



TESIS - TI142307

**PENGEMBANGAN MODEL OPERASIONAL *CROSS-DOCKING*  
UNTUK DISTRIBUSI PRODUK SAYUR SEGAR  
MEMPERTIMBANGKAN PENGATURAN TEMPERATUR DAN  
PELETAKAN PRODUK DI DALAM KENDARAAN  
BERPENDINGIN**

**AFIFAH FIANDA UTAMI CHANDRA BHUANA  
2514 203 204**

**DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M. Eng.**

**PROGRAM MAGISTER**

**BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN LOGISTIK DAN RANTAI PASOK**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2017**



THESIS - TI142307

**THE DEVELOPMENT OF CROSS-DOCKING OPERATIONAL  
MODEL FOR FRESH VEGETABLES PRODUCT BY  
CONSIDERING TEMPERATURE SETTING AND PRODUCT  
POSITIONING IN REFRIGERATED VEHICLE**

**AFIFAH FIANDA UTAMI CHANDRA BHUANA  
2514 203 204**

**SUPERVISOR**

**Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M. Eng.**

**MASTER PROGRAM**

**LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT**

**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING**

**FACULTY OF TECHNOLOGY INDUSTRY**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2017**

# PENGEMBANGAN MODEL OPERASIONAL *CROSS-DOCKING* UNTUK DISTRIBUSI PRODUK SAYUR SEGAR MEMPERTIMBANGKAN PENGATURAN TEMPERATUR DAN PELETAKAN PRODUK DI DALAM KENDARAAN BERPENDINGIN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**AFIFAH FIANDA UTAMI CHANDRA BHUANA**  
2514 203 204

Tanggal Ujian : 4 Januari 2017  
Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui oleh Tim Penguji Tesis:

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

  
(Pembimbing)

2. Prof. Dr. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng.  
NIP. 196901071994121001

  
(Penguji 1)

3. Erwin Widodo, ST., M.Eng., Dr.Eng.  
NIP. 197405171999031002

  
(Penguji 2)

an. Direktur Program Pascasarjana  
Asisten Direktur

Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Dr. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng.  
NIP. 196901071994121001

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 19601202 198701 1 001



## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Afifah Fianda Utami Chandra Bhuana

NRP : 2514203204

Program Studi : Magister Teknik Industri ITS Surabaya

menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tesis saya yang berjudul:

**“PENGEMBANGAN MODEL OPERASIONAL *CROSS-DOCKING*  
UNTUK DISTRIBUSI PRODUK SAYUR SEGAR  
MEMPERTIMBANGKAN PENGATURAN TEMPERATUR DAN  
PELETAKAN PRODUK DI DALAM KENDARAAN BERPENDINGIN”**

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 13 Januari 2017

Yang membuat pernyataan,

Afifah Fianda Utami Chandra Bhuana

NRP. 2514 203 204

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **DISCLAIMER**

Tesis ini merupakan dokumen penelitian yang belum dipublikasikan dan merupakan bagian dari *roadmap* penelitian dosen pembimbing utama dalam tesis ini. Segala macam rujukan terhadap penelitian ini harus dengan seizin dosen pembimbing tesis ini dengan mengirimkan *e-mail* permohonan rujukan kepada [arusdian@ie.its.ac.id](mailto:arusdian@ie.its.ac.id).

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **PENGEMBANGAN MODEL OPERASIONAL *CROSS-DOCKING* UNTUK DISTRIBUSI PRODUK SAYUR SEGAR MEMPERTIMBANGKAN PENGATURAN TEMPERATUR DAN PELETAKAN PRODUK DI DALAM KENDARAAN BERPENDINGIN**

**Nama : Afifah Fianda Utami Chandra Bhuana**  
**NRP : 251 420 3204**  
**Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M. Eng.**

## **ABSTRAK**

Produk sayur segar merupakan salah satu jenis *agri perishable product*. Oleh karena itu, tingkat kesegaran produk sayur segar merupakan tolak ukur dalam menilai kualitas yang dimiliki oleh produk tersebut. Semakin tinggi tingkat kesegaran produk akan berpengaruh terhadap semakin tinggi nilai jual produk tersebut. Tingkat kesegaran produk sayur segar secara signifikan dipengaruhi oleh durasi waktu dan temperatur lingkungan selama proses pendistribusian produk.

Dilatarbelakangi hal tersebut, penelitian ini mengembangkan model operasional *cross-docking* untuk distribusi produk sayur segar dengan mempertimbangkan pengaturan temperatur secara dinamis dan peletakan produk di dalam kendaraan berpendingin. Penelitian ini bertujuan untuk meminimasi biaya distribusi yang dipengaruhi oleh biaya penggunaan kendaraan berpendingin, biaya transportasi, biaya penurunan kualitas produk, biaya energi, dan biaya pinalti. Secara umum, model dalam penelitian ini terdiri dari 3 tahapan penyelesaian. Tahap I bertujuan untuk mencari rute terbaik dari pusat *cross-docking* ke titik *customer*, serta jadwal keberangkatan dari masing – masing kendaraan tersebut. Berdasarkan rute yang terbentuk, maka secara simultan akan diperoleh keputusan konsolidasi *order* yang dikirimkan oleh beberapa *supplier* di dalam pusat *cross docking*. Tahap II bertujuan untuk mencari jadwal keberangkatan kendaraan dari *supplier* menuju pusat *cross-docking* yang dapat meminimasi waktu tunggu tiap *order* akibat proses konsolidasi di pusat *cross-docking*. Dan tahap terakhir bertujuan untuk mencari pengaturan dan peletakan *order* pada tiap kendaraan, baik dari *supplier* ke pusat *cross-docking*, maupun dari pusat *cross-docking* menuju *customer*.

Pada penelitian ini dilakukan sinkronisasi jadwal keberangkatan kendaraan dari *supplier* menuju pusat *cross-docking* dan dari pusat *cross docking* menuju lokasi *order*. Selain itu, penelitian ini juga mengembangkan model *VRP-TW* untuk mencari rute pengiriman order terbaik dari pusat *cross-docking* ke titik *customer*. Algoritma penyelesaian tersebut diselesaikan dengan pendekatan optimasi menggunakan *software LINGO 16.0*. Dari penelitian ini, didapatkan

bahwa keputusan terbaik yang dihasilkan sangat bergantung pada komposisi biaya dari *fixed-vehicle*, biaya transportasi, biaya konsumsi energi, dan harga produk.

**Kata kunci:** *agri perishable product, dynamic temperature, posisi produk, model operasional cross-docking, VRP-TW*

**THE DEVELOPMENT OF CROSS-DOCKING  
OPERATIONAL MODEL FOR FRESH VEGETABLES  
PRODUCT BY CONSIDERING  
TEMPERATURE SETTING AND PRODUCT POSITIONING  
IN REFRIGERATED VEHICLE**

**Nama : Afifah Fianda Utami Chandra Bhuana**  
**NRP : 251 420 3204**  
**Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M. Eng.**

**ABSTRACT**

Fresh vegetables product is the one of agri-perishable product type. Hence, the freshness level of vegetables comes to be the measurement of its quality. The higher freshness level of a vegetable, the higher its price will be. The freshness level of vegetables are influenced by distribution time and set temperature during distribution process. So that, in a common practice fresh vegetables products were delivered by refrigerated vehicle to maintain product's quality. In the other hand, refrigerated vehicle is more costly than common vehicle because there is an energy cost as the impact of cooling system in refrigerated vehicle. The higher temperature set in refrigerated vehicle, the higher its energy cost will be. It will be more complicated if product carried in a vehicle are varies and has different standard temperature. It becomes some trade-off between energy cost and quality-deterioration cost in temperature set decision.

Therefore, this research aims to develop a novel model of cross-docking system to distribute fresh vegetables by considering dynamic temperature setting during distribution process and product positioning in refrigerated vehicle. The objective of the proposed model is to minimize total distribution cost that consists of fixed-vehicle cost, transportation cost, quality-deterioration cost, energy cost, and penalty cost. Generally, this proposed model consists of three steps of completion. The first step aims to determine vehicle routing and its departure time from cross-docking center to customer simultaneously. From the obtained route, decision about customer's order consolidation that supplied by several suppliers at cross docking center will be obtained as well. Second step aims to determine vehicle departure time from supplier to cross-docking center which could minimize order waiting time due to consolidation activity in cross-docking center. And the last step aims to determine optimum set temperature and order position in each vehicle, both from supplier to cross-docking center and from cross-docking center to customer.

This research accommodate synchronization of vehicle departure schedule which bring customer's order both from suppliers to cross-docking center and from cross-docking center to customers. This research also determine optimum vehicle

routing from cross-docking center to customer under VRP-TW model. This research used optimization method and considered those problem in mixed integer non-linear programming. *Lingo 16.0* was used to solve the problem. The result shows that the best decision is very depend on the price configuration among fixed-vehicle cost, transportation cost, energy cost, and product price.

**Keywords** : *agri perishable product, dynamic temperature, product positioning, cross-docking operational model, VRP-TW*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, bersama dengan ini penulis mengucapkan puji syukur yang tiada henti kepada Allah SWT karena dengan segala limpahan rahmat dan karunianya yang berupa, kesehatan, ketabahan, dan segala curahan petunjuk-Nya penulis mampu menyelesaikan Tesis ini dengan baik.

Laporan Tesis ini diajukan sebagai syarat untuk menyelesaikan studi Strata-2 di Jurusan Teknik Industri dengan judul “Pengembangan Model Operasional *Cross-Docking* untuk Distribusi Produk Sayur Segar Mempertimbangkan Pengaturan Temperatur dan Peletakan Produk di Dalam Kendaraan Berpendingin”.

Selama pelaksanaan dan penyusunan laporan Tesis ini saya telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat serta hidayahNya dan junjungannya Nabi Muhammad SAW.
2. Kedua orang tua penulis Ibu Fajriaty dan Bapak Chandra Bhuana beserta adik-adik penulis Aliyah Alfianda dan Alikha Afridha yang selalu ada di belakang penulis, mendukung apapun keputusan penulis, menanamkan nilai-nilai kebaikan, mendoakan keberhasilan, dan memberikan kebahagiaan serta semangat untuk penulis.
3. Nenek dan Kakek penulis yang selama ini selalu mendoakan, memberikan ketenangan, kebahagiaan, semangat, dan juga menanamkan nilai-nilai kebaikan di dalam setiap arahan yang diberikan hingga penulis mampu menjadi pribadi seperti saat ini.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M. Eng. selaku dosen pembimbing yang senantiasa membimbing dan membantu penulis hingga dapat menyelesaikan tesis ini dengan sebaik-baiknya.
5. Seluruh sahabat terkasih penulis sejak masih cilik sampai dengan selamanya maut memisahkan, my baby dF, my piranha sister in sistline, rumah marmut, dan geng masa kuliah S1.

6. Rizki Revianto Putera dan keluarga, atas segala bantuan, semangat, kritik, dan saran yang diberikan hingga penulis mampu memberikan yang terbaik dalam proses pengerjaan tesis.
7. Rekan – rekan S2 TI ITS yang menjadi rekan – rekan satu angkatan penulis secara khusus terutama Dyah Satiti sebagai partner in crime selama menjalani pendidikan S2 ini serta rekan – rekan S2 TI ITS secara umum.
8. Keluarga Asem Rowo atas segala bantuan dan kehangatan yang diberikan layaknya penulis memiliki keluarga baru semenjak melanjutkan pendidikan S2 di Surabaya.
9. Seluruh dosen pengajar dan karyawan Jurusan Teknik Industri ITS.
10. Dan seluruh rekan, teman, dan saudara penulis yang tidak memungkinkan untuk disebutkan satu – persatu, terimakasih.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati penulis meminta maaf apabila ada kesalahan di dalam penulisan Tesis ini dan semoga Tesis ini bermanfaat baik dalam konteks akademik maupun dalam konteks praktis.

Surabaya, 13 Januari 2017

Afifah Fianda Utami Chandra Bhuana

## DAFTAR ISI

|   |                              |
|---|------------------------------|
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                              | Error! Bookmark not defined. |
| <b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS</b> .....               | <b>iii</b>                   |
| <b>DISCLAIMER</b> .....                                     | <b>v</b>                     |
| <b>ABSTRAK</b> .....  | <b>vii</b>                   |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                       | <b>ix</b>                    |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                                 | <b>xi</b>                    |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                     | <b>xiii</b>                  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                  | <b>xvii</b>                  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                   | <b>xix</b>                   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                              | <b>1</b>                     |
| 1.1    Latar Belakang.....                                  | 1                            |
| 1.2    Perumusan Masalah.....                               | 6                            |
| 1.3    Tujuan Penelitian.....                               | 7                            |
| 1.4    Manfaat Penelitian.....                              | 8                            |
| 1.5    Ruang Lingkup Penelitian .....                       | 9                            |
| 1.5.1    Batasan Penelitian .....                           | 9                            |
| 1.5.2    Asumsi Penelitian.....                             | 9                            |
| 1.6    Sistematika Penulisan.....                           | 10                           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                        | <b>11</b>                    |
| 2.1 <i>Perishable Product</i> .....                         | 11                           |
| 2.1.1    Penurunan Kualitas <i>Perishable Product</i> ..... | 11                           |
| 2.1.2    Model Penurunan Kualitas .....                     | 16                           |
| 2.2 <i>Cold Supply Chain</i> .....                          | 17                           |
| 2.2.1 <i>Vehicle Routing Problem</i> .....                  | 20                           |

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| 2.3   | Pengelolaan Temperatur Lingkungan <i>Perishable Food</i> .....           | 23        |
| 2.4   | Posisi Produk di dalam Kendaraan Berpendingin.....                       | 28        |
| 2.5   | Konsumsi Energi pada Pengelolaan Temperatur Kendaraan Berpendingin ..... | 30        |
| 2.6   | Posisi Penelitian .....  | 33        |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>                       |  | <b>41</b> |
| 3.1   | Tahapan – Tahapan Dalam Penelitian .....                                 | 41        |
| 3.2   | <i>Flowchart</i> Penelitian .....  | 47        |
| <b>BAB IV PENGEMBANGAN MODEL.....</b>                           |  | <b>49</b> |
| 4.1   | Deskripsi Pengembangan Model .....                                       | 49        |
| 4.2   | Formulasi Model Acuan.....   | 57        |
| 4.2.1   | Formulasi Model Acuan Penurunan Kualitas .....                           | 57        |
| 4.2.2   | Formulasi Model Acuan Konsumsi Energi Kendaraan Berpendingin .....       | 59        |
| 4.3   | Formulasi Model Usulan.....  | 62        |
| 4.3.1   | Notasi Model Usulan .....  | 62        |
| 4.3.2   | Modifikasi Fungsi Tujuan .....   | 66        |
| 4.3.3   | Modifikasi Fungsi Kendala.....   | 70        |
| <b>BAB V UJI NUMERIK MODEL &amp; ANALISA SENSITIVITAS .....</b> |  | <b>77</b> |
| 5.1   | Rancangan Skenario Percobaan Numerik.....                                | 77        |
| 5.2   | Uji Verifikasi dan Validasi Model .....                                  | 77        |
| 5.2.1   | Uji Verifikasi dan Validasi Tahap I .....                                | 80        |
| 5.2.2   | Uji Verifikasi dan Validasi Tahap II.....                                | 83        |
| 5.2.3   | Uji Verifikasi dan Validasi Tahap III .....                              | 86        |
| 5.3   | Uji Numerik .....  | 95        |
| 5.3.1   | Uji Numerik Tahap I .....  | 100       |
| 5.3.2   | Uji Numerik Tahap II.....  | 105       |
| 5.3.3   | Uji Numerik Tahap III .....  | 116       |
| 5.4   | Analisa Sensitivitas .....   | 129       |



|  |   |            |
|--|---|------------|
| 5.4.1                                    | Analisa Sensitivitas Pada Perubahan Waktu Keberangkatan<br>Setiap Kendaraan dari Pusat <i>Cross Docking</i> ..... | 129        |
| 5.4.2                                    | Analisa Sensitivitas Pada Perubahan Biaya Energi.....   | 136        |
| <b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b> |   | <b>141</b> |
| 6.1                                      | Kesimpulan.....   | 141        |
| 6.2                                      | Saran .....   | 143        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>               |   | <b>145</b> |
| <b>BIODATA PENULIS.....</b>              |   | <b>147</b> |

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

|  |     |
|--|-----|
| Gambar 2.1 Perilaku Produk dengan Karakteristik <i>Loose Shelf-Life</i> Terhadap Sisa Umur Produk .....                            | 12  |
| Gambar 2.2 Penurunan Kualitas <i>Perishable Product</i> .....  | 13  |
| Gambar 2.3 Ilustrasi Penurunan Kualitas <i>Perishable Food</i> .....   | 14  |
| Gambar 2.4 Degradasi Kualitas dari Waktu ke Waktu untuk Temperatur Penyimpanan Berbeda .....                                       | 15  |
| Gambar 2.5 Proses Pelayanan <i>Cold Distribution</i> .....   | 20  |
| Gambar 2.6 Grafik Penurunan Kandungan Sukrosa (Gula) dengan Peningkatan Temperatur pada Jagung Manis.....                          | 24  |
| Gambar 2.7 <i>Layout</i> Titik Pengukuran Temperatur di dalam Kendaraan berpendingin .....   | 29  |
| Gambar 2.8 Konsep <i>Freeze Power</i> .....  | 32  |
| Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....   | 48  |
| Gambar 4.1 Aliran Proses Distribusi <i>Agri Perishable Product</i> .....   | 50  |
| Gambar 4.2 Perbedaan temperatur berdasarkan posisi <i>order</i> terhadap sumber dingin di dalam kendaraan berpendingin .....       | 53  |
| Gambar 4.3 <i>Timeline</i> distribusi produk sayur segar dari lokasi <i>supplier</i> hingga sampai ke tangan <i>customer</i> ..... | 56  |
| Gambar 5.1 Status pengolahan data tahap 1 .....  | 81  |
| Gambar 5.2 Status pengolahan data tahap II .....   | 83  |
| Gambar 5.3 Status pengolahan data tahap III untuk kendaraan yang berangkat dari lokasi <i>supplier</i> .....                       | 87  |
| Gambar 5.4 Status pengolahan data tahap III untuk kendaraan yang berangkat dari pusat <i>cross docking</i> .....                   | 90  |
| Gambar 5.5 Grafik analisa sensitivitas terhadap perubahan parameter biaya energi per kkal per jam .....                            | 139 |

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 Temperatur Pendingin untuk Variasi Tipe Produk .....   | 25 |
| Tabel 2.2 Rekomendasi Temperatur untuk <i>Frozen Dairy</i> .....   | 26 |
| Tabel 2.3 Rekomendasi Temperatur untuk <i>Chilled Dairy</i> .....  | 26 |
| Tabel 2.4 Rekomendasi Temperatur Penyimpanan Beberapa Jenis Buah dan Sayur<br>.....  | 27 |
| Tabel 2.5 Perbedaan Temperatur pada Setiap Posisi .....  | 29 |
| Tabel 2.6 Posisi Penelitian .....  | 38 |
| Tabel 5.1 Rancangan Skenario Percobaan Numerik.....  | 77 |
| Tabel 5.2 Nilai parameter model.....   | 78 |
| Tabel 5.3 Nilai parameter aspek jenis produk .....   | 78 |
| Tabel 5.4 <i>Travel time</i> dari lokasi <i>supplier</i> menuju <i>cross docking</i> .....   | 78 |
| Tabel 5.5 <i>Travel time</i> antar <i>order</i> dan <i>cross docking (Cij)</i> .....   | 79 |
| Tabel 5.6 Kapasitas <i>supply (Gsp)</i> .....  | 79 |
| Tabel 5.7 Kategorisasi <i>order (Gip)</i> .....  | 79 |
| Tabel 5.8 Nilai parameter aspek <i>order (the earliest time windows, the latest time<br/>windows, demand)</i> .....                | 80 |
| Tabel 5.9 Nilai parameter aspek posisi .....   | 80 |
| Tabel 5.10 Hasil olah data validasi tahap I .....  | 82 |
| Tabel 5.11 Total biaya proses pendistribusian <i>order</i> dari pusat <i>cross docking</i> ke<br>seluruh lokasi <i>order</i> ..... | 82 |
| Tabel 5.12 Alokasi <i>supply order</i> dan jadwal keberangkatan kendaraan<br>berpendingin milik <i>supplier</i> .....              | 84 |
| Tabel 5.13 Durasi waktu setiap aktivitas <i>order</i> di dalam pusat <i>cross docking</i> .....                                    | 84 |
| Tabel 5.14 Besar penurunan kualitas produk akibat durasi waktu seluruh aktivitas<br>di dalam pusat <i>cross docking</i> .....      | 84 |
| Tabel 5.15 Keterangan fungsi dan simbol di dalam tabel.....  | 85 |
| Tabel 5.16 Biaya akibat penurunan kualitas .....   | 85 |

|   |    |
|---|----|
| Tabel 5.17 Total biaya proses pendistribusian <i>order</i> dari <i>supplier</i> ke pusat <i>cross docking</i> dan penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama berada di pusat <i>cross docking</i> ..... | 85 |
| Tabel 5.18 Pengaturan temperatur dan posisi <i>order</i> di dalam kendaraan berpendingin milik <i>supplier</i> .....  | 88 |
| Tabel 5.19 Keterangan fungsi dan simbol di dalam tabel .....  | 88 |
| Tabel 5.20 Total biaya akibat penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari lokasi <i>supplier</i> hingga sampai di pusat <i>cross docking</i>   | 89 |
| Tabel 5.21 Total biaya konsumsi energi kendaraan berpendingin yang berangkat dari lokasi <i>supplier</i> .....  | 89 |
| Tabel 5.22 Total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari lokasi <i>supplier</i> hingga sampai ke pusat <i>cross docking</i> .....                          | 89 |
| Tabel 5.23 Pengaturan temperatur dan posisi <i>order</i> di dalam kendaraan berpendingin yang berangkat dari pusat <i>cross docking</i> dan dari setiap lokasi <i>order</i> .....                               | 91 |
| Tabel 5.24 Besar penurunan kualitas produk tiap <i>order (i)</i> selama proses distribusi dari <i>supplier</i> hingga sampai ke lokasi <i>order</i> .....   | 91 |
| Tabel 5.25 Keterangan fungsi dan simbol di dalam tabel .....  | 92 |
| Tabel 5.26 Total biaya konsumsi energi kendaraan berpendingin yang berangkat dari pusat <i>cross docking</i> .....  | 93 |
| Tabel 5.27 Total biaya penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama proses distribusi <i>order</i> dari lokasi <i>supplier</i> hingga sampai ke lokasi <i>order</i> ...                                   | 93 |
| Tabel 5.28 Total biaya konsumsi energi dari pusat <i>cross docking</i> hingga sampai ke setiap lokasi <i>order</i> dengan mempertimbangkan total penurunan kualitas <i>order (Total Qi)</i> .....               | 93 |
| Tabel 5.29 Total biaya penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari pusat <i>cross docking</i> hingga sampai ke lokasi <i>order</i> .....   | 94 |
| Tabel 5.30 Total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas <i>order</i> selama perjalanan dari pusat <i>cross docking</i> hingga sampai ke setiap lokasi <i>order</i> .....                                  | 94 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabel 5.31 Total biaya distribusi produk sayur segar .....  | 94  |
| Tabel 5.32 Nilai parameter percobaan numerik.....   | 95  |
| Tabel 5.33 Nilai parameter aspek jenis produk.....  | 96  |
| Tabel 5.34 Durasi waktu perjalanan dari lokasi <i>supplier</i> menuju <i>cross docking</i> .  | 96  |
| Tabel 5.35 Durasi waktu perjalanan antar <i>order</i> dan <i>cross docking (Cij)</i> .....  | 96  |
| Tabel 5.36 Durasi waktu perjalanan antar <i>order</i> dan <i>cross docking (Cij)</i> (lanjutan)<br>.....  | 97  |
| Tabel 5.37 Kapasitas <i>supply supplier (Gsp)</i> .....   | 97  |
| Tabel 5.38 Kategorisasi <i>order (Oip)</i> .....  | 98  |
| Tabel 5.39 Nilai parameter aspek <i>order (the earliest time windows, the latest time windows, demand)</i> .....  | 98  |
| Tabel 5.40 Nilai parameter aspek posisi .....   | 99  |
| Tabel 5.41 Hasil uji numerik tahap I untuk skenario 1 .....   | 101 |
| Tabel 5.42 Total biaya pendistribusian <i>order</i> dari pusat <i>cross docking</i> ke seluruh lokasi <i>order</i> untuk skenario 1 .....   | 101 |
| Tabel 5.43 Hasil uji numerik tahap I untuk skenario 2.....  | 102 |
| Tabel 5.44 Total biaya pendistribusian <i>order</i> dari pusat <i>cross docking</i> ke seluruh lokasi <i>order</i> untuk skenario 2 .....   | 102 |
| Tabel 5.45 Hasil uji numerik tahap I untuk skenario 3.....  | 104 |
| Tabel 5.46 Total biaya pendistribusian <i>order</i> dari pusat <i>cross docking</i> ke seluruh lokasi <i>order</i> untuk skenario 3 .....   | 104 |
| Tabel 5.47 Keputusan alokasi <i>supply order</i> dan jadwal keberangkatan kendaraan milik <i>supplier</i> untuk skenario 1 .....  | 106 |
| Tabel 5.48 Durasi waktu setiap aktivitas <i>order</i> pada pusat <i>cross docking</i> untuk skenario 1 .....  | 107 |
| Tabel 5.49 Besar penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> akibat durasi waktu seluruh aktivitas di dalam pusat <i>cross docking</i> untuk skenario 1 .....   | 108 |
| Tabel 5.50 Total biaya proses pendistribusian <i>order</i> dari <i>supplier</i> ke pusat <i>cross docking</i> dan penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama berada di pusat <i>cross docking</i> ..... | 108 |
| Tabel 5.51 Keputusan alokasi <i>supply order</i> dan jadwal keberangkatan kendaraan milik <i>supplier</i> untuk skenario 2 .....  | 109 |

|   |      |
|---|------|
| Tabel 5.52 Durasi waktu setiap aktivitas <i>order</i> pada pusat <i>cross docking</i> untuk skenario 2.....   | 110  |
| Tabel 5.53 Besar penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> akibat durasi waktu seluruh aktivitas di dalam pusat <i>cross docking</i> untuk strategi <i>distance-dependent</i> .....                           | 111  |
| Tabel 5.54 Total biaya proses pendistribusian <i>order</i> dari <i>supplier</i> ke pusat <i>cross docking</i> dan penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama berada di pusat <i>cross docking</i> ..... | 111  |
| Tabel 5.55 Perbedaan biaya akibat jumlah alokasi kendaraan pada skenario 2 ..   | 112  |
| Tabel 5.56 Perbedaan biaya akibat jumlah alokasi kendaraan pada skenario 1 ..   | 112  |
| Tabel 5.57 Keputusan alokasi <i>supply order</i> dan jadwal keberangkatan kendaraan milik <i>supplier</i> untuk skenario 3 .....  | 113  |
| Tabel 5.58 Durasi waktu setiap aktivitas <i>order</i> pada pusat <i>cross docking</i> untuk skenario 3.....   | 114  |
| Tabel 5.59 Besar penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> akibat durasi waktu seluruh aktivitas di dalam pusat <i>cross docking</i> untuk strategi <i>distance-dependent</i> .....                           | 115  |
| Tabel 5.60 Total biaya proses pendistribusian <i>order</i> dari <i>supplier</i> ke pusat <i>cross docking</i> dan penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama berada di pusat <i>cross docking</i> ..... | 115  |
| Tabel 5.61 Besar penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari lokasi <i>supplier</i> hingga sampai ke pusat <i>cross docking</i> untuk skenario 1 .....                                   | 116  |
| Tabel 5.62 Total biaya akibat besar penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari lokasi <i>supplier</i> hingga sampai ke pusat <i>cross docking</i> untuk skenario 1.....                 | 117  |
| Tabel 5.63 Besar penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari pusat <i>cross docking</i> hingga sampai ke lokasi <i>order</i> untuk skenario 1 .....                                      | 118  |
| Tabel 5.64 Total biaya penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari pusat <i>cross docking</i> hingga sampai ke lokasi <i>order</i> untuk skenario 1 .....                                | 118g |



|   |     |
|---|-----|
| Tabel 5.65 Besar penurunan kualitas <i>order</i> selama proses distribusi dari lokasi <i>supplier</i> hingga sampai ke lokasi <i>order</i> untuk skenario 1 .....   | 119 |
| Tabel 5.66 Total biaya penurunan kualitas <i>order</i> selama perjalanan dari lokasi <i>supplier</i> hingga sampai ke lokasi <i>order</i> untuk skenario 1 .....  | 119 |
| Tabel 5.67 Pengaturan temperatur dan posisi <i>order</i> di dalam kendaraan berpendingin milik <i>supplier</i> untuk skenario 2 .....   | 120 |
| Tabel 5.68 Total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari lokasi <i>supplier</i> hingga sampai ke pusat <i>cross docking</i> untuk skenario 2 .....     | 121 |
| Tabel 5.69 Pengaturan temperatur dan posisi <i>order</i> di dalam kendaraan berpendingin yang berangkat dari pusat <i>cross docking</i> dan dari setiap lokasi <i>order</i> untuk skenario 2 .....          | 122 |
| Tabel 5.70 Besar penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari pusat <i>cross docking</i> hingga sampai ke lokasi <i>order</i> untuk skenario 2 .....                                  | 123 |
| Tabel 5.71 Total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari pusat <i>cross docking</i> hingga sampai ke setiap lokasi <i>order</i> untuk skenario 2 ..... | 123 |
| Tabel 5.72 Pengaturan temperatur dan posisi <i>order</i> di dalam kendaraan berpendingin milik <i>supplier</i> untuk skenario 3 .....   | 124 |
| Tabel 5.73 Total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari lokasi <i>supplier</i> hingga sampai ke pusat <i>cross docking</i> untuk skenario 3 .....     | 125 |
| Tabel 5.74 Pengaturan temperatur dan posisi <i>order</i> di dalam kendaraan berpendingin yang berangkat dari pusat <i>cross docking</i> dan dari setiap lokasi <i>order</i> untuk skenario 3 .....          | 126 |
| Tabel 5.75 Besar penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari pusat <i>cross docking</i> hingga sampai ke lokasi <i>order</i> untuk skenario 2 .....                                  | 127 |
| Tabel 5.76 Total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama perjalanan dari pusat <i>cross docking</i> hingga sampai ke setiap lokasi <i>order</i> .....                  | 127 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabel 5.77 Perbandingan total biaya distribusi produk sayur segar antar skenario<br>.....  | 128 |
| Tabel 5.78 Perbandingan total biaya akibat perubahan keputusan waktu<br>keberangkatan kendaraan dari pusat <i>cross docking</i> .....      | 131 |
| Tabel 5.79 Perbandingan durasi waktu menunggu setiap <i>order</i> di pusat <i>cross<br/>docking</i> .....                                  | 135 |
| Tabel 5.80 Perbandingan total biaya penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> selama<br>berada di dalam pusat <i>cross docking</i> ..... | 135 |
| Tabel 5.81 Perbandingan total biaya distribusi akibat perubahan parameter biaya<br>energi per kkal per jam .....                           | 138 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan waktu, persaingan di dalam dunia bisnis menjadi semakin sengit. Persingan yang timbul tidak lagi hanya melibatkan perusahaan-perusahaan dengan pangsa pasar yang sama melainkan persaingan timbul antar suatu rangkaian *supply chain* yang melibatkan keseluruhan perusahaan yang terlibat di dalam pergerakan barang mulai dari hulu hingga sampai ke hilir. Hal tersebut menyebabkan pentingnya sinergitas di dalam rangkaian suatu *supply chain*. Sinergitas tersebut dapat menyebabkan aliran barang, uang, dan informasi di dalam rangkaian *supply chain* menjadi lebih efisien dan efektif. Sistem distribusi yang efisien merupakan suatu faktor kritis yang mendorong tingkat profitabilitas di dalam *supply chain*. Di dalam suatu sistem distribusi terdapat suatu elemen biaya yang memiliki persentasi tertinggi di dalam total biaya distribusi yaitu biaya transportasi. Biaya transportasi dapat secara signifikan berkurang melalui penyusunan rute yang optimal di dalam pengiriman produk ke *customer* (Agustina, Lee, & Piplani, 2014).

Indonesia merupakan negara kepulauan yang penduduknya tersebar dari sabang sampai marauke. Penyebaran penduduk di seluruh wilayah Indonesia menunjukkan bahwa adanya penyebaran *demand* yang berbeda-beda antar daerah terhadap suatu kebutuhan produk tertentu. Indonesia juga memiliki kekayaan alam yang tersebar di seluruh penjuru, sehingga menyebabkan adanya kemampuan *supply* yang berbeda dari setiap daerah yang memiliki kekayaan alam masing-masing.

Adanya *demand* dan kemampuan *supply* yang berbeda di setiap daerah menyebabkan pentingnya peran distribusi yang merata atas setiap kekayaan alam yang dihasilkan, sehingga kemampuan *supply* yang dimiliki dapat dieksekusi semaksimal mungkin dalam memenuhi setiap *demand* yang ada. Aktivitas distribusi menjadi semakin kompleks jika produk yang akan didistribusikan merupakan hasil pertanian yang bersifat *perishable*. Hal tersebut dikarenakan

kepuasan *customer* atas produk hasil pertanian atau yang disebut dengan *agri perishable product* bergantung pada tingkat kesegarannya. Tingkat kesegaran dari *agri perishable product* secara signifikan dipengaruhi oleh durasi waktu dan temperatur lingkungan selama berlangsungnya proses pengiriman (Song & Ko, 2016).

Dikutip dari Osvald & Stirn (2008), sayur segar merupakan salah satu contoh dari produk *perishable* dimana kandungan nutrisi dan rasa terbaik dapat diperoleh tepat ketika sayuran tersebut dipanen dan akan menurun seiring dengan berjalannya waktu sampai sayuran tersebut membusuk. Kualitas dari suatu produk sayuran bernilai 100% ketika produk tersebut dapat terjual pada harga normal. Sebaliknya kualitas produk sayuran bernilai 0% ketika produk tersebut sudah tidak memiliki *commercial value*. Maka, semakin tinggi tingkat kesegaran dari suatu produk sayuran akan berdampak pada semakin tingginya nilai jual produk sayuran tersebut.

Menurut Hsu et al. (2007), ketika suatu *agri perishable product* dikirim ke banyak *customer*, maka akan sangat sulit untuk menjaga tingkat kesegaran produk dikarenakan panjangnya *travel time* dan tingginya tingkat frekuensi pemberhentian moda transportasi dalam melayani *customer*. Oleh karena itu, dalam pendistribusian *agri perishable product* seperti sayuran diperlukan suatu sistem distribusi yang efisien dan efektif guna memelihara tingkat kesegaran produk hingga sampai ke tangan *customer*. Perusahaan distribusi mengurangi biaya distribusi melalui jumlah kendaraan yang digunakan, total jarak tempuh, dan total waktu tempuh yang secara tidak langsung dapat berdampak pada minimasi penurunan kualitas produk (Osvald & Stirn, 2008).

