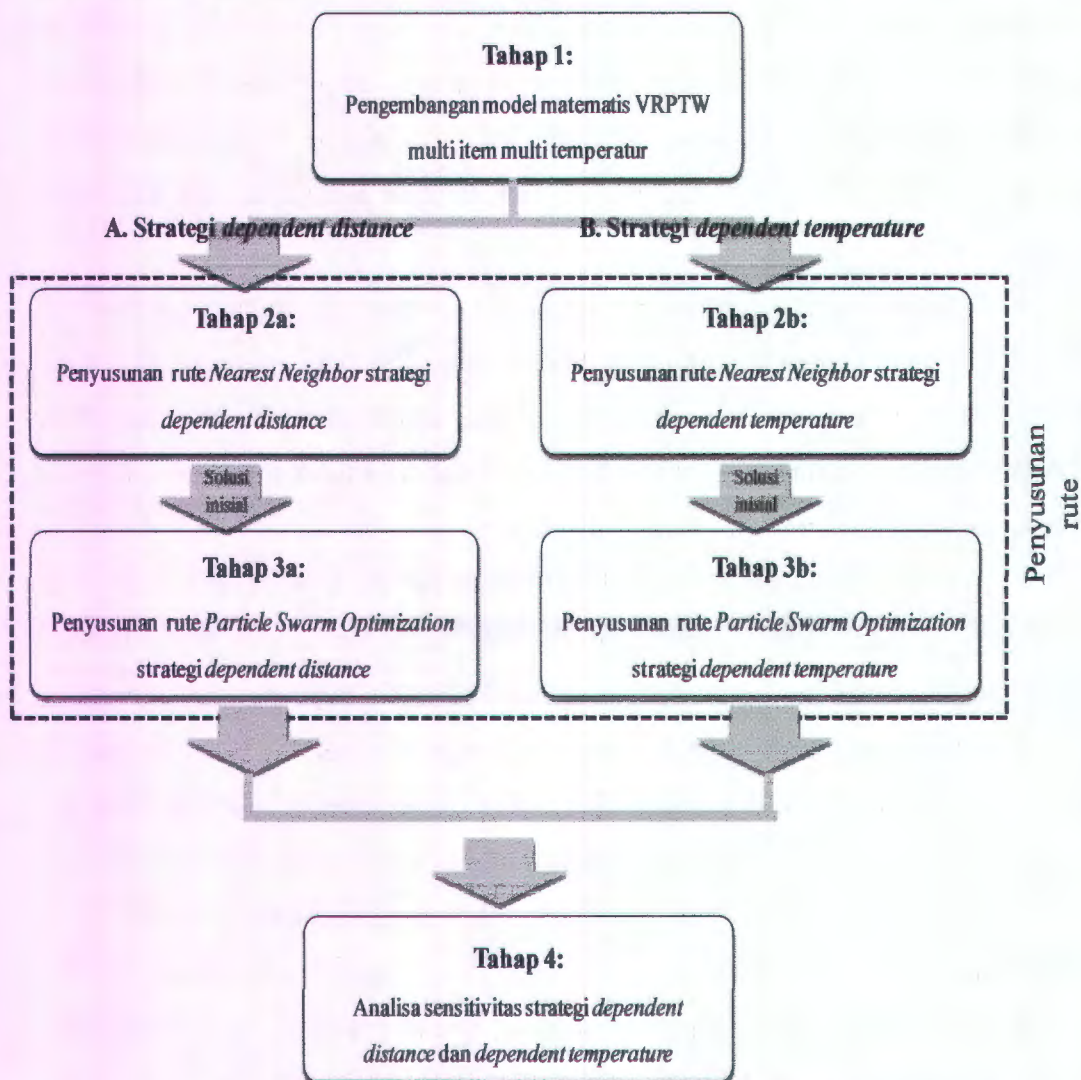
Berbeda dengan strategi *dependent distance*, strategi *dependent temperature* mengelompokkan produk-produk yang akan dikirim masuk ke dalam kluster berdasar temperatur penyimpanan yang dibutuhkan. Setelah itu akan dilakukan penentuan rute pengiriman berdasar jarak terpendek atau biaya terkecil pada setiap kluster (*cluster first, route second*).

Tahap pengembangan model penelitian ini dimulai dengan penyusunan model matematis distribusi produk *perishable* multi temperatur. Penyelesaian model untuk penyusunan rute dilakukan untuk dua strategi, strategi *dependent distance* serta strategi *dependent temperature*. Pengembangan model ini kemudian diselesaikan bertahap menggunakan dua teknik penyelesaian heuristik, *Nearest Neighbor* (NN) serta metaheuristik *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Hasil penyelesaian NN akan diambil sebagai partikel inisial PSO, sehingga tidak semua partikel *digenerate* secara acak. Hal ini diharapkan mampu menghasilkan solusi yang efisien karena penggunaan populasi *random* bisa dan bisa juga tidak berisi kandidat solusi yang baik (Marinakakis, 2010). Penggunaan algoritma lain sebagai populasi inisial PSO dilakukan oleh Marinakis (2010).

Populasi inisial yang digunakan sebagai input PSO menggunakan algoritma *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP). Penelitian ini akan menggunakan solusi algoritma NN sebagai solusi inisial PSO agar diperoleh solusi yang efisien tetapi tidak meninggalkan kualitas penyelesaian. Kedua algoritma ini akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penentuan rute *dependent distance* maupun *dependent temperature*.

Tahap terakhir penelitian ini adalah analisis sensitivitas parameter jarak dan temperatur. Uji ini dilakukan untuk mengetahui sensitivitas perubahan parameter jarak dan temperatur terhadap total biaya distribusi. Uraian pengembangan model penelitian ini disusun dalam aliran pengembangan model seperti ditunjukkan Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Tahap Pengembangan Model dan Algoritma

3.3 Formulasi Pengembangan Model

Struktur distribusi yang akan dibangun dalam model ini adalah dua eselon. Pemasok atau distributor dengan satu fasilitas yang akan mengirimkan produknya ke banyak pelanggan menggunakan kendaraan *cold storage* l . VRP model ini bisa didefinisikan pada grafik $G = (I_0, S)$, dimana $I_0 = \{0, \dots, i, \dots, n\}$ adalah himpunan *vertex* dan S adalah himpunan panah (*arc*). Himpunan *vertex* I_0 terdiri atas *subset* $I = \{1, \dots, i, \dots, n\}$ yang berarti ritel dan *vertex* 0 yang berarti sentral depot (Rusdiansyah dan Tsao, 2005). Setiap panah $(i, j) \in S$ berhubungan dengan jarak non negatif antara *vertex* i dengan *vertex* j , c_{ij} , $i, j \in I_0$. Matrik jarak diasumsikan mengikuti *triangle inequality*, $c_{ij} \leq c_{ir} + c_{rj}$ untuk $\forall i, j, r \in I_0$. Jarak perpindahan c_{ij} diperoleh dengan menghitung jarak Euclidean antar titik sehingga $c_{ij} = c_{ji}$ ($i \neq j$).

Setiap panah $(i, j) \in S$ juga berhubungan dengan waktu perjalanan non negatif t_{ij} , $i, j \in I_0$. Himpunan kendaraan v , dinotasikan sebagai $L = \{1, \dots, l, \dots, v\}$ dengan kapasitas sama, K , tersedia di depot untuk melayani permintaan ritel. Setiap ritel $i \in I$ berhubungan dengan permintaan non negatif, d_i , dimana tidak ada permintaan untuk sentral depot, $d_0 = 0$. Kendaraan *cold storage* akan mengangkat produk *perishable*, s , dinotasikan sebagai $M = \{1, \dots, m, \dots, s\}$. VRP sendiri harus memenuhi persyaratan sebagai berikut: (a) ritel hanya dikunjungi satu kali dengan satu kendaraan (*split delivery* tidak berlaku), (b) Pengiriman selalu berawal dan berakhir di sentral depot, (c) setiap kendaraan hanya melayani satu ritel, serta (d) muatan kendaraan tidak melebihi kapasitas kendaraan, $\sum_{i=1}^n d_i \leq K$.

Setiap ritel/pelanggan $i \in I_0$ berhubungan dengan *time windows* $[r_i, s_i]$, dimana r_i adalah waktu mulai pelayanan serta s_i adalah waktu akhir pelayanan. Pelayanan setiap ritel $i \in I_0$ harus dimulai dan diakhiri sesuai *time windows*. *Time windows* yang berlaku pada penelitian ini adalah *soft time windows*. Kedatangan kendaraan sebelum *time windows* awal ritel $i \in I$ diabaikan dari penalti dan diasumsikan menunggu hingga *time windows* awal ritel $i \in I$. Sementara kedatangan setelah *time windows* akhir ritel $i \in I$, selama tidak melanggar *time windows* penalti ritel $i \in I, S_i$, masih diterima dengan konsekuensi penalti.

Penelitian ini juga mengasumsikan muatan barang bersifat diskrit, bukan kontinu. Asumsi ini akan mengabaikan adanya muatan ekstra untuk mengantisipasi *loss* seperti model Hsu dkk. (2007). Akan tetapi, penelitian ini tetap memperhitungkan probabilitas *loss* sebagai bagian dari pengiriman produk *perishable*. *Loss* penelitian ini ditujukan sebagai biaya resiko untuk mengantisipasi adanya penyusutan yang ditanggung distributor.

Tujuan pemodelan ini adalah meminimalkan total biaya distribusi yaitu: biaya tetap penggunaan kendaraan, biaya transportasi, biaya persediaan, biaya energi, serta biaya penalti keterlambatan. Berikut akan dijelaskan himpunan, indeks, parameter, serta variabel dalam penelitian ini.

3.3.1 Himpunan Indeks Model

Himpunan indeks model penelitian ini adalah sebagai berikut:

- I_0 Himpunan ritel / pelanggan = $\{0, \dots, i, \dots, n\}$;
dimana $I = \{1, \dots, i, \dots, n\}$ dan $\{0\}$ = sentral depot
- L Himpunan kendaraan = $\{1, \dots, l, \dots, v\}$
- M Himpunan produk *perishable* = $\{1, \dots, m, \dots, s\}$.

3.3.2 Parameter Model

Parameter model penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter unit biaya

- f Biaya tetap penggunaan kendaraan yang digunakan per unit
- P Biaya resiko terjadi *loss* per unit *item*
- R Biaya transportasi kendaraan l per unit jarak
- E Biaya energi per unit kalori
- U Biaya penalti keterlambatan per unit waktu

2. Parameter aspek jarak

- a_i Koordinat- x posisi pelanggan i ; $i \in I_0$
- b_i Koordinat- y posisi pelanggan i ; $i \in I_0$
- c_{ij} Jarak pelanggan i ke pelanggan j ; $i, j \in I_0$. Jarak yang digunakan adalah Jarak Euclidean, dimana $c_{ij} = \sqrt{(a_i - a_j)^2 + (b_i - b_j)^2}$

3. Parameter aspek temperatur

- T_m Temperatur penyimpanan produk m ; $m \in M$

- A Luasan permukaan *cold storage* (m^2)
 s Ketebalan permukaan *cold storage* (m)
 k koefisien insulating material; $k = 0.002$
 C spesifikasi panas muatan; $C = 0.77$
 Cl panas laten; $Cl = 60$
 e Temperatur eksternal *cold storage*; umumnya diasumsikan temperatur eksternal daerah tropis adalah 32°C
 T_0 Temperatur netral (0°C)

4. Parameter *time windows*

- r_i Waktu awal pelayanan pada *time windows* pelanggan i ; $i \in I$
 s_i Waktu akhir pelayanan *time windows* pelanggan i ; $i \in I$
 S_i Waktu akhir pelayanan yang masih bisa diterima pelanggan i dengan konsekuensi penalti; $i \in I$

5. Parameter aspek waktu

- u_i Durasi pelayanan di pelanggan i ; $i \in I$
 \bar{t}_{ij}^l Lamanya perjalanan yang diharapkan (*expected travel time*) pelanggan i ke j ; $i, j \in I_0$
 β_0 Invers kecepatan kendaraan tanpa kepadatan lalu lintas
 β_1, β_2 Invers kecepatan kendaraan dengan kepadatan lalu lintas, dimana $\beta_1 \leq \beta_2$ (pada model stokastik)
 p Probabilitas terjadi kepadatan lalu lintas (pada model stokastik)

6. Parameter permintaan

- d_i Permintaan pelanggan i yang harus dipenuhi; $i \in I$
 K Kapasitas kendaraan

7. Parameter *perishability*

- h_m *Shelf life* produk m ; $m \in M$
 $F(-)$ Fungsi kumulatif probabilitas *loss* $f(y)$, mengikuti *shelf life* produk dan durasi perjalanan pelanggan i dari sentral depot
 $G(d_i)$ Probabilitas *loss* karena membuka *cold storage*, mengikuti *shelf life* produk dan durasi pelayanan



3.3.3 Variabel Model

Variabel pemodelan ini adalah sebagai berikut:

t_{lm} Setting temperatur kendaraan *cold storage* $l \in L$ yang membawa item $m \in M$

y_{0lm} Waktu kembali ke sentral depot kendaraan *cold storage* $l \in L$ yang membawa item $m \in M$

y_{ilm} Waktu kedatangan ke pelanggan i ; $i \in I$, kendaraan *cold storage* $l \in L$ yang membawa item $m \in M$

w_{lm} Muatan yang dibawa kendaraan *cold storage* $l \in L$ yang membawa item $m \in M$

l jumlah kendaraan yang digunakan

q_{ijlm} $\left\{ \begin{array}{l} 1; \text{ jika rute } (i, j) \text{ dilewati kendaraan } l \text{ temperatur } g \text{ memuat item } m \\ 0; \text{ jika tidak} \end{array} \right.$

z_{ilm} $\left\{ \begin{array}{l} 1; \text{ jika kendaraan } l \text{ memuat item } m \text{ melayani pelanggan } i \\ 0; \text{ jika tidak} \end{array} \right.$

3.4 Tahap 1: Pengembangan Model Matematis

Pada tahap ini akan dikembangkan suatu model distribusi produk *perishable* multi temperatur. Penambahan kondisi multi temperatur menyebabkan fungsi tujuan dan kendala perlu disesuaikan dalam model penelitian ini. Modifikasi fungsi tujuan dan kendala model penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.4.1 Modifikasi Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan model ini adalah meminimalkan total biaya distribusi dengan mempertimbangkan *perishability*. Formulasi fungsi tujuan total distribusi ditunjukkan oleh persamaan (3.1). Persamaan fungsi tujuan (3.1) merupakan modifikasi persamaan fungsi tujuan (2.4) dengan menambahkan kondisi multi temperatur. Elemen-elemen biaya distribusi dalam fungsi tujuan ini adalah sebagai berikut:

1. Biaya tetap penggunaan kendaraan (*dispatching*)

Biaya tetap penggunaan kendaraan berhubungan dengan banyaknya kendaraan yang dipakai serta biaya tetap penggunaan kendaraan per unit. Penelitian ini mengasumsikan biaya tetap penggunaan kendaraan adalah harga yang harus dibayarkan apabila harus menyewa kendaraan.

2. Biaya transportasi

Biaya transportasi adalah biaya variabel yang berhubungan dengan jarak antar pelanggan serta biaya transportasi per satuan jarak.

3. Biaya persediaan

Biaya persediaan adalah biaya resiko *loss* membawa persediaan selama perjalanan yang ditanggung distributor. *Loss* berhubungan dengan fungsi kumulatif probabilitas *loss* pada waktu y serta probabilitas *loss* karena pembukaan *cold storage*. Fungsi kumulatif probabilitas *loss* adalah perbandingan antara durasi perjalanan dengan *shelf life* produk. Sementara probabilitas *loss* karena pembukaan *cold storage* berhubungan dengan perbandingan durasi pelayanan dengan *shelf life* produk.