Di dalam mendistribusikan produk sayur segar yang termasuk dalam kategori *agri perishable product* dengan karakteristik *shelf life* yang pendek, dibutuhkan suatu sistem pendistribusian yang mampu mengakomodir keterbatasan tersebut. Salah satu sistem pendistribusian yang banyak digunakan adalah *cross-docking*. *Cross-docking* cocok diterapkan pada pendistribusian *fresh product* yang memiliki *shelf life* pendek karena mampu mempercepat distribusi, memperpendek waktu siklus pengiriman, dan meningkatkan kepuasan *customer* (Apte dan Viswanathan, 2000 dalam Agustina et al., 2014). Hal tersebut disebabkan karena

*cross-docking* merupakan sistem pengiriman produk dimana proses pengiriman akan dilakukan tidak lebih dari 24 jam mulai dari produk diterima hingga dikirimkan ke *customer* (Schaffer, 1998 dalam Agustina et al., 2014). Oleh karena itu, *cross-docking* mampu mengurangi penyimpanan produk di dalam *inventory* dan memperpendek waktu yang dihabiskan oleh produk di dalam *supply chain* (Agustina et al., 2014).

Melalui penerapan sistem *cross-docking*, maka akan terjadi hubungan secara tidak langsung antara *supplier* dan *customer*. Hubungan yang timbul terjadi akibat adanya pemenuhan permintaan *customer* oleh *supplier* pada *cross-docking* yang juga memungkinkan dilakukan konsolidasi di dalam pengiriman. Adanya konsolidasi menyebabkan pengiriman dapat dilakukan dalam kondisi *full-truck-load* (FTL), sehingga minimasi biaya transportasi dapat tercapai tidak hanya melalui penyusunan rute yang optimal.

Sifat produk sayur segar yang sensitif terhadap waktu menyebabkan pentingnya sinkronisasi pengaturan jadwal keberangkatan kendaraan dari *supplier* menuju lokasi *cross-docking* dan dari lokasi *cross-docking* menuju suatu set rute tertentu dalam memenuhi permintaan setiap *customer* dengan mempertimbangkan kualitas produk dan *time windows* setiap *customer*. Penyusunan jadwal keberangkatan berfungsi untuk meminimalisir waktu menunggu produk selama berada di dalam *cross docking* akibat aktivitas konsolidasi dan waktu menunggu produk di suatu lokasi tertentu akibat kedatangan kendaraan yang lebih awal dari *the earliest time windows*. Total durasi waktu menunggu yang dialami oleh setiap produk yang dipesan oleh *customer* dapat berpengaruh pada besarnya penurunan kualitas yang terjadi. Oleh karena itu, penjadwalan keberangkatan kendaraan di dalam proses pengiriman produk hingga sampai ke tangan *customer* juga perlu dipertimbangkan dengan baik. Hal tersebut dikarenakan pengiriman barang yang terlalu cepat maupun terlalu lambat dapat berdampak pada besarnya biaya pinalti yang harus dikeluarkan akibat kendaraan yang harus menunggu hingga memasuki *the earliest time windows* dan tingkat kualitas produk yang diterima oleh *customer*.

Kemampuan dalam pengawasan produk sangat penting terutama di dalam suatu rangkaian *supply chain*, dimana pengendalian temperatur di dalam pengiriman dan penyimpanan diperlukan untuk menjaga kualitas dan kuantitas

produk sesuai dengan tingkat yang diinginkan hingga sampai pada akhir *supply chain* (Bogataj et al., 2005). Di dalam memaksimalkan profit, setiap *perishable food* harus dapat terjual di dalam rentang *shelf life* produk tersebut demi memastikan kualitas dan keamanan produk. Hal tersebut menunjukkan bahwa sangat penting untuk menjaga kualitas *perishable food* yang bergantung pada kondisi lingkungan tempat penyimpanan produk dan kondisi lingkungan pada alat transportasi produk (Rong et al., 2011).

*Perishable food* membutuhkan pengaturan temperatur yang sesuai selama proses produksi, penyimpanan, pengiriman, dan penjualan guna memastikan kualitas produk dan mengurangi timbulnya produk yang rusak (Ma & Guan, 2009 dalam Aung & Chang, 2014). Hal ini disebabkan karena deteriorasi kualitas dari *perishable food* dipengaruhi oleh waktu simpan, temperatur penyimpanan, dan faktor-faktor lain, seperti energi aktivasi, gas konstan, dan lain-lain (Xue et al., 2014). Temperatur merupakan faktor terpenting yang mempengaruhi umur penyimpanan *agri perishable product* setelah dipanen, oleh karena itu membutuhkan manajemen temperatur yang kompleks dengan mempertimbangkan umur produk yang terbatas dan deteriorasi kualitas dari produk (Bowman et al., 2009 dalam Aung & Chang, 2014). Faktanya kesegaran produk sangat berkorespondensi dengan fungsi waktu dan temperatur (Zhang, Liu, Mu, Moga, dan Zhang, 2009 dalam Aung & Chang, 2014). Hal ini dibuktikan dengan penurunan kualitas yang terjadi dari waktu ke waktu tanpa adanya manajemen temperatur yang tepat dapat menyebabkan kerugian sebesar 15% akibat adanya *perishable food* yang rusak dan busuk (Ferguson & Ketzenberg, 2006 dalam Xue, Zhang, & Tang, 2014).

Saat ini beberapa *supply chain* untuk produk makanan, baik dalam bentuk beku maupun dingin, memerlukan suatu rangkaian transportasi yang berbeda dalam hal fitur kendaraan guna menjamin kualitas produk selama berlangsungnya proses distribusi. Proses distribusi dan penyimpanan produk makanan yang merupakan *perishable product* atau disebut juga dengan *perishable food* termasuk dalam kategori *cold chain*. Pada suatu rangkaian *cold chain* produk dijaga pada temperatur rendah, sehingga dapat mempertahankan kualitas produk selama berlangsungnya proses distribusi maupun proses penyimpanan *perishable food* hingga sampai ke tangan *customer* (Zanoni & Zavanella, 2012).

Dalam rangka menjaga tingkat kesegaran dari produk sayuran segar, beberapa toko penjual sayur segar menggunakan kendaraan berpendingin yang mampu mengendalikan temperatur internal dari produk sayuran dengan menggunakan *cooling equipment* ketika berlangsungnya proses pendistribusian produk (Song & Ko, 2016). Penggunaan kendaraan berpendingin dapat memperlambat laju penurunan kualitas dari produk sayuran tersebut. Akan tetapi, penurunan kualitas akan tetap terjadi meskipun pendistribusian produk menggunakan kendaraan berpendingin terutama ketika pintu kendaraan berpendingin terbuka saat terjadi proses *loading* dan *unloading*. Oleh karena itu, penurunan kualitas tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur tetapi juga dipengaruhi oleh durasi waktu berlangsungnya proses di dalam *supply chain*.

Menurut Zanoni & Zavanella (2012), semakin rendah temperatur yang diterapkan di dalam suatu *cold storage* akan mempengaruhi *shelf life* produk menjadi semakin panjang namun hal tersebut akan berdampak pada tingginya penggunaan energi yang dibutuhkan. Oleh karena itu, penggunaan energi secara tepat diperlukan di dalam suatu rangkaian *cold chain*. Penentuan temperatur di dalam *cold storage* merupakan *trade off* antara kualitas produk dan biaya energi yang akan ditimbulkan dalam upaya pemeliharaan kualitas produk.

Kendaraan berpendingin sangat berperan penting pada transportasi *perishable food* (Xie, 2011). Di dalam kendaraan berpendingin terdapat pengaturan temperatur yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan produk. Pengaturan temperatur tersebut bertujuan untuk menjaga kualitas produk yang dimuat di dalam kendaraan berpendingin. Namun terdapat ketidakseragaman temperatur yang terjadi di dalam kendaraan berpendingin. Hal tersebut menyebabkan terciptanya perbedaan temperatur yang bergantung pada posisi produk terhadap *cooling equipment* di dalam kendaraan berpendingin. Oleh karena itu, sangat memungkinkan untuk mengambil keuntungan dari strategi penyusunan posisi produk di dalam kendaraan berpendingin untuk memaksimalkan kualitas dari produk sayur segar selama proses pendistribusian.

Dalam mendistribusikan produk sayur segar sangat penting untuk mempertimbangkan sistem pendistribusian yang tepat. Dalam hal ini, sistem pendistribusian yang tepat dapat meminimalkan biaya *supply chain* secara

keseluruhan. Selain itu, kapasitas *supply* yang dimiliki juga dapat terdistribusi dan mampu memenuhi *demand* yang ada secara maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengembangan terhadap model pendistribusian *perishable food* yang telah dilakukan sebelumnya oleh Agustina et al. (2014). Agustina et al. (2014) merancang sebuah model penjadwalan dan rute pendistribusian *single perishable food* dengan adanya pusat *cross-docking* sebagai tempat konsolidasi. Namun terdapat beberapa hal yang tidak dipertimbangkan di dalam model milik Agustina et al. (2014). Hal-hal yang tidak dipertimbangkan di dalam model milik Agustina et al. (2014) adalah besar penurunan kualitas yang dialami oleh produk selama proses pendistribusian, penggunaan kendaraan berpendingin yang berfungsi untuk memperlambat laju penurunan kualitas produk, serta biaya energi yang dikeluarkan akibat penggunaan kendaraan berpendingin. Pertimbangan atas beberapa hal tersebutlah yang kemudian juga dilibatkan di dalam penelitian ini guna meminimalkan biaya distribusi produk sayur segar hingga sampai ke tangan para *customer*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berkaca dari latar belakang penelitian, maka diperlukan sebuah studi untuk mengetahui serangkaian rute dan jadwal keberangkatan setiap kendaraan berpendingin baik dari *supplier* menuju pusat *cross-docking* maupun dari pusat *cross docking* menuju lokasi setiap *customer*. Dalam perjalanan suatu kendaraan berpendingin juga dilakukan perhitungan terhadap temperatur optimal yang akan ditetapkan pada setiap perjalanan dari suatu lokasi menuju lokasi berikutnya (*dynamic temperature*) dan posisi optimal dari setiap *order* produk sayur segar di dalam kendaraan berpendingin. Oleh karena itu, susunan rumusan masalah yang akan dibahas di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana model operasional *cross docking* yang dibangun untuk sistem distribusi produk sayur segar multi produk, multi temperatur, dan multi *supplier* dengan mempertimbangkan sinkronisasi antara jadwal keberangkatan kendaraan berpendingin dari *supplier* menuju pusat *cross docking* dan dari pusat *cross docking* menuju lokasi *customer*, konsolidasi produk di pusat *cross docking*, rute perjalanan setiap kendaraan yang



berangkat dari pusat *cross docking*, pengaturan temperatur kendaraan berpendingin di setiap perjalanan dari satu lokasi menuju lokasi berikutnya (*dynamic temperature*), dan posisi peletakan produk di dalam kendaraan berpendingin?

2. Bagaimana algoritma penyelesaian yang dibangun untuk sistem distribusi produk sayur segar multi produk, multi temperatur, dan multi *supplier* dalam menyelesaikan permasalahan:
  - a. Konsolidasi *order customer* di dalam pusat *cross docking* beserta rute perjalanan dan jadwal keberangkatan setiap kendaraan berpendingin dari pusat *cross docking*
  - b. Sinkronisasi jadwal keberangkatan setiap kendaraan berpendingin yang membawa *order customer* dari lokasi *supplier* menuju pusat *cross docking* dengan jadwal keberangkatan setiap *order customer* dari pusat *cross docking*
  - c. Pengaturan temperatur di setiap perjalanan kendaraan berpendingin (*dynamic temperature*) dan posisi peletakan *order customer* di dalam kendaraan berpendingin baik yang berangkat dari lokasi *supplier* maupun dari pusat *cross docking*

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan model operasional *cross-docking* untuk sistem distribusi produk sayur segar multi produk, multi temperatur, dan multi *supplier* dengan mempertimbangkan sinkronisasi antara jadwal keberangkatan kendaraan berpendingin dari *supplier* menuju pusat *cross docking* dan dari pusat *cross docking* menuju *customer*, konsolidasi produk di pusat *cross docking*, rute perjalanan setiap kendaraan yang berangkat dari pusat *cross docking*, pengaturan temperatur kendaraan berpendingin di setiap perjalanan dari satu lokasi menuju lokasi berikutnya (*dynamic temperature*), dan posisi peletakan produk di dalam kendaraan berpendingin.

2. Menghasilkan algoritma penyelesaian untuk sistem distribusi produk sayur segar multi produk, multi temperatur, dan multi *supplier* dalam menyelesaikan permasalahan:
  - a. Konsolidasi *order customer* di dalam pusat *cross docking* beserta rute perjalanan dan jadwal keberangkatan setiap kendaraan berpendingin dari pusat *cross docking*
  - b. Sinkronisasi jadwal keberangkatan setiap kendaraan berpendingin yang membawa *order customer* dari lokasi *supplier* menuju pusat *cross docking* dengan jadwal keberangkatan setiap *order customer* dari pusat *cross docking*
  - c. Pengaturan temperatur di setiap perjalanan kendaraan berpendingin (*dynamic temperature*) dan posisi peletakan *order customer* di dalam kendaraan berpendingin baik yang berangkat dari lokasi *supplier* maupun dari pusat *cross docking*

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang akan diperoleh dari dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Memberikan gambaran dan masukan pada perusahaan atau instansi yang mengelola sistem distribusi sejenis dalam membangun sistem distribusi yang efektif dan efisien.
2. Memberikan kontribusi ilmiah pada penelitian yang berkaitan dengan sistem distribusi dengan *cross-docking* untuk melengkapi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.
3. Model operasional *cross-docking* yang dikembangkan dapat menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya.

## **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian terdiri dari batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian.

### **1.5.1 Batasan Penelitian**

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Hanya terdapat enam jenis produk sayur segar dengan standar temperatur dan *shelf life* berbeda yang dibahas di dalam model yang dikembangkan
2. Hanya terdapat tiga posisi peletakan produk di dalam kendaraan berpendingin yang memiliki luas dan kapasitas sama besar

### **1.5.2 Asumsi Penelitian**

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Jumlah permintaan dari setiap *customer* untuk setiap jenis produk sayur segar diketahui (deterministik)
2. Kendaraan berpendingin yang digunakan bersifat identik, baik dari sisi kapasitas maupun rasio biaya energinya
3. Pelanggan menerima berapapun persentasi kualitas produk yang tersisa
4. Tidak terjadi pemilihan *supplier* dalam pemenuhan permintaan *customer*
5. Pada proses *loading*, *unloading*, dan menunggu di pusat *cross docking* diasumsikan bahwa produk berada pada temperatur yang lebih rendah dari standar temperatur setiap produk dan tidak terdapat pengaruh atas interfensi dari temperatur eksternal
6. *Dock door* selalu tersedia untuk melayani kendaraan yang masuk dan keluar dari pusat *cross docking*
7. Nilai perbedaan temperatur pada ketiga posisi mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Xie (2011)
8. Posisi peletakan produk sayur segar di dalam kendaraan berpendingin tidak mempertimbangkan urutan kunjungan, karena hal tersebut dapat diatasi dengan penggunaan *wing doors*

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa bab. Adapun penjelasan dari masing – masing bab adalah sebagai berikut.

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini membahas tentang latar belakang dilakukannya penelitian, perumusan masalah yang dibahas pada penelitian, ruang lingkup yang digunakan dalam penelitian, tujuan dan manfaat yang bisa diambil dari penelitian yang dilakukan, serta sistematika yang diterapkan dalam penelitian ini.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini membahas tentang penelitian – penelitian yang sudah dilakukan di area yang sama dengan penelitian ini. Penelitian – penelitian yang sudah dilakukan tersebut menjadi landasan teori dalam penulisan penelitian ini.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian untuk menjawab rumusan masalah. Metodologi penelitian ini berguna sebagai panduan dalam melakukan penelitian, sehingga penelitian berjalan secara efektif dan sistematis.

### **BAB IV PENGEMBANGAN MODEL**

Bab ini membahas tentang pengembangan model yang dilakukan dalam rangka untuk menjawab rumusan masalah.

### **BAB V UJI NUMERIK & ANALISA SENSITIFITAS**

Bab ini membahas tentang uji numerik yang dilakukan pada model yang telah dibangun. Dalam melakukan uji numerik, dilakukan pula analisa sensitifitas untuk beberapa parameter yang dianggap memiliki pengaruh signifikan terhadap model.

### **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini membahas tentang penarikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan serta memberikan saran berdasarkan penelitian yang dilakukan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 *Perishable Product***

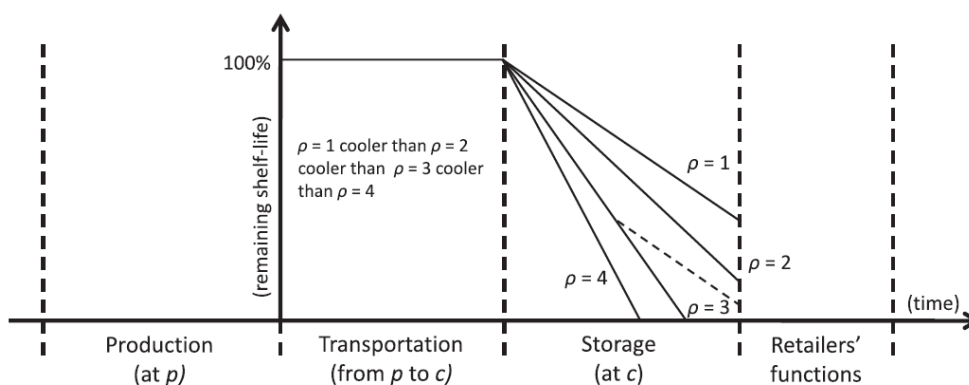
*Perishable product* merupakan produk yang memiliki karakteristik tidak tahan lama yang diakibatkan oleh terjadinya penurunan nilai terhadap waktu. Perbedaan mendasar antara *perishable product* dan *non perishable product* terletak pada umur ketahanan produk (*shelf life*). Keterbatasan umur produk yang dimiliki oleh *perishable product* menyebabkan penurunan nilai yang terjadi di sepanjang *shelf life*-nya. Hal tersebut salah satunya disebabkan karena adanya penurunan (*deterioration*) kualitas produk yang dapat terlihat pada perubahan fisik maupun perubahan pada kandungan produk yang dialami oleh produk seperti daging, sayur-sayuran dan buah-buahan segar, daging dan *seafood* segar, telur dan daging unggas, makanan beku, dan makanan kaleng. Selain itu penurunan nilai juga dapat terjadi akibat adanya perubahan teknologi dan preferensi konsumen (*obsolescence*) yang dialami oleh alat-alat elektronik, produk *fashion*, dan otomotif. Alasan suatu produk menjadi *perishable* juga terjadi akibat adanya perubahan nilai yang terjadi pada produk seperti tiket nonton, konser, hotel, kereta, bus, dan pesawat yang dimana nilai produk tersebut berubah-ubah tergantung pada pola permintaan pada suatu waktu tertentu hingga akhir *shelf life*-nya (Jia & Hu, 2011).

##### **2.1.1 Penurunan Kualitas *Perishable Product***

Chen et al. (2009) menjelaskan bahwa terdapat dua konsep berbeda pada proses deteriorasi *perishable product*. Pada konsep pertama menjelaskan bahwa beberapa produk seperti daging memiliki *shelf life* tetap yang berarti bahwa daging secara simultan tidak lagi dapat digunakan pada akhir *planning horizon*-nya. Sedangkan pada konsep kedua menjelaskan bahwa produk seperti makanan, sayur-sayuran, bunga, buah-buahan, daging segar, ikan segar, dan sejenisnya mengalami deteriorasi di sepanjang *planning horizon* (kerusakan secara berkelanjutan).

Produk makanan yang termasuk di dalam *perishable product* terdiri atas sayur-sayuran dan buah-buahan segar, daging dan *seafood* segar, telur dan daging

unggas, makanan beku, dan makanan kaleng merupakan produk yang harus dipertahankan kualitas dan umur hidupnya dengan cara didinginkan. Melalui proses pendinginan dapat dilakukan pengendalian terhadap temperatur lingkungan dan dapat menghambat aktivitas mikroba (United States Departement of Agriculture, 2008). Sayuran segar merupakan contoh barang yang bersifat *perishable* dimana nilai nutrisi dan rasa yang terkandung berada pada kondisi terbaik ketika sayuran tersebut baru saja selesai dipanen dan akan terus menurun seiring berjalannya waktu hingga sayuran tersebut rusak (Osvold & Stirn, 2008).

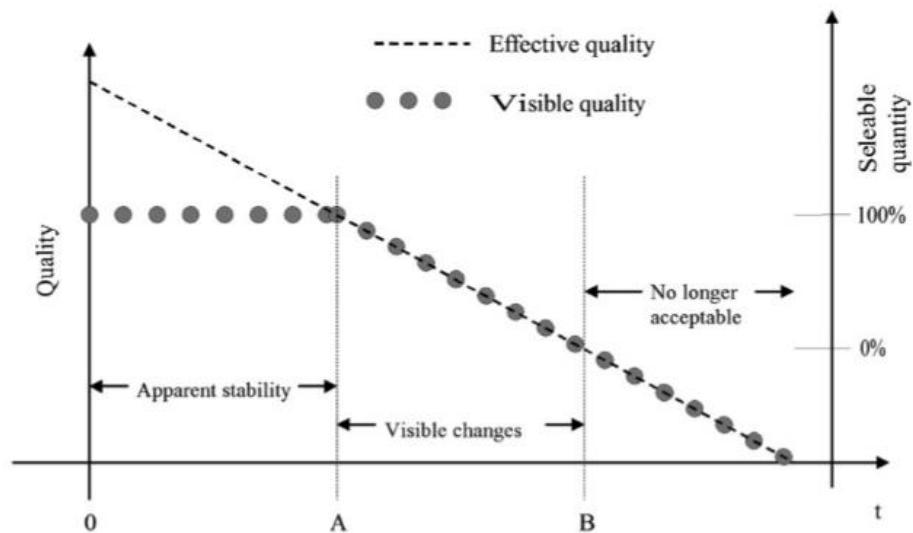


Gambar 2.1 Perilaku Produk dengan Karakteristik *Loose Shelf-Life* Terhadap Sisa Umur Produk

Sumber: Amorim et al. 2012

Amorim et al., 2012 menunjukkan bahwa tingkat kesegaran (kualitas) dari suatu *perishable product* dapat dilihat dari *shelf life* yang tersisa pada produk tersebut. Untuk produk dengan *shelf life* yang tetap maka *willingness to pay* bergantung pada seberapa jauh kondisi produk tersebut dari tanggal kadaluarsanya (*Best-Before-Date*). Namun ketika suatu produk memiliki karakteristik *loose shelf life* atau *shelf life* yang perubahannya bergantung pada karakteristik deteriorasi dari produk itu sendiri dan kondisi lingkungan (temperatur), maka tingkat kesegaran suatu produk yang ditunjukkan oleh sisa *shelf life* yang tersisa dapat dikendalikan. Gambar di bawah menunjukkan pola perilaku beberapa produk  $k$  yang di dalam model milik Amorim, Günther, & Almada-Lobo, 2012 diasumsikan memiliki kebutuhan temperatur yang sama. Setelah proses produksi, produk berada pada kondisi *shelf life* 100% dan produk mampu mempertahankan tingkat kesegarannya selama aktivitas transportasi berlangsung. Ketika kondisi temperatur pada pusat distribusi sebesar  $\rho=3$  atau  $\rho=4$ , maka produk akan mengalami kerusakan sebelum

produk tersebut dikirimkan ke *retailer*. Kondisi berbeda ketika temperatur diatur pada  $\rho=1$  atau  $\rho=2$ , sehingga memastikan bahwa produk masih memiliki sisa *shelf life* yang cukup sebelum dikirimkan ke *retailer*. Namun perubahan pengaturan temperatur pada beberapa kondisi waktu tertentu dapat dilakukan demi memastikan produk masih memiliki *shelf life* yang tersisa sebelum dikirimkan ke *retailer*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar dengan garis putus-putus dimana temperatur berada pada  $\rho=3$  di titik awal penyimpanan produk di dalam pusat distribusi kemudian temperatur diubah menjadi  $\rho=1$  selama proses penyimpanan berlangsung.

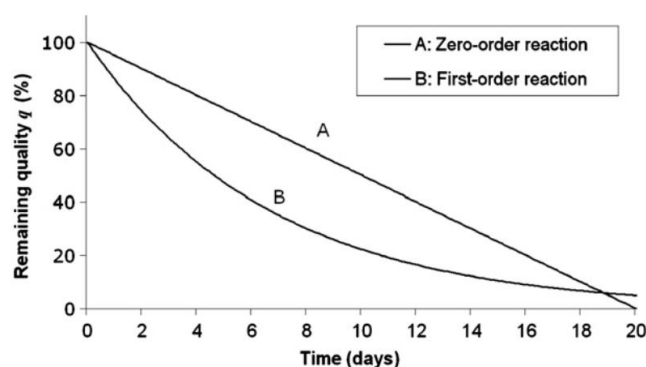


Gambar 2.2 Penurunan Kualitas *Perishable Product*  
 Sumber: Osvald & Stirn 2008

Penelitian yang dilakukan oleh Osvald & Stirn (2008) menggambarkan penurunan kualitas sayuran segar yang merupakan *perishable product* seperti pada gambar 2.2. Pada titik  $t=0$  merepresentasikan kondisi optimal dari produk *perishable* ketika sayuran baru selesai dipanen. Selama periode pertama yaitu fase *apparent stability* (mulai dari 0 sampai A), kualitas mulai mengalami penurunan yaitu pada kandungan di dalam sayuran (non-visual) namun tidak ada perubahan secara fisik (visual). Kemudian pada fase selanjutnya yaitu *visible change* (titik A sampai B), perubahan *value* akan terus berlanjut. Perubahan terjadi pada kedua parameter kualitas yaitu perubahan kandungan di dalam sayuran dan wujud sayuran tersebut. Memasuki titik B maka sayuran tersebut berada di dalam kondisi yang

tidak lagi dapat diterima oleh pasar karena sudah dianggap rusak dan tidak layak dikonsumsi. Penurunan kualitas terus terjadi pada *perishable product* dari waktu ke waktu hingga berakhirnya *shelf life*.

Rong et al. (2011) menjelaskan bahwa penurunan kualitas untuk *fresh perishable food* dipengaruhi oleh durasi waktu suatu produk berada di dalam proses *supply chain* hingga sampai ke tangan *customer* dan juga dipengaruhi oleh perbedaan dan perubahan temperatur lingkungan di sekitar produk terhadap temperatur standarnya. Semakin besar perbedaan temperatur lingkungan dengan temperatur standar produk yang ditetapkan, maka semakin cepat pula laju penurunan kualitas yang dialami oleh produk tersebut. Dikutip dari Labuza (1982) dalam Rong et al. (2011), terjadinya penurunan kualitas dapat digambarkan sebagai berikut:



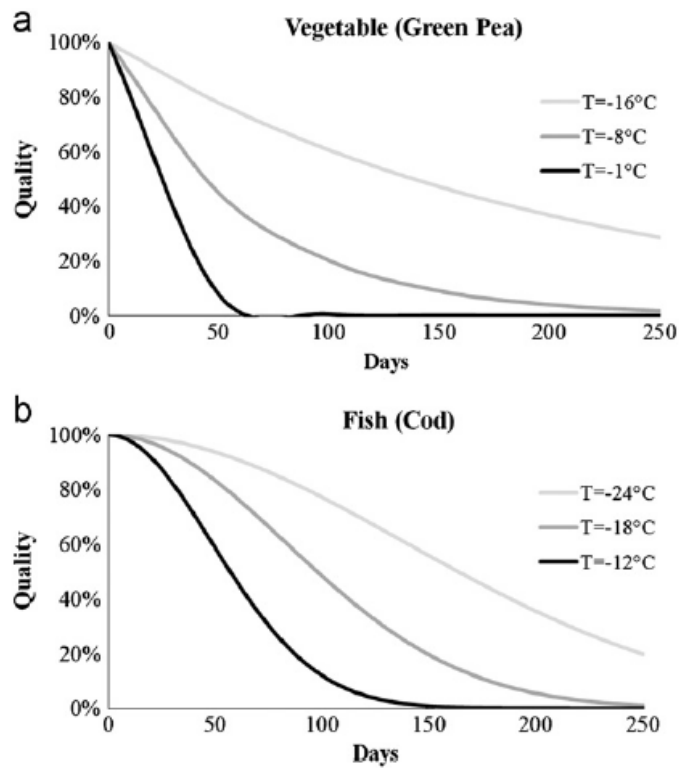
Gambar 2.3 Ilustrasi Penurunan Kualitas *Perishable Food*  
Sumber: Rong et al., 2011

Seperti yang terlihat pada gambar 2.4, penurunan kualitas pada produk makanan segar dapat terjadi secara linear maupun eksponensial. Penurunan secara linear disebut dengan *zero-order reaction* yang terjadi pada buah-buahan dan sayur-sayuran. Sedangkan untuk penurunan yang terjadi secara eksponensial atau *first-order reaction* dialami oleh produk yang penurunannya bergantung pada pertumbuhan mikroba seperti daging dan ikan.

Pada penelitian Zanoni & Zavarella (2012), degradasi kualitas produk makanan bergantung pada lama penyimpanan, temperatur penyimpanan, dan parameter tambahan yang bergantung pada atmosfer tempat penyimpanan. Pada



penelitian ini ditunjukkan bahwa temperatur memainkan peran utama pada degradasi kualitas produk.



Gambar 2.4 Degradasi Kualitas dari Waktu ke Waktu untuk Temperatur Penyimpanan Berbeda

Sumber: Zaroni & Zavanella, 2012

Pada gambar 2.4 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan penerapan temperatur pada kedua produk dan bagaimana dampak penerapan temperatur terhadap kualitas produk dari waktu ke waktu. Sensitivitas degradasi kualitas kedua produk terhadap temperatur juga berbeda dari waktu ke waktu. Penerapan temperatur ini memungkinkan untuk melakukan observasi terhadap kacang hijau yang dimana pembusukan mencapai 50% (menunjukkan kadar kandungan vitamin C) setelah hari ke-50 ketika disimpan pada suhu  $-8^{\circ}\text{C}$ , sementara ikan kod mengalami degradasi kualitas hingga 50% (menunjukkan pembusukan yang disebabkan oleh proliferasi mikroorganismenya) setelah hari ke-100 jika disimpan pada temperatur  $-18^{\circ}\text{C}$  (Zaroni & Zavanella, 2012).

### 2.1.2 Model Penurunan Kualitas

Osvald & Stirn (2008) mendefinisikan bahwa suatu produk memiliki batas kualitas tertentu yang dapat diterima oleh pasar. Batas maksimal kualitas produk sama dengan *shelf life* produk tersebut. Osvald & Stirn (2008) mengembangkan model linear sederhana yang diusulkan oleh Pawsey (1995) untuk melakukan estimasi terhadap penurunan kualitas yang dialami oleh sayuran segar. Fungsi linear penurunan kualitas sayuran segar dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = 1 - \frac{t-A}{B-A} \quad (2.1)$$

dimana:  $Q$  = kualitas yang tersisa dari produk sayuran segar

$t$  = lama perjalanan kendaraan

$A$  = titik waktu proses pendistribusian dimulai

$B$  = *shelf life* produk

Zanoni & Zavanella (2012) menyatakan bahwa meskipun suatu produk berada dalam temperatur optimalnya di sepanjang *cold chain*, kualitas produk tetap akan mengalami penurunan terhadap waktu. Rumus degradasi kualitas Rong et al. (2011) dan Zanoni & Zavanella (2012) diadopsi dari model penurunan kualitas milik Labuza (1982) yang dikembangkan dari persamaan kinetik Arrhenius untuk menunjukkan hubungan antara laju degradasi kualitas ( $k$ ) dan temperatur ( $T$ ):

$$k = k_0 e^{-(E_a/RT)} \quad (2.2)$$

dimana  $k_0$  adalah konstanta,  $e$  adalah bilangan euler,  $E_a$  adalah energi aktivasi [ $J/kg$ ],  $R$  adalah gas konstan [ $J/kg \text{ } ^\circ K$ ], dan  $T$  adalah temperatur absolut [ $^\circ K$ ]. Sehingga, tingkat kualitas suatu produk dapat diestimasi  $q(T, t)$  berdasarkan kualitas inisial produk ( $q_0$ ), lama waktu penyimpanan ( $t$ ), dan laju degradasi ( $k$ ). Persamaan 2.3 menunjukkan tingkat kualitas produk untuk reaksi *zero-order* dan persamaan 2.4 menunjukkan tingkat kualitas produk untuk reaksi *first-order*.

$$q(T, t) = q_0 - k_0 t e^{-[E_a/RT]} \quad (2.3)$$

$$q(T, t) = q_0 e^{-k_0 t e^{-[E_a/RT]}} \quad (2.4)$$

## 2.2 *Cold Supply Chain*

Karakteristik produk makanan yang paling penting adalah berkaitan dengan kualitas produk tersebut. Kualitas produk merupakan elemen yang harus dipertimbangkan di sepanjang *supply chain* (Smith dan Sparks, 2004 dalam Rong et al., 2011). Kualitas makanan berkaitan langsung dengan beberapa atribut makanan seperti integritas, keamanan, dan *shelf life*. Menjaga kualitas yang tinggi pada produk makanan termasuk di dalamnya produk hasil pertanian yang penurunannya bergantung pada kondisi lingkungan fasilitas tempat penyimpanan dan fasilitas transportasi. Menjaga kualitas yang tinggi merupakan hal yang sangat penting di dalam kinerja *supply chain* (Labuza, 1982 dalam et al., 2011).

Mulai dari titik awal proses di dalam *supply chain* seperti aktivitas panen hingga sampai pada titik akhir yaitu *point of sales*, sayur dan buah segar harus disimpan pada temperatur dingin untuk mencegah terjadinya pembusukan (Pullman & Wu, 2012). Sebagian besar buah dan sayuran mengalami deteriorasi segera setelah produk dipanen. Deteriorasi terjadi melalui respirasi, namun laju penurunan dapat dihambat hingga tingkat yang dapat diterima dengan cara menurunkan temperatur lingkungan. Penetapan temperatur rendah pada produk makanan atau *perishable food* bertujuan untuk menjaga kualitas dan memperpanjang *shelf life* dengan cara produk disimpan dalam kondisi temperatur yang mampu meminimalkan deteriorasi metabolik dan mikroba. Oleh karena itu, diperlukan suatu pengaturan temperatur lingkungan untuk menjaga karakteristik *perishable product* baik secara fisik maupun berkaitan dengan kandungan di dalam produk selama berlangsungnya proses *supply chain*.