4. Biaya energi

Biaya energi berhubungan dengan total biaya yang diperlukan kompresor mendinginkan ruangan, seperti persamaan (2.3). Biaya ini selain berhubungan dengan biaya energi per kalori juga berhubungan dengan luasan dan ketebalan permukaan, temperatur yang diinginkan, serta muatan kendaraan

5. Biaya penalti keterlambatan

Biaya penalti berhubungan dengan selisih antara waktu kedatangan, y_i , dengan waktu akhir *time windows*, s_i , (dimana $s_i \leq y_i \leq S_i$) serta biaya penalti keterlambatan per unit waktu

Model matematis untuk meminimalkan total biaya distribusi penelitian ini adalah sebagai berikut:

Meminimalkan biaya distribusi = biaya penggunaan kendaraan + biaya transportasi + biaya persediaan + biaya energi + biaya penalti

Persamaan matematis total biaya distribusi produk *perishable* m yang diangkut menggunakan kendaraan *cold storage* l dengan setting temperatur t adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \min \sum_{\forall i \in L} f + \sum_{\substack{\forall i \in I_0 \\ l \neq j}} \sum_{\substack{\forall j \in I_0 \\ j \neq l}} \sum_{\forall m \in M} \sum_{\forall l \in L} R c_{ij} q_{ijlm} + \sum_{\forall i \in I_0} \sum_{\forall j \in I} \sum_{\forall m \in M} \sum_{\forall l \in L} P z_{jlm} d_i \\
 + \sum_{\forall i \in I_0} \sum_{\forall j \in I} \sum_{\forall m \in M} \sum_{\forall l \in L} E(y_{ilm} - y_{(l-1)lm}) \left(\frac{1}{S} kA \right) \\
 + \left(\left(\frac{1}{24} w_{lm} C(e - T_0) + (r_{lm} Cl) + (r_{lm} C(T_0 - t_{lm})) \right) \right) \\
 + \sum_{\forall i \in I_0} U q_i \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

3.4.2 Modifikasi Fungsi Kendala

Model multi temperatur pada sistem distribusi produk *perishable* harus memenuhi kendala-kendala model. Kendala-kendala ini merupakan modifikasi berdasar model Hsu dkk (2007) beserta penambahan kendala baru. Ppenjelasan kendala-kendala tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kendala yang menyatakan, satu kendaraan mengunjungi pelanggan i satu kali..

$$\sum_{\forall i \in I_0} \sum_{\forall l \in L} \sum_{\forall m \in M} z_{ilm} = \begin{cases} l; & \forall i \in I_0 \\ 1; & \forall i \in I \end{cases} \quad (3.2)$$

2. Kendala yang menyatakan, rute (i, j) hanya dilewati satu kendaraan.

$$\sum_{\forall i \in I_0} \sum_{\forall j \in I_0} \sum_{\forall l \in L} \sum_{\forall m \in M} q_{ijlm} = z_{jlm} ; \forall i \in I_0, \forall j \in I_0, \forall l \in L, \forall m \in M \quad (3.3)$$

3. Kendala *time windows*, menyatakan bahwa waktu kedatangan pelanggan $(i+1)$ kendaraan l item p temperatur g adalah penjumlahan dari waktu kedatangan di pelanggan i , lama kunjungan di pelanggan i , dan waktu perjalanan yang diharapkan dari i menuju $(i+1)$.

$$y_{(i+1)} \geq y_i + u_i + \bar{t}_{i(i+1)} - (1 - x_{i(i+1)}); \forall i \in I, \forall l \in L, \forall m \in M \quad (3.4)$$

4. Kendala *time windows*, menyatakan bahwa waktu kedatangan pelanggan i adalah penjumlahan dari waktu keberangkatan kendaraan l item p temperatur g dari sentral depot dan waktu perjalanan yang diharapkan dari sentral depot menuju pelanggan i .

$$y_i \geq y_{0lm} + \bar{t}_{oilm} - (1 - x_{oilm})M; \forall i \in I, \forall l \in L, \forall m \in M \quad (3.5)$$

5. Kendala *time windows*, menyatakan bahwa waktu kembali kendaraan l item p temperatur g ke sentral depot adalah penjumlahan dari waktu kedatangan pelanggan $(i + 1)$, lamanya pelayanan pelanggan $(i + 1)$, serta waktu perjalanan yang diharapkan pelanggan $(i + 1)$.

$$y_{0lm} \geq y_{(i+1)} + u_{(i+1)} + \bar{t}_{(i+1)0lm} - (1 - x_{(i+1)0lm})M, \forall i \in I \quad (3.6)$$

6. Kendala yang menyatakan batasan waktu mengirimkan barang ke pelanggan i . Rentang waktu kedatangan pelanggan i berada di antara waktu pelayanan terawal dan waktu pelayanan terakhir dengan penalti pelanggan i .

$$r_i \leq y_i \leq S_i, \quad \forall i \in I \quad (3.7)$$

7. Kendala yang menyatakan bahwa jumlah muatan yang dibawa kendaraan l temperatur g tidak melebihi kapasitas kendaraan l

$$w_{lm} = \sum_{\forall i \in I} \sum_{\forall l \in L} \sum_{\forall m \in M} z_{ilm} \leq K; \quad \forall i \in I; \forall l \in L, \forall m \in M \quad (3.8)$$

8. Kendala yang menyatakan jumlah *loss* ketika melayani pelanggan i dengan kendaraan l item p temperatur g . Kuantitas *loss* ketika berada di pelanggan i adalah penjumlahan fungsi kumulatif probabilitas *loss* (berhubungan dengan *shelf life* serta durasi perjalanan dari sentral depot ke pelanggan i) serta probabilitas *loss* membuka *cold storage* (berhubungan dengan *shelf life* dan durasi pelayanan pelanggan i)

$$x_{oilm} = x_{oilm} r_{lm} x[F(y_{ilm} - y_{jlm}) + G(d_i)], \forall i \in I; \forall l \in L, \forall m \in M \quad (3.9)$$

9. Kendala yang menyatakan temperatur *cold storage* kendaraan l untuk pelanggan i adalah temperatur minimum kumpulan item p kendaraan l untuk pelanggan i .

$$t_{ilm} = \min\{0, (t_{ilm})\}; \forall i \in I; \forall l \in L, \forall m \in M \quad (3.10)$$

10. Kendala yang menyatakan temperatur kendaraan l yang memuat item p untuk pelanggan i adalah sama sepanjang rute perjalanan.

$$t_{ilm} = t_{(i+1)lm}; \forall i \in I; \forall l \in L, \forall m \in M \quad (3.11)$$

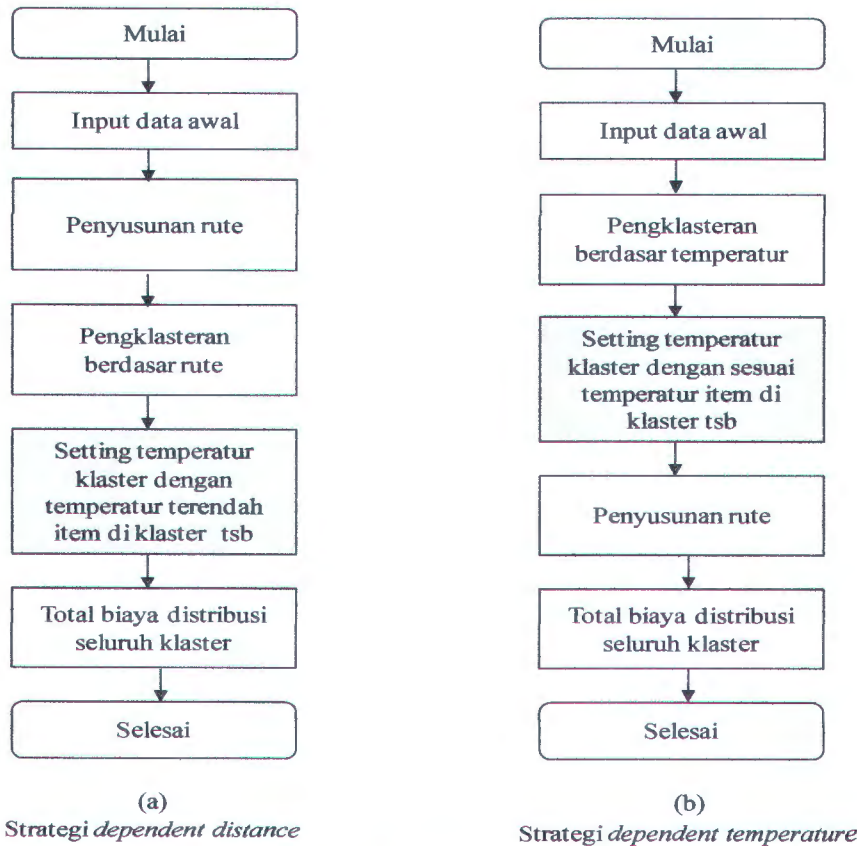
11. Kendala yang menyatakan waktu keterlambatan penalti adalah waktu kedatangan dikurangi dengan waktu akhir *time windows*.

$$q_i = \max\{0, (y_i - s_i)\}; \forall i \in I \quad (3.12)$$

11. Kendala biner untuk variabel q_{ijlm} dan z_{ilm}

$$q_{ijlm} \in \{0,1\}, z_{ilm} \in \{0,1\} \quad (3.13)$$

3.5 Penyelesaian Model Strategi *Dependent Distance* dan *Dependent Temperature* (Tahap A dan B)



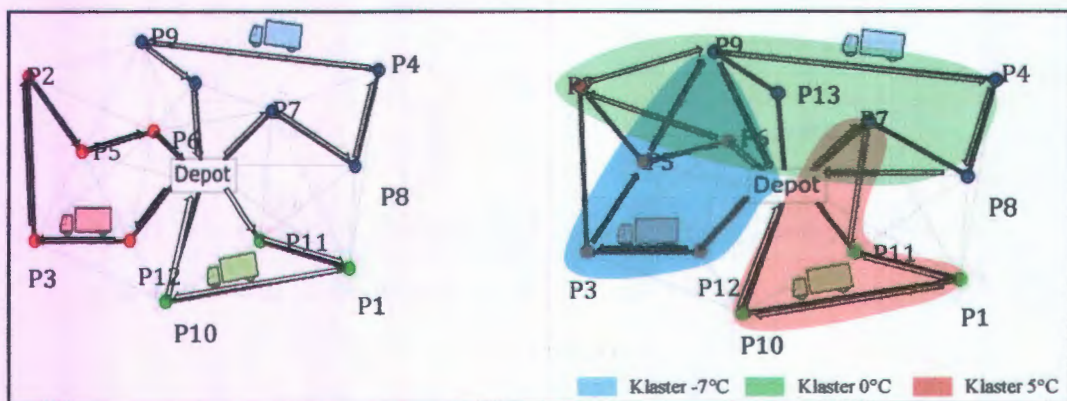
Gambar 3. 2 Digram Alir Strategi *Dependent Distance* dan *Dependent Temperature*

Pada permasalahan pengiriman produk *perishable* multi temperatur, selain strategi *dependent distance*, distributor juga bisa mengimplementasikan strategi *dependent temperature*. Perbedaan diagram alir antara strategi *dependent distance* dengan *dependent temperature* ditunjukkan pada Gambar 3.2

Strategi *dependent distance* melakukan penentuan rute terlebih dahulu sebelum melakukan pengklasteran rute kendaraan (*route first, cluster second*). Hal ini menyebabkan dalam satu klaster rute kendaraan, bisa terdiri dari berbagai *item perishable* dengan kebutuhan temperatur penyimpanan yang berbeda-beda. Perlu diingat, pemeliharaan stabilitas temperatur sangat dibutuhkan untuk mempertahankan kualitas produk *perishable*. Alasan inilah yang menyebabkan

temperatur kendaraan *cold storage* akan disetting sesuai kebutuhan temperatur penyimpanan paling rendah pada kendaraan *l* produk *perishable s*.

Sebaliknya, strategi *dependent temperature* mengelompokkan *item* yang memiliki kesamaan kebutuhan temperatur penyimpanan dalam suatu klaster rute kendaraan. Selanjutnya setelah terbentuk klaster, dimana setiap klaster memiliki kesamaan kebutuhan temperatur penyimpanan, tiap-tiap klaster baru ditentukan rute pengirimannya (*cluster first, route second*). Strategi *dependent temperature* dilakukan berdasar preferensi kebutuhan temperatur penyimpanan, bukan berdasar jarak tempuh. Hal ini menyebabkan *setting* temperatur kendaraan *cold storage* bukan lagi berdasar kebutuhan temperatur penyimpanan terendah kendaraan *l* produk *s*. *Setting* temperatur *cold storage* disesuaikan dengan kebutuhan temperatur penyimpanan klaster tersebut. Ilustrasi *strategi dependent distance* vs strategi *dependent temperature* ditunjukkan Gambar 3.3.

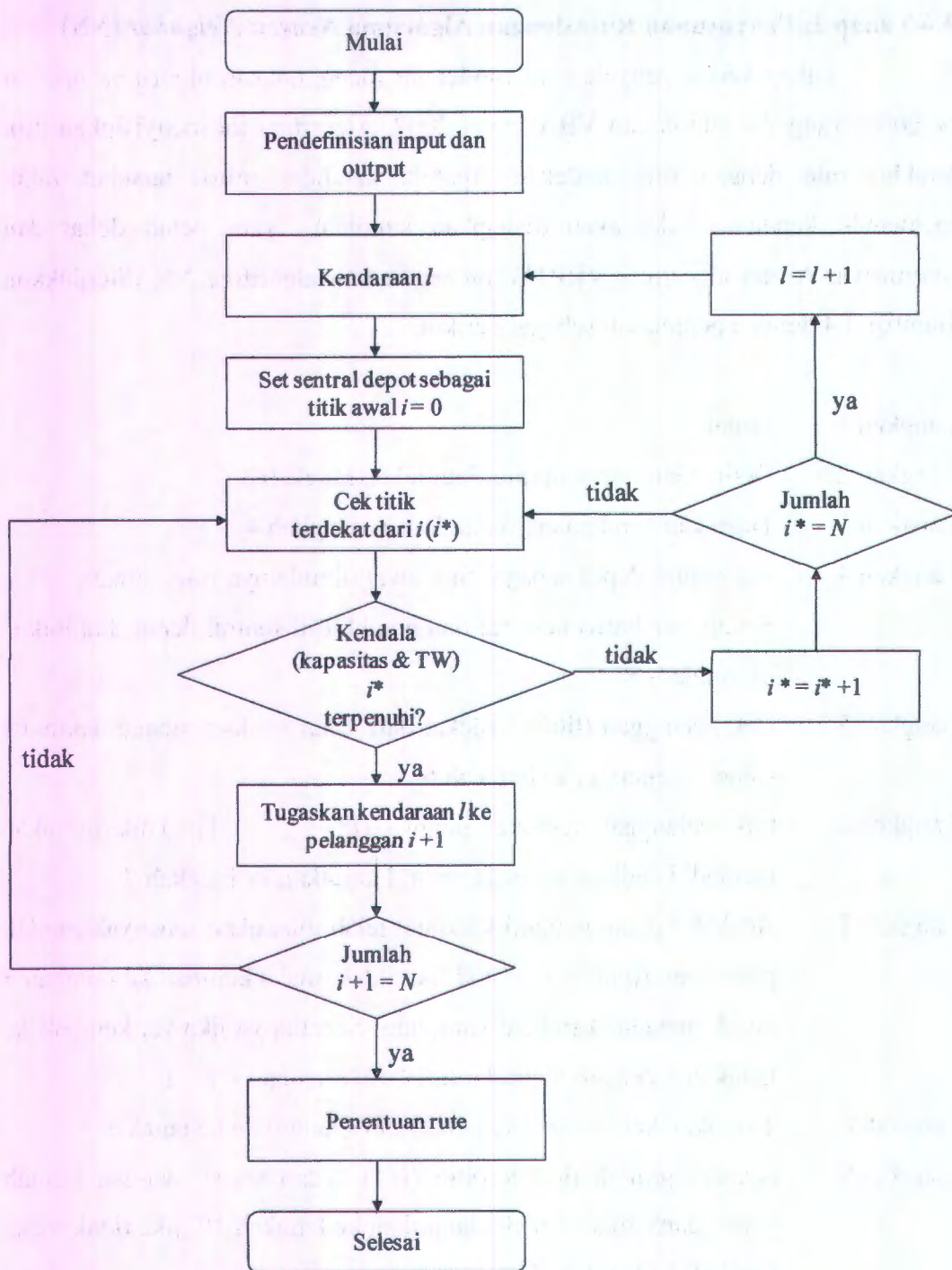


Gambar 3. 3 Ilustrasi *Strategi Dependent Distance* Vs *Dependent Temperature*

3.6 Tahap 2: Penyusunan Rute dengan Algoritma *Nearest Neighbor* (NN)

Tahap kedua penyelesaian model ini menggunakan algoritma *nearest neighbor* yang disusun dalam VBA Excel 2007. Algoritma ini menyisipkan titik terakhir rute dengan titik terdekat. Apabila kandidat solusi tersebut tidak memenuhi kendala, maka akan disisipkan kandidat yang lebih dekat dan seterusnya. Aliran algoritma VRPTW menggunakan algoritma NN ditunjukkan Gambar 3.4 dengan penjelasan sebagai berikut:

- Langkah 1 : Mulai
- Langkah 2 : Definisikan input output. Lanjutkan langkah 3
- Langkah 3 : Tugaskan kendaraan l , lanjutkan ke langkah 4
- Langkah 4 : Set sentral depot sebagai titik awal dimulainya rute, dimana $i = 0$. Setiap rute harus berawal dan berakhir di sentral depot. Lanjutkan ke langkah 5
- Langkah 5 : Cek pelanggan (titik) terdekat dari i dan jadikan sebagai kandidat solusi. Lanjutkan ke langkah 6
- Langkah 6 : Cek pelanggan terdekat lainnya ($i^* = i^* + 1$). Titik ini akan menjadi kandidat solusi lainnya. Lanjutkan ke langkah 7
- Langkah 7 : Apakah iterasi menguji kandidat telah dilakukan sebanyak jumlah pelanggan (jumlah $i^* = N$)? Jika tidak, maka kembali ke langkah 5 untuk menguji kandidat yang lain. Sebaliknya jika ya, kembali ke langkah 3 dengan memulai rute baru dimana $l = l + 1$
- Langkah 8 : Tugaskan kendaraan l ke pelanggan i , lanjutkan ke langkah 9
- Langkah 9 : Apakah jumlah titik terpilih ($i+1$) sudah sesuai dengan jumlah pelanggan? Jika ya maka lanjutkan ke langkah 10, jika tidak maka kembali ke langkah 5
- Langkah 10 : Selesai



Gambar 3. 4 Aliran Algoritma *Nearest Neighbor* VRPTW

3.7 Tahap 3: Penyusunan Rute dengan Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Pendefinisian hubungan antara posisi partikel dengan solusi permasalahan perlu dijelaskan terlebih dahulu. PSO diawali dengan sejumlah inisialisasi N partikel yang berhubungan dengan rute kendaraan. Partikel ini akan terus bergerak mencari rute yang lebih optimal dari pergerakan sebelumnya. Ketika rute yang lebih optimal ditemukan, maka posisi ini akan disimpan dalam memori. Segala informasi terkait posisi dan kecepatan partikel juga akan dimutakhirkan pada iterasi selanjutnya.