Dalam rangka mempertahankan kualitas produk di sepanjang *value chain*, diperlukan suatu manajemen yang mampu mengintegrasikan proses bisnis di sepanjang *supply chain*. Manajemen tersebut disebut dengan *cold chain management*. *Cold chain* berfungsi untuk mengendalikan dan mengawasi temperatur *supply chain* untuk mempertahankan keberlangsungan *cold chain*. Pengelolaan temperatur yang tepat merupakan prosedur yang paling penting dan sederhana untuk menghambat deteriorasi pada produk makanan. Selain itu, penetapan temperatur penyimpanan yang optimal dapat memperlambat kerusakan pada buah dan sayuran serta menghambat perubahan pada tekstur dan warna.

Temperatur yang optimal juga memperlambat perubahan metabolik yang tidak diinginkan, hilangnya kelembaban, dan hilangnya *edibility* akibat invasi oleh patogen (Aung & Chang, 2014).

Penggunaan *cooling equipment* pada *cold storage* misalnya kendaraan berpendingin, *refrigerated display cabinets*, maupun *refrigerated warehouse* di dalam *cold chain* berfungsi untuk mengendalikan temperatur lingkungan yang ideal pada saat *fresh product* disimpan dan didistribusikan (Song & Ko, 2016). Hal tersebut bertujuan untuk mempertahankan kualitas dan untuk membatasi kerugian akibat penurunan nilai yang terjadi di sepanjang tahapan *supply chain* hingga produk sampai ke tangan *customer*, sehingga penerapan *cold chain* mampu mendukung performansi *supply chain* (Zanoni & Zavanella, 2012). *Cold chain* juga mempertimbangkan keamanan dari *perishable food* yang juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan terutama temperatur. Jika temperatur lingkungan melebihi batas spesifikasi temperatur produk maka akan menyebabkan peningkatan temperatur. Temperatur tinggi akan menyebabkan peningkatan laju perkembangan mikroba, aktivitas enzim, dan juga reaksi kimia yang dapat berakibat tidak hanya pada kualitas produk namun juga akan meningkatkan resiko keracunan makanan.

Berkembangnya tren produk makanan secara global berpengaruh pada tingkat kesadaran *customer* atas tingkat keamanan makanan ketika melalui proses produksi, distribusi, dan persiapan produk. Hal tersebut menyebabkan terciptanya kebutuhan akan studi yang berkaitan dengan keamanan makanan dengan tujuan untuk meningkatkan performansi *food supply chain* secara global. Meningkatnya kesadaran *customer* terhadap keamanan makanan dan berkembangnya regulasi pemerintah terhadap keamanan makanan merupakan faktor utama yang mendorong pengembangan *cold chain*. Oleh karena itu, permasalahan di dalam *cold chain* terus-menerus ditangani secara serius oleh para akademisi dan juga oleh industri makanan (Kuo & Chen, 2010).

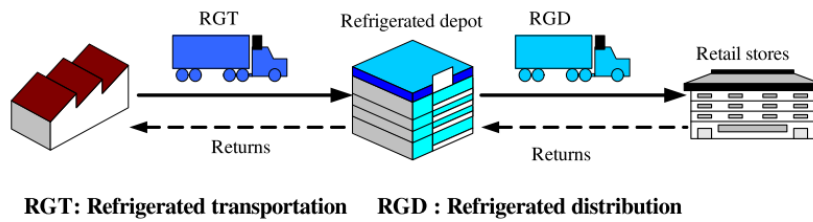
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Song & Ko (2016) menunjukkan bahwa penggunaan kendaraan berpendingin dalam rangka meningkatkan kepuasan *customer* dipengaruhi oleh tingkat kesegaran *perishable food* yang sampai ke tangan *customer*. Penggunaan kendaraan berpendingin mampu menghasilkan kesegaran produk yang lebih tinggi dibandingkan dengan

penggunaan kendaraan tanpa pendingin. Namun, adanya aktivitas *loading* dan *unloading* akan tetap menyebabkan produk mengalami penurunan kualitas dalam jumlah tertentu akibat dibukanya pintu kontainer meskipun telah menggunakan kendaraan berpendingin.

Aung & Chang (2014) menyatakan bahwa penggunaan kendaraan berpendingin berfungsi untuk mengendalikan perkembangan mikroba pada *perishable food*. Pendingin memelihara kualitas dan *shelf life* dengan menjaga temperatur produk berada pada titik dimana deteriorasi metabolik dan perkembangan mikroba yang terjadi berada pada titik paling minimum. Pengendalian temperatur yang tepat juga bertujuan untuk menghindari terjadinya *foodborne illness*.

Pendingin di dalam kendaraan yang mendistribusikan *perishable food* berfungsi untuk menghilangkan kelebihan panas serta melakukan pengendalian temperatur di dalam *container* dengan menggunakan sistem refrigerasi (United States Departement of Agriculture, 2008). Sistem refrigerasi bekerja untuk menciptakan dan menjaga temperatur lingkungan yang lebih rendah dari temperatur sekitarnya. Panas yang dipindahkan dapat diukur melalui besarnya energi yang digunakan untuk mengalirkan udara dingin di dalam menciptakan kondisi temperatur tertentu. Sirkulasi udara merupakan salah satu faktor penting guna menjaga isi dari *refrigerated container* tetap berada pada temperatur yang ditetapkan. Hal tersebut dimaksudkan agar udara yang didinginkan dapat bersirkulasi dan tersebar di dalam *refrigerated container*.

Menurut Kuo & Chen (2010) sistem logistik yang efektif seharusnya tidak hanya mengirimkan produk dalam kondisi segar dan aman untuk dikonsumsi tetapi juga tepat waktu. Oleh karena itu, di dalam model yang dikembangkan oleh Kuo & Chen (2010) juga mempertimbangkan durasi waktu pengiriman dan variasi temperatur di dalam *cold chain* ketika mendistribusikan produk dari depot menuju beberapa *retailer*. Pada gambar 2.5 ditunjukkan bahwa proses distribusi produk dengan kendaraan berpendingin bergerak dari gudang penyimpanan manufaktur menuju *refrigerated depot*. Setelah proses pengecekan dilakukan, produk tersebut akan didistribusikan menuju serangkaian toko retail, supermarket, dan toko serba ada.



Gambar 2.5 Proses Pelayanan *Cold Distribution*  
 Sumber: Kuo & Chen, 2010

Sifat *fresh product* yang rentan terhadap waktu menyebabkan proses pendistribusian perlu mempertimbangkan durasi waktu produk berada di dalam perjalanan hingga sampai ke tangan *customer*. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu strategi penyusunan rute yang efisien sehingga mampu meminimasi durasi waktu perjalanan dan mampu memenuhi tenggang waktu yang ditetapkan oleh *customer*. Salah satu cara dalam penyusunan rute kendaraan yaitu dengan pendekatan *vehicle routing problem*.

### 2.2.1 *Vehicle Routing Problem*

*Vehicle Routing problem* atau yang dikenal luas selama ini sebagai *Capacitated VRP* (CVRP) merupakan model perancangan rute pengiriman optimal yang tergolong dalam permasalahan *NP-Hard*. Di dalam konsep VRP terdapat beberapa aturan yang membatasi pengembangan model yang dilakukan. Aturan-aturan tersebut adalah rute yang terbentuk harus berasal dari depot, setiap *customer* hanya dikunjungi oleh satu rute yang terbentuk, dan total *demand* dari setiap *customer* yang dikunjungi di dalam suatu rute tidak melebihi kapasitas kendaraan (Toth & Vigo, 2002). Tujuan dari VRP adalah mendapatkan set rute kendaraan yang menghasilkan biaya terendah dengan memenuhi batasan-batasan tersebut (Braekers et al., 2015).

(Toth & Vigo, 2002) menggambarkan bahwa di dalam konsep VRP terbentuk jaringan  $G = (V, A)$  dengan  $V = \{0, \dots, n\}$  merupakan sekumpulan *vertex* yang dimana 0 mewakili depot,  $1, \dots, n$  mewakili *customer*, dan terkadang  $n+1$  digunakan untuk mewakili depot yang sama dengan 0 namun digunakan untuk menunjukkan depot yang dikunjungi pada akhir kunjungan, dan  $A = \{(i, j): i, j \in V, i \neq j\}$  merupakan kumpulan *arc*. Setiap pelanggan  $i$  memiliki

permintaan non negatif ( $d_i$ ) yang akan dilayani oleh kendaraan  $k$  dengan kapasitas  $C$ . Biaya perjalanan yang dikeluarkan akibat adanya perjalanan yang ditempuh dari  $i$  ke  $j$  diwakili dengan  $c_{ij}$ . Dimana semua *arc* ( $i, j$ ) bersifat simetris yang artinya  $c_{ij} = c_{ji}$ .

### 2.2.1.1 *Vehicle Routing Problem with Time windows*

*Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan *Time windows* (VRPTW) merupakan pengembangan dari *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dimana terdapat batasan bahwa setiap *customer*  $i$  memiliki interval waktu  $[a_i, b_i]$ .  $a_i$  merupakan *the earliest time windows* sedangkan  $b_i$  merupakan *the latest time windows*. Interval waktu tersebut menunjukkan bahwa *service* yang diberikan kepada *customer*  $i$  harus dimulai di dalam *time windows* yang telah ditentukan dan setiap *vehicle* yang bertugas untuk melayani *customer*  $i$  akan berhenti pada lokasi *customer*  $i$  selama waktu ( $s_i$ ) untuk memberikan *service*. Seringkali terjadi kondisi dimana *vehicle* telah sampai di lokasi *customer*  $i$  sebelum memasuki *earliest time windows* ( $a_i$ ) dari *customer*  $i$ , oleh karena itu *vehicle* harus menunggu hingga memasuki *earliest time windows* untuk memulai *service* (Toth & Vigo, 2002).

Terdapat dua model *time windows*, yaitu *hard time windows* dan *soft time windows*. *Hard time windows* menunjukkan bahwa tidak diperbolehkan suatu *vehicle* untuk sampai di lokasi *customer*  $i$  melewati  $b_i$  untuk memulai *service*. Sedangkan *soft time windows* menunjukkan bahwa suatu *time windows* yang ditetapkan *customer*  $i$  dapat dilanggar, namun akan dikenakan pinalti berupa tambahan biaya yang dihitung sesuai dengan besar selesih waktu keterlambatan *service* terhadap *latest time windows* ( $b_i$ ) dari *customer*  $i$ .

VRPTW bertujuan untuk meminimasi biaya di dalam melakukan *service* kepada seluruh *customer*. Minimasi biaya dilakukan terhadap penyusunan rute dari setiap *vehicle* yang digunakan di dalam melakukan *service*. Penyusunan rute tersebut harus memperhatikan beberapa batasan yaitu setiap rute harus berawal dari depot dan kembali ke depot, setiap *customer* dikunjungi oleh hanya satu rute, total *demand* yang diangkut oleh suatu *vehicle* tidak melebihi kapasitas *vehicle* tersebut, dan setiap *service* yang dilakukan harus dimulai pada interval waktu yang berada

di dalam *time windows* dan *vehicle* akan berhenti pada lokasi *customer i* selama *service* ( $s_i$ ) berlangsung (Toth & Vigo, 2002).

Osvald & Stirn (2008) menyatakan salah satu alasan yang dipertimbangkan di dalam penggunaan konsep *soft time windows* adalah fluktuasi waktu perjalanan yang sering terjadi. *Time windows* setiap *customer* dinyatakan dengan  $[a_i, b_i]$ . Jika kendaraan sampai di *customer i* sebelum  $a_i$ , maka kendaraan harus menunggu sampai  $a_i$  sebelum *service* dimulai. Namun jika kendaraan sampai melewati  $b_i$ , maka akan dikenakan pinalti keterlambatan. Pinalti keterlambatan dihitung berdasarkan:

$$Pinalti_i = \begin{cases} (s_i^k - b_i) \times pengali\ biaya\ keterlambatan_i & S_i^k \geq b_i \\ 0 & S_i^k \leq b_i \end{cases}$$

dimana  $S_i^k$  merupakan waktu detangan kendaraan  $k$  pada *customer i* (menit) dan pengali biaya kendaraan $_i$  merupakan biaya yang dikeluarkan per menit keterlambatan kedatangan di *customer i* (€/menit).

Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Osvald & Stirn (2008), penelitian yang dilakukan oleh Agustina et al., (2014) tidak hanya melakukan penentuan rute dengan memenuhi *time windows* setiap *customer* yang bersifat *soft time windows* melainkan juga mengatur jadwal kedatangan kendaraan pada *cross docking* dan jadwal keberangkatan kendaraan dari *cross docking* menuju setiap *customer* di dalam rute perjalanannya. Agustina et al., (2014) juga menetapkan biaya pinalti yang tidak hanya dibebankan untuk pemenuhan pesanan oleh kendaraan  $k$  yang terlambat atau melewati *time windows customer i* melainkan juga dibebankan bagi kendaraan  $k$  yang sampai ke lokasi *customer i* sebelum memasuki *the earliest time windows*. Biaya pinalti yang dibebankan pada kedatangan yang lebih cepat bergantung pada jumlah pesanan dan seberapa jauh perbedaan waktu kedatangan dengan *the earliest time windows*. Sedangkan biaya pinalti untuk kedatangan yang terlambat bergantung pada jumlah pesanan dan keterlambatan pengantaran.



$$E = e_i d_i \alpha \quad (2.5)$$

$$T = t_i d_i \beta \quad (2.6)$$

dimana:  $e_i$  = selisih waktu kedatangan dengan *the earliest time windows* (menit)  
 $t_i$  = lama keterlambatan (menit)  
 $d_i$  = jumlah pesanan (palet)  
 $\alpha$  = biaya pinalti untuk kedatangan lebih awal (\$ per palet per menit)  
 $\beta$  = biaya pinalti untuk kedatangan terlambat (\$ per palet per menit)

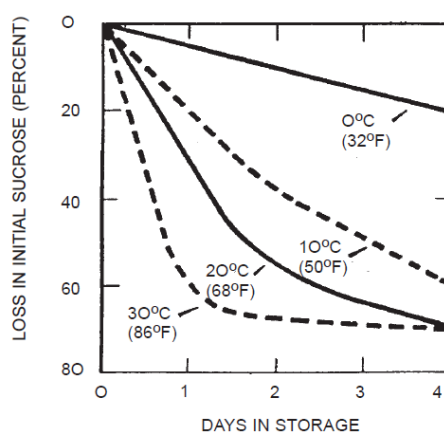
### 2.3 Pengelolaan Temperatur Lingkungan *Perishable Food*

Saat ini industri makanan menghadapi tantangan sehubungan dengan meningkatnya kompleksitas operasional, kebutuhan *customer* yang selalu berubah, munculnya regulasi-regulasi baru, dan *life cycle* produk yang pendek. Umur hidup yang terbatas serta deteriorasi kualitas dari *perishable food* menyebabkan kompleksitas di dalam pengelolaannya. Untuk itu dibutuhkan suatu *supply chain* yang efektif dan adaptif untuk mengelola kebutuhan tersebut. Kebanyakan dari *perishable food* memiliki *shelf life* tertentu yang penurunannya tidak hanya dipengaruhi oleh lamanya proses produk sampai ke tangan *customer* melainkan sangat dipengaruhi oleh kondisi temperatur di dalam rangkaian *food chain*. Pengendalian terhadap temperatur dan manajemen waktu merupakan faktor kritis di dalam aktivitas logistik *fresh product* (Aung & Chang, 2014). Regulasi yang berkaitan dengan keamanan makanan meliputi pengaturan temperatur dan sirkulasi udara pada kendaraan berpendingin, aktivitas produksi, penyimpanan, dan *loading-unloading* harus menggunakan peralatan yang terstandarisasi dan tersertifikasi (Bogataj et al., 2005).

Carullo, Corbellini, Parvis, Reyneri, & Vallan (2009) dalam Aung & Chang (2014) menyatakan bahwa temperatur yang ditetapkan tidak boleh melebihi spesifikasi batasan temperatur tertentu dari suatu *perishable food* karena peningkatan temperatur meskipun hanya beberapa derajat saja dapat menyebabkan perkembangan mikroba. Perkembangan mikroba yang terjadi dapat mengakibatkan

terjadinya penurunan kualitas, pembusukan makanan, hingga keracunan makanan. Ketidaksiesuaian temperatur baik terlalu tinggi maupun terlalu rendah dapat menyebabkan penurunan kualitas. Seperti contoh, temperatur yang terlalu tinggi akan menyebabkan penurunan kandungan vitamin C pada asparagus, dan penurunan kadar gula di dalam jagung manis. Sedangkan temperatur yang terlalu rendah dapat menyebabkan *chilling injury* pada sayur dan buah.

Menjaga temperatur ideal merupakan faktor utama dalam melindungi *perishable food* dari kerugian atas penurunan kualitas yang terjadi selama proses penyimpanan dan transportasi. Penurunan kualitas merupakan hubungan antara fungsi waktu dan temperatur. Ketika temperatur lingkungan dari suatu *perishable food* berbeda dengan karakteristik temperatur ideal produk tersebut, maka akan berdampak pada penurunan kualitas yang terus berlangsung hingga produk tersebut sampai ke tujuan meski kondisi tersebut berlangsung hanya dalam waktu yang singkat seperti proses *loading*, *unloading*, dan menunggu (United States Departement of Agriculture, 2008). Seperti contoh pada gambar 2.6 ditunjukkan penurunan kandungan sukrosa atau gula di dalam jagung manis akibat pengaturan temperatur tertentu.



Gambar 2.6 Grafik Penurunan Kandungan Sukrosa (Gula) dengan Peningkatan Temperatur pada Jagung Manis

Sumber: United States Departement of Agriculture, 2008

Pada penelitian yang dilakukan oleh Zaroni & Zavanella (2012) dijelaskan bahwa semakin rendah temperatur yang ditetapkan, maka akan berdampak pada semakin lama kualitas produk dapat dipertahankan. Namun akibat yang dapat ditimbulkan oleh penetapan temperatur yang semakin rendah adalah semakin tinggi

pula energi yang dibutuhkan di sepanjang *supply chain*. Menurut James et al. (2006) dalam Zaroni & Zavanella (2012) perlu diketahui bahwa temperatur distribusi di sepanjang *cold chain* tidak selalu bersifat *uniform*. Oleh karena itu, total penurunan kualitas berkaitan dengan kualitas awal produk dan dapat ditentukan melalui penjumlahan setiap penurunan kualitas yang terjadi pada setiap tingkatan di dalam *supply chain* yang bergantung pada penetapan temperatur di setiap tingkatannya. Terdapat standar temperatur yang harus dipasang pada suatu *cold storage* berkaitan dengan karakteristik produk muatan. Berikut ini adalah tabel yang berisi daftar temperatur yang direkomendasikan oleh United States Departement of Agriculture (2008) untuk setiap tipe produk :

Tabel 2.1 Temperatur Pendingin untuk Variasi Tipe Produk  
 Sumber: United States Departement of Agriculture, 2008

| Type of Product    | Temperature |
|--------------------|-------------|
| Frozen             | -18 to -20  |
| Chilled            | 0 to +4     |
| Chilling sensitive | +8 to +10   |

*Frozen dairy* merupakan produk-produk yang harus selalu berada dalam kondisi beku seperti *ice cream*, keju, mentega, dan lainnya. *Chilled diary* merupakan produk yang harus berada pada temperatur tertentu namun temperatur tersebut tidak sampai membuat produk menjadi beku seperti susu, yogurt, daging, seafood, dan lainnya. Setiap produk membutuhkan pengendalian temperatur lingkungan yang berbeda-beda. Pengaturan temperatur tersebut disesuaikan dengan karakteristik masing-masing produk.

Tabel 2.2 Rekomendasi Temperatur untuk *Frozen Dairy*

Sumber: United States Departement of Agriculture, 2008

| Product   | Temperature (°C)         |
|---|--------------------------|
| <b>Dairy</b>  |                          |
| Butter  | Between -28 °C and -20°C |
| Cheese  | Between -28 °C and -20°C |
| Ice Cream   | Between -30 °C and -22°C |
| <b>Fresh Meat</b>   |                          |
| Meat Products   | -23 °C                   |
| <b>Poultry and Eggs</b>   |                          |
| Poultry   | -15 °C                   |
| <b>Seafood</b>  |                          |
| Abalone, Cockles, Crab, Fin Fish,<br>Lobsters, Marron, Octopus, Oysters,<br>Prawns, Scallops, Shark, Squid, Tuna<br>(except Sashimi), Yabbies | < -18°C                  |

Tabel 2.3 Rekomendasi Temperatur untuk Chilled Dairy

Sumber: United States Departement of Agriculture, 2008

| Product  | Temperature (°C)     |
|--|----------------------|
| <b>Dairy</b>                                   |                      |
| Milk   | Between 0°C and 4°C  |
| Yoghurt  | <4°C                 |
| Cream  | Between 0°C and 4°C  |
| Butter   | Between -1°C and 4°C |
| Margarine                                      | 2°C                  |
| Cheese   | Between 1°C and 4°C  |
| Powdered/UHT/Condensed Milk                    | <25°C                |
| <b>Fresh Meat</b>                              |                      |
| Meat carcase, side, quarter or bone-in         | Between 0°C and 7°C  |
| Meat portions, bones, carton meat              | Between 0°C and 4°C  |
| Rabbit   | <5°C                 |
| Game   | <7°C                 |
| Edible Offal                                   | <7°C                 |
| Vacuum Packed Goods                            | <7°C                 |
| <b>Processed Meat</b>                          |                      |
| Uncooked (Sausages, Rissoles, etc)             | <5°C                 |
| Cooked (Ham, Luncheon Meats, etc)              | <5°C                 |
| Fermented Uncooked (Salami, Mettwurst,<br>etc) | <5°C                 |
| <b>Poultry and Eggs</b>                        |                      |
| Poultry  | <5°C                 |
| Eggs   | <5°C                 |
| <b>Seafood</b>                                 |                      |
| Green or Cooked                                | Between 0°C and 4°C  |

Pada penelitian yang dilakukan oleh Aung & Chang (2014) dikatakan bahwa kebutuhan temperatur setiap produk makanan sangat bervariasi. Oleh karena

itu, sangat penting untuk memastikan bahwa semua jenis *perishable food* yang memiliki kebutuhan temperatur berbeda dapat dijaga dalam kondisi yang terbaik mulai dari awal proses *supply* hingga sampai pada tahapan konsumsi. Tingkat kesegaran dan keamanan harus dipastikan pada setiap tingkatan di dalam proses logistik karena apabila terjadi pengendalian temperatur yang salah pada suatu tahapan akan berdampak pada kualitas akhir produk. Ketepatan dan kehati-hatian dalam pengelolaan temperatur di sepanjang *supply chain* merupakan hal yang esensial untuk menjamin kualitas produk. Dapat dilihat pada tabel 2.4, beberapa jenis buah dan sayuran memiliki karakteristik kebutuhan atas temperatur yang berbeda antara satu sama lain. Oleh karena itu, pengelolaan temperatur akan semakin kompleks apabila mempertimbangkan metode serta penentuan temperatur yang optimal bagi lingkungan *cold storage* dengan multi produk. Metode serta temperatur optimal yang ditetapkan memiliki dampak penurunan kualitas yang paling minimal dan mampu mengakomodir seluruh produk yang berada di dalam *storage*.

Tabel 2.4 Rekomendasi Temperatur Penyimpanan Beberapa Jenis Buah dan Sayur  
 Sumber: United States Departement of Agriculture, 2008

| Kelompok | Komoditas  | Suhu              |
|----------|--|-------------------|
| 1        | Apel, aprikot, beri, ceri, ara, anggur, persik, pir, kesemak, plum dan pune, delima, quince  | 0° sampai 1,5°C   |
| 2        | Alpukat, pisang, terong, jeruk bali, jambu, jeruk nipis, mangga, melon, zaitun, pepaya, nanas, tomat, semangka   | 13° sampai 18°C   |
| 3        | Blewah, cranberi, lemon, leci, jeruk, jeruk keprok   | 2,5° sampai 5°C   |
| 4        | Kacang polong, leci, okra, paprika, labu, tomat, semangka  | 4,5° sampai 7,5°C |
| 5        | Mentimun, terong, jahe, jeruk bali, kentang, labu kuning, semangka   | 4,4° sampai 13°C  |
| 6a       | Artichoke, asparagus, bit, wortel, andewi dan escarole, ara, anggur, bawang perei, selada, jamur, peterseli, lobak, kacang kapri, rubarb, salsify, bayam, jagung manis, selada air | 0° sampai 1,1°C   |
| 6b       | Brokoli, kubis brussel, kubis, kembang kol, celeriac, lobak pedas, kolrabi, bawang bombay, lobak, rutabaga, lobak (turnip)   | 0° sampai 1,1°C   |
| 7        | Jahe, kentang, ubi manis   | 13° sampai 18°C   |
| 8        | Bawang putih, bawang bombay  | 0° sampai 1,5°C   |

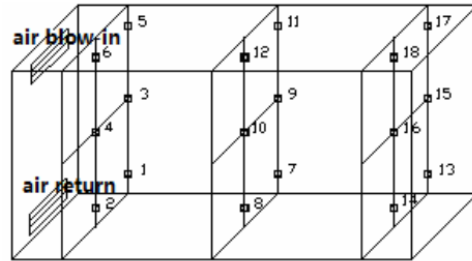
Untuk menjamin kualitas *perishable product* khususnya makanan, pemerintah melalui Badan Standardisasi Nasional (BSN) membuat HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point*) beserta pedomannya. HACCP merupakan suatu standar sistem analisa bahaya dan pengendalian titik kritis yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya dan tindakan pengendalian untuk menjamin keamanan makanan yang berfokus pada pencegahan daripada pengujian produk akhir (Standar Nasional Indonesia, 1998). HACCP bertujuan untuk mengidentifikasi, memonitor, dan mengendalikan bahaya yang beresiko tinggi terhadap mutu dan keamanan produk pangan dengan memperkecil kemungkinan adanya kontaminasi mikroba patogen dan memperkecil potensi mereka untuk tumbuh dan berkembang. HACCP diterapkan pada seluruh rangkaian *supply chain* hingga sampai ke tangan *customer* akhir dengan berpedoman pada bukti ilmiah yaitu resiko kesehatan manusia.

#### **2.4 Posisi Produk di dalam Kendaraan Berpendingin**

Penggunaan *refrigerated container* menjadi semakin populer seiring dengan perkembangan industri makanan dan transportasi makanan berpendingin. Namun, kerusakan pada *perishable food* juga terjadi akibat adanya penanganan proses *loading* yang tidak tepat dan desain pengaturan aliran udara yang tidak sesuai.

Di dalam suatu kendaraan berpendingin produk disusun berdasarkan suatu aturan tertentu, sehingga menyebabkan setiap produk memiliki posisi yang berbeda antara satu sama lain terhadap sumber dingin di dalam kendaraan berpendingin. *Blowing-in velocity* memiliki pengaruh yang berbeda terhadap setiap posisi di dalam kontainer (Xie, 2011). Hal tersebut menyebabkan ketidakseragaman temperatur di dalam kontainer.

Xie (2011) melakukan studi untuk mengetahui pengaruh setiap temperatur dan *air blowing-in velocities* terhadap setiap posisi berbeda di dalam kontainer. Pada gambar 2.7 ditunjukkan bahwa titik pengukuran temperatur di dalam kontainer dibagi menjadi 18 posisi.



Gambar 2.7 *Layout* Titik Pengukuran Temperatur di dalam Kendaraan berpendingin  
 Sumber: Xie, 2011

Penelitian yang dilakukan oleh Xie (2011) dilakukan dengan menggunakan *software Fluent*. *Software* tersebut digunakan untuk merekam kondisi temperatur di seluruh posisi setiap 10 detik dan variasi temperatur yang terjadi selama 5 menit dicatat.

Tabel 2.5 Perbedaan Temperatur pada Setiap Posisi  
 Sumber: Xie, 2011

| Posisi | 10°C | 10°C | 10°C | 6°C  | 6°C  | 6°C  | 2°C  | 2°C  | 2°C  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | 2m/s | 3m/s | 4m/s | 2m/s | 3m/s | 4m/s | 2m/s | 3m/s | 4m/s |
| 1      | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.96 | 0.01 | 0.15 | 1.00 | 2.06 |
| 2      | 0.00 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 1.73 | 0.17 | 1.07 | 2.55 | 2.72 |
| 3      | 0.47 | 0.21 | 0.28 | 0.01 | 0.22 | 0.50 | 0.04 | 0.07 | 0.01 |
| 4      | 0.44 | 0.09 | 0.11 | 0.02 | 0.27 | 0.33 | 0.12 | 0.02 | 0.04 |
| 5      | 2.68 | 2.45 | 3.30 | 1.74 | 2.07 | 3.29 | 2.19 | 2.29 | 2.57 |
| 6      | 0.73 | 0.03 | 0.07 | 0.02 | 0.20 | 0.29 | 0.01 | 0.01 | 0.34 |
| 7      | 0.39 | 0.43 | 0.42 | 0.01 | 1.80 | 0.70 | 0.78 | 2.25 | 1.90 |
| 8      | 0.52 | 0.86 | 1.10 | 0.10 | 3.23 | 1.59 | 1.53 | 4.03 | 2.80 |
| 9      | 0.63 | 0.71 | 0.90 | 0.14 | 0.93 | 1.13 | 0.35 | 0.48 | 0.40 |
| 10     | 0.41 | 0.67 | 0.88 | 0.02 | 0.57 | 1.18 | 0.02 | 0.50 | 0.23 |
| 11     | 1.33 | 1.80 | 2.55 | 0.40 | 1.49 | 2.75 | 0.14 | 1.36 | 1.25 |
| 12     | 2.67 | 1.93 | 2.62 | 0.51 | 1.63 | 2.68 | 0.96 | 1.54 | 1.54 |
| 13     | 2.61 | 1.68 | 3.05 | 1.00 | 1.45 | 2.68 | 0.50 | 1.25 | 1.28 |
| 14     | 1.79 | 1.27 | 0.82 | 0.71 | 0.64 | 1.60 | 0.41 | 0.77 | 0.70 |
| 15     | 0.84 | 0.43 | 0.88 | 0.00 | 1.41 | 1.25 | 0.01 | 0.15 | 0.23 |
| 16     | 0.51 | 0.19 | 0.78 | 0.01 | 0.02 | 0.51 | 0.13 | 0.04 | 0.04 |
| 17     | 3.19 | 2.91 | 3.67 | 1.30 | 2.49 | 3.67 | 1.19 | 2.42 | 2.29 |
| 18     | 2.49 | 2.88 | 3.59 | 0.96 | 2.42 | 3.69 | 0.98 | 2.62 | 2.04 |

Seperti yang terlihat pada tabel 2.5 terdapat perbedaan temperatur pada setiap posisi di dalam kontainer meskipun temperatur dan *blowing-in velocity* yang ditetapkan sama. Selain itu, meskipun temperatur yang ditetapkan pada kontainer

memiliki nilai yang sama namun *blowing-in velocity* yang ditetapkan berbeda, maka temperatur yang diukur pada suatu posisi akan menghasilkan nilai temperatur yang berbeda.

## **2.5 Konsumsi Energi pada Pengelolaan Temperatur Kendaraan Berpendingin**

Karakteristik *perishable food* atau *agri perishable product* yang penurunan kualitasnya dipengaruhi oleh temperatur menyebabkan produk membutuhkan tempat penyimpanan bertemperatur rendah. Penggunaan media penyimpanan maupun kendaraan berpendingin merupakan salah satu strategi yang diterapkan untuk mengendalikan kualitas *perishable food*. Dalam sistem distribusi *perishable food* dengan menggunakan kendaraan berpendingin akan berimplikasi pada besarnya konsumsi energi yang akan ditimbulkan. Hal tersebut disebabkan karena penggunaan kendaraan berpendingin membutuhkan energi yang lebih besar dibandingkan kendaraan biasa. Kendaraan berpendingin membutuhkan energi tidak hanya untuk menggerakkan kendaraan tersebut tetapi juga untuk mendinginkan temperatur ruangan sesuai dengan temperatur yang ditetapkan. Oleh karena itu, pengaturan temperatur ruangan melibatkan konsumsi energi oleh *cooling equipment* yang digunakan. Semakin rendah temperatur yang ditetapkan, maka akan berdampak pada semakin tingginya konsumsi energi yang terjadi.

Di dalam mendinginkan kontainer, *refrigerator* akan menyerap panas yang ada di lingkungan sekitarnya seperti pada udara, air atau cairan proses lain. Cairan atau udara tersebut mengalami penguapan sehingga berubah menjadi gas. Gas yang dihasilkan tersebut akan ditekan oleh kompresor, sehingga menyebabkan tekanan menjadi lebih tinggi dan berdampak pada temperatur gas yang menjadi lebih tinggi. Gas bertekanan tinggi tersebut digunakan untuk proses pendinginan di kondensor, sehingga fluida pendingin menghasilkan suatu temperatur tertentu. Semakin besar perbedaan temperatur yang ingin dihasilkan, maka akan semakin besar pula panas yang dibutuhkan. Hal tersebut berdampak pada semakin besarnya energi yang dibutuhkan di dalam proses pendinginan. Terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi besar kecilnya energi yang dibutuhkan di dalam proses pendinginan antara lain dimensi kontainer (luasan area permukaan dan ketebalan),



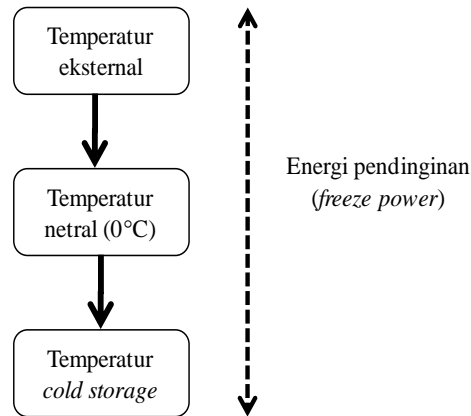
jenis material kontainer, temperatur eksternal, serta berat muatan. Semakin luas area serta semakin banyak dan berat muatan di dalam kontainer, maka energi yang dibutuhkan juga semakin tinggi. Selain itu semakin tinggi temperatur eksternal di sekitar lingkungan kontainer, maka akan menyebabkan biaya energi yang semakin tinggi.