Prosedur algoritma PSO yang dijelaskan pada Bab 2 adalah PSO kontinu dimana solusi yang dicari bersifat kontinyu. VRPTW menggunakan variabel diskrit biner $[0, 1]$ sehingga PSO kontinu perlu dimodifikasi menjadi PSO diskrit. Partikel bergerak pada ruang terbatas antara nol dan satu setiap dimensinya pada PSO diskrit. Prosedur VRPTW PSO diskrit ini berdasar pengurutan bilangan *random*, diambil dari Santosa, Budi dan Willy, Paul. (2011). Langkah-langkah penyelesaian VRP menggunakan PSO adalah sebagai berikut:

1. Input data awal

Pada langkah ini data awal dimasukkan dalam model. Data awal ini meliputi informasi pelanggan serta sentral depot, yaitu: koordinat kartesian lokasi, permintaan, temperatur penyimpanan, *time windows*, waktu pelayanan, *shelf life*, kepadatan lalu lintas (1 jika ya, 0 sebaliknya), kapasitas tiap kendaraan, konstanta *time windows* penalti, konstanta *service time*, probabilitas kepadatan, invers kecepatan A (β_0), invers kecepatan A' bila tidak mengalami kepadatan lalu lintas (β_1), invers kecepatan A' bila mengalami kepadatan lalu lintas (β_2), biaya tetap penggunaan kendaraan, biaya resiko, biaya transport serta biaya penalti. Pelanggan 0 merupakan sentral depot sebagai pusat distribusi. Input data awal ditunjukkan Gambar 3.5.

2. Menentukan matriks jarak serta matriks waktu tempuh *link* (i, j)

Jarak dua titik x_i dan y_i dihitung menggunakan jarak Euclidean. Sementara jarak tempuh dihitung menggunakan persamaan (2.13). Matriks jarak dan matriks jarak tempuh ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Pelanggan	Koordinat x_i	Koordinat y_i	Permintaan	Temperatur	Time windows			Service time	Purchasing cost	Shelf life	Kepadatan
					waktu awal	waktu akhir	waktu akhir penalti				
0	0	0	0		200						
1	16.47	64.44	30	5	240	750	870	150	5	24	0
2	80.09	12.54	40	-5	240	650	770	200	3	24	0
3	42.39	93.37	60	-10	270	700	820	300	4	36	0
4	25.23	44.24	50	3	270	850	970	250	7	48	1

Kapasitas tiap kendaraan	100
Konstanta <i>time windows</i> penalti	120
Konstanta <i>service time</i>	0.05
Probabilitas kepadatan	0.7
β_0	0.025
β_1	0.03
β_2	0.025
Biaya <i>dispatch</i> per kendaraan	5
Biaya transport per satuan jarak	25
Biaya energi per °C per waktu	10
Biaya penalti per waktu	3

Gambar 3. 5 Input Data Awal

Tabel 3. 1 Matriks Jarak serta Waktu Tempuh

Matriks jarak						Matriks waktu tempuh					
	0	1	2	3	4		0	1	2	3	4
0	0.00	66.51	81.07	102.54	50.93	0	0.00	1.66	2.03	2.56	1.27
1	66.51	0.00	82.10	38.84	22.02	1	1.66	0.00	2.05	0.97	0.55
2	81.07	82.10	0.00	89.19	63.36	2	2.03	2.05	0.00	2.23	1.58
3	102.54	38.84	89.19	0.00	52.04	3	2.56	0.97	2.23	0.00	1.30
4	50.93	22.02	63.36	52.04	0.00	4	1.57	0.68	1.95	1.60	0.00

Sumber: hasil perhitungan

3. Inisialisasi *random* partikel x_i dan kecepatan v_i dalam ruang pencarian problem p -dimensi.

Pada tahap ini dilakukan inisialisasi kawanan, bobot inersia, atribut posisi serta kecepatan partikel (c_1, c_2, v_0). Misalkan dalam contoh ini digunakan jumlah partikel (N) = 6, bobot inersia $\theta = 0.3$. Sementara r_1 dan r_2 adalah 0.4 dan 0.6, c_1 dan c_2 masing-masing bernilai 1, serta kecepatan awal v_0 diasumsikan sama, $v_0 = 0.7$ untuk semua partikel.

4. Membangkitkan bilangan *random* dan mengurutkannya membentuk rute.

Bilangan *random* yang dibangkitkan berada pada rentang $[0, 1]$ sebanyak jumlah titik yang dikunjungi termasuk sentral depot dan pelanggan. Proses ini diulangi sebanyak jumlah partikel yang telah diinisialisasi di awal ($N = 6$). Bilangan *random* sentral depot selalu bernilai 0 karena titik awal harus mulai dari depot. Setelah pembangkitan bilangan *random* maka bilangan *random* setiap partikel akan diurutkan membentuk suatu rute. Pembangkitan dan pengurutan bilangan *random* dicontohkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Pembangkitan dan Pengurutan Bilangan Random

	0	1	2	3	4
1	0.000	0.207	0.645	0.042	0.171
2	0.000	0.709	0.172	0.171	0.447
3	0.000	0.223	0.830	0.299	0.547
4	0.000	0.694	0.888	0.602	0.713
5	0.000	0.310	0.466	0.431	0.510
6	0.000	0.046	0.921	0.178	0.016

	0	1	2	3	4
1	0.000	0.042	0.171	0.207	0.645
2	0.000	0.171	0.172	0.447	0.709
3	0.000	0.223	0.299	0.547	0.830
4	0.000	0.602	0.694	0.713	0.888
5	0.000	0.310	0.431	0.466	0.510
6	0.000	0.016	0.046	0.178	0.921

(a) Pembangkitan bilangan random

(b) Pengurutan bilangan random

Sumber: hasil perhitungan

5. Penyusunan rute serta evaluasi fungsi tujuan.

Setelah masing-masing partikel diurutkan, maka akan didapat rute berdasar posisi bilangan *random* tersebut sebelum diurutkan. Misalkan partikel 2 urutan rutenya adalah 0 – 3 – 4 – 1 – 2 - 0. Masing-masing rute tersebut akan dievaluasi fungsi tujuannya berdasar persamaan (2.12) seperti terlihat pada Tabel 3.3, sedangkan rekapitulasi penyusunan rute beserta fungsi tujuannya ditunjukkan Tabel 3.4.

Tabel 3. 3 Evaluasi Fungsi Tujuan (Partikel 2)

Kendaraan	Node awal	Node tujuan	Load kum	Kapasitas feasible ?	Waktu keberangkatan	Lama perjalanan	Waktukedatangan	TW start	Mulai pelayanan	Lama pelayanan	Selesai pelayanan	TW akhir pelayanan	TW dengan penalti	TW feasible ?	penalti ?	Jarak (i,j)	F (-)	g(di)	Biaya pembelian	Biaya persediaan	Opsi temperatur	Temperatur kendaraan	Durasi kendaraan	Biaya energi
1	0	3	60	yes	200	2.56	203	270	270	300	570	700	820	yes	no	103	0.171	0.139	4.000	240	-10.000	-10	370	100
1	3	2	100	yes	570	2.23	572	240	572	200	772	650	770	yes	no	89.2	0.140	0.139	3.000	300	-5.000	-10	202	100
1	2	4	150	no	772	1.58	774	270	774	250	1024	850	970	yes	no	0	0.000	0.000	7.000	0				
1	2	0	0	no	1024	2.03	1026	200	1026	0	1026	0	0	yes	no	0	0.000	0.000	0.000	0				
2	0	4	50	yes	200	1.27	201	270	270	250	520	850	970	yes	no	50.9	0.111	0.087	7.000	350	3.000	3	320	30
2	4	1	80	yes	520	0.68	521	240	521	150	671	750	870	yes	no	22	0.105	0.104	5.000	400	5.000	3	151	30
2	1	0	0	no	671	1.66	672	200	672	0	672	0	0	yes	no	0	0.000	0.000	0.000	0				

Biaya tetap	10
Biaya transportasi	6,617
Biaya persediaan	1,290
Biaya energi	271,156
Biaya penalti	0
Total	279,073

Sumber: hasil perhitungan

Tabel 3. 4 Rekapitulasi Penyusunan Rute dan Evaluasi Fungsi Tujuan

	0	1	2	3	4	Fungsi tujuan
1	0	3	4	1	2	139,896
2	0	3	2	4	1	279,073
3	0	1	3	4	2	239,604
4	0	3	1	4	2	299,731
5	0	1	3	2	4	253,153
6	0	4	1	3	2	279,073

Sumber: hasil perhitungan

6. Memutakhirkan nilai P_{best} partikel dan G_{best} kawanan

Pada tahap ini dilakukan updating nilai P_{best} partikel dan G_{best} kawanan. Iterasi pertama, P_{best} sama dengan nilai awal partikel. Selanjutnya P_{best} ini akan disimpan dan dibandingkan dengan iterasi P_{best} iterasi selanjutnya. P_{best} yang disimpan adalah bilangan random yang dibangkitkan, bukan rutenya. Sementara penentuan G_{best} berdasar partikel dengan nilai fungsi tujuan terkecil (karena fungsi obyektifnya adalah meminimasi). Penentuan P_{best} dan G_{best} ditunjukkan pada Tabel 3.5

Pada contoh ini P_{best} partikel 1 adalah [0.000 .207 .645 .042 .171]
Sementara G_{best} berada di posisi partikel 1 (fungsi obyektif paling minimum Tabel 3.5) sehingga $G_{best} = [0.000 .207 .645 .042 .171]$.

Tabel 3. 5 Penentuan P_{best} dan G_{best}

	0	1	2	3	4	Fungsi tujuan
1	0.000	0.207	0.645	0.042	0.171	139,896
2	0.000	0.709	0.172	0.171	0.447	279,073
3	0.000	0.223	0.830	0.299	0.547	239,604
4	0.000	0.694	0.888	0.602	0.713	299,731
5	0.000	0.310	0.466	0.431	0.510	253,153
6	0.000	0.046	0.921	0.178	0.016	279,073

Sumber: hasil perhitungan

7. Memperbarui bobot inersia, kecepatan dan posisi partikel

Kecepatan diperbarui diperoleh berdasar (2.21), bobot inersia diperbarui berdasar (2.22), sedangkan posisi partikel diperbarui berdasar (2.23). Kecepatan serta posisi partikel diperbarui ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Kecepatan dan Posisi Partikel Diperbarui

	0	1	2	3	4
1	0.000	0.210	0.210	0.210	0.210
2	0.000	0.000	0.494	0.133	0.044
3	0.000	0.200	0.099	0.056	0.000
4	0.000	0.000	0.064	0.000	0.000
5	0.000	0.148	0.317	0.000	0.007
6	0.000	0.306	0.044	0.129	0.303

	0	1	2	3	4
1	0.000	0.417	0.855	0.252	0.381
2	0.000	0.709	0.666	0.304	0.491
3	0.000	0.423	0.929	0.355	0.547
4	0.000	0.694	0.952	0.602	0.713
5	0.000	0.458	0.783	0.431	0.516
6	0.000	0.352	0.965	0.307	0.319

(a) Kecepatan diperbarui

(b) Posisi diperbarui

Sumber: Hasil perhitungan

8. Memeriksa batas atas dan bawah posisi partikel

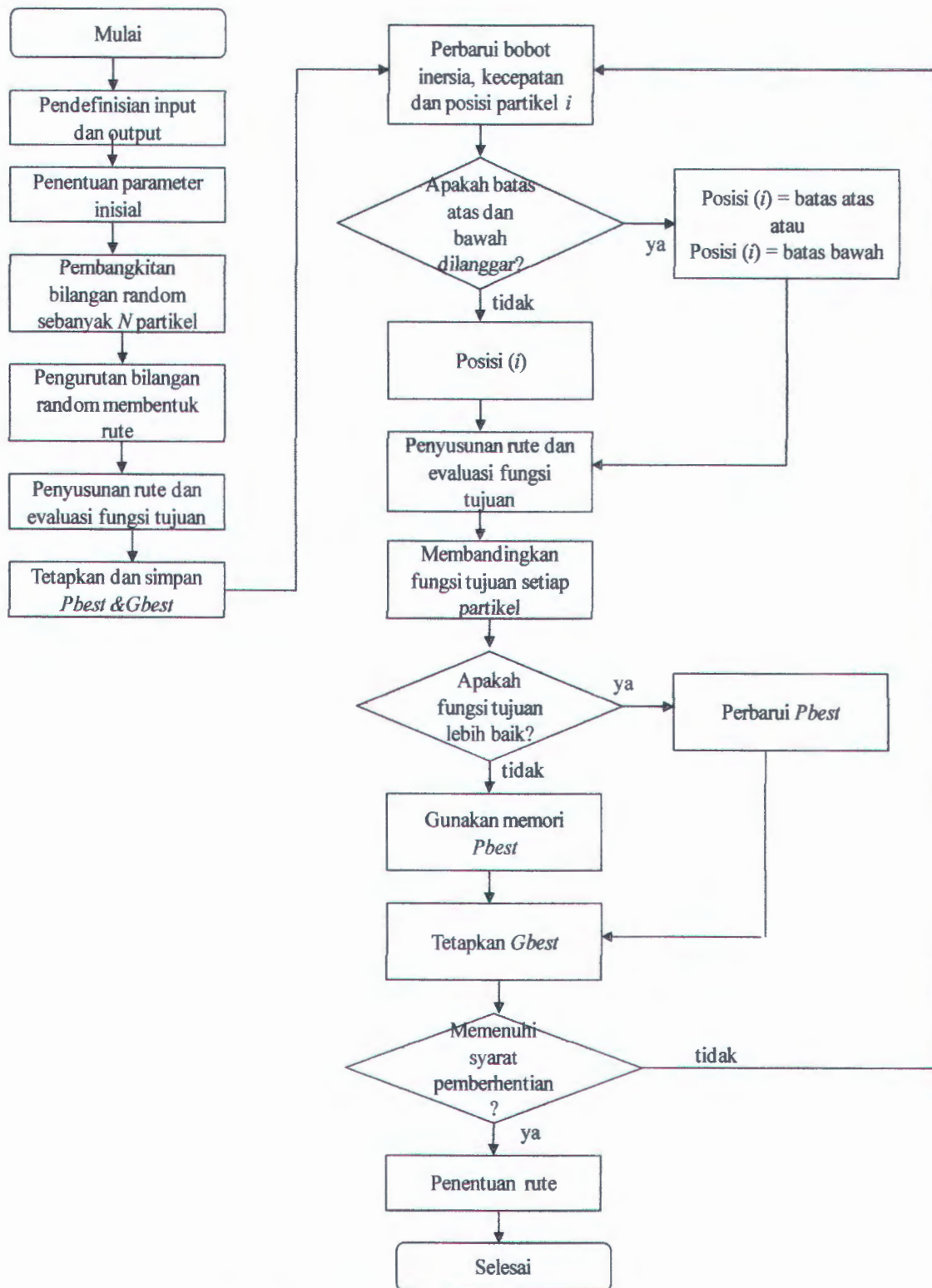
Periksa apakah nilai partikel setelah diperbarui memenuhi syarat batas atas dan bawah yang disyaratkan. Apabila tidak memenuhi maka sesuaikan nilai partikel berdasar batas atas dan bawah yang ditetapkan.

9. Kembali ke langkah 5. Jika iterasi telah memenuhi maka hentikan

Aliran penyelesaian VRPTW dengan algoritma PSO diskrit ditunjukkan pada Gambar 3.6.

3.8 Tahap 5: Analisa Sensitivitas

Berdasar eksperimen numerik model distribusi *perishable* multi temperatur selanjutnya dilakukan sensitivitas parameter. Uji numerik penelitian ini akan menggunakan Data Solomon. Pada tahap ini juga akan dilakukan analisis sensitivitas baik parameter jarak maupun temperatur untuk strategi *dependent distance* ataupun *dependent temperature*.



Gambar 3. 6 Aliran Algoritma PSO VRPTW

BAB 4

PERCOBAAN NUMERIK DAN ANALISIS HASIL

4.1 Data Numerik

Data numerik penelitian ini menggunakan data Solomon (<http://web.cba.neu.edu/msolomon/problems.htm>). Informasi data Solomon menyangkut data-data sebagai berikut: kapasitas kendaraan (kapasitas sama untuk setiap kendaraan), lokasi geografis (koordinat kartesian pelanggan dan sentral depot), permintaan pelanggan yang harus dipenuhi sentral depot (permintaan depot adalah nol), serta *time windows* pelanggan dan sentral depot. Lama pelayanan diasumsikan linear dengan banyaknya permintaan pelanggan. Semakin banyak permintaan maka membutuhkan waktu pelayanan yang semakin lama. Seperti juga permintaan, lama pelayanan di sentral depot adalah nol.

Himpunan data Solomon sebenarnya terdiri atas 101 *node*, 100 pelanggan dan 1 sentral depot. Percobaan numerik penelitian ini tidak mengambil semua data Solomon, hanya 26 *node* pertama, terdiri dari 25 pelanggan serta 1 sentral depot. Hal ini disebabkan penelitian ini lebih berfokus pada pengembangan model baru dan bukan fokus pada kecepatan teknik penyelesaian. Data Solomon yang digunakan dalam uji numerik penelitian ini adalah data kelas C1 dan R1. Kedua kelas data ini mewakili karakteristik penyebaran lokasi pelanggan, kluster (C1) atau *random* (R1). Percobaan numerik menggunakan kelas data yang berbeda dilakukan karena akan mempengaruhi *running* dan penyelesaian model. Perbedaan karakteristik kelas data akan mempengaruhi perilaku model, dilihat dari waktu perhitungan serta penyelesaian model (Muller, 2010).