Penelitian ini mengadopsi pendekatan Adler (2007) dalam menghitung konsumsi energi yang digunakan untuk mendinginkan ruangan. Menurut Adler (2007), energi yang diperlukan oleh kompressor untuk mendinginkan temperatur ruangan terbagi menjadi dua yaitu *thermal losses* dan *freeze power*. *Thermal Losses* atau panas yang terbuang umum terjadi pada barang-barang elektronik yang mengkonsumsi energi. Besarnya *thermal losses* ekuivalen dengan luasan area permukaan yang membuang panas. Besar energi yang hilang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_t = \frac{1}{s} k A \Delta t^* \quad (2.7)$$

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

Selain *thermal losses*, *freeze power* juga berkontribusi pada energi untuk mendinginkan ruangan. Energi untuk mendinginkan atau membuang panas merupakan akumulasi antara energi untuk mendinginkan dari temperatur eksternal ke temperatur netral ( $0^\circ C$ ) dan energi untuk mendinginkan dari temperatur netral ke temperatur *cold storage*. Konsep ini dapat diilustrasikan pada gambar 2.8 di bawah ini:



Gambar 2.8 Konsep *Freeze Power*  
 Sumber: Adler 2007

Energi per satuan waktu yang digunakan untuk mendinginkan dipengaruhi oleh karakteristik muatan, berat muatan, dan perbedaan temperatur eksternal dan temperatur *cold storage*. Energi yang digunakan untuk mendinginkan ruangan dapat dihitung dengan pendekatan milik Adler (2007). Pendekatan tersebut dijabarkan sebagai berikut:

$$P_f = \frac{1}{24} [(GC\Delta t_1) + (GCl) + (GC\Delta t_2)] \quad (2.7)$$

dimana:  $P_f$  = energi untuk mendinginkan (kcal/jam)

$G$  = berat muatan (kg)

$C$  = spesifikasi panas muatan (kcal); dimana  $Cn = 0.77$  kcal

$\Delta t_1$  = perbedaan antara temperatur eksternal dengan  $0^\circ\text{C}$

$Cl$  = panas laten muatan (kcal/kg); dimana  $Cl = 60$  kcal/kg

$\Delta t_2$  = perbedaan antara temperatur  $0^\circ\text{C}$  dengan temperatur *cold storage*

$1/24$  = 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* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$P = P_t + P_f \quad (2.8)$$

dimana:  $P$  = total energi untuk mendinginkan (kcal/jam)

## 2.6 Posisi Penelitian

Penelitian ini melengkapi penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai sistem *supply chain* dari *perishable product*. Sistem *supply chain* yang diangkat terdiri dari beberapa sektor, yaitu pengelolaan tempat penyimpanan, agregasi proses produksi dan distribusi, hingga proses *routing* dalam distribusi produk.

Salah satu penelitian pada sektor pengelolaan tempat penyimpanan untuk *perishable product* dilakukan oleh Aung & Chang (2014). Penelitian ini bertujuan untuk mencari temperatur optimal pada *refrigerated storage* dalam rangka memaksimalkan tingkat kesegaran produk. *Trade-off* pada penelitian ini muncul karena adanya berbagai macam *perishable product* dengan standard suhu yang berbeda – beda. Sehingga, *supplier* harus dapat mencari titik optimum agar kesegaran keseluruhan produk bisa termaksimasi. Aung & Chang (2014) menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini menggunakan metode *centroid method*, *weight centroid method*, dan *clustering method*.

Sementara itu, terdapat pula beberapa penelitian pada sektor agregasi pengambilan keputusan antara divisi produksi dan distribusi. Salah satu penelitian yang membahas sektor ini dilakukan oleh Amorim et al. (2012). Penelitian ini mengangkat permasalahan mengenai dual objektif pada pengambilan keputusan produksi dan distribusi. Objektif pertama adalah meminimasi biaya *supply chain* yang terdiri dari biaya produksi (biaya setup dan biaya *variable*), biaya transportasi, dan biaya akibat produk yang rusak. Sementara objektif kedua adalah minimasi rata – rata *shelf life* produk yang tersisa. Pada penelitian ini tidak mempertimbangkan pengaruh temperatur ke dalam model, sehingga penurunan kualitas yang terjadi hanya disebabkan oleh pengaruh waktu. Selain itu penelitian ini mengakomodasi lebih dari satu jenis produk. Sistem distribusi produk yang dibahas di dalam penelitian ini mengangkat permasalahan transportasi antara barang yang berasal dari sejumlah pabrik menuju ke beberapa *distribution center*.

Penelitian lain yang juga membahas agregasi pengambilan keputusan produksi dan distribusi dilakukan oleh Kuo & Chen (2010). Fungsi objektif pada penelitian ini adalah memaksimalkan total profit *supplier*. Jumlah pendapatan yang didapat *supplier* dipengaruhi oleh kesegaran produk saat produk sampai ke tangan

*retailer*. Sama dengan penelitian yang dilakukan Amorim et al. (2012), penelitian ini tidak mengakomodasi temperatur sebagai faktor yang dapat mempengaruhi tingkat kesegaran produk. Namun berbeda dengan penelitian Amorim et al. (2012), sistem distribusi yang diangkat dalam penelitian ini adalah konsep *vehicle routing problem with time windows*. Sehingga penelitian ini juga membahas mengenai *routing* dari sistem distribusi *single supplier*. Penelitian Kuo & Chen (2010) ini menggunakan pendekatan heuristik dengan metode *nelder-mead*.

Penelitian pada aspek sistem distribusi *perishable product* menjadi acuan utama untuk penelitian ini. Penelitian pertama dilakukan oleh Osvald & Stirn (2008) mengenai pengembangan model VRP-TW dengan mempertimbangkan *time dependent travel time*. Parameter *travel time* yang digunakan dalam penelitian ini bersifat dinamis berdasarkan durasi waktu perjalanan yang dilakukan. Penelitian ini juga tidak mempertimbangkan temperatur sebagai faktor yang dapat mempengaruhi penurunan kualitas produk. Selain itu, penelitian ini juga hanya mengakomodasi satu jenis produk di dalam model yang dibangun. Osvald & Stirn (2008) menggunakan metode *Tabu Search* untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat di dalam penelitian ini.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Rong et al. (2011). Penelitian ini mempertimbangkan tiga level *stakeholder* dalam membangun konsep VRP, yaitu *supplier*, *distribution center*, dan *retailer*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui suhu optimum di setiap penyimpanan dari tiga level *stakeholder* tersebut. Selain itu juga dilakukan pencarian suhu optimum pada kendaraan berpendingin pada saat dilakukan pengiriman, sekaligus melakukan proses *routing* untuk distribusi produk dari *distribution center* ke *retailer*. Fungsi tujuan dari penelitian ini adalah meminimasi total biaya yang terdiri dari biaya produksi, biaya energi akibat proses pendinginan, biaya transportasi, biaya penyimpanan, dan biaya *waste disposal*. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan (Osvald & Stirn, 2008), penelitian ini telah mempertimbangkan temperatur sebagai salah satu faktor yang dapat mempengaruhi tingkat kesegaran produk. Selain itu, pada penelitian ini menerapkan konsep *dynamic temperature* yang bertujuan untuk meminimasi biaya energi yang dikeluarkan selama proses transportasi.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Song & Ko (2016), dimana penelitian ini bertujuan untuk mencari skema pendelegasian sejumlah kendaraan berpendingin dan kendaraan tidak berpendingin yang terbatas dalam suatu permasalahan VRP dengan tujuan untuk maksimasi tingkat kepuasan pelanggan yang dipengaruhi oleh tingkat kesegaran produk ketika sampai di *retailer*. Suhu yang ditetapkan dalam kendaraan berpendingin adalah konstan selama perjalanan. Penelitian ini mengakomodasi lebih dari satu jenis produk ke dalam model. Untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat, Song & Ko (2016) menggunakan pendekatan heuristik *priority-based*.

Penelitian lain dilakukan oleh Agustina et al. (2014). Dalam penelitian ini, Agustina et al. (2014) mengakomodasi penggunaan *cross docking* sebagai tempat konsolidasi produk dari beberapa *supplier*, sebelum dikirimkan ke beberapa *retailer*. Sehingga, pada penelitian ini terdapat dua eselon pengiriman, yaitu pengiriman dari *supplier* ke *crossdocking (inbound delivery)* dan dari *crossdocking* ke *retailer (outbound delivery)*. Penelitian ini hanya mengakomodasi satu jenis produk di dalam model yang dibangun, namun tidak mempertimbangkan *temperatur* sebagai faktor yang dapat mempengaruhi penurunan kualitas produk. Penelitian ini menggunakan penyelesaian dengan pendekatan *mixed integer linear programming* dengan fungsi tujuan minimasi total biaya yang terdiri dari biaya penalti akibat melawati *time windows*, biaya penyimpanan, dan biaya transportasi.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Hsu et al. (2007) dimana penelitian ini mengembangkan permasalahan VRP-TW dengan menggunakan pendekatan stokastik pada waktu tempuh antar node. Adanya pendekatan stokastik ini berpengaruh pada kalkulasi penurunan kualitas dari *perishable food* berdasarkan atas fungsi probabilitas. Penelitian ini bertujuan untuk meminimasi total biaya distribusi dari *distribution center* menuju *retailer* dengan mengakomodasi satu jenis produk. Penelitian ini mempertimbangkan temperatur sebagai salah satu aspek yang dapat mempengaruhi tingkat penurunan kualitas. Untuk menyelesaikan permasalahannya, penelitian ini menggunakan metode heuristik *nearest neighbor*.

Penelitian lain dalam konsep VRP-TW dari *supplier* ke *retailer* untuk *perishable product* menggunakan kendaraan berpendingin dilakukan oleh Trihardani (2011). Penelitian ini mengakomodasi *multiple product* serta pengaruh

temperatur dalam menghitung kesegaran produk. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan rute optimum pengiriman serta suhu yang ditetapkan untuk masing – masing kendaraan berpendingin yang digunakan. Selama perjalanannya, kendaraan berpendingin memiliki temperatur set yang tetap sesuai dengan temperatur terendah dari produk yang berada di dalam kendaraan berpendingin. Untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat, Trihardani (2011) menggunakan pendekatan heuristik *nearest neighbor* dan metaheuristik *particle swarm optimization*. Dalam penyelesaiannya, penelitian ini menggunakan dua skema yaitu dengan skema *temperature dependent* (optimum dari sisi kualitas produk) dan *distance dependent* (optimum dari sisi biaya transportasi)

Penelitian Trihardani (2011) kemudian disempurnakan oleh penelitian yang dilakukan oleh Tania (2012), dimana pada penelitian ini temperatur kendaraan berpendingin yang digunakan bersifat dinamis. Terjadi perubahan temperatur selama perjalanan, dimana temperatur suatu kendaraan berpendingin diatur pada suhu yang sama dengan temperatur standar terendah dari produk yang berada pada kendaraan tersebut. Penelitian ini menggunakan pendekatan metaheuristik *ant colony optimization*. Penelitian ini juga mengadopsi dua skema yang digunakan pada penelitian Trihardani (2011) yaitu skema *temperature dependent* dan *distance dependent*.

Sementara itu, penelitian ini melengkapi penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Acuan utama di dalam penelitian ini adalah penelitian milik Agustina et al. (2014). Penelitian ini mengakomodasi penggunaan pusat *cross-docking* dalam sistem distribusi yang dibangun. Sejumlah *supplier* mengirimkan produknya ke pusat *cross docking*, kemudian produk-produk tersebut mengalami proses konsolidasi yang kemudian akan dikirimkan ke setiap *customer*. Penelitian ini juga menggunakan kendaraan berpendingin dalam proses pengirimnya. Terdapat tiga kontribusi keilmuan utama di dalam penelitian ini. Kontribusi pertama adalah pengaturan temperatur yang bersifat dinamis dari masing – masing kendaraan berpendingin, dimana suhu yang ditetapkan adalah suhu optimal yang bisa meminimasi total biaya distribusi. Suhu optimal yang ditetapkan merupakan *trade-off* antara besar biaya yang timbul akibat terjadinya penurunan kualitas dan besar biaya yang timbul akibat penggunaan energi dengan mempertimbangkan

standar temperatur dari beberapa produk sayur segar dan durasi waktu proses. Sedangkan kontribusi keilmuan yang kedua adalah pengaturan posisi peletakan produk di dalam kendaraan berpendingin berdasarkan atas jarak produk dari sumber dingin. Pengaturan posisi tersebut dapat mempengaruhi temperatur yang akan diterima oleh suatu produk. Hal ini menyebabkan peletakan posisi produk yang optimal berdasarkan atas temperatur yang akan diterima oleh produk dan durasi waktu produk akan berada di dalam kendaraan berpendingin. Dengan kata lain posisi peletakan produk yang optimal merupakan strategi untuk meletakkan produk pada posisi yang dapat menyebabkan produk mengalami penurunan kualitas serendah mungkin. Dan kontribusi keilmuan yang ketiga melibatkan penjadwalan keberangkatan dan rute perjalanan kendaraan berpendingin dari *supplier* menuju pusat *cross docking* dan dari pusat *cross docking* menuju lokasi *order customer*. Penjadwalan dan rute kendaraan berpendingin tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas *supply*, durasi waktu menunggu *order* di pusat *cross docking*, *time windows* dari setiap *order*, *travel time*, dan durasi waktu menunggu ketika kendaraan sampai di lokasi *order* sebelum memasuki *the earliest time windows*.

Tabel 2.6 Posisi Penelitian

| No. | Penulis                  | Fokus Permasalahan  | Fungsi Tujuan                      | Karakteristik Permasalahan |          |                      |          |                             |       |   |  |                               | Transportation Problem | Objek Penelitian |           |                     |          |
|-----|--------------------------|---|------------------------------------|----------------------------|----------|----------------------|----------|-----------------------------|-------|---|--|-------------------------------|------------------------|------------------|-----------|---------------------|----------|
|     |                          |   |                                    | Jenis Produk               |          | Jumlah Supplier Node |          | Mempertimbangkan Temperatur |       | Kondisi temperatur yang dipertimbangkan                       | Mempertimbangkan posisi produk di dalam kendaraan berpendingin | Mempertimbangkan biaya energi |                        | Supplier         | Crossdock | Distribution Center | Customer |
|     |                          |   |                                    | Single                     | Multiple | Single               | Multiple | Ya                          | Tidak |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |
| 1   | Aung & Chang             | Menentukan temperatur penyimpanan dari keseluruhan <i>supply chain</i>  | Memaksimalkan kesegaran produk     |                            | √        |                      | -        | √                           |       | Temperatur optimal  | -  | -                             | -                      | √                |           |                     |          |
|     | 2014                     |   |                                    |                            |          |                      |          |                             |       |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |
| 2   | Amorim dkk.              | Pengambilan keputusan terintegrasi antara produksi dan distribusi   | Minimasi biaya <i>supply chain</i> |                            | √        |                      |          | √                           |       | -   | -  | -                             | Transportation         | √                |           | √                   |          |
|     | 2012                     |   | Memaksimalkan kesegaran produk     |                            |          |                      |          |                             |       |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |
| 3   | Kuo & Chen               | Pengambilan keputusan terintegrasi antara produksi dan distribusi   | Maksimasi total profit             |                            | √        | √                    |          |                             | √     | -   | -  | -                             | VRP-TW                 | √                |           |                     | √        |
|     | 2010                     |   |                                    |                            |          |                      |          |                             |       |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |
| 4   | Osvald & Stirn           | VRP-TW dengan mempertimbangkan <i>Time Dependent travel time</i>  | Minimasi biaya distribusi          | √                          |          | √                    |          |                             | √     | -   | -  | -                             | VRP-TWTD               | √                |           |                     | √        |
|     | 2008                     |   |                                    |                            |          |                      |          |                             |       |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |
| 5   | Rong, Akkerman, & Grunow | Proses routing dan penentuan temperatur pada produsen, distribution center, dan retailer serta kendaraan berpendingin | Minimasi total biaya               |                            | √        |                      | √        | √                           |       | <i>Dynamic temperature set</i> berdasarkan temperatur optimal | -  | √                             | VRP                    | √                |           | √                   | √        |
|     | 2011                     |   |                                    |                            |          |                      |          |                             |       |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |



| No. | Penulis                  | Fokus Permasalahan  | Fungsi Tujuan                          | Karakteristik Permasalahan |          |                      |          |                             |       |   |  |                               | Transportation Problem | Objek Penelitian |           |                     |          |
|-----|--------------------------|---|--|----------------------------|----------|----------------------|----------|-----------------------------|-------|---|--|-------------------------------|------------------------|------------------|-----------|---------------------|----------|
|     |                          |   |  | Jenis Produk               |          | Jumlah Supplier Node |          | Mempertimbangkan Temperatur |       | Kondisi temperatur yang dipertimbangkan                 | Mempertimbangkan posisi produk di dalam kendaraan berpendingin | Mempertimbangkan biaya energi |                        | Supplier         | Crossdock | Distribution Center | Customer |
|     |                          |   |  | Single                     | Multiple | Single               | Multiple | Ya                          | Tidak |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |
| 6   | Song & Ko                | Pendelegasian kendaraan berpendingin dan kendaraan tidak berpendingin dalam sistem distribusi   | Memaksimalkan kepuasan <i>customer</i> |                            | √        | √                    |          | √                           |       | Static temperature set                                  | -  | -                             | VRP                    | √                |           |                     | √        |
|     | 2016                     |   |  |                            |          |                      |          |                             |       |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |
| 7   | Agustina, Lee, & Piplani | Proses <i>scheduling</i> dan <i>routing</i> pada dua eselon melibatkan <i>cross-dock</i> secara terintegrasi  | Minimasi total biaya distribusi        | √                          |          |                      | √        |                             | √     | -   | -  | -                             | VRSP-CZTW              | √                | √         |                     | √        |
|     | 2014                     |   |  |                            |          |                      |          |                             |       |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |
| 8   | Hsu, Hung, & Li          | Pengembangan model stokastik VRPTW ( <i>time-dependent temperatures and travel</i> ) menggunakan kendaraan berpendingin   | Minimasi total biaya distribusi        | √                          |          | √                    |          | √                           |       | Static temperature set                                  | -  | √                             | SVRP-TW                |                  |           | √                   | √        |
|     | 2007                     |   |  |                            |          |                      |          |                             |       |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |
| 9   | Trihardani               | Pengembangan model VRPTW untuk sistem distribusi dengan menggunakan kendaraan berpendingin  | Minimasi total biaya distribusi        |                            | √        | √                    |          | √                           |       | Static temperature set                                  | -  | √                             | SVRP-TW                | √                |           |                     | √        |
|     | 2011                     |   |  |                            |          |                      |          |                             |       |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |
| 10  | Tania                    | Pengembangan model VRPTW untuk sistem distribusi dengan menggunakan kendaraan berpendingin  | Minimasi total biaya distribusi        |                            | √        | √                    |          | √                           |       | Dynamic temperature set berdasarkan temperatur terendah | -  | √                             | SVRP-TW                | √                |           |                     | √        |
|     | 2012                     |   |  |                            |          |                      |          |                             |       |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |
| 11  | Penelitian ini           | Penjadwalan keberangkatan kendaraan berpendingin dan penentuan temperatur serta posisi produk di dalam kendaraan berpendingin pada model VRPTW dengan strategi <i>cross-docking</i> | Minimasi total biaya distribusi        |                            | √        |                      | √        | √                           |       | Dynamic temperature set berdasarkan temperatur optimal  | √  | √                             | VRP-TW                 | √                | √         |                     | √        |
|     | 2016                     |   |  |                            |          |                      |          |                             |       |   |  |                               |                        |                  |           |                     |          |

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tahapan – Tahapan Dalam Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yang secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan dan Formulasi Model

Pada tahapan ini dilakukan pengembangan dan formulasi model operasional *cross-docking* yang melibatkan *vehicle scheduling* dan *routing problem* dengan *hard time windows* dalam pendistribusian beberapa produk sayur segar. Model ini bertujuan untuk meminimasi total biaya distribusi yang melibatkan dua eselon di dalam *supply chain*. Total biaya distribusi yang diperhitungkan di dalam model penelitian dipengaruhi oleh biaya tetap penggunaan kendaraan, biaya transportasi, biaya pinalti, biaya resiko penurunan kualitas, dan biaya energi. Penelitian milik Agustina dkk. (2014) menjadi dasar dalam pengembangan model di dalam penelitian ini. Agustina dkk. (2014) merancang model *vehicle scheduling* dan *routing problem* pada *single perishable food* dengan strategi *cross docking* tanpa mempertimbangkan besar penurunan kualitas *perishable food* selama proses distribusi yang dipengaruhi oleh durasi waktu berlangsungnya proses distribusi dan perbedaan antara temperatur lingkungan dengan standar temperatur produk serta tanpa mempertimbangkan penggunaan kendaraan berpendingin untuk menahan laju penurunan kualitas yang akan berdampak pada timbulnya biaya energi akibat proses pendinginan. Oleh karena itu, pengembangan model yang dilakukan di dalam penelitian ini adalah perancangan model operasional *cross-docking* untuk pendistribusian beberapa produk sayur segar dengan temperatur standar berbeda yang mempertimbangkan penurunan kualitas selama berlangsungnya proses distribusi, penentuan temperatur kendaraan berpendingin dengan penerapan konsep *dynamic*

*temperature*, penentuan posisi peletakan produk di dalam kendaraan berpendingin, dan biaya energi yang ditimbulkan akibat proses pendinginan.

## 2. Penyusunan Algoritma Penyelesaian

Pada tahap ini dilakukan penyusunan algoritma untuk menyelesaikan permasalahan model operasional *cross-docking* yang melibatkan sinkronisasi antara penjadwalan dan penentuan rute kendaraan berpendingin dengan mempertimbangkan kapasitas *supply* dari *supplier*, *hard time windows* dari setiap *customer*, besar penurunan kualitas produk akibat durasi waktu berlangsungnya proses distribusi dan perbedaan temperatur yang juga dipengaruhi oleh posisi peletakan *order* di dalam kendaraan berpendingin, serta besar biaya energi yang dipengaruhi oleh penentuan temperatur di dalam kendaraan berpendingin melalui penerapan konsep *Sequential Minimal Optimization Algorithm* (SMO). Yang dimaksud dengan konsep SMO adalah penyelesaian suatu *quadratic problem* dengan cara memecah permasalahan tersebut menjadi beberapa *sub-problem* dengan ukuran permasalahan terkecil yang dapat terbentuk dan diselesaikan melalui optimasi. Algoritma penyelesaian yang disusun di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada tahap ini dilakukan penyusunan rute perjalanan setiap kendaraan berpendingin yang berasal dari pusat *cross docking* yang secara simultan akan menghasilkan keputusan yang menunjukkan konsolidasi *order* di dalam pusat *cross docking* dan penjadwalan waktu keberangkatan setiap kendaraan berpendingin yang bertugas untuk melayani suatu rute tertentu dari pusat *cross docking* menuju setiap lokasi *order*. Penyusunan rute kendaraan berpendingin dan penjadwalan waktu keberangkatannya dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas setiap posisi di dalam kendaraan berpendingin, *time windows* dari setiap *order*, dan durasi waktu berlangsungnya proses pendistribusian produk dari pusat *cross docking* hingga

sampai ke lokasi *order*. Tahap ini bertujuan untuk meminimasi total biaya yang timbul akibat jumlah penggunaan kendaraan berpendingin, *travel time* dari setiap rute yang terbentuk, dan waktu menunggu kendaraan di setiap lokasi *order* yang terjadi ketika kendaraan sampai sebelum memasuki *the earliest time windows* dari *order* tersebut. Waktu keberangkatan setiap kendaraan berpendingin yang dihasilkan pada tahap ini akan menjadi *input* pada tahap berikutnya. Tahap ini diselesaikan dengan pendekatan optimasi menggunakan *software LINGO 16.0*.

2. Pada tahap ini dilakukan penjadwalan waktu keberangkatan setiap kendaraan yang berasal dari *supplier* untuk menuju pusat *cross docking*. Penjadwalan waktu keberangkatan setiap kendaraan *supplier* dilakukan dengan mensinkronisasikannya dengan waktu keberangkatan setiap *order* dari pusat *cross docking*. Tahap ini bertujuan untuk meminimasi total biaya yang dikeluarkan akibat jumlah penggunaan kendaraan berpendingin, *travel time* yang timbul dari setiap perjalanan *supplier* menuju pusat *cross docking*, dan besar penurunan kualitas produk selama proses menunggu di dalam pusat *cross docking*. Tahap ini diselesaikan dengan pendekatan optimasi menggunakan *software LINGO 16.0*.
3. Penentuan temperatur dan posisi peletakan *order* di dalam kendaraan berpendingin baik pada kendaraan yang berjalan dari *supplier* menuju pusat *cross docking* maupun kendaraan yang berjalan dari pusat *cross docking* menuju setiap lokasi *order* dengan mempertimbangkan besar penurunan kualitas dari setiap *order* dan besar biaya energi yang akan ditimbulkan. Tahap ini diselesaikan dengan pendekatan optimasi menggunakan *software LINGO 16.0*.

### 3. Uji Verifikasi dan Validasi Model

Pengujian validitas dari sebuah model bertujuan untuk mengetahui kebenaran suatu model secara matematis, konsistensi model secara logis, serta kedekatan model dengan keadaan nyata. Pengujian validitas dari sebuah model terdiri atas dua bagian, yaitu pengujian validitas internal dan pengujian validitas eksternal. Pengujian validitas internal pada umumnya dikenal sebagai verifikasi sementara pengujian validitas eksternal dikenal sebagai validasi (Daellenbach, McNickle, & Dye, 2005).

Verifikasi suatu model dilakukan untuk menjamin suatu model benar secara matematis dan konsisten secara logis. Hal ini menunjukkan bahwa verifikasi model merupakan pemeriksaan seluruh ekspresi matematis dalam model untuk meyakinkan bahwa ekspresi-ekspresi tersebut merepresentasikan hubungan-hubungan yang ada dengan benar. Verifikasi model juga meliputi pemeriksaan model untuk meyakinkan bahwa semua ekspresi matematis dalam model memiliki dimensi yang konsisten. Uji verifikasi di dalam penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan *input* formulasi matematis ke dalam *LINGO 16.0* sesuai dengan model yang di bangun. Data yang digunakan di dalam uji verifikasi merupakan data dengan skala yang lebih kecil dibandingkan dengan data sebenarnya. Hal tersebut bertujuan untuk meminimalkan *computational time* dari uji verifikasi yang dilakukan. Apabila model yang dibangun telah menunjukkan hubungan yang benar dan konsisten, maka secara otomatis *software LINGO 16.0* akan melakukan proses *running* dan memberi pernyataan *feasible*. Sehingga, dapat dinyatakan bahwa model matematis yang diinterpretasikan ke dalam Bahasa *LINGO 16.0* telah terverifikasi. Setelah itu akan dilakukan uji validasi. Yang dimana uji validasi di dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil dari proses *running* dengan perhitungan secara manual. Apabila seluruh rangkaian proses pengujian model telah

memberikan hasil yang tepat, maka selanjutnya akan dilakukan proses *running* dengan menggunakan data sebenarnya.

#### 4. Percobaan Numerik dan Analisis Sensitivitas

Pada tahap ini dilakukan percobaan numerik untuk mengaplikasikan model yang telah dikembangkan dalam pengolahan data numerik, sehingga mampu memberikan solusi terkait dengan jam keberangkatan kendaraan berpendingin dari setiap *supplier* menuju pusat *cross docking* dan dari pusat *cross docking* menuju *customer*, rute perjalanan setiap kendaraan berpendingin yang berangkat dari pusat *cross docking* menuju *customer*, pengaturan temperatur di dalam kendaraan berpendingin, dan posisi peletakan produk di dalam kendaraan berpendingin. Percobaan numerik akan dilakukan dengan menggunakan algoritma penyelesaian berdasarkan atas strategi penyelesaian yang dikembangkan. Terdapat 3 skenario yang akan dijalankan di dalam penelitian ini.

Skenario pertama akan dilakukan perhitungan total biaya distribusi yang akan dikeluarkan apabila proses pendistribusian produk sayur segar tidak mempertimbangkan pengaturan temperatur dan posisi *order* di dalam kendaraan berpendingin. Berbeda dengan skenario pertama, pada skenario kedua akan dilakukan perhitungan total biaya yang akan dikeluarkan apabila proses pendistribusian produk sayur segar mempertimbangkan pengaturan temperatur di dalam kendaraan namun belum mempertimbangkan posisi *order* di dalam kendaraan. Sedangkan pada skenario ketiga akan dilakukan perhitungan total biaya dari distribusi produk sayur segar apabila mempertimbangkan pengaturan temperatur dan posisi *order* di dalam kendaraan berpendingin.

Setelah dilakukan percobaan numerik terhadap model, maka akan dilakukan analisa sensitivitas terhadap model yang dikembangkan. Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap perilaku model akibat perubahan nilai parameter. Analisa sensitivitas bertujuan untuk mengetahui performansi dari model yang dikembangkan. Parameter yang

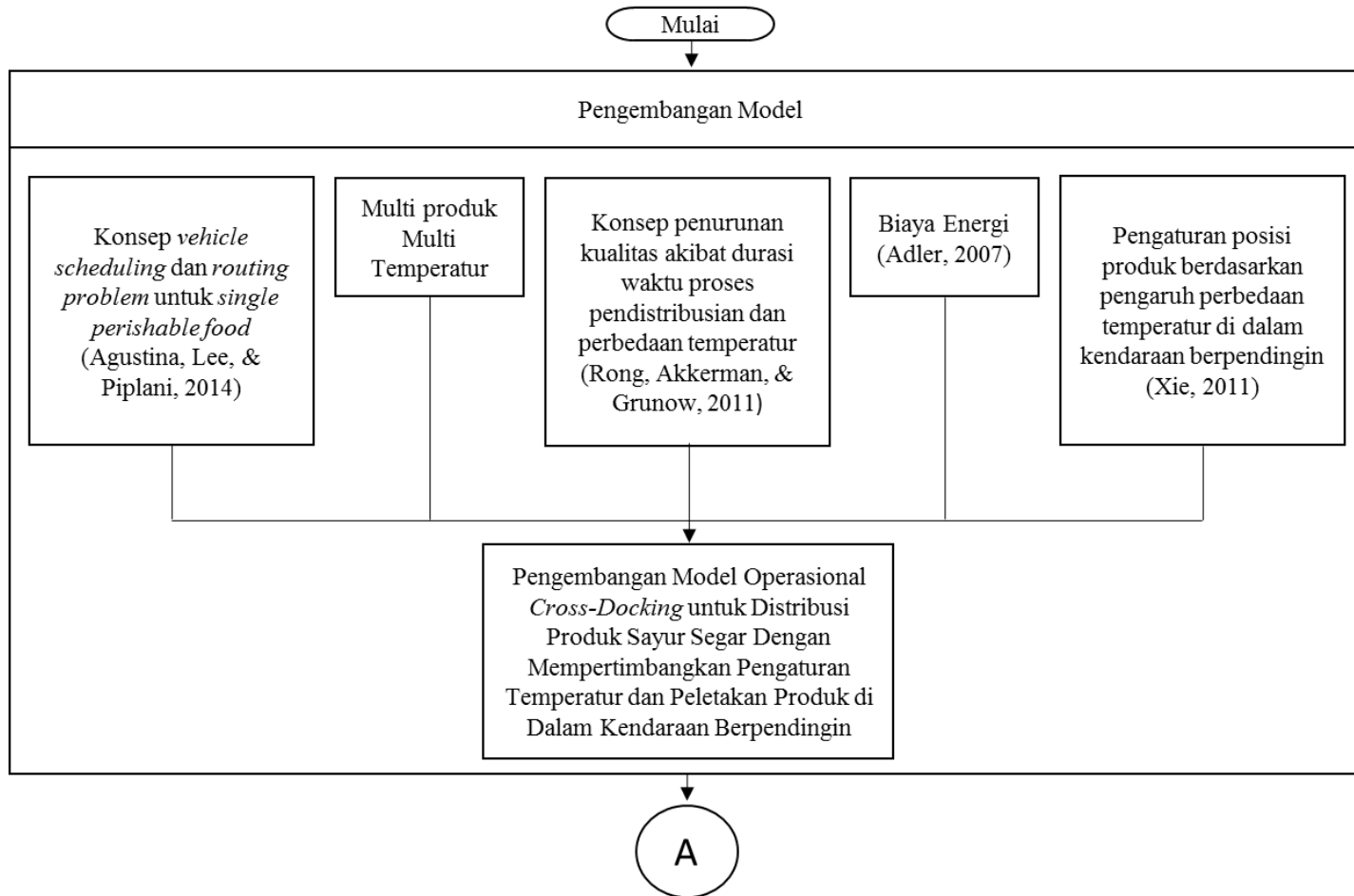
akan mengalami perubahan nilai adalah waktu keberangkatan kendaraan berpendingin dari pusat *cross docking* dan biaya energi per kkal per jam.

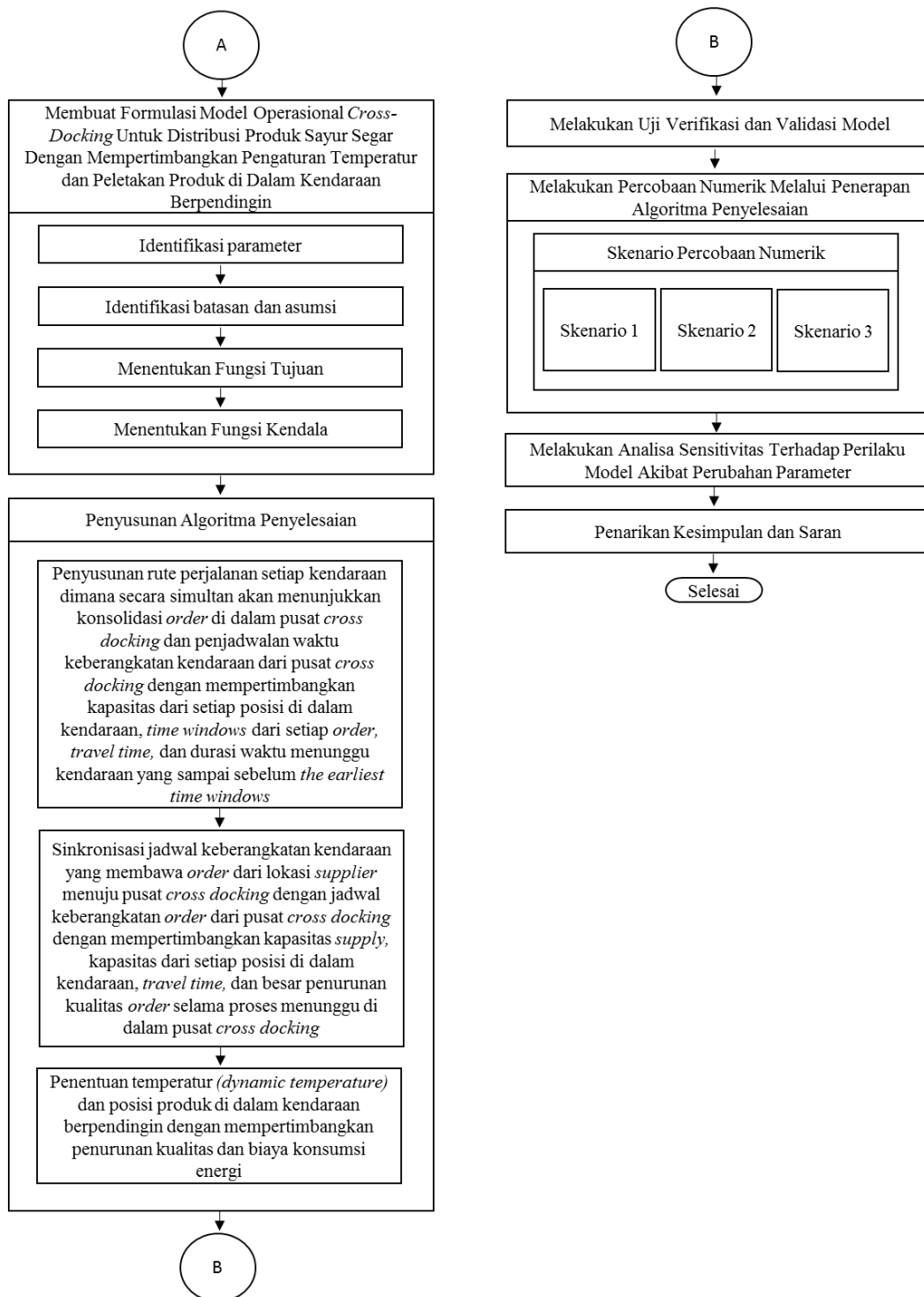
#### 5. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan dan saran berkaitan dengan penelitian ini. Kesimpulan diambil berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh untuk menjawab rumusan masalah yang dibahas di dalam penelitian ini. Sementara saran diberikan sebagai bahan pertimbangan bagi penelitian yang akan datang dengan harapan dapat menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan.