Beberapa karakteristik informasi lainnya: temperatur penyimpanan, *shelf life* produk *perishable*, serta kepadatan lalu lintas, yang tidak tercantum pada data Solomon ditambahkan *random*. Data penelitian yang digunakan pada uji numerik dapat dilihat pada lembar Lampiran 1.



4.2 Parameter Inisial

Penentuan parameter inisial turut menentukan kontribusi elemen biaya terhadap total biaya distribusi. Parameter inisial yang digunakan pada penelitian ini adalah parameter aspek biaya, aspek temperatur, aspek waktu dan jarak, serta aspek *perishability*. Deskripsi penjelasan parameter inisial dapat dilihat pada Tabel 4.1 dengan penjelasan sebagai berikut:

a) Aspek biaya per unit

Aspek biaya per unit menyangkut biaya tetap penggunaan kendaraan per unit, biaya transportasi per km, biaya resiko *loss* (persediaan) per unit, biaya energi per kalori, serta biaya penalti keterlambatan per menit keterlambatan. Penjelasan parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut:

- Biaya tetap penggunaan kendaraan per unit

Biaya tetap penggunaan kendaraan dianggap adalah biaya sewa kendaraan. Penelitian ini menggunakan parameter inisial biaya tetap penggunaan kendaraan sebesar @ Rp 250.000,00.

- Biaya transportasi per km

Konsumsi bahan bakar diasumsikan 8 km/liter @Rp 4.500,00 per liter. Sehingga parameter inisial biaya transportasi per km adalah Rp 562.5,00 per km

- Biaya persediaan

Biaya persediaan diasumsikan biaya resiko yang ditanggung distributor apabila terjadi kerusakan atau *loss*. Parameter inisial biaya persediaan dianggap sama untuk setiap item sebesar @Rp 500,00 per kg produk *perishable*

- Biaya energi

Biaya energi adalah biaya yang diperlukan untuk mendinginkan *cold storage*. Disumsikan rata-rata nilai kalori bensin premium ≈ 150 kkal/liter sebesar @Rp 4.500,00 per liter. Parameter inisial biaya energi adalah Rp 30,00 per kkal

- Biaya penalti

Biaya penalti adalah biaya keterlambatan kedatangan kendaraan tetapi masih berada pada rentang waktu *time windows* penalti. Parameter inisial biaya penalti penelitian ini adalah Rp 100,00 per menit keterlambatan.

b) Aspek temperatur

Parameter aspek temperatur menyangkut parameter-parameter yang turut mempengaruhi pendinginan *cold storage*. Seperti dijelaskan sebelumnya, temperatur eksternal, luasan *cold storage* kendaraan, serta ketebalan permukaan turut mempengaruhi energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan *cold storage*. Temperatur eksternal diasumsikan sama dengan temperatur rata-rata negara tropis, $\pm 32^{\circ}\text{C}$. Ketebalan permukaan *cold storage* diasumsikan 0.035m dengan dimensi $p \times l \times t = 1.5 \times 1.5 \times 3\text{m}$ (luasan 22.5 m^2)

c) Aspek waktu dan jarak

Parameter aspek jarak penelitian ini menyangkut kondisi lalu lintas yang turut mempengaruhi lama perjalanan kendaraan. Kecepatan kendaraan tanpa dan dengan kepadatan lalu lintas diasumsikan 50 km/jam ($\approx 0.83 \text{ km/ menit}$) dan 30 km/jam ($\approx 0.5 \text{ km/ menit}$). Sehingga, invers kecepatan kendaraan tanpa kepadatan lalu lintas (β_0 dan β_1) dan dengan kepadatan lalu lintas (β_2) adalah 1.2 menit/km dan 2 menit/km.

Parameter aspek waktu menyangkut *soft time windows*, diasumsikan 120 menit dari *time windows* akhir. Apabila *time windows* akhir pelanggan adalah 100, maka keterlambatan sepanjang tidak melebihi 320 masih bisa diterima (konsekuensi penalti).

d) Aspek *perishability*

Aspek *perishability* menyesuaikan dengan *shelf life* produk. Semakin panjang *shelf life* suatu produk maka kemungkinan *loss* selama perjalanan lebih kecil dibandingkan produk dengan *shelf life* pendek. Parameter inisial *perishability* penelitian ini tergantung dari temperatur penyimpanan produk tersebut. Semakin rendah temperatur penyimpanan

produk, maka *shelf life*nya akan semakin pendek, demikian pula sebaliknya. Parameter inisial *shelf life* dapat diasumsikan sebagai berikut:

- ❖ $-6^{\circ}\text{C} \leq \text{temperatur penyimpanan} \leq -3^{\circ}\text{C}$, *shelf life* = 48 jam
- ❖ $-2^{\circ}\text{C} \leq \text{temperatur penyimpanan} \leq 1^{\circ}\text{C}$, *shelf life* = 72 jam
- ❖ $-10^{\circ}\text{C} \leq \text{temperatur penyimpanan} \leq -7^{\circ}\text{C}$, *shelf life* = 24 jam

Tabel 4. 1 Paramater Inisial Percobaan Numerik

Grup	Parameter	Nilai	Unit
Biaya	Penggunaan kendaraan	Rp250,000.00	per unit
	Transportasi kendaraan **diasumsikan 1/ bensin premium (@Rp 4.500,00) mampu menempuh 8 km	Rp562.50	per km
	Energi mendinginkan <i>cold storage</i> **diasumsikan nilai kalori bensin premium ≈ 150 kkal/liter	Rp30.00	per kalori
	Persediaan	Rp500.00	unit
	Penalti keterlambatan	Rp100.00	per menit
	Temperatur	Temperatur eksternal	32
Luasan kendaraan **diasumsikan dimensi kendaraan <i>cold storage</i> $p \times l \times t = 1.5 \times 3 \times 1.5$ m		22.5	m^2
Ketebalan permukaan <i>cold storage</i>		0.035	m
Waktu dan	<i>Time windows</i> penalti	120	menit
	Invers kecepatan kendaraan normal (β_0 dan β_1) ** diasumsikan kecepatan kendaraan normal 50 km/jam ≈ 0.833 km/menit	1.2	menit/km
	Invers kecepatan kendaraan dengan kepadatan (β_2) ** diasumsikan kecepatan kendaraan normal 30 km/jam ≈ 0.5 km/menit	2	menit/km
	probabilitas terjadi kepadatan lalu lintas		0.5
	Konstanta waktu pelayanan ** diasumsikan waktu pelayanan linear dengan permintaan sesuai konstanta		1
	Perishability	<i>Shelf life:</i> $-10^{\circ}\text{C} \leq \text{temperatur penyimpanan} \leq -7^{\circ}\text{C}$	24
$-6^{\circ}\text{C} \leq \text{temperatur penyimpanan} \leq -3^{\circ}\text{C}$		36	jam
$-2^{\circ}\text{C} \leq \text{temperatur penyimpanan} \leq 1^{\circ}\text{C}$		48	jam
$^{\circ}\text{C} \leq \text{temperatur penyimpanan} \leq 5^{\circ}\text{C}$		72	jam

4.3 Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk meyakinkan bahwa sistem pengambilan keputusan yang telah dibuat mampu menyelesaikan persoalan tanpa melanggar kendala. Validasi ini dilakukan dengan permasalahan pada skala kecil (*node* = 5) dengan cara membandingkan hasil *running* VBA model dengan *running* manual. Validasi model disini dilakukan dengan dua cara, pertama dengan perhitungan manual, dan kedua dengan pembuktian terbalik. Data untuk validasi model

ditunjukkan Tabel 4.2 dengan kapasitas kendaraan adalah 50 unit dan sementara penentuan parameter-parameter lain disesuaikan sesuai Gambar 4.1..

Tabel 4. 2 Data Validasi

Cust no	Koordinat-x a_i	Koordinat-y b_i	demand d_i	time windows awal r_i	time windows akhir s_i	time windows penalti S_i	waktu pelayanan u_i	temperatur t_m (°C)	shelf life h_m	kepadatan lalu lintas (0 = tidak, 1 = ya)
0	40	50	0	0	1236	1236	0	-	-	-
1	45	68	10	912	967	1087	10	-7	24	1
2	45	70	30	825	870	990	30	-6	36	1
3	42	66	10	65	146	266	10	-7	24	0
4	42	68	10	727	782	902	10	-4	36	0
5	42	65	10	15	67	187	10	-3	36	0

Dari data validasi tersebut dapat dihitung baik jarak serta waktu perjalanan. Jarak antar *node* ditentukan dengan jarak Euclidean. Waktu perjalanan ditentukan dengan persamaan (2.13). Matriks jarak serta matriks waktu perjalanan ditunjukkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Matriks Jarak Data Validasi

	0	1	2	3	4	5
0	0.00	18.68	20.62	16.12	18.11	15.13
1	18.68	0.00	2.00	3.61	3.00	4.24
2	20.62	2.00	0.00	5.00	3.61	5.83
3	16.12	3.61	5.00	0.00	2.00	1.00
4	18.11	3.00	3.61	2.00	0.00	3.00
5	15.13	4.24	5.83	1.00	3.00	0.00

Tabel 4. 4 Matriks Jarak Waktu Validasi


	0	1	2	3	4	5
0	0.00	29.89	32.99	19.34	21.73	18.16
1	29.89	0.00	3.20	5.78	4.80	6.78
2	32.99	3.20	0.00	8.00	5.78	9.33
3	19.34	5.78	8.00	0.00	2.40	1.20
4	21.73	4.80	5.78	2.40	0.00	3.60
5	18.16	6.78	9.33	1.20	3.60	0.00

4.3.1 Validasi Model: *Nearest Neighbor* (NN)

Validasi model *Nearest Neighbor* dilakukan dengan cara melakukan perhitungan manual algoritma terlebih dahulu. Hasil dari perhitungan manual ini akan dicocokkan dengan hasil *running* model menggunakan VBA. Validasi ini menggunakan dua prosedur, yaitu validasi rute serta validasi biaya. Penjelasan kedua validasi tersebut adalah sebagai berikut:

4.3.1.1 Validasi Rute Algoritma NN

Hasil *running* model dengan algoritma NN untuk penentuan rute ditunjukkan Gambar 4.1. Hasil *running* model menunjukkan bahwa rute untuk permasalahan validasi tersebut adalah 0 – 5 – 3 – 4 – 1 – 0. Rute (kendaraan) pertama adalah: 0 – 5 – 4 – 1 - 0 , sementara rute kedua adalah: 0 – 1 – 0; dimana 0 menunjukkan sentral depot.



Vehicles No	Node Awal
1	0
1	5
1	3
1	4
1	1
2	0
2	2

Gambar 4. 1 Hasil *Running* VBA Algoritma NN

Hasil dari *running* model ini kemudian akan dibandingkan dengan perhitungan menggunakan algoritma manual. Rekapitulasi algoritma manual ditunjukkan Tabel 4.5 dengan perhitungan detail sebagai berikut:

- *Node* awal dimulai dari node 0. Jarak terdekat dari *node* 0 adalah *node* 5 (15 unit jarak). Kendaraan berangkat pada waktu 0 dan tiba pada waktu 18.16 (dari Tabel 4.3 waktu perjalanan dari *node* 0 ke *node* 5 adalah 18.16). *Time windows* awal *node* 5 adalah waktu 15, maka kendaraan bisa langsung dilayani pada waktu 18.16. Lama pelayanan *node* 5 adalah 10 menit sehingga selesai pelayanan pada waktu 28.16. *Time windows* akhir sentraldepot=1236 sehingga masih memenuhi kendala *Time Windows* depot. Muatan yang dibawa kendaraan *cold storage* adalah 10 unit. Rute 0

- 5 dilihat dari kapasitas maupun *time windows* adalah *feasible* maka *node 5* adalah *node* selanjutnya setelah *node 0*.

Tabel 4. 5 Rekapitulasi Model *Nearest Neighbor* (manual)

Node Awal	0	1	2	3	4	5	Shortest distance	Next Node	Cum Load	Feasible Cap.?	Waktu berangkat	Lama perjalanan	Waktu kedatangan	Time windows awal r_i	Waktu mulai pelayanan	Lama pelayanan	Selesai pelayanan	Time windows akhir s_i	Time windows penalti S_i	Feasible tw?	penalty ?	Decision
0	10,000	18.68	20.62	16.12	18.11	15	15	5	10	Yes	0	18.16	18.16	15	18.16	10	28.16	67	187	Yes	No	5
5	10,000	4.24	5.83	1.00	3.00	10,000	1	3	20	Yes	28.16	1.2	29.36	65	65	10	75	146	266	Yes	No	3
3	10,000	3.61	5.00	10,000	2	10,000	2	4	30	Yes	75	2.4	77.4	727	727	10	737	782	902	Yes	No	4
4	10,000	3.00	3.61	10,000	10,000	10,000	3	1	40	Yes	737	4.8	741.8	912	912	10	922	967	1087	Yes	No	1
1	10,000	10,000	2.00	10,000	10,000	10,000	2	2	70	No	922	3.2	925.2	825	925.2	30	955.2	870	990	Yes	Yes	0
0	10,000	10,000	20.62	10,000	10,000	10,000	21	2	30	Yes	0	32.99	32.99	825	825	30	855	870	990	Yes	No	2
2	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	0	30	Yes	855	32.99	887.99	0	887.99	0	887.99	1236		No	No	Stop

- Jarak terdekat dari *node 5* adalah *node 3* (1 unit jarak). Muatan kumulatif yang dibawa kendaraan adalah 20 unit (permintaan *node 3* = 10 unit). Kendaraan berangkat pada waktu 28.16 (dari *node 5*) dan tiba pada waktu 29.36 (dari Tabel 4.3 waktu perjalanan dari *node 5* ke *node 3* adalah 1.2). *Time windows* awal *node 5* adalah waktu 65, maka kendaraan harus menunggu dahulu sampai *time windows* awal, sehingga waktu mulai dilayani = 65. Lama pelayanan *node 3* adalah 10 menit sehingga selesai pelayanan pada waktu 75. *Time windows* akhir sentral depot = 1236 sehingga masih memenuhi kendala *time windows* akhir sentral depot. *Node 3* memenuhi syarat kapasitas maupun *time windows* sehingga rute baru yang terbentuk: 0 – 5 – 3
- Jarak terdekat dari *node 3* adalah *node 4* (2 unit jarak). Muatan kumulatif yang dibawa kendaraan adalah 30 unit (permintaan *node 4* = 10 unit). Kendaraan berangkat pada waktu 75 (dari *node 3*) dan tiba pada waktu 77.4 (dari Tabel 4.3 waktu perjalanan dari *node 3* ke *node 4* adalah 2.4). *Time windows* awal *node 4* adalah waktu 727, maka kendaraan harus menunggu dahulu sampai *time windows* awal, sehingga waktu mulai dilayani = 727. Lama pelayanan *node 4* adalah 10 menit sehingga selesai pelayanan pada waktu 737. *Time windows*

- akhir sentral depot = 1236 sehingga masih memenuhi kendala *time windows* akhir sentral depot. *Node* 4 memenuhi syarat kapasitas maupun *time windows* sehingga rute baru yang terbentuk: 0 – 5 – 3 – 4
- Jarak terdekat dari *node* 4 adalah *node* 1 (3 unit jarak). Muatan kumulatif yang dibawa kendaraan adalah 40 unit (permintaan *node* 1 = 10 unit). Kendaraan berangkat pada waktu 737 (dari *node* 4) dan tiba pada waktu 741.8 (dari Tabel 4.3 waktu perjalanan dari *node* 5 ke *node* 3 adalah 4.8). *Time windows* awal *node* 1 adalah waktu 912, maka kendaraan harus menunggu dahulu sampai *time windows* awal, sehingga waktu mulai dilayani = 912. Lama pelayanan *node* 1 adalah 10 menit sehingga selesai pelayanan pada waktu 922. *Time windows* akhir sentral depot = 1236 sehingga masih memenuhi kendala *time windows* akhir sentral depot. *Node* 4 memenuhi syarat kapasitas maupun *time windows* sehingga rute baru yang terbentuk: 0 – 5 – 3 – 4 – 1.
 - Jarak terdekat dari *node* 1 adalah *node* 2 (2 unit jarak). Muatan kumulatif yang dibawa kendaraan adalah 70 unit (permintaan *node* 2 = 30 unit). Karena dari kapasitas tidak *feasible* (> 50), maka *node* 2 tidak bisa dijadikan *node* selanjutnya setelah *node* 1. Dalam hal ini *node* lainnya telah digunakan (1, 3, 4, 5) maka kendaraan kembali ke sentral depot. Rute perjalanan 0 – 5 – 3 – 4 – 1 – 0.
 - *Node* awal dimulai dari *node* 0. Jarak terdekat dari *node* 0 adalah *node* 2 (20.62 unit jarak). Kendaraan berangkat pada waktu 0 dan tiba pada waktu 32.99 (dari Tabel 4.3 waktu perjalanan dari *node* 0 ke *node* 2 adalah 32.99). *Time windows* awal *node* 2 adalah waktu 825, maka kendaraan harus menunggu dahulu sampai *time windows* awal, sehingga waktu mulai dilayani = 825. Lama pelayanan *node* 2 adalah 30 menit sehingga selesai pelayanan pada waktu 855.
 - Seluruh *node* telah diujikan, sehingga rute yang dibentuk untuk kendaraan 2 adalah 0 – 5 – 3 – 4 – 1 – 0 – 2 – 0

Hasil *running* VBA (Gambar 4.2) dengan penghitungan manual (Tabel 4.6) menentukan rute menunjukkan hasil yang sama. Rute yang ditunjukkan kedua metode tersebut (manual dan VBA) adalah 0 – 5 – 3 – 4 – 1 – 0 – 2 – 0.