### 3.2 Flowchart Penelitian





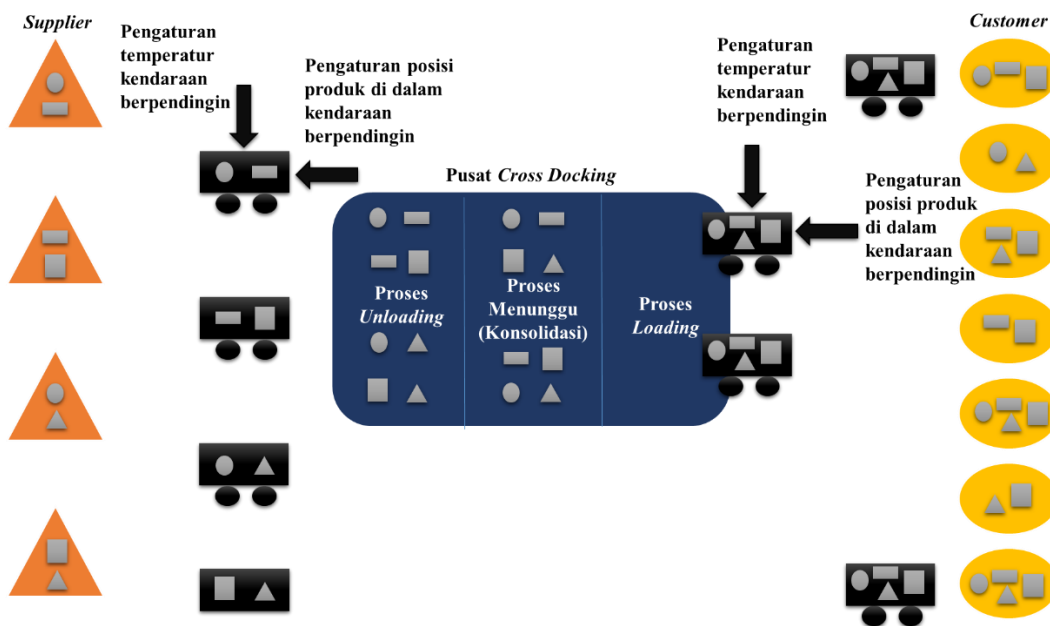
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

## **BAB IV**

### **PENGEMBANGAN MODEL**

#### **4.1 Deskripsi Pengembangan Model**

Penelitian ini mengembangkan penelitian yang telah dilakukan oleh Agustina et al. (2014) dengan menambahkan beberapa pertimbangan yang tidak diperhitungkan di dalam model tersebut. Model yang dikembangkan oleh Agustina et al. (2014) hanya melibatkan pendistribusian satu jenis *perishable food product* dari *supplier* menuju pusat *cross docking* kemudian terjadi proses konsolidasi sebelum produk tersebut didistribusikan kepada *customer*. Pendistribusian *single perishable food product* tersebut tidak mempertimbangkan besar penurunan kualitas yang akan terjadi selama proses pendistribusian. Yang dimana penurunan kualitas akan terjadi seiring berjalannya waktu dan besarnya dipengaruhi oleh durasi waktu berlangsungnya proses distribusi dan perbedaan antara temperatur lingkungan dengan temperatur standar produk. Oleh karena itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Agustina et al. (2014) tidak memperhitungkan besarnya biaya energi yang akan dikeluarkan untuk menghambat laju penurunan kualitas.



Gambar 4.1 Aliran Proses Distribusi Produk Sayur Segar

Sama halnya dengan penelitian milik Agustina et al. (2014), penelitian ini melibatkan dua eselon di dalam pendistribusian produk sayur segar yang termasuk di dalam jenis *agri perishable product*. Kedua eselon tersebut terdiri atas pengiriman dari *supplier* ke pusat *cross docking* dan pengiriman dari pusat *cross docking* ke *customer*. Seperti yang terlihat pada gambar 4.1, model yang dibangun melibatkan beberapa *stakeholder* yang terdiri dari beberapa *supplier* yang memiliki kemampuan *supply* terhadap jenis produk sayur segar yang berbeda-beda, pusat *cross docking* sebagai tempat berlangsungnya proses konsolidasi *order*, dan beberapa *customer* yang memiliki *demand* terhadap satu atau beberapa jenis produk sayur segar. Selain itu, terdapat beberapa proses yang terlibat dalam pendistribusian produk sayur segar. Proses tersebut terdiri atas proses pengiriman produk dari *supplier* ke pusat *cross docking*, proses *unloading* kendaraan berpendingin di pusat *cross docking*, durasi waktu menunggu produk akibat aktivitas konsolidasi, proses *loading* sebelum barang dikirimkan ke *customer*, dan proses pengiriman produk ke *customer* sesuai dengan rute yang terbentuk pada masing-masing kendaraan berpendingin.

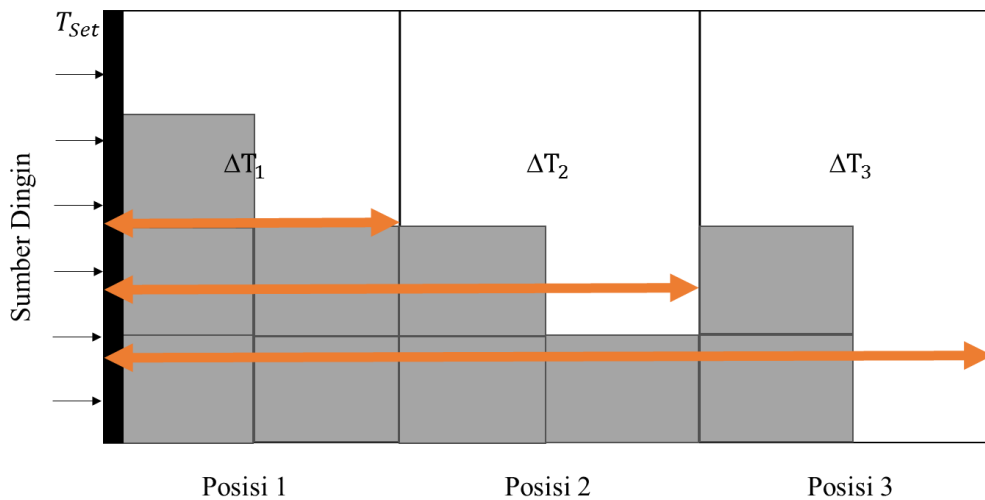
*Demand* yang dimiliki oleh setiap *customer* atas satu atau beberapa jenis produk sayur segar diklasifikasikan dalam bentuk *order* yang berbeda untuk setiap

jenis produk. Hal tersebut dikarenakan *demand* milik *customer* tidak harus dipenuhi oleh satu *supplier* saja melainkan dapat dipenuhi oleh beberapa *supplier*. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemenuhan atas beberapa *order* milik *customer* dapat dilakukan oleh beberapa *supplier* berbeda. Akan tetapi, pemenuhan suatu *order* hanya dapat dilakukan oleh satu *supplier* saja. Hal tersebut menunjukkan bahwa *supplier* yang terpilih untuk memenuhi suatu *order* mampu memenuhi keseluruhan kuantitas *order* tersebut atau dengan kata lain *supply* terhadap suatu *order* tidak dapat dipenuhi oleh lebih dari satu *supplier*.

Setiap *customer* memiliki *time windows* yang berbeda antara satu sama lain. *Time windows* yang dimiliki oleh *customer* bersifat *hard time windows*. Hal tersebut menunjukkan bahwa setiap kendaraan berpendingin yang bertugas untuk mengantarkan setiap *order* milik *customer* harus mampu memenuhi batasan tersebut. Sehingga, waktu kedatangan kendaraan berpendingin tidak boleh melebihi *the latest time windows*. Akan tetapi, jika kendaraan sampai di lokasi *customer* sebelum memasuki *the earliest time windows*, maka kendaraan tersebut harus menunggu hingga memasuki *the earliest time windows* untuk dapat melakukan *service* atas *order* milik *customer* tersebut dan akan dikenakan denda akibat kedatangan lebih awal. Adanya batasan *time windows* menyebabkan jadwal keberangkatan setiap kendaraan yang bergerak dari lokasi *supplier* menuju pusat *cross docking* dan dari pusat *cross docking* menuju lokasi *customer* harus saling tersinkronisasi untuk menghasilkan keputusan penentuan jadwal keberangkatan yang optimal. Penentuan jam keberangkatan yang optimal dari setiap lokasi *supplier* menuju pusat *cross docking* tidak hanya akan berdampak pada pemenuhan *time windows* setiap *customer* namun juga akan berdampak pada kualitas produk. Salah satu hal yang mempengaruhi kualitas produk sayur segar adalah durasi waktu proses distribusi yang dilalui oleh produk tersebut hingga sampai ke tangan *customer*. Adanya aktivitas konsolidasi terhadap *order* yang akan dibawa oleh kendaraan yang sama menyebabkan *order* harus menunggu hingga semua *order* yang akan dimuat ke dalam kendaraan berpendingin tersebut telah berada di dalam pusat *cross docking*. Semakin lama suatu *order* menunggu akan berdampak pada besarnya penurunan kualitas yang akan terjadi. Oleh karena itu, penjadwalan waktu keberangkatan setiap kendaraan berpendingin milik *supplier* yang hendak menuju

pusat *cross docking* harus saling bersinkronisasi dengan jadwal keberangkatan setiap *order* dari pusat *cross docking*.

Penurunan kualitas pada produk sayur segar yang juga dipengaruhi oleh temperatur lingkungan menyebabkan pentingnya pengaturan temperatur yang optimal di dalam kendaraan berpendingin. Kendaraan berpendingin yang berangkat dari pusat *cross docking* akan membawa lebih dari satu *order* akibat adanya aktivitas konsolidasi. Oleh karena itu, sangat mungkin apabila kendaraan yang berangkat dari pusat *cross docking* membawa *order* dengan jenis yang berbeda-beda. Yang dimana setiap jenis produk sayur segar memiliki standar temperatur yang berbeda-beda. Oleh karena itu, penentuan temperatur di dalam kendaraan berpendingin harus mampu mengakomodir karakteristik dari standar temperatur berbagai jenis produk yang ada di dalamnya. Sehingga, *order* yang sampai ke tangan *customer* berada pada kualitas maksimum yang dapat dicapai. Penentuan temperatur yang optimal di dalam kendaraan berpendingin merupakan *trade-off* antara biaya energi dan besar penurunan kualitas produk. Semakin rendah pengaturan temperatur di dalam kendaraan berpendingin akan berdampak pada semakin tingginya kualitas produk yang dapat diperoleh namun juga akan berdampak pada semakin tingginya biaya energi yang dikeluarkan akibat proses pendinginan. Sebaliknya semakin tinggi pengaturan temperatur di dalam kendaraan berpendingin akan berdampak pada semakin rendahnya kualitas produk yang akan diperoleh tetapi menghasilkan biaya energi yang semakin rendah.



Gambar 4.2 Perbedaan temperatur berdasarkan posisi *order* terhadap sumber dingin di dalam kendaraan berpendingin

Di dalam kendaraan berpendingin, setiap *order* akan diletakkan pada suatu posisi tertentu. Pertimbangan terhadap posisi peletakan *order* di dalam kendaraan berpendingin dipengaruhi oleh terciptanya kondisi temperatur yang berbeda pada setiap posisi yang bergantung pada jarak antara posisi tersebut dari sumber dingin. Seperti yang terlihat pada gambar 4.2, terjadi ketidakseragaman penyebaran temperatur di dalam kendaraan berpendingin. Dimana semakin jauh suatu posisi dari sumber dingin, maka akan berdampak pada semakin besarnya perbedaan temperatur pada posisi tersebut dibandingkan dengan pengaturan temperatur di dalam kendaraan. Oleh karena itu, adanya perbedaan temperatur di dalam kendaraan berpendingin menyebabkan pentingnya strategi peletakan *order* pada posisi yang optimal dalam rangka memaksimalkan kualitas *order* yang dapat diperoleh oleh *customer*. Keputusan berkaitan dengan posisi peletakan *order* dipengaruhi oleh standar temperatur dan durasi waktu *order* tersebut akan berada di dalam kendaraan berpendingin.

Penurunan kualitas yang dialami oleh setiap *order* berawal dari dimulainya perjalanan dari *supplier* menuju pusat *cross docking*. Dalam perjalanannya *order* akan berada pada kondisi temperatur tertentu yang bergantung pada pengaturan temperatur dan posisi peletakan *order* di dalam kendaraan berpendingin. Jika temperatur tersebut berada di atas standar temperatur produk dari *order*, maka *order*

akan mengalami penurunan kualitas yang diakibatkan oleh perbedaan suhu selain penurunan kualitas yang dialami selama durasi waktu perjalanan dari lokasi *supplier* menuju *cross docking*.

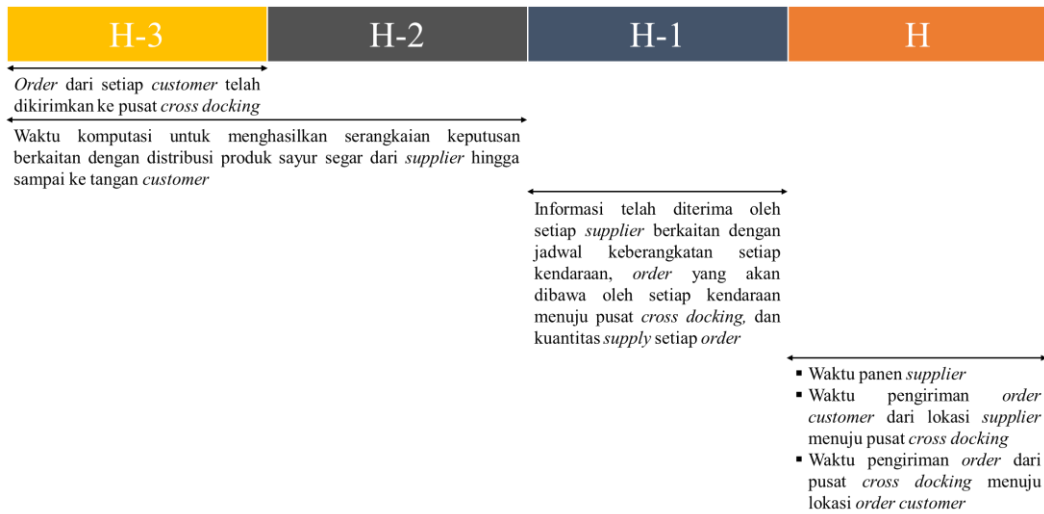
Seperti yang terlihat pada gambar 4.1, *order* akan mengalami proses *unloading* ketika sampai di pusat *cross docking*. Selama proses *unloading* berlangsung *order* akan mengalami penurunan kualitas yang besar penurunannya bergantung pada durasi waktu proses *unloading*. Setelah proses *unloading* selesai, maka *order* akan langsung mengalami proses *loading* ke dalam kendaraan berpendingin yang bertugas untuk mengantarkan *order* ke lokasi *customer* jika seluruh *order* yang akan dimuat di dalam kendaraan berpendingin telah menyelesaikan proses *unloading* dari kendaraan *supplier*. Namun jika terdapat satu atau lebih *order* yang masih di dalam perjalanan menuju pusat *cross docking* atau belum menyelesaikan proses *unloading* dari kendaraan *supplier*, maka *order* yang telah sampai terlebih dahulu harus menunggu. Lama proses menunggu yang dialami oleh suatu *order* akan berdampak pada besarnya penurunan kualitas yang terjadi. Setelah semua *order* telah siap untuk melalui proses *loading* ke dalam kendaraan berpendingin, maka besar penurunan kualitas yang dialami oleh suatu *order* akan bertambah lagi sesuai dengan durasi waktu *loading order* ke dalam kendaraan berpendingin. Selama berlangsungnya proses di dalam pusat *cross docking* setiap *order* diasumsikan berada pada temperatur lingkungan yang lebih rendah dari temperatur standar setiap produk *order*, sehingga selama proses tersebut tidak terjadi penurunan kualitas akibat perbedaan temperatur.

Kendaraan berpendingin yang berangkat dari pusat *cross docking* memiliki rute perjalanan masing-masing. Rute perjalanan yang akan ditempuh berkaitan dengan durasi waktu perjalanan yang akan ditempuh oleh *order* hingga sampai ke tangan *customer*. Durasi waktu perjalanan yang ditempuh oleh *order* tidak hanya bergantung pada jarak tempuh melainkan juga melibatkan total durasi waktu proses *unloading* yang terjadi pada setiap lokasi *order* yang dilalui sebelum kendaraan berpendingin tersebut menuju suatu lokasi *order* tertentu. Oleh karena itu, penurunan kualitas yang terjadi selama perjalanan *order* dari pusat *cross docking* menuju lokasi *order* melibatkan durasi waktu perjalanan berdasarkan jarak dan durasi waktu akibat proses *unloading*. Selain itu penurunan kualitas akibat



perbedaan temperatur kendaraan berpendingin dengan temperatur standar produk *order* juga diperhitungkan ke dalam total penurunan kualitas yang dialami oleh *order* untuk mengetahui kualitas akhir *order* yang sampai ke tangan *customer*. Namun adanya penerapan *dynamic temperatur* di dalam kendaraan berpendingin menyebabkan besar penurunan kualitas produk akibat perbedaan temperatur harus diperhitungkan di setiap perjalanan yang akan ditempuh setelah kendaraan berpendingin mengalami perubahan pengaturan temperatur. Sehingga, total penurunan kualitas akibat perbedaan temperatur merupakan penjumlahan besar penurunan kualitas yang terjadi di setiap perjalanan dari suatu lokasi *order* menuju lokasi *order* berikutnya hingga *order* sampai ke lokasi pemesanannya.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tinggi rendahnya penetapan temperatur di dalam kendaraan berpendingin akan berdampak pada besarnya biaya energi yang akan dikeluarkan. Semakin besar biaya energi yang dikeluarkan, maka akan berpengaruh pada semakin besarnya total biaya distribusi. Oleh karena itu, diterapkan konsep *dynamic temperature* yang bertujuan untuk meminimalisir penggunaan biaya energi di dalam proses distribusi. Yang dimaksud dengan konsep *dynamic temperature* adalah penetapan temperatur di dalam kendaraan berpendingin yang akan berubah bergantung pada standar temperatur dari setiap *order* yang masih berada di dalamnya. Sehingga, akan dilakukan pengaturan ulang terhadap temperatur di dalam kendaraan berpendingin setelah dilakukan aktivitas *unloading* di suatu lokasi *order*. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa melalui penerapan *dynamic temperature* biaya energi yang timbul akan sesuai dengan kebutuhan energi atas proses pendinginan yang dilakukan di setiap perjalanan.



Gambar 4.3 *Timeline* distribusi produk sayur segar dari lokasi *supplier* hingga sampai ke tangan *customer*

Tabel 4.3 menunjukkan *timeline* dan aliran informasi berkaitan dengan *order* dari setiap *customer* beserta rangkaian keputusan yang akan dilakukan dalam mendistribusikan produk sayur segar hingga sampai ke lokasi *order customer*. Di dalam penelitian ini tidak mempertimbangkan kapan jadwal terbaik dilakukannya proses panen produk sayur segar oleh setiap *supplier* dalam memenuhi setiap *order* dari *customer*. Oleh karena itu, di dalam penelitian ini diasumsikan bahwa waktu panen produk sayur segar dalam memenuhi suatu *order* dilakukan tepat sebelum *order* tersebut dikirimkan ke pusat *cross docking*. Dengan kata lain panen akan dilakukan pada hari yang sama dengan pengiriman *order* ke pusat *cross docking*. Selain itu, penelitian ini juga tidak mempertimbangkan durasi waktu panen dari setiap kategorisasi produk *order*. Sehingga, diasumsikan bahwa kualitas produk setiap *order* berada pada persentasi 100% di awal perjalanan *order* ketika meninggalkan lokasi *supplier*.

## 4.2 Formulasi Model Acuan

Model yang dikembangkan di dalam penelitian ini mengacu pada formulasi model yang telah dikembangkan sebelumnya. Formulasi model acuan yang digunakan di dalam penelitian ini mengacu pada formulasi model penurunan kualitas yang dikembangkan oleh Labuza (1982) dalam Rong et al. (2011) dan formulasi model konsumsi energi kendaraan berpendingin oleh Adler (2007).

### 4.2.1 Formulasi Model Acuan Penurunan Kualitas

*Perishable food* sangat bergantung pada tingkat *shelf life* yang dimiliki, hal tersebut disebabkan karena kualitas dan keamanan dari suatu produk ditunjukkan oleh sisa *shelf life* yang dimiliki produk tersebut. Salah satu tolak ukur dalam menilai sisa *shelf life* suatu *perishable food* adalah melalui tingkat kesegaran dari produk tersebut. Oleh karena itu, tingkat kesegaran yang dimiliki oleh suatu *perishable food* dapat mempengaruhi *willingness to pay* dari produk tersebut.

Seperti yang kita ketahui bahwa produk sayur segar yang termasuk dalam *fresh perishable food* yang memiliki karakteristik tidak tahan lama. Penurunan nilai yang dialami oleh *fresh perishable food* terjadi seiring berjalannya waktu. Penurunan kualitas dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain karakteristik dari setiap produk, durasi waktu yang dilalui suatu produk hingga sampai ke tangan *customer*, dan beberapa faktor eksternal (Rong et al., 2011). Faktor eksternal yang mempengaruhi kualitas *fresh perishable food* yaitu berkaitan dengan temperatur dan kelembaban lingkungan ketika disimpan maupun diproses. Pengukuran terhadap besar penurunan kualitas akibat perbedaan temperatur dapat dilakukan dengan menggunakan model penurunan kualitas dalam persamaan kinetik yang dikembangkan oleh Labuza (1982). Labuza (1982) melakukan pengembangan terhadap persamaan Arrhenius yang menunjukkan energi minimum yang dibutuhkan agar reaksi kimia tertentu dapat terjadi (Valentas, Rotstein, & Singh, 1997).

Di dalam penelitian Rong et al., 2011, dikatakan bahwa secara umum degradasi kualitas yang dialami oleh *perishable food* baik selama proses penyimpanan maupun proses pendistribusian bergantung pada durasi waktu penyimpanan  $t$ , temperatur penyimpanan  $T$ , dan beberapa parameter yang berkaitan

dengan lingkungan seperti energi aktivasi dan gas constant. Persamaan kinetik yang digunakan untuk mengetahui penurunan kualitas yang terjadi pada produk produk sayur segar adalah sebagai berikut:

$$\frac{dq}{dt} = -kq^n \quad (4.1)$$

Persamaan di atas menunjukkan penurunan kualitas secara umum, di mana  $q$  menunjukkan kualitas produk,  $k$  merupakan laju kecepatan degradasi yang bergantung pada kondisi lingkungan seperti temperatur, dan  $n$  merupakan faktor kekuatan yang didefinisikan sebagai orde reaksi yang menentukan kecepatan reaksi penurunan kualitas produk dipengaruhi oleh nilai kualitas  $q$  yang tersisa. Nilai  $n$  yang digunakan mengacu pada jenis produk. Dimana  $n$  bernilai 0 untuk laju penurunan kualitas yang bersifat linear atau disebut dengan reaksi *zero-order*. Sedangkan  $n$  bernilai 1 untuk laju penurunan kualitas yang bersifat eksponensial atau disebut dengan reaksi *first order*. Pada produk sayur segar, penurunan kualitas terjadi secara linear (reaksi *zero-order*). Laju penurunan kualitas  $k$  yang berdasarkan atas persamaan Arrhenius menunjukkan pengaruh temperatur dan durasi waktu terhadap reaksi kimia yang terjadi. Persamaan tersebut dijabarkan sebagai berikut:

$$k = k_0 e^{-\left[\frac{E_a}{RT(t_i)}\right]} \quad (4.2)$$

Dengan  $k_0$  merupakan konstanta penurunan kualitas,  $E_a$  merupakan energi aktivasi reaksi yang mengendalikan *loss* kualitas ( $J/kg$ ),  $R$  adalah konstanta gas ideal ( $J/kg \text{ } ^\circ K$ ), dan  $T(t_i)$  adalah temperatur absolut dalam  $^\circ K$ . Besar penurunan kualitas yang terjadi pada produk sayur segar selama proses distribusi hingga sampai ke tangan *customer* bergantung pada kecepatan degradasi  $k$ , durasi waktu  $t_i$  suatu produk berada pada temperatur tertentu, dan pengaturan temperatur  $T(t_i)$  pada durasi waktu tertentu, sehingga diperoleh:

$$q_{(j)} = \sum_{i=1}^k k_0 t_i e^{-\left[\frac{E_a}{RT(t_i)}\right]} \quad (4.3)$$

Jadi, besar penurunan kualitas dari suatu produk sayur segar selama berlangsungnya proses distribusi dapat diketahui dengan melakukan perhitungan secara numerik menggunakan rumus 4.3. Besar penurunan kualitas terhadap suatu produk merupakan akumulasi dari besar penurunan kualitas yang terjadi pada setiap proses yang dilalui oleh suatu produk sesuai dengan temperatur  $T(t_i)$  dan durasi waktu  $t_i$  produk berada pada kondisi temperatur tersebut.

#### **4.2.2 Formulasi Model Acuan Konsumsi Energi Kendaraan Berpendingin**

Tujuan dari proses refrigerasi atau pendinginan adalah untuk menjaga kualitas produk dan memperpanjang *shelf life* dengan cara mengendalikan temperatur lingkungan produk berada pada titik dimana deteriorasi metabolik dan mikroba paling minimum. Menjaga temperatur ideal di sekitar produk merupakan faktor utama dalam mencegah terjadinya *loss* kualitas pada *perishable food* selama proses penyimpanan dan distribusi. Seperti yang diketahui bahwa penurunan kualitas dipengaruhi oleh waktu dan temperatur. Sehingga, kesalahan dalam pengaturan temperatur produk meski hanya dalam waktu singkat akan tetap berpengaruh pada jumlah *loss* kualitas yang akan terjadi (United States Departement of Agriculture, 2008). Hal tersebut menyebabkan pentingnya pertimbangan dalam pengaturan temperatur optimal untuk memperlambat laju penurunan kualitas dengan mempertimbangkan seluruh produk sayur segar yang berada di dalam satu lingkungan yang sama selain berusaha untuk meminimasi total waktu proses yang akan dilalui oleh setiap produk.

Penggunaan kendaraan berpendingin merupakan salah satu strategi yang dapat digunakan untuk menghambat laju penurunan kualitas yang akan terjadi selama produk berada di dalam perjalanan. Di dalam kendaraan berpendingin terdapat *cooling equipment* yang dapat menghilangkan kelebihan panas dan menyediakan pengendali temperatur, sehingga temperatur di dalam kendaraan berpendingin dapat diatur sesuai dengan tingkat yang diinginkan. Namun penggunaan kendaraan berpendingin melibatkan konsumsi energi sesuai dengan tinggi rendahnya tingkat temperatur yang ditetapkan di dalamnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin rendah temperatur yang ditetapkan di dalam kendaraan berpendingin akan menyebabkan konsumsi energi yang semakin tinggi,

namun sebaliknya semakin tinggi temperatur yang ditetapkan di dalam kendaraan berpendingin akan berdampak pada semakin rendahnya konsumsi energi yang terjadi. Akan tetapi tinggi rendahnya temperatur lingkungan produk berpengaruh pada laju penurunan kualitas yang akan terjadi. Laju penurunan kualitas akan semakin meningkat seiring meningkatnya temperatur lingkungan terhadap standar temperatur produk sayur segar. Sehingga, semakin rendah temperatur akan berdampak pada semakin panjangnya *shelf life* dari suatu produk sayur segar namun akan menyebabkan konsumsi energi yang semakin tinggi begitupun sebaliknya.

Perhitungan besar konsumsi energi dari kendaraan berpendingin diadopsi dari persamaan milik Adler (2007). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa energi yang dibutuhkan oleh kompressor untuk mendinginkan ruangan terbagi ke dalam dua aktivitas. Aktivitas pertama ditunjukkan dengan adanya panas yang terbuang (*thermal losses*) dari barang-barang elektronik yang mengkonsumsi energi. Besar *thermal losses* ekuivalen dengan luas area permukaan yang membuang panas. besar energi yang hilang akibat aktivitas tersebut dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_t = \frac{1}{s} k A \Delta t^* \quad (4.4)$$

dimana:  $P_t$  = energi hilang (*thermal losses*) permukaan (kkal/jam)

$s$  = ketebalan permukaan (m)

$k$  = koefisien *insulating material* (umumnya diasumsikan  $k=0.002$ )

$A$  = luas area permukaan ( $m^2$ )

$\Delta t^*$  = perbedaan temperatur antara dua sisi permukaan (umumnya diasumsikan  $\Delta t^* = 1$ )

Aktivitas yang kedua menunjukkan besar energi yang digunakan untuk mendinginkan ruangan dari temperatur eksternal ke temperatur netral ( $0^\circ\text{C}$ ) dan dari temperatur netral ke temperatur yang diinginkan (*freeze power*). Besar konsumsi energi per satuan waktu dipengaruhi oleh karakteristik muatan, berat muatan, dan perbedaan temperatur eksternal dan pengaturan temperatur yang diinginkan. Perhitungan besar konsumsi energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan

temperatur di dalam kendaraan berpendingin sesuai dengan pengaturan temperatur dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_f = \frac{1}{24} [(GC\Delta t_1) + (GCl) + (GC\Delta t_2)] \quad (4.5)$$

dimana:  $P_f$  = energi untuk mendinginkan (kkal/jam)

$G$  = berat muatan (kg)

$C$  = spesifikasi panas muatan (kkal); dimana  $C = 0.77$  kkal

$\Delta t_1$  = perbedaan antara temperatur eksternal dengan  $0^\circ\text{C}$

$Cl$  = panas laten muatan (kkal/kg); dimana  $Cl = 60$  kkal/kg

$\Delta t_2$  = perbedaan antara temperatur  $0^\circ\text{C}$  dengan temperatur *cold storage*

$1/24$  = konstanta energi untuk mendinginkan per jam, berdasarkan studi selama 24 jam

Sehingga, besar konsumsi energi yang diperlukan oleh kompresor untuk mendinginkan ruangan merupakan akumulasi dari konsumsi energi *thermal losses* dan *freeze power* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$P = P_t + P_f \quad (4.5)$$

dimana:  $P$  = total energi untuk mendinginkan (kkal/jam)

### 4.3 Formulasi Model Usulan

Model penjadwalan dan penentuan rute kendaraan pada distribusi *single perishable food product* dengan penerapan sistem *cross-docking* milik Agustina et al (2014) menjadi dasar dalam pengembangan model operasional *cross-docking* untuk distribusi produk sayur segar dengan multi produk, multi temperatur, dan multi *supplier* yang mempertimbangkan waktu keberangkatan kendaraan berpendingin dari *supplier node* dan dari pusat *cross docking* serta posisi peletakan yang optimal di dalam kendaraan berpendingin dalam rangka meminimasi penurunan kualitas pada produk sayur segar di dalam penelitian ini.