Vehicle	1	2	
Dispatch	250.000	250.000	500.000
Transportasi	22.395	23.198	45.591
Persediaan	415	205	620
Energi	35.850	33.235	69.086
Penalti	0	0	0
Total	308.658	306.638	615.296

Gambar 4. 2 Hasil *Running* VBA Penentuan Biaya Algoritma NN

Tabel 4. 6 Hasil Manual Penentuan Biaya Algoritma NN

Vehicle No	Node Awal	Decision	Jarak	Lama pelayanan	Durasi loss	Shelf life	Probability Loss 1	Probability loss 2	Biaya persediaan	Temperatur	Temperatur kendaraan	Biaya energi	Penalty cost	
1	0	5	15.13	10	18.16	36	0.008	0.005	6.52	-3	-7	35,850	-	
1	5	3	1	10	75	24	0.035	0.005	19.68	-7			-	
1	3	4	2	10	737	36	0.341	0.005	172.92	-4			-	
1	4	1	3	10	922	24	0.427	0.005	215.74	-7			-	
1	1	0	18.68								-6	33,235	-	
2	0	2	20.62	30	855	36	0.396	0.014	204.86	-6			-	
2	2	Stop	20.62	0	0		0.000	0.000	0.00				-	
TOTAL			81.05							619.71			69,086	

4.3.1.2 Validasi Biaya NN

Setelah validasi rute algoritma NN juga diperlukan validasi biaya menggunakan algoritma NN. Hasil *running* model dengan algoritma NN untuk penentuan biaya ditunjukkan Gambar 4.3. Hasil *running* model tersebut menunjukkan bahwa biaya untuk rute tersebut adalah Rp 615.296,00

Sementara untuk perhitungan manual biaya algoritma NN ditunjukkan Tabel 4.6. Total biaya rute yang dihasilkan adalah Rp 615.296,00 dengan perincian perhitungan manual (Tabel 4.6) sebagai berikut:

Biaya penggunaan kendaraan	= 2 * Rp 250.000,00	= Rp 500.000,00
Biaya transportasi	= 81.05 * Rp 562.5,00	= Rp 45.591,00
Biaya persediaan	=	Rp 620,00
Biaya energi	=	Rp 69.086,00
<u>Biaya penalti</u>	=	<u>Rp 0,00 +</u>
Total biaya rute	=	Rp 615.296,00

Hasil *running* model VBA (Gambar 4.3) dengan perhitungan manual (Tabel 4.6) memperlihatkan hasil yang sama. Sehingga keakuratan model VBA algoritma NN penelitian ini telah tervalidasi, baik untuk penentuan rute maupun penentuan biaya.

4.3.2 Validasi Model: *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Validasi model VBA dengan algoritma PSO dilaksanakan dengan melakukan pembuktian terbalik. Pembuktian ini akan menentukan biaya distribusi dengan rute yang telah diketahui sebelumnya. Pada validasi model algoritma PSO digunakan rute yang terpilih sebelumnya: 0 – 5 – 3 – 4 – 1 – 2 – 0.

Running VBA algoritma PSO ditunjukkan Gambar 4.4. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa total biaya yang diperlukan untuk rute 0 – 5 – 3 – 4 – 1 – 2 – 0 adalah Rp 615.296,00. Hasil antara model VBA (Gambar 4.3) dengan perhitungan manual (Tabel 4.6) memperlihatkan hasil yang sama. Sehingga keakuratan model VBA algoritma PSO penelitian ini telah tervalidasi.

44 Input jarak 1

45 0 0

46 1 5

47 2 3

48 3 4

49 4 1

50 5 2

51 TABEL BIAYA - 1

Kendaraan	Node awal	Node tujuan	Load kumulatif	Kapasitas feasible?	Waktu keberangkatan	Lama perjalanan	Mulai pelayanan	Lama pelayanan	Selesai pelayanan	TW akhir pelayanan	TW dengan penalti	TW feasible?	penalti?	Biaya transport	F-I	g(d)	Biaya pembelian	Biaya persediaan	
52	1	0	5	10	Yes	0	18.16	18.16	10	28.16	67	187	Yes	No	8510.63	0.0084	0.0046	500	65.18519
54	1	5	3	20	Yes	28.16	1.2	65	10	75	146	266	Yes	No	562.5	0.0451	0.0069	500	260.4167
55	1	3	4	30	Yes	75	2.4	727	10	737	782	902	Yes	No	1125	0.3366	0.0046	500	1706.019
56	1	4	1	40	Yes	737	4.8	912	10	922	967	1087	Yes	No	1687.5	0.6333	0.0069	500	3201.389
57	1	1	2	70	No	922	3.2	925.2	30	955.2	870	980	Yes	Yes	0	0	0	500	0
58	1	1	0	0	Yes	912	29.89	941.89		941.89	1236		No	No	10507.5	0	0	0	0
59	2	0	2	30	Yes	0	32.99	825	30	855	870	990	Yes	No	13598.8	0.3839	0.0139	500	5937.5

60 COST

61 Disoat: 500,000 Transport 45.591,00 Inv 620,00 Energy 69.086,00 Penalty

62 Total 615,286

63

PSO: Fungsi Tujuan distance, Speed

Gambar 4. 3 Hasil *Running* VBA Algoritma PSO: Pembuktian Terbalik

4.4 Perbandingan Algoritma *Nearest Neighbor – Particle Swarn Optimization* (NN-PSO) dengan PSO

Penelitian ini akan menggunakan algoritma *Nearest Neighbor* (NN) sebagai populasi inisial algoritma PSO. Hal ini dilakukan untuk mengefisienkan waktu penyelesaian seperti dilakukan Marinakis (2010). Untuk itu perlu dilihat keefektifan antara penggabungan NN-PSO dengan PSO yang berdiri sendiri. Keefektifan ini dilihat dengan cara membandingkan antara output *running* NN-PSO dengan PSO yang berdiri sendiri. Sebagai representasi, data yang diujikan disini adalah data C1 seperti ditunjukkan Lampiran 1.

Perbandingan algoritma ini dilakukan berdasarkan konvergenitas G_{best} . Apabila G_{best} masih belum konvergen maka iterasi akan terus dilakukan sampai mendapatkan konvergenitas G_{best} . Parameter-parameter PSO yang digunakan di penelitian ini adalah sebagai berikut:

Kawanan (<i>swarm</i>)	30
c_1	2
c_2	2
V_0	0.7
θ_{min}	0.4
θ_{max}	0,9

Tabel 4. 7 Rekapitulasi *Running* NN-PSO

Iterasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
G_{best}	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771
Iterasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
G_{best}	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771	2,080,771

Rekapitulasi *running* menggunakan algoritma NN-PSO dengan PSO murni ditunjukkan Tabel 4.7 dan 4.8. Berdasar kedua tabel tersebut terlihat bahwa NN-PSO mampu menuju fungsi obyektif yang lebih kecil daripada PSO murni (G_{best} lebih baik). Sampai dengan 20 iterasi yang dilakukan NN-PSO mampu menuju konvergenitas G_{best} yang lebih baik daripada PSO murni.

Kefisienan penyelesaian juga beresiko rute yang dihasilkan oleh NN-PSO terjebak dalam *local optima*. Hal ini disebabkan G_{best} tidak bergerak ke arah fungsi obyektif yang lebih baik (2,080,771) dari awal iterasi sampai iterasi ke-20. Sementara untuk solusi yang dihasilkan dari PSO mampu bergerak ke arah fungsi obyektif yang lebih baik (2,819,705 ke 2,511,929).

Berdasarkan perbandingan tersebut, dapat dianalisis bahwa terbukti algoritma NN-PSO mampu menghasilkan solusi yang lebih baik dan efisien dibandingkan algoritma PSO murni. Akan tetapi algoritma NN-PSO mempunyai kemungkinan lebih besar terjebak dalam *local optima* dibandingkan algoritma PSO. Pergerakan kawanan NN-PSO untuk mendapatkan solusi optimal jauh lebih lambat daripada PSO murni.

Tabel 4. 8 Rekapitulasi *Running* PSO

Iterasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
G_{best}	2,819,705	2,819,705	2,819,705	2,819,705	2,819,705	2,819,705	2,819,705	2,511,929	2,511,929	2,511,929
Iterasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
G_{best}	2,511,929	2,511,929	2,511,929	2,511,929	2,511,929	2,511,929	2,511,929	2,511,929	2,511,929	2,511,929
Iterasi	21	22	23	24	25	26	27			
G_{best}	2,511,929	2,511,929	2,511,929	2,511,929	2,511,929	2,511,929	2,511,929			

Penyelesaian model dengan menggunakan penggabungan antara algoritma NN dan PSO telah terbukti keefektifan dan kualitas solusinya. Untuk

itu tahap selanjutnya adalah menyelesaikan model tersebut dengan algoritma NN-PSO kelas data C1 dan R1.

4.5 Penyelesaian Model Algoritma NN – PSO

Langkah awal penyelesaian model ini menggunakan algoritma NN dengan digram alir seperti ditunjukkan Gambar 3.4. Penyelesaian model menggunakan data Solomon C101 serta R101 seperti tercantum pada lampiran 1A dan 1B untuk dua strategi, *dependent distance* serta *dependent temperature*. Hasil *running* lengkap penyelesaian dapat dilihat di Lampiran 2A (kelas data C1 *dependent distance*), 2B (kelas data R1 *dependent distance*), 2C (kelas data C1 *dependent temperature*), 2D (kelas data R1 *dependent temperature*). Selanjutnya hasil dari NN tersebut akan digunakan sebagai populasi inisial PSO.

PSO penelitian ini akan melakukan iterasi berdasarkan konvergenitas G_{best} . Oleh karena itu iterasi hanya akan dibatasi sampai 20 kali, jika nilai G_{best} masih belum konvergen maka iterasi akan dilanjutkan. Sedangkan apabila nilai G_{best} dalam 20 kali iterasi masih menunjukkan posisi yang sama, maka iterasi akan dihentikan.

Rekapitulasi penyelesaian dengan algoritma NN – PSO ditunjukkan Tabel 4.9, 4.10, 4.11, dan 4.12. Penyelesaian menggunakan algoritma ini dilakukan dengan dua strategi *dependent distance* serta *dependent temperature*.

Tabel 4. 9 Penyelesaian Model NN-PSO *Dependent Distance* C1

Strategi	Rute	G_{best}
C ₁ (<i>Dependent Distance</i>)	0 - 20 - 21 - 1 - 0	2,088,071
	0 - 23 - 6 - 4 - 2 - 0	
	0 - 24 - 25 - 10 - 11 - 9 - 12 - 14 - 0	
	0 - 5 - 3 - 7 - 8 - 15 - 16 - 0	
	0 - 13 - 17 - 18 - 19 - 0	

Tabel 4. 10 Penyelesaian Model NN-PSO *Dependent Distance* R1

Strategi	Rute	G_{best}
R ₁ (<i>Dependent Distance</i>)	0 - 6 - 13 - 0	2,778,492
	0 - 12 - 3 - 24 - 25 - 0	
	0 - 1 - 0	
	0 - 18 - 7 - 19 - 11 - 10 - 0	
	0 - 2 - 21 - 4 - 0	
	0 - 5 - 17 - 16 - 0	
	0 - 8 - 20 - 9 - 0	
	0 - 22 - 23 - 0	
	0 - 15 - 14 - 0	

Tabel 4. 11 Penyelesaian Model NN-PSO *Dependent Temperature* C1

Strategi	Rute	G_{best}
C ₁ (<i>Dependent Temperature</i>)	0 - 20 - 23 - 1 - 0	4,636,337
	0 - 3 - 18 - 19 - 0	
	0 - 24 - 25 - 2 - 0	
	0 - 12 - 0	
	0 - 21 - 0	
	0 - 7 - 4 - 0	
	0 - 17 - 15 - 0	
	0 - 22 - 0	
	0 - 5 - 6 - 9 - 14 - 0	
	0 - 10 - 11 - 0	
	0 - 8 - 0	
	0 - 13 - 16 - 0	

Tabel 4. 12 Penyelesaian Model NN-PSO *Dependent Temperature* R1

Strategi	Rute	G_{best}
R ₁ (<i>Dependent Temperature</i>)	0 - 1 - 0	4,024,110
	0 - 21 - 20	
	0 - 13 - 2 - 0	
	0 - 12 - 10 - 0	
	0 - 15 - 14 - 17 - 0	
	0 - 18 - 7 - 5 - 0	
	0 - 3 - 9 - 0	
	0 - 22 - 25 - 0	
	0 - 4 - 0	
	0 - 8 - 19 - 11 - 0	
	0 - 16 - 0	
	0 - 6 - 24 - 0	
	0 - 23 - 0	

4.6 Perbandingan Biaya

4.6.1 Perbandingan Biaya: Tanpa dan Mempertimbangkan Biaya Energi

Sebelum analisa lebih lanjut, perlu dilakukan perbandingan antara mempertimbangkan biaya energi dengan tanpa mempertimbangkan biaya energi. Berdasarkan Tabel 4.13 terlihat bahwa tanpa mempertimbangkan biaya energi, terdapat *loss* biaya yang cukup besar. Hal ini terutama terjadi untuk kelas data C1, dimana apabila tidak mempertimbangkan biaya energi terjadi *loss* biaya sebesar 35.6%. Sementara untuk kelas data R1 *loss* biaya yang terjadi tanpa mempertimbangkan biaya energi cukup kecil, 4.24%. Hal ini disebabkan biaya lokasi pelanggan acak akan menggunakan lebih banyak kendaraan untuk memenuhi *time windows* yang ketat. Terlihat pada tabel 4.13 data R1 kontribusi biaya penggunaan kendaraan adalah sebesar 80.98%. Penggunaan lebih banyak kendaraan akan menyebabkan biaya energi menurun karena muatan yang diangkut setiap kendaraan lebih kecil karena banyaknya muatan berbanding lurus dengan kebutuhan energi yang diperlukan.

Berdasarkan Gambar 4.4 terlihat lebih detail bahwa biaya energi berkontribusi besar (26%) untuk kelas C1. Lokasi yang terkluster satu dengan lain menyebabkan biaya transportasi pada kelas data C1 juga semakin kecil. Kontribusi biaya transportasi hanya mencapai 9% pada data C1. Biaya penggunaan kendaraan juga semakin kecil karena jumlah kendaraan yang digunakan hanya 5 unit.

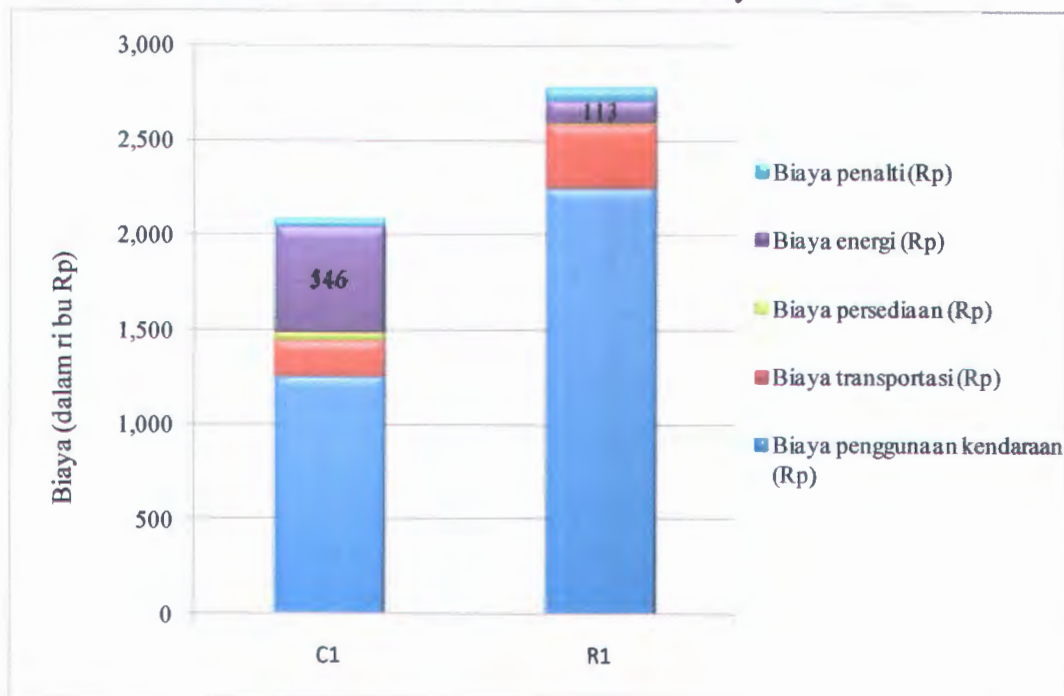
Sedangkan untuk lokasi pelanggan acak (kelas data R1), berdasarkan Gambar 4.4, terlihat penurunan kebutuhan biaya energi. Biaya energi hanya berkontribusi 4% untuk kelas R1. Lokasi yang acak satu dengan lain menyebabkan biaya transportasi pada kelas data R1 juga semakin besar. Kontribusi biaya transportasi mencapai 12% pada data R1. Biaya penggunaan kendaraan juga semakin besar karena jumlah kendaraan yang digunakan mencapai 9 unit.