#### 4.3.1 Notasi Model Usulan

Di bawah ini merupakan notasi yang dipergunakan di dalam model penelitian yang dikembangkan:

1. Notasi pada himpunan indeks model

- |     |       |   |
|-----|-------|---|
| 1.1 | $I$   | Himpunan <i>order node</i> = $\{1, 2, \dots, i\}$   |
| 1.2 | $O$   | Himpunan <i>order origin / cross docking node</i> sebagai titik awal = $\{o\}$  |
| 1.3 | $O'$  | Himpunan <i>order destination / cross docking node</i> sebagai titik akhir = $\{o'\}$   |
| 1.4 | $\Pi$ | Himpunan <i>cross docking origin, order node, dan cross docking destination</i> = $\{o, 1, 2, 3, i, o'\}$ atau $I \cup O \cup O'$ |
| 1.5 | $P$   | Himpunan produk sayur segar = $\{1, 2, 3, \dots, p\}$   |
| 1.6 | $S$   | Himpunan <i>node supplier</i> = $\{1, 2, 3, \dots, s\}$   |
| 1.7 | $V$   | Himpunan kendaraan yang berangkat dari <i>supplier node</i> (eselon 1) = $\{1, 2, 3, \dots, v\}$                                  |
| 1.8 | $R$   | Himpunan kendaraan yang berangkat dari pusat <i>cross docking</i> (eselon 2) = $\{1, 2, 3, \dots, r\}$                            |
| 1.9 | $U$   | Himpunan posisi di dalam kendaraan berpendingin = $\{1, 2, 3, \dots, u\}$   |



2. Notasi pada parameter aspek biaya

- 2.1  $VC$  Biaya tetap penggunaan kendaraan berpendingin per unit
- 2.2  $PP_p$  Harga per produk per unit
- 2.3  $TC$  Biaya transportasi kendaraan per waktu perjalanan
- 2.4  $PE$  Biaya pinalti kedatangan lebih awal per menit per unit
- 2.5  $EC$  Biaya energi per unit kalori

3. Notasi pada parameter aspek waktu

- 3.1  $C_s$  Waktu perjalanan dari *supplier s* ke pusat *cross docking*
- 3.2  $C_{ij}$  Waktu perjalanan dari *order i* ke *order j*
- 3.3  $\alpha_v$  Waktu kedatangan kendaraan  $v$  di pusat *cross docking*
- 3.4  $\beta$  Konstanta pengali waktu *unloading* produk
- 3.5  $\gamma$  Konstanta pengali waktu *loading* produk
- 3.6  $UL_v$  Durasi waktu proses *unloading* kendaraan  $v$  di pusat *cross docking*
- 3.7  $SL_r$  Waktu dimulainya proses *loading* pada *vehicle r* di pusat *cross docking*
- 3.8  $SW_i$  Waktu dimulainya proses menunggu *order i* di pusat *cross docking*
- 3.9  $L_r$  Durasi waktu proses *loading* kendaraan  $r$  di pusat *cross docking*
- 3.10  $A_{ri}$  Waktu kedatangan kendaraan  $r$  di *order i*
- 3.11  $SS_i$  Waktu dimulainya *service* untuk *order i*
- 3.12  $\ell_{ri}$  Durasi waktu *service* kendaraan  $r$  di *order i*
- 3.13  $D_{ri}$  Waktu keberangkatan kendaraan  $r$  dari *order node i*
- 3.14  $F_{ik} \begin{cases} 1; \text{ jika } \sum_r D_{ri} \leq \sum_r D_{rk}; \forall i \in I, \forall k \in I \\ 0; \text{ jika tidak} \end{cases}$

4. Notasi pada parameter aspek temperatur

- 4.1  $T_p$  Standar temperatur produk  $p$
- 4.2  $M_u$  Nilai pertambahan temperatur berdasarkan posisi  $u$
- 4.3  $N_{kv} \begin{cases} 1; \text{jika } DT_v > \sum_{p \in P} \vartheta_{kp} T_p \\ 0; \text{jika } DT_v \leq \sum_{p \in P} \vartheta_{kp} T_p \end{cases}$
- 4.4  $N_{kir} \begin{cases} 1; \text{jika } DT_{ir} > \sum_{p \in P} \vartheta_{kp} T_p \\ 0; \text{jika } DT_{ir} \leq \sum_{p \in P} \vartheta_{kp} T_p \end{cases}$
- 4.5  $T_0$  Temperatur netral ( $0^\circ$ )
- 4.6  $T_{eks}$  Temperatur eksternal kontainer
- 4.7  $A$  Luas permukaan *cold storage* ( $m^2$ )
- 4.8  $s$  Ketebalan permukaan *cold storage* ( $m^2$ )
- 4.9  $k$  Koefisien insulating material ( $kkal/h.m.^\circ C$ )
- 4.10  $\Delta T^*$  Perbedaan temperatur antara dua sisi permukaan
- 4.11  $C$  Spesifikasi panas muatan ( $kkal$ )
- 4.12  $Cl$  Panas laten ( $kkal/kg$ )
- 4.13  $e$  Bilangan *euler*

5. Notasi pada parameter *time windows*

- 5.1  $\alpha_i$  *The earliest time windows* untuk *order i*
- 5.2  $b_i$  *The latest time windows* untuk *order i*

6. Notasi pada parameter aspek permintaan

- 6.1  $G_{sp}$  Kapasitas *supply* dari *supplier s* untuk produk  $p$
- 6.2  $Y_{is} \begin{cases} 1; \text{jika } \textit{order i} \textit{ dipenuhi oleh } \textit{supplier s} \\ 0; \text{jika tidak} \end{cases}$
- 6.3  $H_i$  Jumlah *order i* yang harus dipenuhi
- 6.4  $\theta_p$  Konstanta pengali berat produk  $p$
- 6.5  $CAP_u$  Kapasitas di posisi  $u$
- 6.6  $\vartheta_{ip} \begin{cases} 1; \text{jika } \textit{order i} \textit{ merupakan produk } p \\ 0; \text{jika tidak} \end{cases}$
- 6.7  $JR$  Jumlah kendaraan yang berangkat dari pusat *cross docking* untuk melayani setiap *order* (eselon 2)

7. Notasi pada parameter aspek karakteristik produk sayur segar

- 7.1  $KPK$  Konstanta penurunan kualitas
- 7.2  $EA$  Energi aktivasi
- 7.3  $R$  Gas konstan
- 7.4  $SL_p$  *Shelf life* produk  $p$

8. Notasi pada variabel keputusan

- 8.1  $d_v$  Waktu keberangkatan kendaraan  $v$  ke pusat *cross docking*
- 8.2  $WT_i$  Durasi waktu menunggu *order i* di pusat *cross docking*
- 8.3  $D_{r0}$  Waktu keberangkatan kendaraan  $r$  dari pusat *cross docking*
- 8.4  $X_{sv}$   $\left\{ \begin{array}{l} 1; \text{jika kendaraan } v \text{ digunakan oleh } \textit{supplier s} \\ 0; \text{jika tidak} \end{array} \right.$
- 8.5  $W_{ivu}$   $\left\{ \begin{array}{l} 1; \text{jika } \textit{order i} \text{ dibawa oleh kendaraan } v \text{ pada posisi } u \\ 0; \text{jika tidak} \end{array} \right.$
- 8.6  $W_{iru}$   $\left\{ \begin{array}{l} 1; \text{jika } \textit{order i} \text{ dibawa oleh kendaraan } r \text{ pada posisi } u \\ 0; \text{jika tidak} \end{array} \right.$
- 8.7  $Z_{ijr}$   $\left\{ \begin{array}{l} 1; \text{jika kendaraan } r \text{ berangkat dari } \textit{order i} \text{ menuju } \textit{order j} \\ 0; \text{jika tidak} \end{array} \right.$
- 8.8  $E_{ikr}$   $\left\{ \begin{array}{l} 1; \text{jika baik } \textit{order i} \text{ maupun } \textit{order k} \text{ dibawa oleh kendaraan } r \\ 0; \text{jika tidak} \end{array} \right.$
- 8.9  $DT_v$  Pengaturan temperatur kendaraan  $v$  dari *supplier* menuju pusat *cross docking*
- 8.10  $DT_{ri}$  Pengaturan temperatur kendaraan  $r$  yang berangkat dari lokasi *order i*

### 4.3.2 Modifikasi Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dari model yang dikembangkan adalah meminimalkan total biaya distribusi yang terlibat di dalam pendistribusian produk sayur segar mulai dari *supplier* hingga sampai ke *customer*. Komponen biaya yang terlibat di dalam proses pendistribusian produk sayur segar antara lain:

1. Biaya tetap (*fixed cost*) penggunaan kendaraan dikeluarkan ketika terdapat kendaraan yang digunakan untuk mengantar produk baik dari lokasi *supplier* ke pusat *cross docking* maupun dari pusat *cross docking* ke lokasi *order*. Total biaya tetap penggunaan kendaraan diperoleh dari biaya tetap penggunaan kendaraan dikalikan dengan jumlah unit kendaraan yang digunakan pada eselon satu dan eselon dua. Sehingga, semakin banyak kendaraan yang digunakan akan berpengaruh pada semakin tingginya total biaya tetap penggunaan kendaraan yang dikeluarkan. Penelitian ini mengasumsikan biaya tetap penggunaan kendaraan setara dengan biaya yang harus dikeluarkan apabila dilakukan penyewaan kendaraan.

$$\sum_{s \in S} \sum_{v \in V} X_{sv} VC + JR VC$$

2. Biaya transportasi merupakan biaya yang dikeluarkan dan bergantung pada total jarak yang ditempuh semua kendaraan dalam memenuhi *order* sesuai dengan keputusan yang diambil dalam mengunjungi setiap *order* dikalikan dengan biaya per jarak tempuh.

$$\sum_{s \in S} \sum_{v \in V} X_{sv} C_s TC + \sum_{i \in IUO} \sum_{j \in IUO'} \sum_{r \in R} Z_{ijr} C_{ij} TC$$

3. Biaya resiko akibat terjadinya penurunan kualitas pada produk merupakan biaya yang dikeluarkan akibat terjadinya penurunan kualitas selama proses pendistribusian produk sayur segar. Akumulasi penurunan kualitas yang terjadi dihitung berdasarkan fungsi kumulatif besar penurunan kualitas yang terjadi selama perjalanan yang diperoleh dari perbandingan antara durasi waktu perjalanan dengan *shelf life* produk, besar penurunan kualitas selama proses *loading* dan *unloading* yang diperoleh dari perbandingan antara durasi *loading* dan *unloading* dengan *shelf life*

produk, besar penurunan kualitas selama proses menunggu yang diperoleh dari perbandingan antara lama waktu menunggu dengan *shelf life* produk, besar penurunan kualitas selama proses *service* pada *order* yang diperoleh dari perbandingan antara durasi pelayanan dengan *shelf life* produk, dan besar penurunan kualitas akibat perbedaan temperatur lingkungan dengan temperatur standar produk yang berada pada posisi tertentu di dalam kendaraan berpendingin selama proses perjalanan produk dari *supplier* menuju pusat *cross docking* dan dari pusat *cross docking* menuju lokasi *order*.

$$\sum_{k \in I} \left[ \left( \sum_{p \in P} H_k \vartheta_{kp} P P_p \right) \left( \left( \left( \sum_{s \in S} C_s Y_{ks} \right. \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \sum_{v \in V} \sum_{u \in U} W_{kvu} U L_v + W T_k + \sum_{r \in R} \sum_{u \in U} W_{kru} L_r \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \sum_{r \in R} \sum_{u \in U} W_{kru} (D_{rk} - D_{ro}) \right) / \sum_{p \in P} S L_p \vartheta_{kp} \right) \right. \\ \left. + N_{kv} \left( \sum_{s \in S} C_s Y_{ks} K P K e^{-[EA/R(\sum_{v \in V} X_{sv} D T_v + \sum_{u \in U} M_u W_{kvu})]} \right) \right. \\ \left. + N_{kir} \left( \sum_{i \in I \cup O} \sum_{j \in I \cup O'} \sum_{r \in R} E_{ikr} F_{ik} (D_{rj} \right. \right. \\ \left. \left. - D_{ri}) Z_{ijr} K P K e^{-[EA/R(D T_{ri} + \sum_{u \in U} M_u W_{kru})]} \right) \right) \right]$$

4. Biaya energi merupakan biaya yang dikeluarkan berdasarkan besar penggunaan energi untuk mendinginkan kendaraan berpendingin. Biaya ini dipengaruhi oleh luas dan ketebalan permukaan, pengaturan temperatur, muatan di dalam kendaraan berpendingin, dan durasi waktu kendaraan berada pada temperatur tertentu. Besar energi yang digunakan ditunjukkan dalam kilokalori per jam. Biaya energi yang dibebankan akan

mengalami perubahan bergantung pada pengaturan temperatur dari suatu lokasi *order* ke lokasi *order* berikutnya. Hal tersebut terjadi karena pengaturan temperatur di dalam kendaraan berpendingin bersifat dinamis tergantung pada kebutuhan temperatur optimum dari beberapa jenis produk yang tersisa di dalam kendaraan berpendingin.

$$\begin{aligned}
& EC \sum_{s \in S} \sum_{v \in V} (C_s X_{sv} / 60) \left[ \frac{1}{S} k A \Delta T^* \right. \\
& \quad \left. + \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \frac{1}{24} \left( H_i \theta_p \mathcal{G}_{ip} Y_{is} \left( (C(T_{eks} - T_0)) + Cl \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. + (C(T_0 - DT_v)) \right) \right) \right] \\
& \quad + EC \sum_{r \in R} \sum_{i \in I \in O} \sum_{j \in I \in O'} (C_{ij} Z_{ijr} / 60) \left[ \frac{1}{S} k A \Delta T^* \right. \\
& \quad \left. + \sum_{p \in P} \frac{1}{24} \left( H_k \theta_p \mathcal{G}_{ip} \left( (C(T_{eks} - T_0)) + Cl \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. + \left( C \left( T_0 - \sum_{j \in I \cup O'} DT_{ir} \right) \right) \right) \right) \right]
\end{aligned}$$

5. Biaya pinalti merupakan biaya yang dibebankan akibat kedatangan kendaraan berpendingin yang lebih awal. Kedatangan kendaraan berpendingin yang lebih awal menyebabkan kendaraan harus menunggu hingga memasuki *the earliest time windows* untuk memulai *service*. Besar biaya pinalti bergantung pada total durasi waktu menunggu kendaraan  $r$  di lokasi *order*  $i$  dan jumlah *demand* dari *order*  $i$ .

$$\sum_{i \in I} PE \times H_i \times \underset{i \in I}{Max} \left\{ \sum_{r \in R} SS_i - A_{ri}, 0 \right\}$$

Berdasarkan komponen biaya di atas, selanjutnya disusun suatu fungsi tujuan untuk meminimasi total biaya distribusi produk sayur segar dari lokasi *supplier* menuju pusat *cross docking* dan dari pusat *cross docking* menuju setiap lokasi *order* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Minimize } & \sum_{s \in S} \sum_{v \in V} X_{sv} VC + JR VC + \sum_{s \in S} \sum_{v \in V} X_{sv} C_s TC + \sum_{i \in IUO} \sum_{j \in IUO'} \sum_{r \in R} Z_{ijr} C_{ij} \\
& + \sum_{k \in I} \left[ \left( \sum_{p \in P} H_k \vartheta_{kp} P P_p \right) \left( \left( \left( \sum_{s \in S} C_s Y_{ks} \right. \right. \right. \right. \\
& + \sum_{v \in V} \sum_{u \in U} W_{kvu} U L_v + W T_k + \sum_{r \in R} \sum_{u \in U} W_{kru} L_r \\
& + \left. \left. \left. \left. \sum_{r \in R} \sum_{u \in U} W_{kru} (A_{rk} - D_{ro}) \right) / \sum_{p \in P} S L_p \vartheta_{kp} \right) \right) \right) \right) \\
& + N_{kv} \left( \sum_{s \in S} C_s Y_{ks} K P K e^{-[EA/R(\sum_{v \in V} X_{sv} D T_v + \sum_{u \in U} M_u W_{kvu})]} \right) \\
& + N_{kr} \left( \sum_{i \in IUO} \sum_{j \in IUO'} \sum_{r \in R} E_{ikr} F_{ik} (D_{rj} \right. \\
& \left. \left. \left. \left. \left. - D_{ri} \right) Z_{ijr} K P K e^{-[EA/R(D T_{ri} + \sum_{u \in U} M_u W_{kru})]} \right) \right) \right) \right) \right) \\
& + EC \sum_{s \in S} \sum_{v \in V} (C_s X_{sv} / 60) \left[ \frac{1}{s} k A \Delta T^* \right. \\
& \left. + \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \frac{1}{24} \left( H_i \theta_p \vartheta_{ip} Y_{is} \left( (C(T_{eks} - T_0)) + Cl + (C(T_0 - D T_v)) \right) \right) \right] \\
& + EC \sum_{r \in R} \sum_{i \in IUO} \sum_{j \in IUO'} (C_{ij} Z_{ijr} / 60) \left[ \frac{1}{s} k A \Delta T^* \right. \\
& \left. + \sum_{p \in P} \frac{1}{24} \left( H_k \theta_p \vartheta_{ip} \left( (C(T_{eks} - T_0)) + Cl + (C(T_0 - D T_{ir})) \right) \right) \right] \\
& + \sum_{i \in I} PE \times H_i \times \underset{i \in I}{\text{Max}} \left\{ \sum_{r \in R} S S_i - A_{ri}, 0 \right\}
\end{aligned}$$

### 4.3.3 Modifikasi Fungsi Kendala

Pengembangan model strategi *cross-docking* untuk distribusi produk sayur segar dengan mempertimbangkan temperatur kendaraan berpendingin yang dinamis serta posisi peletakan produk di dalam kendaraan berpendingin dalam penelitian ini memiliki kendala sebagai berikut:

1. Kendala yang menyatakan bahwa setiap order  $i$  hanya tergolong ke dalam satu jenis produk  $p$ .

$$\sum_{p \in P} \vartheta_{ip} = 1; \forall i \in I$$

2. Kendala yang menyatakan bahwa total *supply* produk  $p$  dari *supplier*  $s$  tidak boleh melebihi kapasitas *supply* produk  $p$  dari *supplier*  $s$ .

$$\sum_{i \in I} H_i Y_{is} \vartheta_{ip} \leq G_{sp}; \forall s \in S, \forall p \in P$$

3. Kendala yang menyatakan bahwa setiap *order*  $i$  hanya dapat dipenuhi oleh satu *supplier*  $s$ .

$$\sum_{s \in S} Y_{is} = 1; \forall i \in I$$

4. Kendala yang menyatakan bahwa setiap kendaraan  $v$  hanya digunakan oleh satu *supplier*  $s$ .

$$\sum_{s \in S} X_{sv} = 1; \forall v \in V$$

5. Kendala yang menyatakan bahwa setiap *order*  $i$  hanya dapat ditempatkan pada satu posisi  $u$  di dalam satu kendaraan  $v$

$$\sum_{v \in V} \sum_{u \in U} W_{ivu} = 1; \forall i \in I$$

6. Kendala yang menunjukkan hubungan antara  $Y_{is}$ ,  $X_{sv}$ , dan  $W_{ivu}$ . Kendala tersebut membatasi setiap kemungkinan yang dinyatakan bernilai benar dari seluruh kemungkinan yang dapat terjadi.

$$\sum_{u \in U} W_{ivu} Y_{is} \leq X_{sv}; \forall i \in I, \forall s \in S, \forall v \in V$$

$$\sum_{u \in U} W_{ivu} X_{sv} \leq Y_{is}; \forall i \in I, \forall s \in S, \forall v \in V$$



7. Kendala yang menyatakan bahwa total *order*  $i$  yang diletakkan pada posisi  $u$  di dalam kendaraan  $v$  tidak melebihi kapasitas muatan pada posisi  $u$ .

$$\sum_{\forall i \in I} W_{ivu} \leq CAP_u; \forall v \in V, \forall u \in U$$

8. Kendala yang menyatakan bahwa waktu kedatangan kendaraan  $v$  di *cross docking* sama dengan waktu keberangkatan kendaraan  $v$  ditambah dengan lama perjalanan yang ditempuh dari *supplier*  $s$  menuju *cross docking*.

$$X_{sv}(d_v + C_s - a_v) = 0; \forall s \in S, \forall v \in V$$

9. Kendala yang menyatakan bahwa durasi waktu berlangsungnya proses *unloading* setiap kendaraan  $v$  di *cross docking* sama dengan total jumlah permintaan dari seluruh *order*  $i$  yang berada pada seluruh posisi  $u$  untuk kendaraan  $v$  dikalikan dengan durasi waktu *unloading* per box *order*.

$$\left( \sum_{\forall i \in I} \sum_{\forall u \in U} W_{ivu} H_i \right) \beta = UL_v; \forall v \in V$$

10. Kendala yang menyatakan bahwa waktu dimulainya proses menunggu suatu *order*  $i$  sama dengan waktu kedatangan kendaraan  $v$  di *cross docking* ditambah dengan durasi waktu berlangsungnya proses *unloading* kendaraan  $v$ .

$$\sum_{v \in V} \sum_{u \in U} a_v W_{ivu} + \sum_{\forall v \in V} \sum_{\forall u \in U} UL_v W_{ivu} = SW_i; \forall i \in I$$

11. Kendala yang menyatakan bahwa waktu dimulainya proses *loading* pada kendaraan  $r$  sama dengan waktu dimulainya proses menunggu terlama dari suatu *order*  $i$  yang akan dimuat oleh kendaraan  $r$ . Dengan kata lain proses *loading* kendaraan  $r$  baru akan dimulai ketika semua *order* yang akan dimuat di dalamnya telah menyelesaikan proses *unloading* dari kendaraan *supplier*.

$$\text{Max}_{i \in I} \left( \sum_{\forall u \in U} W_{iru} SW_i \right) = SL_r; \forall r \in R$$

12. Kendala yang menyatakan bahwa durasi waktu menunggu setiap *order i* sama dengan waktu dimulainya proses *loading* kendaraan *r* yang memuat *order i* dikurangi dengan waktu dimulainya proses menunggu dari *order i*.

$$\sum_{\forall u \in U} \sum_{\forall r \in R} SL_r W_{iru} - SW_i = WT_i; \forall i \in I$$

13. Kendala yang menyatakan bahwa durasi waktu berlangsungnya proses *loading* setiap kendaraan *r* di *cross docking* sama dengan total jumlah permintaan seluruh *order i* yang dibawa oleh kendaraan *r* pada seluruh posisi *u* dikalikan dengan durasi waktu *loading* per box *order*.

$$\left( \sum_{\forall i \in I} \sum_{\forall u \in U} H_i W_{iru} \right) \gamma = L_r; \forall r \in R$$

14. Kendala yang menyatakan bahwa waktu keberangkatan kendaraan *r* dari *cross docking* harus sama dengan waktu dimulainya proses *loading* kendaraan *r* ditambah dengan durasi waktu berlangsungnya proses *loading* kendaraan *r*.

$$SL_r + L_r = D_{r0}; \forall r \in R, \forall i \in O$$

15. Kendala yang menyatakan bahwa jumlah *order* yang masuk ke dalam *cross docking* harus sama dengan jumlah *order* yang keluar dari *cross docking*.

$$\sum_{\forall i \in I} \sum_{\forall v \in V} \sum_{\forall u \in U} W_{ivu} = \sum_{\forall i \in I} \sum_{\forall r \in R} \sum_{\forall u \in U} W_{iru}$$

16. Kendala yang menyatakan bahwa setiap *order i* hanya dapat dipenuhi oleh satu kendaraan *r* dan berasal dari satu *node order i*.

$$\sum_{j \in I} \sum_{\forall r \in R} Z_{ijr} = 1; \forall i \in I$$

17. Kendala yang menyatakan bahwa setiap *order i* hanya dapat dipenuhi oleh satu kendaraan *r* dan menuju satu *node order j*.

$$\sum_{i \in I} \sum_{\forall r \in R} Z_{ijr} = 1; \forall j \in I$$

18. Kendala yang menyatakan bahwa setiap *order*  $i$  hanya dapat dipenuhi oleh satu kendaraan  $r$  dan terletak pada satu posisi  $u$  di dalam kendaraan  $r$ .

$$\sum_{r \in R} \sum_{u \in U} W_{iru} = 1; \forall i \in I$$

19. Kendala yang menyatakan bahwa seluruh *order*  $i$  yang dibawa oleh kendaraan  $r$  pada posisi  $u$  tidak melebihi kapasitas muatan pada posisi  $u$ .

$$\sum_{\forall i \in I} W_{iru} \leq CAP_u; \forall r \in R, \forall u \in U$$

20. Kendala yang menyatakan bahwa durasi waktu berlangsungnya proses *service* oleh kendaraan  $r$  pada *order*  $i$  sama dengan jumlah permintaan pada *order*  $i$  yang dibawa oleh kendaraan  $r$  pada posisi  $u$  dikalikan dengan durasi waktu *unloading* per box

$$\left( H_i \sum_{\forall u \in U} W_{iru} \right) \beta = \ell_{ri}; \forall i \in I, \forall r \in R$$

21. Kendala yang menyatakan bahwa waktu keberangkatan kendaraan  $r$  dari *order*  $i$  sama dengan waktu dimulainya *service* pada *order*  $i$  ditambah dengan durasi waktu berlangsungnya *service* pada *order*  $i$ .

$$\sum_{u \in U} W_{iru} (SS_i + \ell_{ri}) = D_{ri}; \forall i \in I, \forall r \in R$$

22. Kendala yang menyatakan bahwa waktu kedatangan kendaraan  $r$  di *order*  $j$  sama dengan waktu keberangkatan dari *order*  $i$  ditambah dengan lama perjalanan dari *order*  $i$  menuju *order*  $j$ .

$$Z_{ijr} (D_{ri} + C_{ij} - A_{rj}) = 0; \forall i \in I \cup O, \forall j \in I \cup O', \forall r \in R$$

23. Kendala yang menyatakan bahwa setiap perjalanan yang terbentuk melibatkan *node order*  $i$  dan *node order*  $j$  yang berbeda.

$$\sum_{j=i \in \Pi} Z_{ijr} = 0; \forall i \in \Pi, \forall r \in R$$

24. Kendala yang menyatakan urutan kunjungan setiap kendaraan  $r$ . Dimana apabila kendaraan  $r$  berasal dari *node order*  $i$  menuju suatu *node order*  $k$ , maka kendaraan  $r$  tersebut harus keluar dari *node order*  $k$  untuk menuju *node order*  $j$  atau dengan kata lain kunjungan berikutnya berasal dari *node order*  $k$  untuk menuju suatu *node order*  $j$ .

$$\sum_{\forall i \in IUO} Z_{ikr} = \sum_{\forall j \in IUO'} Z_{kjr}; \forall k \in I, \forall r \in R$$

25. Kendala yang menyatakan bahwa setiap rute yang terbentuk untuk kendaraan  $r$  harus berawal dari *cross docking*.

$$\sum_{\forall j \in IUO} Z_{ijr} = 0; \forall i \in O', \forall r \in R$$

26. Kendala yang menyatakan bahwa setiap rute yang terbentuk untuk kendaraan  $r$  harus berakhir di *cross docking*.

$$\sum_{\forall i \in IUO'} Z_{ijr} = 0; \forall j \in O, \forall r \in R$$

27. Kendala yang menyatakan bahwa perjalanan dari *node o* (*cross docking origin*) menuju *node o'* (*cross docking destination*) tidak diperbolehkan.

$$Z_{oor} = 0; \forall r \in R$$

28. Kendala yang menyatakan bahwa setiap kendaraan  $r$  yang menuju *node order*  $i$  membawa *order*  $i$  pada posisi  $u$ .

$$\sum_{\forall u \in U} W_{iru} = \sum_{\forall j \in IUO'} Z_{ijr}; \forall i \in I, \forall r \in R$$

29. Kendala yang menyatakan jumlah keseluruhan kendaraan  $r$  yang keluar dari *cross docking* dalam memenuhi semua *order*  $i$ .

$$\begin{aligned} \sum_{j \in I} \sum_{r \in R} Z_{ijr} &= JR; \forall i \in O \\ \sum_{i \in I} \sum_{r \in R} Z_{ijr} &= JR; \forall j \in O' \end{aligned}$$

30. Kendala yang menyatakan bahwa *service* oleh kendaraan  $r$  pada *order*  $i$  baru dapat dimulai ketika memasuki *time windows* pada *order*  $i$ , oleh karena itu kendaraan  $r$  harus menunggu sampai memasuki *the earliest time windows* pada *order*  $i$  apabila kendaraan  $r$  sampai sebelum *the earliest time windows* pada *order*  $i$ .

$$\text{Max}_{i \in I} \left( \sum_{r \in R} A_{ri}, \alpha_i \right) = SS_i; \forall i \in I$$

31. Kendala yang menyatakan bahwa *service* pada *order*  $i$  tidak boleh dilakukan sebelum memasuki *the earliest time windows* dari *order*  $i$  dan tidak boleh melewati *the latest time windows* dari *order*  $i$ .

$$\alpha_i \leq SS_i \leq b_i; \forall i \in I$$

32. Kendala yang menunjukkan bahwa waktu kedatangan kendaraan  $r$  di *order*  $j$  baru akan bernilai ketika terdapat kendaraan  $r$  yang bergerak dari *order*  $i$  menuju *order*  $j$ . Dalam hal ini menunjukkan hubungan antara  $Z_{ijr}$  dengan  $A_{rj}$ .

$$\sum_{i \in I \cup O} Z_{ijr} M \geq A_{rj}; \forall j \in I \cup O', \forall r \in R$$

33. Kendala yang menunjukkan bahwa waktu keberangkatan kendaraan  $r$  dari *order*  $i$  baru dapat bernilai ketika terdapat kendaraan yang berangkat dari *order*  $i$  menuju suatu *order*  $j$ . Dalam hal ini menunjukkan hubungan antara  $Z_{ijr}$  dengan  $D_{ri}$ .

$$\sum_{j \in I \cup O'} Z_{ijr} M \geq D_{ri}; \forall i \in I \cup O, \forall r \in R$$

34. Kendala yang menunjukkan bahwa  $F_{ik}$  harus bernilai satu ketika  $\sum_r D_{ri} \leq \sum_r D_{rk}; \forall i \in I, \forall k \in I$ .

$$\text{Max} \left( 0, \sum_{r \in R} (D_{rk} - D_{ri}) \right) / \sum_{r \in R} (D_{rk} - D_{ri}) = F_{ik}; \forall k \in I, \forall i \in I$$

35. Kendala yang menunjukkan hubungan antara  $F_{ik}$ ,  $W_{iru}$ ,  $W_{kru}$ , dan  $E_{ikr}$ .

$$\left( \sum_{u \in U} W_{iru} \times \sum_{u \in U} W_{kru} \right) = E_{ikr}; \forall i \in I, \forall k \in I, \forall r \in R$$

36. Kendala yang menunjukkan hubungan antara  $F_{ik}$ ,  $W_{iru}$ ,  $W_{kru}$ , dan  $E_{ikr}$ .

$$\left( \sum_{u \in U} W_{iru} \times \sum_{u \in U} W_{kru} \right) = E_{ikr}; \forall i \in I, \forall k \in I, \forall r \in R$$

37. Kendala yang menjamin bahwa besar penurunan kualitas selama proses pendistribusian *order* dari lokasi *supplier* hingga sampai ke lokasi *order* tidak menyebabkan *order* sampai ke tangan *customer* dalam kondisi *no longer acceptable*.

$$\left( \left( \left( \sum_{s \in S} C_s Y_{ks} + \sum_{v \in V} \sum_{u \in U} W_{kvu} U L_v + W T_k + \sum_{r \in R} \sum_{u \in U} W_{kru} L_r \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \sum_{r \in R} \sum_{u \in U} W_{kru} (D_{rk} - D_{ro}) \right) / \sum_{p \in P} S L_p \vartheta_{kp} \right) \right. \\ \left. + N_{kv} \left( \sum_{s \in S} C_s Y_{ks} K P K e^{-[EA/R(\sum_{v \in V} X_{sv} D T_v + \sum_{u \in U} M_u W_{kvu})]} \right) \right. \\ \left. + N_{kir} \left( \sum_{i \in i \cup O} \sum_{j \in i \cup O'} \sum_{r \in R} E_{ikr} F_{ik} (D_{rj} \right. \right. \\ \left. \left. - D_{ri}) Z_{ijr} K P K e^{-[EA/R(D T_{ri} + \sum_{u \in U} M_u W_{kru})]} \right) \right) < 1; \forall k \in I$$

## BAB V

### UJI NUMERIK MODEL & ANALISA SENSITIVITAS

#### 5.1 Rancangan Skenario Percobaan Numerik

Percobaan numerik yang dilakukan pada skenario yang berbeda-beda bertujuan untuk mengetahui perilaku model terhadap berbagai kondisi yang berbeda. Rancangan skenario percobaan numerik di dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.1:

Tabel 5.1 Rancangan Skenario Percobaan Numerik

| Skenario | Kondisi   |
|----------|---|
| 1        | Tanpa mempertimbangkan pengaturan temperatur dan posisi <i>order</i> di dalam kendaraan                                 |
| 2        | Mempertimbangkan pengaturan temperatur namun belum mempertimbangkan posisi <i>order</i> di dalam kendaraan berpendingin |
| 3        | Mempertimbangkan baik pengaturan temperatur maupun posisi <i>order</i> di dalam kendaraan berpendingin                  |

#### 5.2 Uji Verifikasi dan Validasi Model

Pada tahap ini akan dilakukan uji verifikasi dan validasi terhadap formulasi model yang dibangun di dalam *software LINGO 16.0*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kebenaran suatu model secara matematis, konsistensi model secara logis, serta kedekatan model dengan keadaan nyata. Model dinyatakan terverifikasi apabila setiap tahap dari algoritma penyelesaian yang dibangun dapat melakukan proses *running* dan dinyatakan *feasible* oleh *LINGO 16.0*. Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan secara manual dengan hasil yang diperoleh oleh *LINGO 16.0*. Pengolahan data dengan menggunakan *software LINGO 16.0* dilakukan secara bertahap sesuai dengan algoritma penyelesaian yang disusun di dalam penelitian ini. Oleh karena itu, validasi dilakukan pada setiap tahap pengolahan data. Data yang digunakan di dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 5.2 Nilai parameter model

| Parameter                                      | Notasi       | Nilai   | Satuan             |
|--|--------------|---------|--------------------|
| Biaya tetap penggunaan kendaraan berpendingin  | $VC$         | 300,000 | per unit           |
| Biaya transportasi kendaraan                   | $TC$         | 660     | per menit          |
| Biaya pinalti kedatangan lebih awal            | $PE$         | 7       | per menit per unit |
| Biaya energi                                   | $EC$         | 15      | per kkal/jam       |
| Konstanta pengali waktu unloading              | $\beta$      | 0.3     | menit per unit     |
| Konstanta pengali waktu loading                | $\gamma$     | 0.3     | menit per unit     |
| Luas permukaan cold storage                    | $A$          | 4.97129 | m <sup>2</sup>     |
| Ketebalan permukaan cold storage               | $s$          | 0.35    | m <sup>2</sup>     |
| Koefisien insulating material                  | $k$          | 0.002   | kkal/h.m.°C        |
| Perbedaan temperatur antara dua sisi permukaan | $\Delta T^*$ | 1       |                    |
| Spesifikasi panas muatan                       | $C$          | 0.77    | kkal               |
| Panas laten                                    | $Cl$         | 60      | kkal/kg            |
| Bilangan euler                                 | $e$          | 2.71828 |                    |
| Konstanta penurunan kualitas                   | $KPK$        | 0.02    | per menit          |
| Energi aktivasi                                | $EA$         | 50      | joule/mol          |
| Gas konstan                                    | $R$          | 8.32    | joule/°C/mol       |
| Temperatur netral                              | $T_0$        | 0       | °C                 |
| Temperatur eksternal kontainer                 | $T_{eks}$    | 32      | °C                 |

Tabel 5.3 Nilai parameter aspek jenis produk

| Parameter          | Notasi     | Produk  |         |         | Satuan   |
|--------------------|------------|---------|---------|---------|----------|
|                    |            | A       | B       | C       |          |
| Standar temperatur | $T_p$      | 3       | 5       | 10      | °C       |
| Berat              | $\theta_p$ | 17      | 20      | 13      | kg       |
| Harga              | $PP_p$     | 250,000 | 270,000 | 300,000 | per unit |
| <i>Shelf life</i>  | $SL_p$     | 1440    | 2880    | 4320    | menit    |

Tabel 5.4 *Travel time* dari lokasi *supplier* menuju *cross docking*

| <i>Supplier</i> | 1  | 2  | 3  |
|-----------------|----|----|----|
| $C_s$           | 30 | 60 | 45 |



Tabel 5.5 *Travel time* antar order dan cross docking ( $C_{ij}$ )

| (i)           | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | Cross Docking |
|---------------|----|----|----|----|----|----|---------------|
| 1             | 0  | 0  | 20 | 20 | 60 | 80 | 45            |
| 2             | 0  | 0  | 20 | 20 | 60 | 80 | 45            |
| 3             | 20 | 20 | 0  | 0  | 70 | 25 | 90            |
| 4             | 20 | 20 | 0  | 0  | 70 | 25 | 90            |
| 5             | 60 | 60 | 70 | 70 | 0  | 25 | 40            |
| 6             | 80 | 80 | 25 | 25 | 25 | 0  | 30            |
| Cross Docking | 45 | 45 | 90 | 90 | 40 | 30 | 0             |

Keterangan:

- *Node 7* = pusat cross docking sebagai titik awal perjalanan sebagai
- *Node 8* = pusat cross docking sebagai titik akhir perjalanan sebagai
- *Customer node 1* = order 1 dan order 2
- *Customer node 2* = order 3 dan order 4
- *Customer node 3* = order 5
- *Customer node 4* = order 6

Tabel 5.6 Kapasitas *supply* ( $G_{sp}$ )

| Supplier | 1   | 2   | 3   |
|----------|-----|-----|-----|
| Produk   | A   | B   | C   |
| $G_{sp}$ | 200 | 225 | 175 |

Tabel 5.7 Kategorisasi order ( $\mathcal{I}_{ip}$ )

| Order | Customer Node | Jenis Produk |
|-------|---------------|--------------|
| 1     | 1             | C            |
| 2     | 1             | B            |
| 3     | 2             | B            |
| 4     | 2             | A            |
| 5     | 3             | C            |
| 6     | 4             | A            |

Tabel 5.8 Nilai parameter aspek *order* (*the earliest time windows, the latest time windows, demand*)

| Order | $\alpha_i$ | $b_i$ | $H_i$ |
|-------|------------|-------|-------|
| 1     | 240        | 360   | 20    |
| 2     | 360        | 480   | 40    |
| 3     | 540        | 720   | 70    |
| 4     | 270        | 480   | 30    |
| 5     | 300        | 480   | 80    |
| 6     | 660        | 810   | 50    |

Keterangan: diasumsikan titik nol berada pada pukul 4 pagi

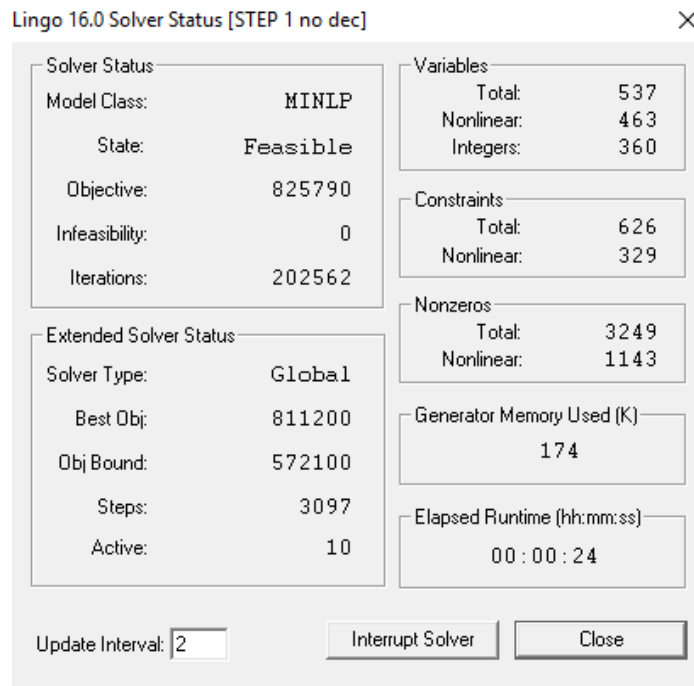
Tabel 5.9 Nilai parameter aspek posisi

| Parameter            | Notasi  | Posisi |      |
|----------------------|---------|--------|------|
|                      |         | 1      | 2    |
| Perbedaan temperatur | $M_u$   | 0.34   | 2.04 |
| Kapasitas            | $CAP_u$ | 100    | 100  |

### 5.2.1 Uji Verifikasi dan Validasi Tahap I

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data untuk menghasilkan keputusan optimal berkaitan dengan konsolidasi *order* di dalam pusat *cross docking* yang secara simultan juga menghasilkan rute dari setiap kendaraan yang berangkat dari pusat *cross docking* dan jadwal keberangkatan setiap kendaraan dari pusat *cross docking*. Keputusan yang dihasilkan pada tahap ini ditetapkan dengan mempertimbangkan kapasitas setiap posisi di dalam kendaraan berpendingin, *time windows* dari setiap *order*, dan durasi waktu berlangsungnya proses distribusi dari pusat *cross docking* hingga sampai ke setiap lokasi *order*.

Model matematis yang dibangun kemudian diinterpretasikan ke dalam Bahasa *Lingo 16.0* yang kemudian akan dilakukan proses pengolahan data apabila model dinyatakan benar secara matematis dan konsisten secara logis. Oleh karena itu, model dinyatakan terverifikasi apabila *Lingo 16.0* dapat melakukan proses *running* dan menunjukkan status *feasible*.



Gambar 5.1 Status pengolahan data tahap 1

Berdasarkan status yang ditunjukkan oleh *Lingo 16.0*, maka dapat dikatakan bahwa model yang dibangun untuk menyelesaikan tahap 1 dari pengolahan data di dalam penelitian ini telah terverifikasi. Selanjutnya, *Lingo 16.0* akan melakukan proses *running* hingga memberikan hasil yang optimum.

Berdasarkan hasil pengolahan data oleh *Lingo 16.0*, maka diperoleh total biaya minimum yang dihasilkan dari setiap keputusan yang diambil berkaitan dengan pendistribusian *order* dari pusat *cross docking* hingga sampai ke setiap lokasi *order* adalah sebesar Rp. 811.200. Keputusan yang dihasilkan dari pengolahan data tahap pertama adalah sebagai berikut:

Tabel 5.10 Hasil olah data validasi tahap I

| $(r)$ | $(i)$ | $C_{ij}$ | $A_{ri}$ | $SS_i$ | $\ell_{ri}$ | $D_{ri}$ | $\alpha_i$ | $b_i$ | Waktu Menunggu di $(i)$ |
|-------|-------|----------|----------|--------|-------------|----------|------------|-------|-------------------------|
| 1     | 7     |          | 0        | 0      | 0           | 524      | 0          | 0     |                         |
|       | 3     | 90       | 614      | 614    | 21          | 635      | 540        | 720   | 0                       |
|       | 6     | 25       | 660      | 660    | 15          | 675      | 660        | 810   | 0                       |
|       | 8     | 30       | 705      | 0      | 0           | 0        | 0          | 0     |                         |
| 3     | 7     |          | 0        | 0      | 0           | 309      | 0          | 0     |                         |
|       | 1     | 45       | 354      | 354    | 6           | 360      | 240        | 360   | 0                       |
|       | 2     | 0        | 360      | 360    | 12          | 372      | 360        | 480   | 0                       |
|       | 4     | 20       | 392      | 392    | 9           | 401      | 270        | 480   | 0                       |
|       | 5     | 70       | 471      | 471    | 24          | 495      | 300        | 480   | 0                       |
|       | 8     | 40       | 535      | 0      | 0           | 0        | 0          | 0     |                         |

Tabel 5.11 Total biaya proses pendistribusian *order* dari pusat *cross docking* ke seluruh lokasi *order*

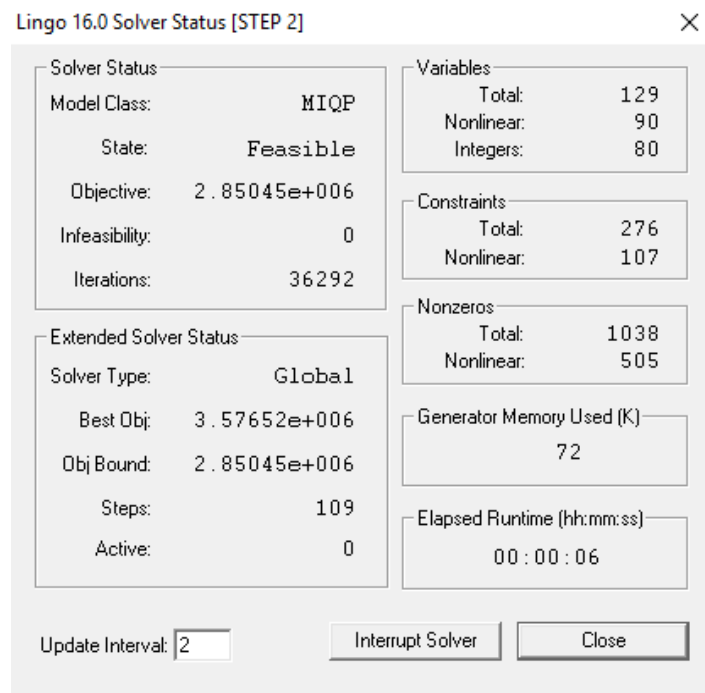
| Komponen Biaya                  | Alokasi | Biaya (RP)     |
|---------------------------------|---------|----------------|
| Kendaraan (unit)                | 2       | 600,000        |
| Durasi waktu perjalanan (menit) | 320     | 211,200        |
| Durasi waktu menunggu (menit)   | 0       | -              |
| <b>Total Biaya</b>              |         | <b>811,200</b> |

Kemudian total biaya yang dihasilkan pada tahap pertama dari algoritma penyelesaian di dalam penelitian ini dibandingkan dengan total biaya yang dihitung secara manual. Model akan dinyatakan valid apabila setiap keputusan yang terbentuk telah memenuhi setiap batasan yang dibangun di dalam model dan total biaya yang dihitung secara manual memiliki hasil yang sama dengan *LINGO 16.0*. Oleh karena itu, model dinyatakan valid karena hasil yang diperoleh oleh *LINGO 16.0* sama dengan hasil perhitungan manual yaitu sebesar Rp. 811.200 dan setiap keputusan yang dihasilkan telah memenuhi setiap batasan yang dibangun di dalam model.

### 5.2.2 Uji Verifikasi dan Validasi Tahap II

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data untuk menghasilkan keputusan optimal berkaitan dengan jadwal keberangkatan setiap kendaraan milik *supplier* menuju pusat *cross docking*. Keputusan yang berkaitan dengan jadwal keberangkatan setiap kendaraan berpendingin milik *supplier* ditetapkan dengan mempertimbangkan jadwal keberangkatan setiap *order* dari pusat *cross docking* dan durasi waktu menunggu yang akan dialami *order* akibat aktivitas konsolidasi di pusat *cross docking*.

Model matematis yang telah dibangun kemudian diinterpretasikan ke dalam Bahasa *Lingo 16.0* untuk menyelesaikan pengolahan data tahap kedua. Kemudian dilakukan uji verifikasi untuk mengetahui apakah model yang dibangun telah benar secara matematis dan konsisten secara logis. Oleh karena itu, dilakukan proses *running* model oleh *lingo 16.0*.



Gambar 5.2 Status pengolahan data tahap II

Seperti yang terlihat pada gambar 5.2, *Lingo 16.0* menunjukkan bahwa model yang dibangun pada tahap kedua berada dalam kondisi *feasible*. Sehingga, dapat dikatakan bahwa model yang dibangun telah terverifikasi karena dapat melakukan proses *running* serta mampu memberikan solusi yang *feasible*. Setelah

model dinyatakan telah terverifikasi, maka *Lingo 16.0* akan melakukan proses *running* hingga memberikan solusi yang optimal.

Dari hasil pengolahan data, maka diperoleh beberapa keputusan yang diambil dalam rangka meminimalkan total biaya yang timbul akibat aktivitas pendistribusian *order* dari lokasi *supplier* menuju pusat *cross-docking*. Total biaya yang dihasilkan pada tahap ini adalah sebesar Rp. 3.576.520. Berikut ini adalah keputusan yang dihasilkan pada pengolahan data tahap kedua dengan menggunakan *software LINGO 16.0*:

Tabel 5.12 Alokasi *supply order* dan jadwal keberangkatan kendaraan berpendingin milik *supplier*

| (s) | (i) | $C_s$ | (v) | $d_v$    | $a_v$    | $UL_v$ |
|-----|-----|-------|-----|----------|----------|--------|
| 1   | 4   | 30    | 1   | 219.0001 | 249.0001 | 9      |
|     | 6   | 30    | 4   | 443      | 473      | 15     |
| 2   | 2   | 60    | 5   | 186      | 246      | 12     |
|     | 3   | 60    | 3   | 407      | 467      | 21     |
| 3   | 1   | 45    | 2   | 183      | 228      | 30     |
|     | 5   |       |     |          |          |        |

Tabel 5.13 Durasi waktu setiap aktivitas *order* di dalam pusat *cross docking*

| (v) | (i) | $UL_v$ | $SW_i$ | $WT_i$ | (r) | (i) | $SL_r$ | $L_r$ | $D_{r0}$ |
|-----|-----|--------|--------|--------|-----|-----|--------|-------|----------|
| 1   | 9   | 4      | 258    | 0      | 1   | 3   | 488    | 36    | 524      |
| 4   | 15  | 6      | 488    | 0      |     | 6   |        |       |          |
| 5   | 12  | 2      | 258    | 0      | 3   | 1   | 258    | 51    | 309      |
| 3   | 21  | 3      | 488    | 0      |     | 2   |        |       |          |
| 2   | 30  | 1      | 258    | 0      |     | 4   |        |       |          |
|     |     | 5      | 258    | 0      |     | 5   |        |       |          |

Tabel 5.14 Besar penurunan kualitas produk akibat durasi waktu seluruh aktivitas di dalam pusat *cross docking*

| (i) | $QCD_i$  |
|-----|----------|
| 1   | 0.01875  |
| 2   | 0.021875 |
| 3   | 0.019792 |
| 4   | 0.041667 |
| 5   | 0.01875  |
| 6   | 0.035417 |

Keterangan:

Tabel 5.15 Keterangan fungsi dan simbol di dalam tabel

| Fungsi   | Simbol  |
|--|---------|
| Besar penurunan kualitas produk dari <i>order</i> ( <i>i</i> ) akibat durasi waktu seluruh aktivitas di dalam <i>cross docking</i> | $QCD_i$ |

Tabel 5.16 Biaya akibat penurunan kualitas

| ( <i>i</i> )  | $QCD_i$    | $H_i$ | $PP_i$  | Biaya Penurunan Kualitas ( <i>i</i> ) |
|---|------------|-------|---------|---------------------------------------|
| 1   | 0.01875000 | 20    | 300,000 | 112,500.00                            |
| 2   | 0.02187500 | 40    | 270,000 | 236,250.00                            |
| 3   | 0.01979167 | 70    | 270,000 | 374,062.56                            |
| 4   | 0.04166657 | 30    | 250,000 | 312,499.28                            |
| 5   | 0.01875000 | 80    | 300,000 | 450,000.00                            |
| 6   | 0.03541667 | 50    | 250,000 | 442,708.38                            |
| <b>Total Biaya Penurunan Kualitas Produk Tiap Order</b> |            |       |         | <b>1,928,020.213</b>                  |

Tabel 5.17 Total biaya proses pendistribusian *order* dari *supplier* ke pusat *cross docking* dan penurunan kualitas produk tiap *order* selama berada di pusat *cross docking*

| Komponen Biaya                       | Alokasi | Biaya (Rp)           |
|--------------------------------------|---------|----------------------|
| Kendaraan (unit)                     | 5       | 1,500,000.000        |
| Durasi waktu perjalanan (menit)      | 225     | 148,500.000          |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap Order |         | 1,928,020.213        |
| <b>Total Biaya</b>                   |         | <b>3,576,520.213</b> |

Total biaya yang dihasilkan oleh *LINGO 16.0* pada tahap kedua dari algoritma penyelesaian yang disusun di dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang sama dengan perhitungan secara manual yaitu sebesar Rp. 3.576.520,213. Hal ini menunjukkan bahwa model yang dibangun pada tahap ini adalah valid karena menunjukkan hasil yang sama dengan hasil yang diperoleh melalui perhitungan secara manual dan setiap keputusan yang dihasilkan telah memenuhi setiap batasan yang dibangun di dalam model.

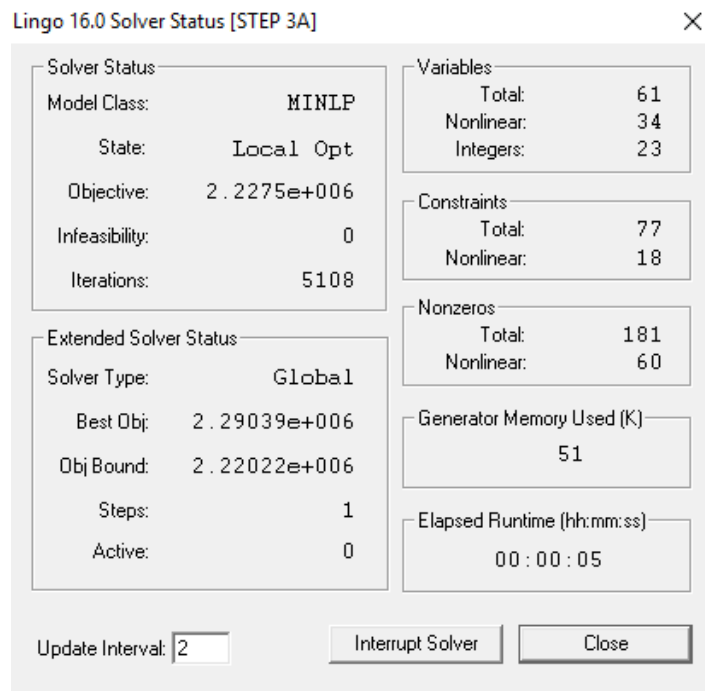
### 5.2.3 Uji Verifikasi dan Validasi Tahap III

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data untuk menghasilkan keputusan berkaitan dengan temperatur optimal di dalam kendaraan berpendingin baik untuk kendaraan yang berangkat dari lokasi *supplier* maupun yang berangkat dari pusat *cross docking*. Selain itu, pada tahap ini juga akan menghasilkan keputusan berkaitan dengan posisi peletakan yang optimal dari setiap *order* di dalam kendaraan berpendingin. Keputusan yang dihasilkan ditetapkan dengan mempertimbangkan besar penurunan kualitas dari setiap *order* dan besar biaya energi yang akan ditimbulkan. Oleh karena itu, penentuan pengaturan temperatur di dalam kendaraan berpendingin harus mempertimbangkan standar temperatur dari setiap *order* yang berada di dalam kendaraan. Sehingga, dapat dikatakan bahwa penentuan pengaturan temperatur di dalam kendaraan berpendingin merupakan *trade off* antara besar biaya yang timbul akibat penurunan kualitas setiap *order* dan konsumsi energi kendaraan berpendingin.

Model matematis yang telah dikembangkan untuk menyelesaikan tahap ketiga ini kemudian diinterpretasikan ke dalam Bahasa *Lingo 16*. Setelah itu, dilakukan uji verifikasi untuk membuktikan apakah model telah benar secara matematis dan konsisten secara logis.

Pengolahan data tahap ketiga akan dibagi menjadi dua. Pertama akan dilakukan penentuan pengaturan temperatur kendaraan berpendingin dan posisi setiap *order* di dalam kendaraan berpendingin yang berangkat dari lokasi *supplier*. Kemudian yang kedua akan dilakukan pengaturan temperatur kendaraan berpendingin dan posisi setiap *order* di dalam kendaraan berpendingin yang berangkat dari lokasi *cross-docking*. Oleh karena itu, akan dilakukan *running* model untuk tahap ketiga bagian pertama. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui apakah model telah terverifikasi atau belum.





Gambar 5.3 Status pengolahan data tahap III untuk kendaraan yang berangkat dari lokasi *supplier*

Berdasarkan status yang ditunjukkan oleh *Lingo 16.0*, dapat dikatakan bahwa model yang diinterpretasikan ke dalam Bahasa *Lingo 16.0* telah terverifikasi. Hal tersebut dikarenakan *Lingo 16.0* dapat melakukan proses *running* dan dapat memberikan solusi yang *feasible*. Setelah itu akan dilakukan uji validasi untuk membuktikan apakah keputusan yang dihasilkan telah memenuhi setiap batasan yang dibangun di dalam model dan memperoleh hasil yang sama dengan hasil perhitungan secara manual.

Berikut adalah hasil pengolahan data oleh *LINGO 16.0* untuk tahap ketiga bagian pertama:

Tabel 5.18 Pengaturan temperatur dan posisi *order* di dalam kendaraan berpendingin milik *supplier*

| (s) | (i) | (v) | $W_{ivu}$ | $QS_i$   |      | $DT_v$ | $KE_v$   |
|-----|-----|-----|-----------|----------|------|--------|----------|
|     |     |     |           | $Q1$     | $Q2$ |        |          |
| 1   | 4   | 1   | 1         | 0.020833 | 0    | 2      | 16827.78 |
|     | 6   | 4   | 1         | 0.020833 | 0    | 2      | 16827.78 |
| 2   | 2   | 5   | 1         | 0.020833 | 0    | 4      | 16515.93 |
|     | 3   | 3   | 1         | 0.020833 | 0    | 4      | 16515.93 |
| 3   | 1   | 2   | 1         | 0.010417 | 0    | 9      | 15736.31 |
|     | 5   |     | 1         | 0.010417 | 0    |        |          |

Keterangan:

Tabel 5.19 Keterangan fungsi dan simbol di dalam tabel

| Fungsi  | Simbol |
|---|--------|
| Penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> (i) selama perjalanan dari <i>supplier</i> menuju <i>cross docking</i>      | $QS_i$ |
| Penurunan kualitas akibat durasi waktu perjalanan <i>order</i> (i) dari <i>supplier</i> (s) menuju <i>cross docking</i> | $Q1$   |
| Penurunan kualitas akibat perbedaan temperatur standar dengan pengaturan temperatur kendaraan (v)                       | $Q2$   |
| Konsumsi Energi kendaraan (v)   | $KE_v$ |

Tabel 5.20 Total biaya akibat penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari lokasi *supplier* hingga sampai di pusat *cross docking*

| (i)   | $H_i$ | $PP_i$  | $QS_i$     | Biaya Penurunan Kualitas (i) (Rp) |
|---|-------|---------|------------|-----------------------------------|
| 1   | 20    | 300,000 | 0.01041667 | 62,500                            |
| 2   | 40    | 270,000 | 0.02083333 | 225,000                           |
| 3   | 70    | 270,000 | 0.02083333 | 393,750                           |
| 4   | 30    | 250,000 | 0.02083333 | 156,250                           |
| 5   | 80    | 300,000 | 0.01041667 | 250,000                           |
| 6   | 50    | 250,000 | 0.02083333 | 260,417                           |
| <b>Total Biaya Penurunan Kualitas Produk Tiap Order</b> |       |         |            | <b>1,347,917</b>                  |

Tabel 5.21 Total biaya konsumsi energi kendaraan berpendingin yang berangkat dari lokasi *supplier*

| (s)                                | (v) | $C_s$ | $KE_v$     | Biaya Konsumsi Energi (v) (Rp) |
|------------------------------------|-----|-------|------------|--------------------------------|
| 1                                  | 1   | 30    | 16827.7784 | 126,208.34                     |
|                                    | 4   | 30    | 16827.7784 | 126,208.34                     |
| 2                                  | 5   | 60    | 16515.9284 | 247,738.93                     |
|                                    | 3   | 60    | 16515.9284 | 247,738.93                     |
| 3                                  | 2   | 45    | 15736.3084 | 177,033.47                     |
| <b>Total Biaya Konsumsi Energi</b> |     |       |            | <b>924,927.998</b>             |

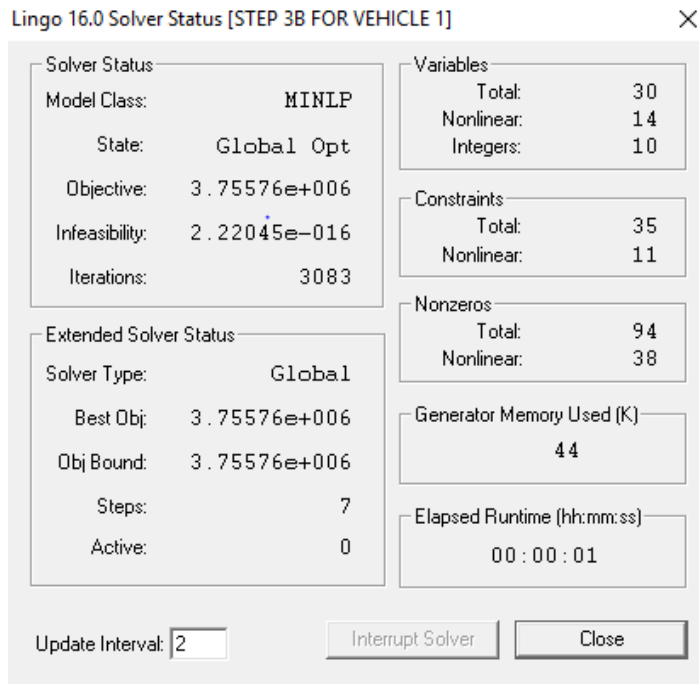
Tabel 5.22 Total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari lokasi *supplier* hingga sampai ke pusat *cross docking*

| Komponen Biaya                              | Biaya (Rp)       |
|---|------------------|
| Konsumsi Energi                             | 1,347,917        |
| Penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> | 924,928          |
| <b>Total Biaya</b>                          | <b>2,272,845</b> |

Berdasarkan hasil olah data yang telah dijabarkan di atas, maka diperoleh total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap *order* dari perjalanan kendaraan berpendingin yang berangkat dari lokasi *supplier* menuju *cross docking* adalah sebesar Rp. 2.272.845. Total biaya yang dihasilkan dari proses pengolahan data oleh *LINGO 16.0* sama dengan total biaya yang diperoleh dari hasil

perhitungan secara manual. Hal tersebut menunjukkan bahwa model yang dibangun dinyatakan valid.

Selanjutnya akan dilakukan uji verifikasi dan validasi terhadap model yang dibangun untuk tahap ketiga bagian kedua. Sama halnya dengan uji verifikasi pada tahap-tahap sebelumnya, pada tahap ini akan dilakukan proses *running* untuk menunjukkan apakah model bisa dijalankan dan memberikan solusi *feasible*.



Gambar 5.4 Status pengolahan data tahap III untuk kendaraan yang berangkat dari pusat *cross docking*

Berdasarkan gambar 5.4, dapat dinyatakan bahwa model yang dibangun untuk tahap tiga bagian kedua telah terverifikasi. Hal tersebut dikarenakan model yang dibangun dapat melakukan proses *running* dan mampu meberikan solusi yang *feasible*. Setelah model dinyatakan terverifikasi, maka proses *running* akan terus dilanjutkan hingga memberikan solusi optimal. Kemudian, akan dilakukan pengecekan terhadap solusi yang dihasilkan. Pengecekan bertujuan untuk menunjukkan apakah solusi yang dihasilkan telah memenuhi setiap batasan yang dibangun dan memberikan hasil yang sama dengan hasil perhitungan manual. Berikut adalah hasil pengolahan data oleh *LINGO 16.0* untuk tahap ketiga bagian kedua:

Tabel 5.23 Pengaturan temperatur dan posisi *order* di dalam kendaraan berpendingin yang berangkat dari pusat *cross docking* dan dari setiap lokasi *order*

| $(r)$ | $(i)$ | $DT_{ri}$ | $KE_{ri}$ | $W_{iru}$ |
|-------|-------|-----------|-----------|-----------|
| 1     | 7     |           |           |           |
|       | 3     | 2         | 7790.6534 | 2         |
|       | 6     | 2         | 2943.1534 | 1         |
|       | 8     |           |           |           |
| 3     | 7     |           |           |           |
|       | 1     | 2         | 9037.1534 | 1         |
|       | 2     | 2         | 8136.9034 | 1         |
|       | 4     | 2         | 5366.9034 | 1         |
|       | 5     | 7         | 3434.1954 | 2         |
|       | 8     |           |           |           |

Tabel 5.24 Besar penurunan kualitas produk tiap *order* ( $i$ ) selama proses distribusi dari *supplier* hingga sampai ke lokasi *order*

| $(r)$          | $(i)$ | $Q2_i$  |         |         |         |         |         |
|----------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                |       | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       |
| 1              | 3     |         |         | 0       |         |         | 0       |
|                | 6     |         |         |         |         |         | 0       |
| 3              | 1     | 0       | 0       |         | 0       | 0       |         |
|                | 2     |         | 0       |         | 0       | 0       |         |
|                | 4     |         |         |         | 0       | 0       |         |
|                | 5     |         |         |         |         | 0       |         |
| Total $Q2_i$   |       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| $Q_{travel_i}$ |       | 0.01181 | 0.02188 | 0.03854 | 0.06389 | 0.04306 | 0.10486 |
| $Q_{CD_i}$     |       | 0.01875 | 0.02188 | 0.01979 | 0.04167 | 0.01875 | 0.03542 |
| $Initial Q1_i$ |       | 0.01042 | 0.02083 | 0.02083 | 0.02083 | 0.01042 | 0.02083 |
| $Initial Q2_i$ |       | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Total $Q_i$    |       | 0.04097 | 0.06458 | 0.07917 | 0.12639 | 0.07222 | 0.16111 |

Keterangan:

Tabel 5.25 Keterangan fungsi dan simbol di dalam tabel

| Fungsi  | Simbol         |
|---|----------------|
| Penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> ( <i>i</i> ) selama berada di dalam <i>cross docking</i>  | $QCD_i$        |
| Penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> akibat durasi waktu perjalanan <i>order</i> ( <i>i</i> ) dari <i>supplier</i> ( <i>s</i> ) menuju <i>cross docking</i>                | $Initial Q1_i$ |
| Penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> akibat perbedaan temperatur standar dengan pengaturan temperatur kendaraan ( <i>v</i> )   | $Initial Q2_i$ |
| Penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> akibat durasi waktu perjalanan <i>order</i> ( <i>i</i> ) dari <i>cross docking</i> menuju lokasi <i>order</i> ( <i>i</i> )            | $Qtravel_i$    |
| Penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> akibat perbedaan temperatur standar dengan pengaturan temperatur kendaraan ( <i>r</i> ) yang berangkat dari <i>order</i> ( <i>i</i> ) | $Q2_i$         |
| Besar penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> ( <i>i</i> ) selama proses distribusi   | Total $Q_i$    |
| Total penurunan kualitas produk tiap <i>order</i> ( <i>i</i> ) selama perjalanan dari <i>cross docking</i> menuju lokasi <i>order</i> ( <i>i</i> )                                | $Qcdtocust_i$  |
| Konsumsi energi kendaraan ( <i>r</i> ) yang berangkat dari lokasi <i>order</i> ( <i>i</i> )   | $KE_{ri}$      |

Tabel 5.26 Total biaya konsumsi energi kendaraan berpendingin yang berangkat dari pusat *cross docking*

| $r$ | $(i)$ | Durasi Waktu Perjalanan | $KE_{ri}$ | Biaya Konsumsi Energi ( $ri$ ) (Rp) | Total Biaya Konsumsi Energi (Rp) |
|-----|-------|-------------------------|-----------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1   | 7     |                         |           |                                     | 245,622.13                       |
|     | 3     | 111                     | 7790.6534 | 216,190.6                           |                                  |
|     | 6     | 40                      | 2943.1534 | 29,431.53                           |                                  |
|     | 8     |                         |           |                                     |                                  |
| 3   | 7     |                         |           |                                     | 259,248.06                       |
|     | 1     | 51                      | 9037.1534 | 115,223.71                          |                                  |
|     | 2     | 12                      | 8136.9034 | 24,410.71                           |                                  |
|     | 4     | 29                      | 5366.9034 | 38,910.05                           |                                  |
|     | 5     | 94                      | 3434.1954 | 80,703.59                           |                                  |
|     | 8     |                         |           |                                     |                                  |

Tabel 5.27 Total biaya penurunan kualitas produk tiap *order* selama proses distribusi *order* dari lokasi *supplier* hingga sampai ke lokasi *order*

| $(i)$   | Total $Q_i$ | $H_i$ | $PP_i$ | Biaya Penurunan Kualitas ( $i$ ) (Rp) |
|---|-------------|-------|--------|---------------------------------------|
| 1   | 0.04097223  | 20    | 300000 | 245,833                               |
| 2   | 0.06458333  | 40    | 270000 | 697,500                               |
| 3   | 0.07916667  | 70    | 270000 | 1,496,250                             |
| 4   | 0.12638879  | 30    | 250000 | 947,916                               |
| 5   | 0.07222223  | 80    | 300000 | 1,733,334                             |
| 6   | 0.16111111  | 50    | 250000 | 2,013,889                             |
| <b>Total Biaya Penurunan Kualitas Produk Tiap Order</b> |             |       |        | <b>7,134,722</b>                      |

Tabel 5.28 Total biaya konsumsi energi dari pusat *cross docking* hingga sampai ke setiap lokasi *order* dengan mempertimbangkan total penurunan kualitas *order* (Total  $Q_i$ )

| Komponen Biaya                       | Biaya (Rp)       |
|--------------------------------------|------------------|
| Konsumsi Energi                      | 504,870          |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap Order | 7,134,722        |
| <b>Total Biaya</b>                   | <b>7,639,592</b> |

Tabel 5.29 Total biaya penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari pusat *cross docking* hingga sampai ke lokasi *order*

| (i)   | Total $Q2_i$ | $Q_{travel_i}$ | $Q_{cdtocust_i}$ | $H_i$ | $PP_i$ | Biaya Penurunan Kualitas (i) (Rp) |
|---|--------------|----------------|------------------|-------|--------|-----------------------------------|
| 1   | 0            | 0.01180556     | 0.01180556       | 20    | 300000 | 70,833.36                         |
| 2   | 0            | 0.02187500     | 0.021875         | 40    | 270000 | 236,250.00                        |
| 3   | 0            | 0.03854167     | 0.03854167       | 70    | 270000 | 728,437.56                        |
| 4   | 0            | 0.06388889     | 0.06388889       | 30    | 250000 | 479,166.68                        |
| 5   | 0            | 0.04305556     | 0.04305556       | 80    | 300000 | 1,033,333.44                      |
| 6   | 0            | 0.1048611      | 0.1048611        | 50    | 250000 | 1,310,763.75                      |
| <b>Total Biaya Penurunan Kualitas Produk Tiap Order</b> |              |                |                  |       |        | <b>3,858,784.79</b>               |

Tabel 5.30 Total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas *order* selama perjalanan dari pusat *cross docking* hingga sampai ke setiap lokasi *order*

| Komponen Biaya                              | Biaya (Rp)       |
|---|------------------|
| Konsumsi Energi                             | 504,870          |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap <i>Order</i> | 3,858,785        |
| <b>Total Biaya</b>                          | <b>4,363,655</b> |

Setelah semua tahap pada algoritma penyelesaian telah selesai, maka akan dilakukan perhitungan total biaya distribusi produk sayur segar dalam memenuhi setiap *order* milik *customer*. Total biaya distribusi produk sayur segar diperoleh dari penjumlahan seluruh total biaya yang dihasilkan oleh setiap tahap pengolahan data. Oleh karena itu, diperoleh total biaya proses distribusi produk sayur segar sebesar Rp. 11.024.220. Berikut ini rincian total biaya distribusi produk sayur segar dalam memenuhi setiap *order* milik *customer*:

Tabel 5.31 Total biaya distribusi produk sayur segar

| Komponen Biaya                              | Alokasi | Biaya (Rp)        |
|---|---------|-------------------|
| Kendaraan (unit)                            | 7       | 2,100,000.00      |
| Durasi waktu perjalanan (menit)             | 545     | 359,700.00        |
| Durasi waktu menunggu (menit)               | 0       | -                 |
| Konsumsi Energi                             |         | 1,429,798         |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap <i>Order</i> |         | 7,134,721.60      |
| <b>Total biaya distribusi</b>               |         | <b>11,024,220</b> |