Kesimpulannya, terdapat korelasi antara penyebaran pelanggan dengan biaya energi yang dibutuhkan. Lokasi pelanggan yang tersebar menyebabkan jumlah kendaraan yang dibutuhkan akan semakin banyak. Banyaknya jumlah kendaraan akan berpengaruh pada biaya transportasi yang semakin besar tetapi biaya energi semakin kecil. Hal ini disebabkan semakin banyak jumlah kendaraan menyebabkan muatan tiap kendaraan akan semakin kecil (d disesuaikan dengan kapasitas) sehingga energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan ekivalen semakin kecil. Sebaliknya, lokasi pelanggan yang terkluster menyebabkan jumlah kendaraan yang dibutuhkan akan semakin kecil. Kurangnya jumlah kendaraan akan berpengaruh pada biaya transportasi yang semakin kecil tetapi biaya energi semakin besar. Hal ini disebabkan semakin sedikit jumlah kendaraan menyebabkan muatan tiap kendaraan akan semakin besar (d disesuaikan dengan kapasitas) sehingga energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan ekivalen semakin besar.

Tabel 4. 13 Biaya Distribusi Dengan dan Tanpa Mempertimbangkan Energi

	C1		R1	
Jumlah kendaraan (unit)	5		9	
Biaya penggunaan kendaraan (Rp)	1,250,000	60.07%	2,250,000	80.98%
Biaya transportasi (Rp)	195,350	9.39%	334,753	12.05%
Biaya persediaan (Rp)	51,008	2.45%	12,000	0.43%
Biaya energi (Rp)	546,407	26.26%	113,079	4.07%
Biaya penalti (Rp)	38,006	1.83%	68,659	2.47%
TOTAL BIAYA (Rp): mempertimbangkan biaya energi	2,080,771		2,778,492	
TOTAL BIAYA (Rp): tanpa mempertimbangkan biaya energi	1,534,364		2,665,413	
Perbedaan %	35.61%		4.24%	

Gambar 4. 4 Grafik *Breakdown* Elemen Biaya Distribusi



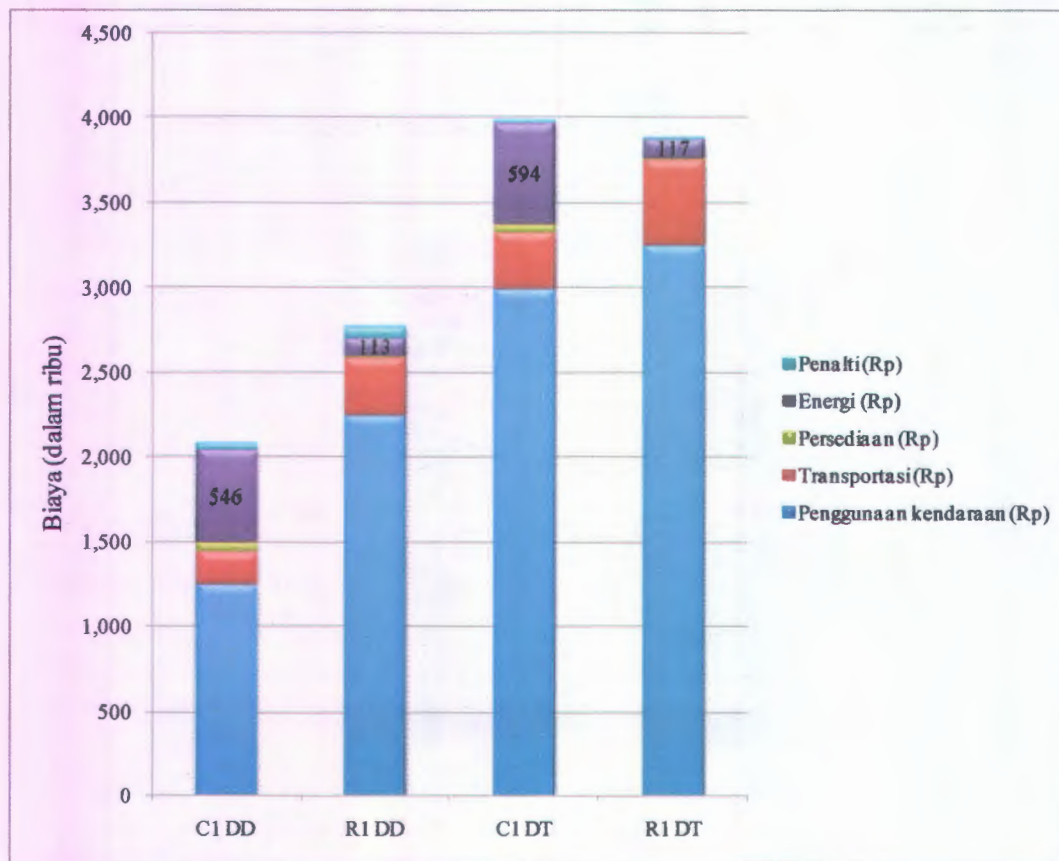
4.6.2 Perbandingan Biaya: Strategi *Dependent Distance* Vs *Dependent Temperature*

Setelah mendapatkan perhitungan biaya berdasarkan strategi *dependent distance* selanjutnya dilakukan perhitungan biaya strategi *dependent temperature*. Kedua strategi ini kemudian akan dibandingkan untuk mengetahui keefektifan strategi dalam permasalahan distribusi. Perbandingan strategi *dependent*

temperature dengan *dependent distance* ditunjukkan pada Tabel 4.14 sedangkan *breakdown* elemen biaya setiap strategi ditunjukkan Gambar 4.5.

Tabel 4. 14 Perbandingan *Dependent Distance* Vs *Dependent Temperature*

		Biaya					
		Penggunaan kendaraan (Rp)	Transportasi (Rp)	Persediaan (Rp)	Energi (Rp)	Penalti (Rp)	Total (Rp)
<i>Dependent Distance</i>	C1	1,250,000	195,350	51,008	546,407	38,006	2,080,771
	R1	2,250,000	334,753	12,000	113,079	68,659	2,778,492
<i>Dependent Temperature</i>	C1	3,000,000	329,889	49,556	593,837	13,952	3,987,234
	R1	3,250,000	503,511	11,867	117,268	3,019	3,885,665



Gambar 4. 5 Grafik *Breakdown* Elemen Biaya Distribusi *Dependent Distance* Vs *Dependent Temperature*

Berdasarkan Tabel 4.14 terlihat bahwa strategi *dependent temperature* menghasilkan total biaya yang lebih besar daripada strategi *dependent distance*. Untuk kelas data C1, strategi *dependent temperature* menunjukkan perbedaan

signifikan, hampir lebih dari 91% lebih mahal daripada strategi *dependent distance*. Total biaya distribusi strategi *dependent distance* mencapai Rp 2.778.492,00 sedangkan strategi *dependent temperature* mencapai Rp 3.885.655,00. Besarnya perbedaan ini disumbangkan dari naiknya biaya transportasi karena penggunaan kendaraan yang lebih banyak. Pada strategi *dependent distance* bisa menggunakan lima kendaraan saja, sementara strategi *dependent temperature* harus menggunakan 12 kendaraan.

Untuk kelas data R1, strategi *dependent temperature* menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan dibandingkan kelas data C1, lebih dari 39% lebih mahal daripada strategi *dependent distance*. Total biaya distribusi strategi *dependent distance* mencapai Rp 2.088.071,00 sedangkan strategi *dependent temperature* mencapai Rp 3.987.234,00. Besarnya perbedaan ini disumbangkan dari naiknya biaya transportasi karena penggunaan kendaraan yang lebih banyak. Pada strategi *dependent distance* bisa menggunakan 9 kendaraan saja, sementara strategi *dependent temperature* harus menggunakan 13 kendaraan.

Tabel 4. 15 *Load factor* C1 strategi *dependent temperature*

Vehicle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Muatan	30	40	80	20	20	30	60	20	60	20	20	70
<i>Load factor</i>	15.00%	20.00%	40.00%	10.00%	10.00%	15.00%	30.00%	10.00%	30.00%	10.00%	10.00%	35.00%

Tabel 4. 16 *Load factor* R1 strategi *dependent temperature*

Vehicle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Muatan	10	20	30	35	30	43	29	24	19	38	19	32	29
<i>Load factor</i>	5.00%	10.00%	15.00%	17.50%	15.00%	21.50%	14.50%	12.00%	9.50%	19.00%	9.50%	16.00%	14.50%

Penggunaan kendaraan yang lebih banyak ini salah satunya diindikasikan karena ketatnya *time windows*. Pada Tabel 4.15 terlihat bahwa *load factor* untuk strategi *dependent temperature* relatif rendah, mencapai sekitar 20% per kendaraan. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan kendaraan yang lebih banyak bukan karena terkendala tidak terpenuhinya kapasitas, akan tetapi terkendala *time windows* yang ketat. Hal yang sama juga terlihat pada Tabel 4.16. *Load factor* strategi *dependent temperature* juga rendah, bahkan lebih rendah,

mencapai sekitar 15% per kendaraan. Untuk itu perlu dilakukan analisis lanjutan dampak perubahan *time windows* serta temperatur terhadap total biaya distribusi.

4.6.3 Perbandingan Biaya: Biaya Transportasi dan Biaya Energi

Salah satu tujuan penelitian ini membandingkan keefektifan penerapan strategi *dependent distance* dengan *dependent temperature*. Berdasarkan uji numerik sebelumnya didapatkan bahwa biaya penggunaan kendaraan berkontribusi terbesar dibandingkan biaya-biaya lainnya (transportasi, persediaan, energi, serta penalti). Hal ini salah satunya disebabkan *setting* parameter inisial penggunaan kendaraan. Pada penelitian ini parameter inisial penggunaan kendaraan diasumsikan sama dengan kebutuhan menyewa kendaraan, Rp 250.000,00/unit. Apabila diasumsikan distributor mempunyai jumlah kendaraan tidak terbatas maka biaya penggunaan kendaraan bisa dihilangkan.

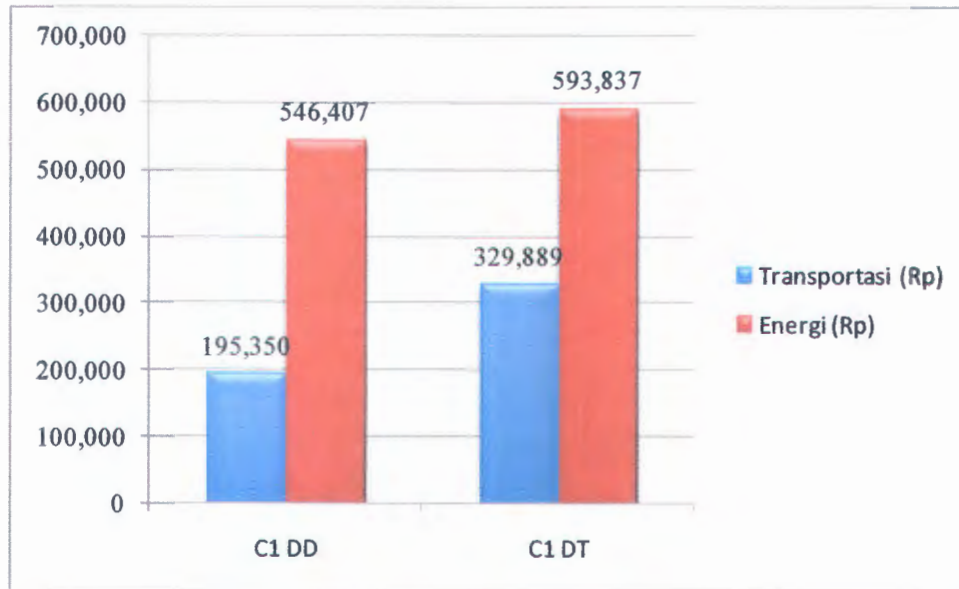
Pada Tabel 4.17 terlihat bahwa untuk data C1 baik strategi *dependent distance* maupun *dependent temperature*, biaya energi memegang kontribusi lebih dari 60% dari total biaya distribusi. Sedangkan pada data R1, baik strategi *dependent distance* maupun *dependent temperature*, biaya energi kontribusinya lebih kecil, sekitar 20% dari total biaya distribusi. Bisa dianalisis bahwa faktor penyebaran pelanggan sangat mempengaruhi biaya energi

Tabel 4. 17 Perbandingan Biaya Energi Vs Biaya Transportasi tanpa Mempertimbangkan Biaya Penggunaan Kendaraan

		Biaya				
		Transportasi (Rp)	Persediaan (Rp)	Energi (Rp)	Penalti (Rp)	Total (Rp)
<i>Dependent Distance</i>	C1 DD	195,350	51,008	546,407	38,006	830,771
	R1 DD	334,753	12,000	113,079	68,659	528,492
<i>Dependent Temperature</i>	C1 DT	329,889	49,556	593,837	13,952	987,234
	R1 DD	503,511	11,867	117,268	3,019	635,665

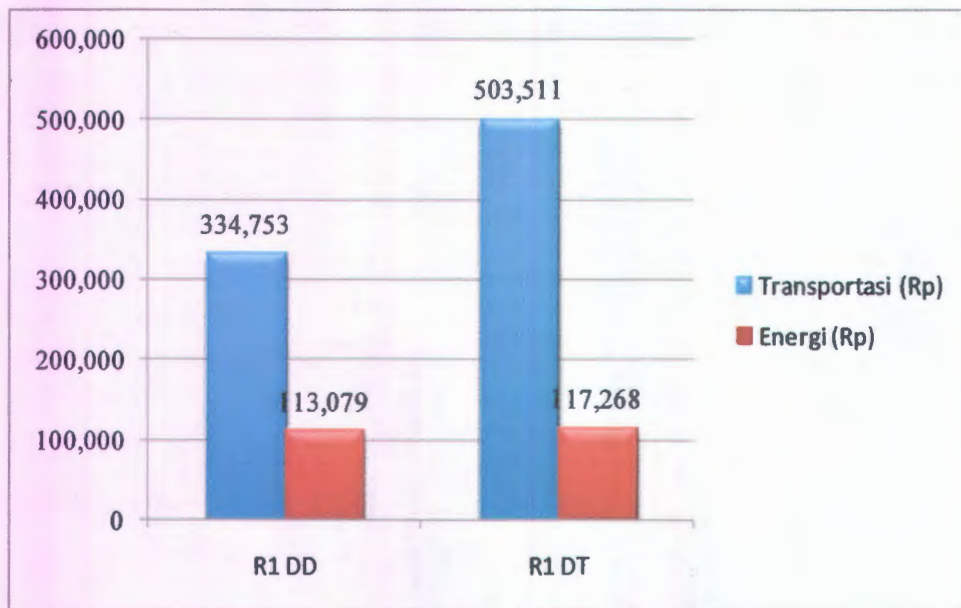
Pada Gambar 4.6 terlihat perbandingan antara biaya energi dengan biaya transportasi untuk kelas data C1. Terlihat bahwa penerapan strategi *dependent temperature* selain memperbesar biaya transportasi lebih dari 68%, juga memperbesar biaya energi lebih dari 8%. Sedangkan untuk kelas data R1, Gambar

4.7 menunjukkan perbandingan antara biaya energi dengan biaya transportasi untuk kelas data R1. Terlihat bahwa penerapan strategi *dependent temperature* selain memperbesar biaya transportasi lebih dari 50%, juga memperbesar biaya energi lebih dari 5%.



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Biaya Energi Vs Biaya Transportasi tanpa Mempertimbangkan Biaya Penggunaan Kendaraan data C1

Berdasar perbandingan ini dapat disimpulkan bahwa biaya energi dan biaya transportasi adalah dua faktor biaya yang memegang peranan penting dalam biaya distribusi. Akan tetapi kontribusinya tiap biaya akan berbeda tergantung penyebarannya. Lokasi pelanggan terklastrer, baik strategi *dependent distance* maupun strategi *dependent temperature*, menyebabkan biaya energi lebih banyak berkontribusi dibandingkan biaya transportasi. Hal ini disebabkan lokasi terklastrer menyebabkan pelanggan saling berdekatan sehingga biaya transportasi mampu diminimalkan. Akan tetapi muatan kendaraan akan lebih banyak yang pada akhirnya berpengaruh pada naiknya biaya energi.



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Biaya Energi Vs Biaya Transportasi tanpa Mempertimbangkan Biaya Penggunaan Kendaraan data R1

Sedangkan untuk lokasi pelanggan acak, baik strategi *dependent distance* maupun strategi *dependent temperature*, menyebabkan biaya transportasi yang lebih banyak berkontribusi dibandingkan biaya energi. Hal ini disebabkan lokasi acak menyebabkan biaya transportasi lebih besar karena mempergunakan lebih banyak kendaraan yang akhirnya berpengaruh kepada jarak yang ditempuh. Akan tetapi jumlah kendaraan yang lebih banyak ini di satu sisi akan membawa muatan lebih kecil yang pada akhirnya berpengaruh pada turunnya biaya energi.

4.7 Uji Numerik dan Analisis Hasil

4.7.1 Skenario 1: Perbedaan Temperatur Signifikan

Pada uji numerik penelitian ini dilakukan percobaan apabila perbedaan temperatur antar produk dibuat signifikan. Hal ini untuk mengetahui seberapa besar kontribusi perbedaan temperatur terhadap biaya energi dan biaya transportasi.

Pada skenario ini perbedaan temperatur dibuat signifikan mencapai -10°C , berbeda dengan perhitungan sebelumnya (-1°C). Skenario ini juga hanya

menggunakan dua kelompok temperatur penyimpanan -10°C dan 0°C , Hasil *running* VBA ditunjukkan Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Uji Numerik Skenario Perbedaan Temperatur Signifikan

Berdasarkan Gambar 4.8 terlihat bahwa dengan mengubah parameter temperatur terjadi perubahan perilaku model. Dengan menggunakan strategi *dependent temperature*, biaya energi dan transportasi turun tetapi tidak terlalu signifikan (sekitar 5%). Berdasarkan uji numerik ini dapat dianalisis apabila perbedaan temperatur tidak terlalu berpengaruh signifikan terhadap biaya energi dan transportasi. Hal ini disebabkan meskipun temperatur berpengaruh tetapi jumlah kendaraan yang digunakan masih relatif banyak digunakan untuk memenuhi kendala *time windows*.

BAB 5

KESIMPULAN dan SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Algoritma NN – PSO mampu menghasilkan solusi yang lebih efisien dari PSO.
2. Faktor energi berkontribusi pada pengiriman produk *perishable* menggunakan *cold storage*.
3. Besar kecilnya kontribusi biaya energi tergantung pada energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan serta penyebaran pelanggan, acak atau terklaster.
4. Penyebaran pelanggan terklaster menyebabkan biaya energi semakin besar tetapi dari sisi lain menyebabkan biaya penggunaan kendaraan semakin kecil. Sebaliknya penyebaran pelanggan acak menyebabkan biaya energi semakin kecil sementara tetapi biaya penggunaan kendaraan semakin besar.
5. Strategi *dependent distance* membutuhkan lebih sedikit kendaraan dibandingkan strategi *dependent temperature*.

5.2 Saran Penelitian Lanjutan

Penelitian ini memiliki asumsi dan batasan yang direlaksasi untuk penelitian lanjutan. Penelitian lanjutan untuk melengkapi dan menyempurnakan hasil penelitian ini adalah dengan *setting* permasalahan yang berbeda, yaitu:

1. Penelitian lanjutan bisa menyertakan pertimbangan klastering temperatur berdasar *range* temperatur sehingga satu kendaraan bisa terdiri dari berbagai *range* temperatur tapi masih dalam satu klaster

2. Penelitian lanjutan bisa menyertakan data Solomon dalam rentang skala yang lebih besar, 100 node untuk setiap kelas yang berbeda (C2, R2, serta RC).
3. Penelitian lanjutan bisa menyertakan pula analisa sensitivitas untuk mengetahui dampak *time windows* serta temperatur terhadap biaya energi dan total biaya distribusi

DAFTAR PUSTAKA

- Abad, E., Palacio, F., Nuin, M., Zarate, G., Juarros, Gomez, J.M., dan Marco, S. (2009). "RFID Smart Tag Traceability and Cold Chain Management", *Journal of Food Engineering*, Vol. 93, hal. 394-399.
- Adler, W.A. (2010). "Transfair Engineering: Survey about CFC-free Refrigerator Production-Part 4: Designing and Prototyping of Refrigerator and Freezer Cooling". Transfair GmbH. Dusseldorf.
- Ai, T.J dan Kachitvichyanukul, V. (2009). "A Particle Swarm Optimization for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick Up and Delivery", *Computers & Operation Research*, Vol. 36, hal. 1693-1702.
- Atmojo, A. (2009). "Desain Konseptual Pola Pengangkutan Antar Pulau", Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Baptista, S.R.C., Oliveira, dan Zuquete, E. (2002). "A Period Vehicle Routing Case Study", *European Journal of Operational Research*, Vol. 139, hal. 220-229.
- Belenguer, J.M, Benavent, E., dan Martinez, M.C. (2005). "Ruta Rep: A Computer Package to Design Dispatching Routes in the Meat Industries", *Journal of Food Engineering*, Vol. 70, hal. 435-444.
- Bolduc, M.C, Laporte, G., Renaud, J., dan Boctor, F. (2009). "A Tabu Search Heuristics for the Split Delivery Vehicle Routing Problem with Production and Demand Calenders", *European Journal of Operational Research*, Vol. 202, hal. 122-130.
- Bogataj, M., Bogataj, L., dan Vodopivec, R. (2005). "Stability of Perishable Goods in Cold Logistics Chains", *Int. J. Production Economics*, Vol. 93, hal. 345-356.
- Braysy, O., Porkka, P.P, Dullaert, W., Repoussis, P., dan Tarantilis, C. (2009). "A Well Scalable Metaheuristic for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Expert Systems With Application*, Vol. 36, hal. 8460-8475.

- Broekmeulen, R.A.C.M dan Donselaar K. (2009). "A Heuristic to Manage Perishable Inventory with Batch Ordering, Positive Lead-Times, and Time-Varying Demand", *Computers & Operations Research*, Vol. 36, hal.3013-3018.
- Calvete, H.I., Galé, C., Oliveros, M.J., dan Sánchez-Valverde, B. (2007). "A Goal Programming Approach to Vehicle Routing Problems with Soft Time Windows Star Open", *European Journal of Operational Research*, Vol. 177, hal. 1720–1733.
- Chen, H., Hsueh, C., dan Chang, M. (2009). "Production Scheduling and Vehicle Routing with Time Windows for Perishable Food Products", *Computers & Operations Research*, Vol. 36, hal. 2311 – 2319.
- Chopra, S. (2005). https://www.kellogg.northwestern.edu/EMP/intranet/preenroll/Seven-Eleven_Final_0205.pdf
- Dumas, Y., Desrosiers J., dan Soumis, F. (1991). "The Pick Up and Delivery Problem with Time Windows". *European Journal of Operational Research*, Vol. 54, hal. 7-22.
- Faulin, J. (2003). "Applying MIXALG Procedure in a Routing Problem to Optimize Food Product Delivery", *Omega*, Vol. 31, hal. 387-395.
- Figliozzi, M.A. (2010), "An Iterative Route Construction and Improvement Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows", *Transportation Research Part C*, Vol. 18, hal. 668–679.
- Goetschalckx, M., dan Jacob-Blecha, C. (1989). "The Vehicle Routing Problem with Backhaul: Theory and Methodology", *European Journal of Operational Research*, Vol. 42, hal. 39-51.
- Hsu, C.I., Hung, S.F., Li, H.C. (2007). "Vehicle Routing Problem with Time-Windows for Perishable Food Delivery", *Journal of Food Engineering*, Vol. 80, hal.465–475.
- Hwang, H.S. (1999). "A Food Distribution Model for Famine Relief", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 37, hal.335–338.
- Jackson, V., Blair, I. S., McDowell, D.A., Kennedy, J., dan Bolton, D. J. (2007). "The Incidence of Significant Food Borne Pathogens in Domestic Refrigerators", *Food Control*, Vol. 18, hal 346–351.

- Jedermann, R., Ruiz-Garcia, dan L., Lang. (2009). "Spatial Temperature Profiling by Semi-Passive RFID for Perishable Food Transportation", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 65, hal. 145–154.
- Jia, J. dan Hu, Q. (*in press*). "Dynamic Ordering and Pricing for a Perishable Goods Supply Chain", *Computers & Industrial Engineering*, doi: [10.1016/j.cie.2010.11.013](https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.11.013).
- Jiang, Y., Hu, T., Huang, CC., dan Wu, X. (2007). "An Improved Particle Swarm Optimization Algorithm", *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 193, hal 231-239.
- Jie, J., Zeng, J., Han, C., dan Wang, Q. (2008). "Knowledge-based Cooperative Particle Swarm Optimization", *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 205, hal 861-873.
- Jozefowicz , N., Semet, F., Talbi, dan El-Ghazali. (2008). "Multi-Objective Vehicle Routing Problems", *European Journal of Operational Research*, Vol.189, hal. 293–309.
- Kader, A., Rolle, R. (2004). "The Role of Post Harvest Management in Assuring the Quality and Safety of Horticultural Produce", *FAO Agricultural Service Bulletin*, Vol. 152, hal.1-2.
- Kuo, J. dan Chen, M.C. (2010). "Developing an Advanced Multi-Temperature Joint Distribution System for the Food Cold Chain", *Food Control*, Vol. 21, hal. 559–566.
- Lambert, V., Laporte, G., dan Loeveaux, F. (1993). "Designing Collection Routes Through Bank Branches". *Computer Ops. Res*, Vol. 20, hal. 783-791.
- Li, X., Tian, P., dan Leung, H.C. (2010). "Vehicle Routing Problems with Time Windows and Stochastic Travel and Service Times: Models and Algorithm". *Int. J. Production Economics*, Vol. 125, hal 137-145.
- Marinakis, Y., dan Marinaki, M. (2010). "A Hybrid Multi-Swarm Particle Swarm Optimization Algorithm for the Traveling Salesman Problem". *Computers & Operation Research*, Vol. 37, hal. 432-442.
- Montanari, R. (2008). "Cold Chain Tracking: a Managerial Perspective", *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 19 (8), hal. 425–431.

- Muller, J. (2010). "Approximate Solutions to the Bicriterion Vehicle Routing Problem With Time Windows". *European Journal of Operational Research*, Vol. 202, hal. 223-223.
- Osvald, A. dan Stirn., L.Z. (2008). "A Vehicle Routing Algorithm for the Distribution Of Fresh Vegetables and Similar Perishable Food", *Journal of Food Engineering*, Vol. 85, hal. 285-295.
- Ovca, A. dan Jevšnik, M. (2009). "Maintaining a Cold Chain from Purchase to the Home at Home: Consumer Opinions", *Food Control*, Vol. 20, hal. 167-172.
- Panozzo, G dan Cortella, G. (2008) . "Standards for Transport of Perishable Goods are Still Adequate? ", *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 19, hal. 432-440.
- Pridenzis, N., Kiranoudis, C.T., dan Kouris, D.M. (2003). "A Business to Business Fleet Management Service Provider for Central Food Market Enterprises", *Journal of Food Engineering*, Vol. 60, hal. 203-210.
- Qureshi, A.G., Taniguchi, E., dan Yamada, T. (2009). "An Exact Solution Approach for Vehicle Routing and Scheduling Problems with Soft Time Windows", *Transportation Research Part E*, Vol. 45, hal. 960-977.
- Rodrigue, J.P., Comtois, C., dan Slack, B. (2006). *The Geography Of Transport System*, Routledge, New York.
- Rusdiansyah, A. dan Tsao, D. (2005). "An Integrated Model of The Periodic Delivery Problems for Vending Machine Supply Chains", *Journal of Food Engineering*, Vol. 70, hal. 421-434.
- Santosa, B. dan Willy, P. (2011). "*Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi*", Edisi pertama, Guna Widya, Surabaya.
- Tarantilis, C.D. dan Kiranoudis, C.T. (2001). "A Meta-Heuristic Algorithm for the Efficient Distribution of Perishable Foods", *Journal of Food Engineering*, Vol. 50, hal. 1-9.
- Tarantilis, C.D., dan Kiranoudis, C.T. (2002). "Distribution of Fresh Meat", *Journal of Food Engineering*, Vol. 51, hal. 85-91.
- Toth, P. dan Vigo, D. (2002). "*The Vehicle Routing Problem*", SIAM, Philadelphia.

- Vanek, F. dan Sun, Y. (2008). "Transportation Versus Perishability in Life Cycle Energy Consumption", *Transportation Research*, Vol. 13, hal.383–391.
- Xie, R., Luo, G., Liu, G., dan Fu, W. (2011). "Study on the Temperature Field Inside Refrigerated Containers", *Proceeding of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 8
- Xu, J., Yan, F., dan Li, S. (*in press*). " Vehicle Routing Optimization with Soft Time Windows in a Fuzzy Random Environment", *Transportation Research Part E*, doi:10.1016/j.tre.2011.04.002.
- Yang, Xin-She. (2010). "An Introduction with Metaheuristic Application, John Wiley & Sons, New Jersey.
- Yucenur, G.N. dan Demirel, N.C. (*in press*). "A New Geometric Shape-Based Genetic Clustering Algorithm for The Multi-Depot Vehicle Routing Problem", *Expert Systems Application*, doi:10.1016/j.eswa.2011.03.077.
<http://web.cba.neu.edu/msolomon/problems.htm>



Lampiran 1.A

Data Solomon C1 (25 node)

Cust no	Koordinat-x a_i	Koordinat-y b_i	demand d_i	time windows awal r_i	time windows akhir s_i	temperatur t_m (°C)	shelf life h_m	kepadatan lalu lintas (0 = tidak, 1 = ya)
0	40	50	0	0	1236	-	-	-
1	45	68	10	912	967	-7	24	1
2	45	70	30	825	870	-6	36	1
3	42	66	10	65	146	-7	24	0
4	42	68	10	727	782	-4	36	0
5	42	65	10	15	67	-3	36	0
6	40	69	20	621	702	-3	36	1
7	40	66	20	170	225	-4	36	1
8	38	68	20	255	324	-3	36	1
9	38	70	10	534	605	-3	36	0
10	35	66	10	357	410	-3	36	1
11	35	69	10	448	505	-3	36	1
12	25	85	20	652	721	-6	36	0
13	22	75	30	30	92	-5	36	1
14	22	85	10	567	620	-3	36	0
15	20	80	40	384	429	-4	36	1
16	20	85	40	475	528	-5	36	0
17	18	75	20	99	148	-4	36	1
18	15	75	20	179	254	-7	24	1
19	15	80	10	278	345	-7	24	1
20	30	50	10	10	73	-7	24	1
21	30	52	20	914	965	-4	36	1
22	28	52	20	812	883	-3	36	0
23	28	55	10	732	777	-7	24	1
24	25	50	10	65	144	-6	36	1
25	25	52	40	169	224	-6	36	1

Lampiran 1.B**Data Solomon R1 (25 node)**

Cust no	Koordina t-x a_i	Koordina t-y b_i	demand d_i	time windows awal r_i	time windows akhir s_i	temperatur t_m (°C)	shelf life h_m	kepadatan lalu lintas (0 = tidak, 1 = ya)
0	35	35	0	0	230			
1	41	49	10	161	171	-3	36	1
2	35	17	7	50	60	-4	36	1
3	55	45	13	116	126	-7	24	1
4	55	20	19	149	159	-6	36	1
5	15	30	26	34	44	-7	24	0
6	25	30	3	99	109	-5	36	0
7	20	50	5	81	91	-7	24	1
8	10	43	9	95	105	-6	36	0
9	55	60	16	97	107	-7	24	1
10	30	60	16	124	134	-4	36	1
11	20	65	12	67	77	-6	36	0
12	50	35	19	63	73	-4	36	1
13	30	25	23	159	169	-4	36	1
14	15	10	20	32	42	-4	36	1
15	30	5	8	61	71	-4	36	1
16	10	20	19	75	85	-6	36	1
17	5	30	2	157	167	-4	36	1
18	20	40	12	87	97	-7	24	1
19	15	60	17	76	86	-6	36	0
20	45	65	9	126	136	-3	36	0
21	45	20	11	62	72	-3	36	0
22	45	10	18	97	107	-7	24	0
23	55	5	29	68	78	-5	36	1
24	65	35	3	153	163	-5	36	0
25	65	20	6	172	182	-7	24	1

LAMPIRAN 2A.
Hasil Running Nearest Neighbor C1 Strategi Dependent Distance

Vehicle No	Node Awal	Next Node	Cum Load	Start	Travel time	Arrive	Open (Schedul e)	Start service	Service time	Finish	Close (Schedul e)	Close acceptabl e	penalty?	Decision	Distance	Durasi loss	Probabili ty Loss	Probabili ty loss 2	Total loss	Tempera tur	Late time	Total duration	Waiting
1	0	20	10	0	16	16	16	16	10	26	73	193	No	20	10	16	0.011111	0.006944	90.27778	-7		26	
1	20	21	30	26	3.2	29.2	914	914	20	934	965	1085	No	21	2	934	0.423148	0.009259	4324.074	-4		908	884.8
1	21	22	50	934	3.2	937.2	812	937.2	20	957.2	883	1003	Yes	22	2	957.2	0.433889	0.009259	4431.481	-3	65.80	23.2	
1	22	1	60	957.2	37.36	994.56	912	994.56	10	1004.56	967	1087	Yes	1	23.35	1,004.56	0.690667	0.006944	3488.056	-7	92.44	47.36	
1	1	19	90	1004.56	51.7	1056.26	778	1056.26	10	1066.26	345	465	No	0	18.68	1,066.26	0.733514	0.006944					
2	0	23	10	0	20.8	20.8	732	732	10	742	777	897	No	23	13	742	0.508333	0.006944	2576.389	-7		742	711.2
2	23	6	50	742	29.5	771.5	621	771.5	20	791.5	702	822	Yes	6	18.44	791.5	0.357176	0.009259	3664.352	-3	50.50	49.5	
2	6	4	60	791.5	3.58	795.08	727	795.08	10	805.08	782	902	Yes	4	2.24	805.08	0.368093	0.00463	1863.611	-4	106.92	13.58	
2	4	2	90	805.08	5.78	810.86	825	825	30	855	870	990	No	2	3.61	855	0.381944	0.013889	5937.5	-6		49.92	14.14
2	2	19	120	855	50.59	905.59	278	905.59	10	915.59	345	465	No	0	20.62	915.59	0.628882	0.006944					
3	0	24	10	0	24	24	65	65	10	75	144	264	No	24	15	75	0.030093	0.00463	173.6111	-6		75	41
3	24	25	50	75	3.2	78.2	169	169	40	209	224	344	No	25	2	209	0.078241	0.018519	1935.185	-6		134	90.8
3	25	10	60	209	27.52	236.52	357	357	10	367	410	530	No	10	17.2	367	0.165278	0.00463	849.537	-3		158	120.48
3	10	11	70	367	4.8	371.8	448	448	10	458	505	625	No	11	3	458	0.207407	0.00463	1060.185	-3		91	76.2
3	11	9	90	458	5.06	463.06	534	534	10	544	605	725	No	9	3.16	544	0.247222	0.00463	1259.259	-3		86	70.94
3	9	12	110	544	23.82	567.82	652	652	20	672	721	841	No	12	19.85	672	0.301852	0.009259	3111.111	-6		128	84.18
3	12	14	120	672	3.6	675.6	567	675.6	10	685.6	620	740	Yes	14	3	685.6	0.312778	0.00463	1587.037	-3	64.40	13.6	
3	14	18	160	685.6	19.54	705.14	179	705.14	20	725.14	254	374	No	0	39.36	725.14	0.489681	0.013889					
4	0	5	10	0	18.16	18.16	15	18.16	10	28.16	67	187	No	5	15.13	28.16	0.008407	0.00463	65.18519	-3		28.16	
4	5	3	20	28.16	1.2	29.36	65	65	10	75	146	266	No	3	1	75	0.045139	0.006944	260.4167	-7		46.84	35.64
4	3	7	40	75	3.2	78.2	170	170	20	190	225	345	No	7	2	190	0.078704	0.009259	879.6296	-4		115	91.8
4	7	8	60	190	4.53	194.53	255	255	20	275	324	444	No	8	2.83	275	0.118056	0.009259	1273.148	-3		85	60.47
4	8	15	90	275	34.61	309.61	384	384	40	424	429	549	No	15	21.63	424	0.177778	0.018519	3925.926	-4		149	74.39
4	15	16	130	424	8	432	475	475	40	515	528	648	No	16	5	515	0.219907	0.018519	4768.519	-5		91	43
4	16	18	140	515	17.89	532.89	179	532.89	20	552.89	254	374	No	0	40.31	552.89	0.370063	0.013889					
5	0	13	30	0	49.3	49.3	30	49.3	30	79.3	92	212	No	13	30.81	79.3	0.022824	0.013889	550.6944	-5		79.3	
5	13	17	50	79.3	6.4	85.7	99	99	20	119	148	268	No	17	4	119	0.045833	0.009259	550.9259	-4		39.7	13.3
5	17	18	70	119	4.8	123.8	179	179	20	199	254	374	No	18	3	199	0.124306	0.013889	1381.944	-7		80	55.2
5	18	19	80	199	8	207	278	278	10	288	345	465	No	19	5	288	0.193056	0.006944	1000	-7		89	71
5	19	0	80	288	62.48	350.48	278	350.48	0	350.48	1236	1236	No	Stop	5	0							

Vehicle	1	2	3	4	5
Total	429,183	462,184	481,511	439,500	325,443
					2,088,071

Vehicle	1	2	3	4	5
Temp	-7	-7	-6	-7	-7
Distance	56.03	57.91	102.57	87.90	47.81
Duration	1,004.56	855.00	685.60	515.00	288.00
Muatan	60	90	120	130	80
Dispatch	250000	250000	250000	250000	250000
Transport	31,516.88	32,574.38	57,695.63	49,443.75	26,893.13
Inv	12,333.89	14,041.85	9,975.93	11,172.82	3,483.56
Energi	119,509	149,826	157,399	128,884	45,066
Penalti	15,824.00	15,742.00	6,440.00	0.00	0.00

LAMPIRAN 2C.
Hasil Running Nearest Neighbor C1 Strategi Dependent Temperature

Group	Vehicle No	Node Awal	Next Node	Cum Load	Start	Travel time	Arrive	Open (Schedule)	Start service	Service time	Finish	Close (Schedule)	Close (acceptabl e)	Chose penalty?	Decision	Distance	Durasi loss	Probabili ty Loss	Probabili ty loss 2	Total loss	Tempera tur	Late time	Total duration	Waiting
1	1	0	20	10	0	16	16	10	16	10	26	73	193	No	20	10	16	0.266667	0.166667	2166.667	-7		26	
1	1	20	23	20	26	8.62	34.62	732	732	10	742	777	897	No	23	5.39	732	0.166667	0.166667	6183.333	-7		716	697.38
1	1	23	1	30	742	34.24	776.24	912	912	10	922	967	1087	No	1	21.4	912	0.166667	0.166667	7683.333	-7		180	135.76
1	1	1	19	50	922	51.7	973.7	278	973.7	10	983.7	345	465	No	0	18.68	0	0.162283	0.166667					
1	2	0	3	10	0	19.34	19.34	65	65	10	75	146	266	No	3	16.12	65	1.083333	0.166667	6250	-7		75	45.66
1	2	3	18	30	75	45.54	120.54	179	179	20	199	254	374	No	18	28.46	179	2.983333	0.333333	33166.67	-7		124	58.46
1	2	18	19	40	199	8	207	278	278	10	288	348	465	No	19	5	278	4.633333	0.166667	24000	-7		89	71
1	2	19	0	40	288	62.48	350.48	0	350.48	0	350.48	1236		No	Stop	5	0							
2	3	0	24	10	0	24	24	65	65	10	75	144	264	No	24	15	65	0.541667	0.083333	3125	-6		75	41
2	3	24	25	50	75	3.2	78.2	169	169	40	209	224	344	No	25	2	169	1.408333	0.333333	3483.333	-6		134	90.8
2	3	25	2	80	209	43.06	252.06	825	825	30	855	870	990	No	2	26.91	825	6.875	10687.5			646	572.94	
2	3	2	12	100	855	40	895	652	895	20	915	721	841	No	0	20.62	0	7.458333	0.166667					
2	4	0	12	20	0	45.7	45.7	652	652	20	672	721	841	No	12	38.08	652	5.433333	0.166667	56000	-6		672	606.3
2	4	12	0	20	672	45.7	717.7	0	717.7	0	717.7	1236		No	Stop	38.08	0							
3	5	0	21	20	0	16.32	16.32	914	914	10	924	965	1085	No	21	10.2	914	5.077778	0.111111	51888.89	-4		934	897.68
3	5	21	15	40	934	47.57	981.57	384	981.57	40	1021.57	429	549	No	0	10.2	0	5.453167	0.222222					
3	6	0	7	20	0	25.6	25.6	170	170	20	190	225	345	No	7	16	170	0.944444	0.111111	10555.56	-4		190	144.4
3	6	7	4	30	190	4.53	194.53	727	727	10	737	782	902	No	4	2.83	727	4.038889	0.055556	20472.22	-4		547	532.47
3	6	4	15	50	737	40.1	777.1	384	777.1	40	817.1	429	549	No	0	18.11	0	4.317222	0.222222					
3	7	0	17	20	0	53.28	53.28	99	99	20	119	148	268	No	17	33.3	99	0.55	0.111111	6611.111	-4		119	45.72
3	7	17	15	60	119	8.62	127.62	384	384	40	424	429	549	No	15	5.39	384	2.133333	0.222222	47111.11	-4		305	256.38
3	7	15	0	60	424	57.7	481.7	0	481.7	0	481.7	1236		No	Stop	5.39	0							
4	8	0	22	20	0	14.6	14.6	812	812	20	832	883	1003	No	22	12.17	812	3.383333	0.083333	34666.67	-3		832	797.4
4	8	22	14	30	832	40.25	872.25	567	872.25	10	882.25	620	740	No	0	12.17	0	3.634375	0.041667					
4	9	0	5	10	0	18.16	18.16	15	18.16	10	28.16	67	187	No	5	15.13	18.16	0.075667	0.041667	386.6667	-3		28.16	
4	9	5	6	30	28.16	7.15	35.31	621	621	20	641	702	822	No	6	4.47	621	2.5875	0.083333	26708.33	-3		612.84	585.69
4	9	6	9	50	641	3.58	644.58	534	644.58	10	654.58	605	725	Yes	9	2.24	644.58	2.68575	0.041667	13637.08	-3	80.42	13.58	
4	9	9	14	60	654.58	26.32	680.9	567	680.9	10	690.9	620	740	Yes	14	21.93	680.9	2.837083	0.041667	14393.75	-3	59.10	36.32	
4	9	14	0	60	690.9	47.23	738.13	0	738.13	0	738.13	1236		No	0	39.36	0							
4	10	0	10	10	0	26.82	26.82	357	357	10	367	410	530	No	10	16.76	357	1.4875	0.041667	7645.833	-3		367	330.18
4	10	10	11	20	367	4.8	371.8	448	448	10	458	505	625	No	11	3	448	1.866667	0.041667	9541.667	-3		91	76.2
4	10	11	8	40	458	5.06	463.06	255	463.06	20	483.06	324	444	No	0	19.65	0	1.929417	0.083333					
4	11	0	8	20	0	28.98	28.98	255	255	20	275	324	444	No	8	18.11	255	1.0625	0.083333	11458.33	-3		275	226.02
4	11	8	0	20	275	28.98	303.98	0	303.98	0	303.98	1236		No	Stop	18.11	0							
5	12	0	13	30	0	49.3	49.3	30	49.3	30	79.3	92	212	No	13	30.81	49.3	0.164333	0.1	3965	-5		79.3	
5	12	13	16	70	79.3	16.32	95.62	475	475	40	515	528	648	No	16	10.2	475	1.583333	0.133333	34633.33	-5		435.7	379.38
5	12	16	0	70	515	48.37	563.37	0	563.37	0	563.37	1236		No	Finish	10.2	0							

Vehicle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temp	-7	-7	-6	-6	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-5
Distance	55.47	54.58	64.53	76.16	20.40	36.94	44.08	24.34	83.13	39.41	36.22	51.21
Duration	922.00	288.00	855.00	672.00	934.00	737.00	424.00	832.00	690.90	458.00	275.00	515.00
Muatan	30	40	80	20	20	60	60	20	60	20	60	70
Dispatch	250000	250000	250000	250000	250000	250000	250000	250000	250000	250000	250000	250000
Transport	31,201.88	30,701.25	36,298.13	42,840.00	11,475.00	20,778.75	24,795.00	13,691.25	46,760.63	22,168.13	20,373.75	28,805.63
Inv	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
Energy	57.807	23.459	132.692	29.313	40.142	45.144	49.217	35.491	79.534	19.537	11.731	69.770
Penalti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13,952.00	0.00	0.00	0.00
Total	475,842	367,577	563,823	378,153	353,506	346,950	377,755	333,849	445,572	308,893	293,563	386,874

4.636.337

LAMPIRAN 2D
 Hasil Running Nearest Neighbor R1 Strategi Dependent Temperature

Group	Vehicle No	Node Awal	Next Node	Cum Load	Start	Travel time	Arrive	Open (Schedule)	Start service	Service time	Finish	Close (Schedule)	Close acceptable	penalty?	Decision	Distance	Durasi loss	Probabili ty Loss	Probabili ty Loss 2	Total loss	Tempera tur	Late time	Total duration	Waiting	
1	1	0	1	10	0	24.37	24.37	161	161	10	171	171	671	No	1	15.23	161	0.166667	0.166667	14250	-3		171	136.63	
1	1	1	21	19	171	46.83	217.83	62	217.83	11	228.83	72	572	No	0	15.23	0	3.6305	0.183333	6691.667	-3		73	40.36	
1	2	0	21	11	0	21.64	21.64	62	62	11	73	72	572	No	21	18.03	62	0.183333	0.183333	6691.667	-3		73	40.36	
1	2	21	20	20	73	54	127	126	127	9	136	136	636	No	20	45	127	2.116667	0.15	10200	-3		63		
1	2	20	0	20	136	37.94	173.94	0	173.94	0	173.94	230	669	No	Stop	45	0								
2	3	0	13	23	0	17.89	17.89	159	159	23	182	169	669	No	13	11.18	159	1.315	0.191667	17441.67	-4		182	141.11	
2	3	13	2	30	182	15.09	197.09	50	197.09	7	204.09	60	560	Yes	2	9.43	197.09	1.642417	0.048333	5952.625	-4	362.91	22.09		
2	3	2	10	38	204.09	69.26	273.35	124	273.35	16	289.35	134	634	No	0	18	0	2.27917	0.133333						
2	4	0	12	19	0	24	24	63	63	19	82	73	573	No	12	15	63	0.525	0.138333	6491.667	-4		82	39	
2	4	12	10	35	82	51.23	133.23	124	133.23	16	149.23	134	634	No	10	32.02	133.23	1.11025	0.133333	9948.667	-4		67.73		
2	4	10	15	37	149.23	88	237.23	61	237.23	8	245.23	71	571	No	0	25.5	0	1.976917	0.066667						
2	5	0	15	8	0	48.66	48.66	61	61	8	69	71	571	No	15	30.41	61	0.508333	0.066667	2200	-4		69	12.34	
2	5	15	14	28	69	25.3	94.3	32	94.3	20	114.3	42	542	Yes	14	15.81	94.3	0.758333	0.166667	9525	-4	447.70	43.3		
2	5	14	17	30	114.3	35.78	150.08	157	157	2	159	167	667	No	17	22.36	157	1.308333	0.016667	1325	-4		44.7	6.92	
2	5	17	0	30	159	48.66	207.66	0	207.66	0	207.66	230	667	No	Stop	22.36	0								
3	6	0	18	12	0	25.3	25.3	87	87	12	99	97	597	No	18	15.81	87	0.483333	0.066667	3300	-7		99	61.7	
3	6	18	7	17	99	16	115	81	115	5	120	91	591	Yes	7	10	115	0.638889	0.027778	1646.667	-7	476.00	21		
3	6	7	5	43	120	32.99	152.99	34	152.99	26	178.99	44	544	Yes	5	20.62	152.99	0.849944	0.144444	12927.06	-7	391.01	58.99		
3	7	0	3	13	0	35.78	35.78	116	116	13	129	126	626	No	0	20.62	0	1.447611	0.033333				129	80.22	
3	7	3	9	29	129	24	153	97	153	16	169	107	607	Yes	9	15	153	0.85	0.088889	7511.111	-7	454.00	40		
3	7	9	22	35	169	81.58	250.58	97	250.58	18	268.58	107	607	No	0	32.02	0	1.392111	0.1						
3	8	0	22	18	0	32.32	32.32	97	97	18	115	107	607	No	22	26.93	97	0.538889	0.1	5750	-7		115	64.68	
3	8	22	25	24	115	35.78	150.78	172	172	6	178	182	682	No	25	22.36	172	0.955556	0.033333	2966.667	-7		63	21.22	
3	8	25	0	24	178	53.66	231.66	0	231.66	0	231.66	230	659	No	Stop	22.36	0								
4	9	0	4	19	0	40	40	149	149	19	168	159	659	No	4	25	149	0.620833	0.079167	6550	-6		168	109	
4	9	4	11	38	168	91.22	259.22	67	259.22	12	271.22	77	577	No	0	25	0	1.080083	0.05						
4	10	0	8	9	0	31.5	31.5	95	95	9	104	105	605	No	8	26.35	95	0.339383	0.0375	1990	-6		104	63.5	
4	10	8	19	26	104	21.26	125.26	76	125.26	17	142.26	86	586	Yes	19	17.72	125.26	0.521917	0.070833	5038.375	-6	460.74	38.26		
4	10	19	11	38	142.26	8.48	150.74	67	150.74	12	162.74	77	577	Yes	11	7.07	150.74	0.628083	0.05	4068.5	-6	426.26	20.48		
4	10	11	16	57	162.74	73.76	236.5	75	236.5	19	255.5	85	585	No	0	33.54	0	0.985417	0.079167						
4	11	0	16	19	0	46.64	46.64	75	75	19	94	85	585	No	16	29.15	75	0.3125	0.079167	3720.833	-6		94	28.36	
4	11	16	0	19	94	46.64	140.64	0	140.64	0	140.64	230	609	No	Stop	29.15	0								
5	12	0	6	3	0	13.42	13.42	99	99	3	102	109	609	No	6	11.18	99	0.33	0.01	510	-5		102	85.58	
5	12	6	24	32	102	48.37	150.37	153	153	3	156	163	663	No	24	40.31	153	0.51	0.01	780	-5		54	2.63	
5	12	24	0	32	156	36	192	0	192	0	192	230	663	No	0	30	0								
5	13	0	23	29	0	57.7	57.7	68	68	29	97	78	578	No	23	36.06	68	0.226667	0.090667	4688.333	-5		97	10.3	
5	13	23	0	29	97	57.7	154.7	0	154.7	0	154.7	230	578	No	Finish	36.06	0								

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, pada tanggal 9 Maret 1981 dan merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal, yaitu SDN Kertajaya XII/218 Surabaya (1987-1993), SMPN 1 Surabaya (1993-1996), dan SMUN 5 Surabaya (1996-1999). Selanjutnya penulis melanjutkan jenjang pendidikannya di Jurusan Teknik Industri ITS Surabaya (1999-2003). Setelah lulus dari program strata-1, penulis melanjutkan karir profesional di PT Eratex Djaja Tbk serta PT Ecco Indonesia (2004-2009). Terakhir penulis tercatat sebagai *Senior Process Engineer* dan praktisi MTM tersertifikasi.

Penulis kembali melanjutkan studinya di program Pasca Sarjana Teknik Industri ITS dengan mengambil bidang keahlian Manajemen Logistik dan Rantai Pasok. Semasa menempuh program pasca sarjana, penulis bergabung menjadi asisten Laboratorium *Logistics and Supply Chain Management*. Minat penulis adalah pada bidang Logistik dan Rantai Pasok, Transportasi dan Distribusi Logistik, serta Perencanaan dan Pengendalian Produksi. Penulis dapat dihubungi melalui email: trihardani@yahoo.com