### 5.3 Uji Numerik

Setelah dilakukan uji verifikasi dan validasi terhadap model yang dibangun, maka selanjutnya dilakukan uji numerik terhadap ketiga skenario untuk melihat bagaimana setiap keputusan yang dihasilkan dari setiap skenario. Nilai-nilai parameter seperti *demand* dari setiap *order*, *time windows order*, durasi waktu perjalanan, kapasitas *supply* dari *supplier*, karakteristik jenis produk, dan kapasitas muatan pada setiap posisi di dalam kendaraan berpendingin yang digunakan di dalam percobaan numerik merupakan nilai yang dibangun secara acak. Berikut ini adalah nilai dari setiap parameter di dalam model:

Tabel 5.32 Nilai parameter percobaan numerik

| Parameter                                      | Notasi       | Nilai   | Satuan                  |
|--|--------------|---------|-------------------------|
| Biaya tetap penggunaan kendaraan berpendingin  | $VC$         | 800,000 | per unit                |
| Biaya tetap penggunaan kendaraan biasa         | $VC$         | 600,000 | per unit                |
| Biaya transportasi kendaraan                   | $TC$         | 660     | per menit               |
| Biaya pinalti kedatangan lebih awal            | $PE$         | 7       | per menit<br>per unit   |
| Biaya energi                                   | $EC$         | 15      | per kkal/jam            |
| Konstanta pengali waktu unloading              | $\beta$      | 0.3     | menit per<br>unit       |
| Konstanta pengali waktu loading                | $\gamma$     | 0.3     | menit per<br>unit       |
| Luas permukaan cold storage                    | $A$          | 4.97129 | $m^2$                   |
| Ketebalan permukaan cold storage               | $s$          | 0.35    | $m^2$                   |
| Koefisien insulting material                   | $k$          | 0.002   | kkal/h.m. $^{\circ}C$   |
| Perbedaan temperatur antara dua sisi permukaan | $\Delta T^*$ | 1       |                         |
| Spesifikasi panas muatan                       | $C$          | 0.77    | kkal                    |
| Panas laten                                    | $Cl$         | 60      | kkal/kg                 |
| Bilangan euler                                 | $e$          | 2.71828 |                         |
| Konstanta penurunan kualitas                   | $KPK$        | 0.02    | per menit               |
| Energi aktivasi                                | $EA$         | 50      | joule/mol               |
| Gas konstan                                    | $R$          | 8.32    | joule/ $^{\circ}C$ /mol |
| Temperatur netral                              | $T_0$        | 0       | $^{\circ}C$             |
| Temperatur eksternal kontainer                 | $T_{eks}$    | 32      | $^{\circ}C$             |
| Temperatur standar ruangan                     |              | 25      | $^{\circ}C$             |

Tabel 5.33 Nilai parameter aspek jenis produk

| Parameter |   | Standar Temperatur | Berat      | Harga    | <i>Shelf Life</i> |
|-----------|---|--------------------|------------|----------|-------------------|
| Notasi    |   | $T_p$              | $\theta_p$ | $PP_p$   | $SL_p$            |
| Satuan    |   | °C                 | kg         | per unit | menit             |
| Produk    | A | 2.5-5              | 15         | 330,000  | 43,200            |
|           | B | 4.5-7.5            | 15         | 105,000  | 20,160            |
|           | C | 4.4-13             | 15         | 75,000   | 10,080            |
|           | D | 0-1.1              | 15         | 135,000  | 40,320            |
|           | E | 13-18              | 15         | 127,500  | 86,400            |
|           | F | 0-1.5              | 15         | 270,000  | 43,200            |

Tabel 5.34 Durasi waktu perjalanan dari lokasi *supplier* menuju *cross docking*

| <i>Supplier</i>  | 1  | 2  | 3  | 4  |
|------------------|----|----|----|----|
| $C_s$<br>(menit) | 30 | 45 | 60 | 75 |

Tabel 5.35 Durasi waktu perjalanan antar *order* dan *cross docking* ( $C_{ij}$ )

| (i) | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8   |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1   | 0  | 0  | 45 | 45 | 45 | 20 | 55 | 55  |
| 2   | 0  | 0  | 45 | 45 | 45 | 20 | 55 | 55  |
| 3   | 45 | 45 | 0  | 0  | 0  | 50 | 70 | 70  |
| 4   | 45 | 45 | 0  | 0  | 0  | 50 | 70 | 70  |
| 5   | 45 | 45 | 0  | 0  | 0  | 50 | 70 | 70  |
| 6   | 20 | 20 | 50 | 50 | 50 | 0  | 45 | 45  |
| 7   | 55 | 55 | 70 | 70 | 70 | 45 | 0  | 0   |
| 8   | 55 | 55 | 70 | 70 | 70 | 45 | 0  | 0   |
| 9   | 25 | 25 | 60 | 60 | 60 | 15 | 50 | 50  |
| 10  | 30 | 30 | 15 | 15 | 15 | 40 | 20 | 20  |
| 11  | 30 | 30 | 15 | 15 | 15 | 40 | 20 | 20  |
| 12  | 30 | 30 | 15 | 15 | 15 | 40 | 20 | 20  |
| 13  | 80 | 60 | 40 | 55 | 70 | 25 | 95 | 100 |
| 14  | 65 | 65 | 45 | 45 | 45 | 65 | 15 | 15  |
| 15  | 65 | 65 | 45 | 45 | 45 | 65 | 15 | 15  |

Tabel 5.36 Durasi waktu perjalanan antar *order* dan *cross docking* ( $C_{ij}$ ) (lanjutan)

| (i) | 9  | 10 | 11 | 12 | 13  | 14 | 15 |
|-----|----|----|----|----|-----|----|----|
| 1   | 25 | 30 | 30 | 30 | 80  | 65 | 65 |
| 2   | 25 | 30 | 30 | 30 | 60  | 65 | 65 |
| 3   | 60 | 15 | 15 | 15 | 40  | 45 | 45 |
| 4   | 60 | 15 | 15 | 15 | 55  | 45 | 45 |
| 5   | 60 | 15 | 15 | 15 | 70  | 45 | 45 |
| 6   | 15 | 40 | 40 | 40 | 25  | 65 | 65 |
| 7   | 50 | 20 | 20 | 20 | 95  | 15 | 15 |
| 8   | 50 | 20 | 20 | 20 | 100 | 15 | 15 |
| 9   | 0  | 15 | 15 | 15 | 30  | 40 | 40 |
| 10  | 15 | 0  | 0  | 0  | 85  | 10 | 10 |
| 11  | 15 | 0  | 0  | 0  | 45  | 10 | 10 |
| 12  | 15 | 0  | 0  | 0  | 35  | 10 | 10 |
| 13  | 30 | 85 | 45 | 35 | 0   | 55 | 55 |
| 14  | 40 | 10 | 10 | 10 | 55  | 0  | 0  |
| 15  | 40 | 10 | 10 | 10 | 55  | 0  | 0  |

Keterangan:

*Node 14* = *cross docking* sebagai lokasi awal perjalanan kendaraan

*Node 15* = *cross docking* sebagai lokasi akhir perjalanan kendaraan

*Customer node 1* = *order 1* dan *order 2*

*Customer node 2* = *order 3*, *order 4*, dan *order 5*

*Customer node 3* = *order 6*

*Customer node 4* = *order 7* dan *order 8*

*Customer node 5* = *order 9*

*Customer node 6* = *order 10*, *order 11*, dan *order 12*

*Customer node 7* = *order 13*

Tabel 5.37 Kapasitas *supply supplier* ( $G_{sp}$ )

| <i>Supplier</i> | 1   |     | 2   | 3   |     | 4   |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Produk          | A   | B   | D   | C   | F   | E   |
| $G_{sp}$        | 400 | 200 | 200 | 300 | 300 | 300 |

Tabel 5.38 Kategorisasi *order* ( $\mathcal{G}_{ip}$ )

| <i>Order</i> | <i>Customer Node</i> | Jenis Produk |
|--------------|----------------------|--------------|
| 1            | 1                    | C            |
| 2            | 1                    | D            |
| 3            | 2                    | E            |
| 4            | 2                    | B            |
| 5            | 2                    | A            |
| 6            | 3                    | C            |
| 7            | 4                    | E            |
| 8            | 4                    | D            |
| 9            | 5                    | F            |
| 10           | 6                    | A            |
| 11           | 6                    | F            |
| 12           | 6                    | B            |
| 13           | 7                    | A            |

Tabel 5.39 Nilai parameter aspek *order* (*the earliest time windows, the latest time windows, demand*)

| Order | $\alpha_i$ | $b_i$ | $H_i$ |
|-------|------------|-------|-------|
| 1     | 360        | 600   | 90    |
| 2     | 360        | 600   | 100   |
| 3     | 450        | 780   | 110   |
| 4     | 450        | 780   | 100   |
| 5     | 450        | 780   | 80    |
| 6     | 690        | 900   | 180   |
| 7     | 720        | 900   | 150   |
| 8     | 720        | 900   | 70    |
| 9     | 840        | 930   | 170   |
| 10    | 810        | 900   | 60    |
| 11    | 810        | 900   | 90    |
| 12    | 810        | 900   | 50    |
| 13    | 900        | 1250  | 200   |

Keterangan: diasumsikan titik nol berada pada pukul 4 pagi

Tabel 5.40 Nilai parameter aspek posisi

| Parameter            | Notasi  | Posisi |      |      |
|----------------------|---------|--------|------|------|
|                      |         | 1      | 2    | 3    |
| Perbedaan temperatur | $M_u$   | 0.01   | 0.63 | 2.49 |
| Kapasitas            | $CAP_u$ | 200    | 200  | 200  |

Setelah semua nilai parameter telah tersedia, maka selanjutnya akan dilakukan uji numerik dengan memasukkan nilai parameter tersebut ke dalam setiap tahapan dari algoritma penyelesaian yang dibangun dalam menyelesaikan model yang telah dikembangkan.

Pada uji numerik di dalam penelitian ini akan menggunakan bantuan *software LINGO 16.0* untuk memudahkan proses pengolahan data dalam menghasilkan solusi optimal. Uji numerik akan dilakukan terhadap tiga skenario berbeda. Pada skenario 1 akan dilakukan pengolahan data yang akan menghasilkan serangkaian keputusan berkaitan dengan distribusi produk sayur segar tanpa mempertimbangkan adanya pengaturan temperatur dan posisi peletakan *order* yang optimal di dalam kendaraan. Berbeda dengan skenario 1, pada skenario 2 proses distribusi akan mempertimbangkan temperatur optimal di dalam setiap kendaraan. Namun penentuan temperatur optimal dilakukan tanpa mempertimbangkan adanya ketidakseragaman temperatur pada setiap posisi di dalam kendaraan. Oleh karena itu, pada skenario ini juga tidak mempertimbangkan posisi peletakan yang optimal untuk setiap *order* di dalam kendaraan. Sama halnya dengan skenario 2, pada skenario 3 juga akan mempertimbangkan temperatur optimal di dalam kendaraan. Namun penentuan temperatur optimal tersebut turut melibatkan pertimbangan atas adanya ketidakseragaman temperatur pada setiap posisi di dalam kendaraan. Sehingga, pada skenario ini juga mempertimbangkan posisi peletakan yang optimal untuk setiap *order* di dalam kendaraan.

Ketiga skenario uji numerik di dalam penelitian ini akan diselesaikan dengan menggunakan algoritma penyelesaian yang telah dibangun. Algoritma penyelesaian yang telah dibangun terdiri atas tiga tahap penyelesaian yang akan diselesaikan secara berurutan. Hal tersebut dikarenakan hasil dari setiap tahapan merupakan *input* bagi tahap berikutnya. Uji numerik yang akan dilakukan pada skenario ini melibatkan nilai-nilai parameter yang telah ditetapkan di atas. Nilai-

nilai parameter tersebut merupakan data yang akan dimasukkan pada setiap tahapan penyelesaian model.

### **5.3.1 Uji Numerik Tahap I**

Tahap pertama dari algoritma penyelesaian yang dibangun dalam menyelesaikan permasalahan distribusi produk sayur segar di dalam penelitian bertujuan untuk menghasilkan serangkaian rute kendaraan yang berangkat dari pusat *cross docking* dalam memenuhi setiap *order* dan jadwal keberangkatan kendaraan berpendingin tersebut dari pusat *cross docking*. Berdasarkan keputusan mengenai rute setiap kendaraan yang terbentuk, maka secara simultan diperoleh keputusan berkaitan dengan konsolidasi *order* di dalam pusat *cross docking*.

### 5.3.1.1 Uji Numerik Tahap I untuk Skenario 1

Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari pengolahan data tahap pertama untuk skenario 1 oleh *LINGO 16.0*:

Tabel 5.41 Hasil uji numerik tahap I untuk skenario 1

| $(r)$ | $(i)$ | $A_{ri}$ | $SS_i$ | $\ell_{ri}$ | $D_{ri}$ | Waktu Menunggu di $(i)$ | $(u)$ |
|-------|-------|----------|--------|-------------|----------|-------------------------|-------|
| 1     | 14    |          | 0      | 0           | 706      | 0                       |       |
|       | 6     | 771      | 771    | 54          | 825      | 0                       | 3     |
|       | 9     | 840      | 840    | 51          | 891      | 0                       | 1     |
|       | 13    | 921      | 921    | 60          | 981      | 0                       | 2     |
|       | 15    | 1036     | 0      | 0           |          | 0                       |       |
| 3     | 14    |          | 0      | 0           | 508      | 0                       |       |
|       | 1     | 573      | 573    | 27          | 600      | 0                       | 1     |
|       | 2     | 600      | 600    | 30          | 630      | 0                       | 1     |
|       | 4     | 675      | 675    | 30          | 705      | 0                       | 3     |
|       | 3     | 705      | 705    | 33          | 738      | 0                       | 2     |
|       | 5     | 738      | 738    | 24          | 762      | 0                       | 2     |
|       | 12    | 777      | 810    | 15          | 825      | 33                      | 3     |
|       | 15    | 835      | 0      | 0           |          | 0                       |       |
| 4     | 14    |          | 0      | 0           | 709      | 0                       |       |
|       | 7     | 724      | 724    | 45          | 769      | 0                       | 2     |
|       | 8     | 769      | 769    | 21          | 790      | 0                       | 1     |
|       | 11    | 810      | 810    | 27          | 837      | 0                       | 3     |
|       | 10    | 837      | 837    | 18          | 855      | 0                       | 1     |
|       | 15    | 865      | 0      | 0           |          | 0                       |       |

Tabel 5.42 Total biaya pendistribusian *order* dari pusat *cross docking* ke seluruh lokasi *order* untuk skenario 1

| Komponen Biaya                  | Alokasi | Biaya (RP)       |
|---------------------------------|---------|------------------|
| Kendaraan (unit)                | 3       | 1,800,000        |
| Durasi waktu perjalanan (menit) | 345     | 227,700          |
| Durasi waktu menunggu (menit)   | 33      | 11,550           |
| <b>Total Biaya</b>              |         | <b>2,039,250</b> |

Berdasarkan serangkaian keputusan yang dihasilkan pada tahap pertama untuk skenario 1, maka diketahui bahwa total biaya yang dihasilkan adalah sebesar Rp. 2.039.250. Total biaya tersebut meliputi total biaya penggunaan 3 unit kendaraan, total biaya perjalanan dari seluruh rangkaian rute yang terbentuk dengan

*travel time* selama 345 menit, dan total biaya pinalti yang dikeluarkan akibat kendaraan 3 sampai di lokasi *order* 12 sebelum memasuki *the earliest time windows* dari *order* 12. Sehingga, menyebabkan kendaraan 3 harus menunggu selama 33 menit untuk dapat melakukan proses *unloading order* 12.

### 5.3.1.2 Uji Numerik Tahap I untuk Skenario 2

Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari pengolahan data tahap pertama untuk skenario 2 oleh *LINGO 16.0*:

Tabel 5.43 Hasil uji numerik tahap I untuk skenario 2

| $(r)$ | $(i)$ | $A_{ri}$ | $SS_i$ | $\ell_{ri}$ | $D_{ri}$ | Waktu Menunggu di $(i)$ | $(u)$ |
|-------|-------|----------|--------|-------------|----------|-------------------------|-------|
| 1     | 14    |          | 0      | 0           | 508      | 0                       |       |
|       | 1     | 573      | 573    | 27          | 600      | 0                       | 1     |
|       | 2     | 600      | 600    | 30          | 630      | 0                       | 2     |
|       | 4     | 675      | 675    | 30          | 705      | 0                       | 3     |
|       | 5     | 705      | 705    | 24          | 729      | 0                       | 3     |
|       | 3     | 729      | 729    | 33          | 762      | 0                       | 1     |
|       | 12    | 777      | 810    | 15          | 825      | 33                      | 2     |
|       | 15    | 835      | 0      | 0           |          | 0                       |       |
| 3     | 14    |          | 0      | 0           | 709      | 0                       |       |
|       | 7     | 724      | 724    | 45          | 769      | 0                       | 2     |
|       | 8     | 769      | 769    | 21          | 790      | 0                       | 1     |
|       | 10    | 810      | 810    | 18          | 828      | 0                       | 3     |
|       | 11    | 828      | 828    | 27          | 855      | 0                       | 1     |
|       | 15    | 865      | 0      | 0           |          | 0                       |       |
| 4     | 14    |          | 0      | 0           | 706      | 0                       |       |
|       | 6     | 771      | 771    | 54          | 825      | 0                       | 1     |
|       | 9     | 840      | 840    | 51          | 891      | 0                       | 2     |
|       | 13    | 921      | 921    | 60          | 981      | 0                       | 3     |
|       | 15    | 1036     | 0      | 0           |          | 0                       |       |

Tabel 5.44 Total biaya pendistribusian *order* dari pusat *cross docking* ke seluruh lokasi *order* untuk skenario 2

| Komponen Biaya                  | Alokasi | Biaya (RP)       |
|---------------------------------|---------|------------------|
| Kendaraan (unit)                | 3       | 2,400,000        |
| Durasi waktu perjalanan (menit) | 345     | 227,700          |
| Durasi waktu menunggu (menit)   | 33      | 11,550           |
| <b>Total Biaya</b>              |         | <b>2,639,250</b> |



Berdasarkan serangkaian keputusan yang dihasilkan pada tahap pertama untuk skenario 2, maka diketahui bahwa total biaya yang dihasilkan adalah sebesar Rp. 2.639.250. Total biaya tersebut meliputi total biaya penggunaan tiga unit kendaraan, total biaya perjalanan dari seluruh rangkaian rute yang terbentuk dengan *travel time* selama 345 menit, dan total biaya pinalti yang dikeluarkan akibat kendaraan 3 sampai di lokasi *order 12* sebelum memasuki *the earliest time windows* dari *order 12*. Sehingga, menyebabkan kendaraan 3 harus menunggu selama 33 menit untuk dapat melakukan proses *unloading order 12*.

Diketahui bahwa keputusan berkaitan dengan rute dan jadwal keberangkatan setiap kendaraan dari pusat *cross docking* yang dihasilkan pada tahap pertama skenario 2 sama dengan keputusan yang dihasilkan pada tahap pertama skenario 1. Namun terdapat perbedaan biaya sebesar Rp.600.000 yang disebabkan oleh penggunaan kendaraan berpendingin pada skenario 2. Yang dimana biaya sewa satu unit kendaraan berpendingin diasumsikan lebih mahal Rp.200.000 dibandingkan kendaraan tanpa pendingin.

### 5.3.1.3 Uji Numerik Tahap I untuk Skenario 3

Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari pengolahan data tahap pertama untuk skenario 3 oleh *LINGO 16.0*:

Tabel 5.45 Hasil uji numerik tahap I untuk skenario 3

| $(r)$ | $(i)$ | $A_{ri}$ | $SS_i$ | $\ell_{ri}$ | $D_{ri}$ | Waktu Menunggu di $(i)$ |
|-------|-------|----------|--------|-------------|----------|-------------------------|
| 1     | 14    |          | 0      | 0           | 508      | 0                       |
|       | 1     | 573      | 573    | 27          | 600      | 0                       |
|       | 2     | 600      | 600    | 30          | 630      | 0                       |
|       | 4     | 675      | 675    | 30          | 705      | 0                       |
|       | 5     | 705      | 705    | 24          | 729      | 0                       |
|       | 3     | 729      | 729    | 33          | 762      | 0                       |
|       | 12    | 777      | 810    | 15          | 825      | 33                      |
|       | 15    | 835      | 0      | 0           |          | 0                       |
| 3     | 14    |          | 0      | 0           | 709      | 0                       |
|       | 7     | 724      | 724    | 45          | 769      | 0                       |
|       | 8     | 769      | 769    | 21          | 790      | 0                       |
|       | 10    | 810      | 810    | 18          | 828      | 0                       |
|       | 11    | 828      | 828    | 27          | 855      | 0                       |
|       | 15    | 865      | 0      | 0           |          | 0                       |
| 4     | 14    |          | 0      | 0           | 706      | 0                       |
|       | 6     | 771      | 771    | 54          | 825      | 0                       |
|       | 9     | 840      | 840    | 51          | 891      | 0                       |
|       | 13    | 921      | 921    | 60          | 981      | 0                       |
|       | 15    | 1036     | 0      | 0           |          | 0                       |

Tabel 5.46 Total biaya pendistribusian *order* dari pusat *cross docking* ke seluruh lokasi *order* untuk skenario 3

| Komponen Biaya                  | Alokasi | Biaya (RP)       |
|---------------------------------|---------|------------------|
| Kendaraan (unit)                | 3       | 2,400,000        |
| Durasi waktu perjalanan (menit) | 345     | 227,700          |
| Durasi waktu menunggu (menit)   | 33      | 11,550           |
| <b>Total Biaya</b>              |         | <b>2,639,250</b> |

Keputusan hasil olah data tahap pertama yang dihasilkan pada skenario 3 sama dengan yang dihasilkan pada skenario 2. Hal tersebut dikarenakan tidak terdapat perbedaan antara parameter yang digunakan pada skenario 3 dan skenario 2. Perbedaan antara skenario 2 dan skenario 3 hanya terletak pada posisi *order* di

dalam setiap kendaraan berpendingin. Dimana pada skenario 3 akan mempertimbangkan posisi optimal setiap *order* di dalam kendaraan berpendingin. Oleh karena itu, keputusan berkaitan posisi *order* yang diperoleh pada tahap ini hanya sebagai batasan yang menjamin bahwa seluruh *order* yang akan dimuat di dalam kendaraan tidak melebihi kapasitas setiap posisi di dalam kendaraan.

Keputusan mengenai jadwal keberangkatan setiap *order* dari pusat *cross docking* yang diperoleh dari hasil pengolahan data tahap pertama pada setiap skenario merupakan *input* pada tahap kedua. Hal tersebut bertujuan agar terjadi sinkronisasi antara jadwal keberangkatan *order* dari pusat *cross docking* dengan jadwal keberangkatan *order* dari lokasi *supplier*. Sehingga, menjamin bahwa setiap *order* telah berada di pusat *cross docking* pada saat akan dimuat ke dalam kendaraan yang bertugas untuk membawa *order* tersebut menuju lokasi pemesanannya. Selain itu, sinkronisasi juga bertujuan untuk menghasilkan keputusan mengenai jadwal keberangkatan *order* dari lokasi *supplier* yang mampu meminimasi durasi waktu menunggu setiap *order* di dalam pusat *cross docking* akibat adanya aktivitas konsolidasi yang menyebabkan suatu *order* baru akan dimuat ke dalam kendaraan ketika semua *order* yang akan berada di dalam kendaraan yang sama telah menyelesaikan proses *unloading* dari kendaraan milik *supplier* di dalam pusat *cross docking*. Sedangkan keputusan berkaitan dengan rute kendaraan yang terbentuk dan karakteristik setiap *order* yang dimuat di dalam setiap kendaraan yang meninggalkan pusat *cross docking* merupakan *input* pada tahap ketiga bagian dua.

### **5.3.2 Uji Numerik Tahap II**

Tahap kedua dari algoritma penyelesaian yang dibangun bertujuan untuk menghasilkan keputusan mengenai jadwal keberangkatan setiap kendaraan yang membawa *order customer* dari lokasi *supplier*. Keputusan tersebut disinkronisasikan dengan jadwal keberangkatan setiap *order* dari pusat *cross docking*. Keputusan mengenai jadwal keberangkatan setiap kendaraan milik *supplier* akan berdampak pada durasi waktu menunggu dari setiap *order* di pusat *cross docking* akibat adanya aktivitas konsolidasi. Oleh karena itu, keputusan yang berkaitan dengan jadwal keberangkatan *order* dari lokasi *supplier* dilakukan dengan mempertimbangkan durasi waktu berlangsungnya seluruh aktivitas di

dalam pusat *cross docking* dan *jadwal* keberangkatan kendaraan yang akan membawa *order* tersebut dari pusat *cross docking*.

### 5.3.2.1 Uji Numerik Tahap II untuk Skenario 1

Berikut adalah keputusan yang dihasilkan dari uji numerik tahap kedua untuk skenario 1 dengan menggunakan *LINGO 16.0*:

Tabel 5.47 Keputusan alokasi *supply order* dan *jadwal* keberangkatan kendaraan milik *supplier* untuk skenario 1

| (s) | (i) | (v) | $d_v$ | $a_v$ | $UL_v$ |
|-----|-----|-----|-------|-------|--------|
| 1   | 4   | 2   | 250   | 280   | 69     |
|     | 5   |     |       |       |        |
|     | 12  |     |       |       |        |
|     | 10  | 4   | 433   | 463   | 78     |
|     | 13  |     |       |       |        |
| 2   | 2   | 8   | 253   | 298   | 51     |
|     | 8   |     |       |       |        |
| 3   | 6   | 3   | 349   | 409   | 132    |
|     | 9   |     |       |       |        |
|     | 11  |     |       |       |        |
|     | 1   | 6   | 262   | 322   | 27     |
| 4   | 3   | 5   | 196   | 271   | 78     |
|     | 7   |     |       |       |        |

Berdasarkan hasil olah data pada tahap kedua maka diperoleh keputusan berupa alokasi *supply* dari setiap *order* dan *jadwal* keberangkatan dari setiap kendaraan milik *supplier* yang bertugas untuk mengantarkan *order* dari lokasi *supplier* menuju pusat *cross docking*. Pada tabel 5.47 diketahui bahwa terdapat enam unit kendaraan yang berangkat dari lokasi *supplier* menuju pusat *cross docking* dengan *jadwal* keberangkatan yang berbeda-beda. Keputusan mengenai *jadwal* keberangkatan kendaraan dari lokasi *supplier* dilakukan dengan mempertimbangkan *jadwal* keberangkatan setiap *order* dari pusat *cross docking* dan durasi waktu keseluruhan aktivitas yang akan dilalui *order* di dalam pusat *cross docking*. Adanya sinkronisasi keberangkatan *order* dari lokasi *supplier* dengan keberangkatan *order* dari pusat *cross docking* bertujuan untuk meminimasi durasi waktu menunggu *order* di dalam pusat *cross docking* dan menjamin bahwa setiap

*order* telah siap untuk melakukan proses *loading* ke dalam kendaraan yang akan membawa *order* tersebut menuju lokasi *order customer*.

Setelah kendaraan sampai di pusat *cross docking*, setiap kendaraan akan melalui proses *unloading* untuk setiap *order* yang dimuat di dalam kendaraan tersebut. Ketika proses *unloading* selesai, maka setiap *order* akan langsung dimuat ke dalam kendaraan berikutnya apabila seluruh *order* pada kendaraan yang sama telah selesai melalui proses *unloading* dari kendaraan milik *supplier*. Namun jika tidak, *order* harus menunggu hingga seluruh *order* pada kendaraan yang sama telah siap melalui proses *loading* ke dalam kendaraan. Berikut ini adalah durasi waktu dari setiap aktivitas yang akan dilalui oleh setiap *order* di dalam pusat *cross docking*:

Tabel 5.48 Durasi waktu setiap aktivitas *order* pada pusat *cross docking* untuk skenario 1

| (v) | (i) | $UL_v$ | $SW_i$ | $WT_i$ | (r) | (i) | $SL_r$ | $L_r$ | $D_{r0}$ |
|-----|-----|--------|--------|--------|-----|-----|--------|-------|----------|
| 2   | 4   | 69     | 349    | 0      | 1   | 6   | 541    | 165   | 706      |
|     | 5   |        | 349    | 0      |     | 9   |        |       |          |
|     | 12  |        | 349    | 0      |     | 13  |        |       |          |
| 4   | 10  | 78     | 541    | 57     | 3   | 1   | 349    | 159   | 508      |
|     | 13  |        | 541    | 0      |     | 2   |        |       |          |
| 8   | 2   | 51     | 349    | 0      |     | 4   |        |       |          |
|     | 8   |        | 349    | 249    |     | 3   |        |       |          |
| 3   | 6   | 132    | 541    | 0      |     | 5   |        |       |          |
|     | 9   |        | 541    | 0      |     | 12  |        |       |          |
|     | 11  |        | 541    | 57     | 7   |     |        |       |          |
| 6   | 1   | 27     | 349    | 0      | 4   | 8   | 598    | 111   | 709      |
| 5   | 3   | 78     | 349    | 0      |     | 11  |        |       |          |
|     | 7   |        | 349    | 249    |     | 10  |        |       |          |

Berdasarkan tabel 5.48 dapat dilihat bahwa setelah kendaraan milik *supplier* sampai di pusat *cross docking*, setiap *order* yang dibawa oleh kendaraan tersebut akan melalui beberapa aktivitas hingga *order* tersebut meninggalkan pusat *cross docking*. Durasi waktu yang dihabiskan oleh setiap *order* di dalam pusat *cross docking* akan berpengaruh pada besarnya penurunan kualitas yang akan dialami *order* tersebut. Selanjutnya tabel 5.47 akan menunjukkan besar penurunan kualitas produk yang dialami oleh setiap *order*. Besar penurunan kualitas diperoleh dari

perbandingan antara durasi waktu yang dihabiskan setiap *order* di dalam pusat *cross docking* terhadap *shelf life* dari *order* tersebut.

Tabel 5.49 Besar penurunan kualitas produk tiap *order* akibat durasi waktu seluruh aktivitas di dalam pusat *cross docking* untuk skenario 1

| (i) | $QCD_i$     |
|-----|-------------|
| 1   | 0.018452380 |
| 2   | 0.005208333 |
| 3   | 0.002743056 |
| 4   | 0.011309520 |
| 5   | 0.005277778 |
| 6   | 0.029464290 |
| 7   | 0.005069444 |
| 8   | 0.010193450 |
| 9   | 0.006875000 |
| 10  | 0.005694444 |
| 11  | 0.006944444 |
| 12  | 0.011309520 |
| 13  | 0.005625000 |

Berdasarkan setiap keputusan yang dihasilkan pada tahap ini, maka akan diperoleh total biaya sebagai berikut:

Tabel 5.50 Total biaya proses pendistribusian *order* dari *supplier* ke pusat *cross docking* dan penurunan kualitas produk tiap *order* selama berada di pusat *cross docking*

| Komponen Biaya                              | Alokasi | Biaya (Rp)       |
|---|---------|------------------|
| Kendaraan (unit)                            | 6       | 3,600,000        |
| Durasi waktu perjalanan (menit)             | 300     | 198,000          |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap <i>Order</i> |         | 2,110,157        |
| <b>Total Biaya</b>                          |         | <b>5,908,157</b> |

### 5.3.2.2 Uji Numerik Tahap II untuk Skenario 2

Berikut adalah keputusan yang dihasilkan dari uji numerik tahap kedua untuk skenario 2 dengan menggunakan *LINGO 16.0*:

Tabel 5.51 Keputusan alokasi *supply order* dan jadwal keberangkatan kendaraan milik *supplier* untuk skenario 2

| (s) | (i) | (v) | $d_v$ | $a_v$ | $UL_v$ | (u) |
|-----|-----|-----|-------|-------|--------|-----|
| 1   | 4   | 8   | 172   | 202   | 147    | 2   |
|     | 5   |     |       |       |        | 2   |
|     | 10  |     |       |       |        | 3   |
|     | 12  |     |       |       |        | 3   |
|     | 13  |     |       |       |        | 1   |
| 2   | 2   | 5   | 253   | 298   | 51     | 2   |
|     | 8   |     |       |       |        | 2   |
| 3   | 1   | 9   | 130   | 190   | 159    | 3   |
|     | 6   |     |       |       |        | 2   |
|     | 9   |     |       |       |        | 1   |
|     | 11  |     |       |       |        | 3   |
| 4   | 3   | 7   | 196   | 271   | 78     | 1   |
|     | 7   |     |       |       |        | 3   |

Berdasarkan hasil olah data pada tahap kedua maka diperoleh keputusan berupa alokasi *supply* dari setiap *order* dan jadwal keberangkatan dari setiap kendaraan milik *supplier* yang bertugas untuk mengantarkan *order* dari lokasi *supplier* menuju pusat *cross docking*. Pada tabel 5.51 diketahui bahwa terdapat empat unit kendaraan yang berangkat dari lokasi *supplier* menuju pusat *cross docking*. Pada tahap ini juga diperoleh keputusan berupa posisi peletakan *order*. Namun keputusan tersebut diputuskan dengan hanya mempertimbangkan kapasitas setiap posisi di dalam kendaraan berpendingin tanpa mempertimbangkan posisi optimal dari setiap *order* yang mampu meminimasi total biaya distribusi akibat penurunan kualitas produk tiap terhadap temperatur.

Kemudian setelah *order* sampai di pusat *cross docking*, maka *order-order* tersebut akan melalui beberapa aktivitas hingga *order* akhirnya meninggalkan pusat *cross docking*. Berikut ini adalah durasi waktu dari setiap aktivitas yang akan dilalui oleh setiap *order* di dalam pusat *cross docking*:

Tabel 5.52 Durasi waktu setiap aktivitas *order* pada pusat *cross docking* untuk skenario 2

| (v) | (i) | $UL_v$ | $SW_i$ | $WT_i$ | (r) | (i) | $SL_r$ | $L_r$ | $D_{r0}$ |
|-----|-----|--------|--------|--------|-----|-----|--------|-------|----------|
| 8   | 4   | 147    | 349    | 0      | 1   | 1   | 349    | 159   | 508      |
|     | 5   |        | 349    | 0      |     | 2   |        |       |          |
|     | 10  |        | 349    | 249    |     | 4   |        |       |          |
|     | 12  |        | 349    | 0      |     | 3   |        |       |          |
|     | 13  |        | 349    | 192    |     | 5   |        |       |          |
| 5   | 2   | 51     | 349    | 0      |     | 12  |        |       |          |
|     | 8   |        | 349    | 249    |     | 7   |        |       |          |
| 9   | 1   | 159    | 349    | 0      | 3   | 8   | 598    | 111   | 709      |
|     | 6   |        | 541    | 192    |     | 11  |        |       |          |
|     | 9   |        | 349    | 192    |     | 10  |        |       |          |
|     | 11  |        | 349    | 249    | 6   |     |        |       |          |
| 7   | 3   | 78     | 349    | 0      | 4   | 9   | 541    | 165   | 706      |
|     | 7   |        | 349    | 249    |     | 13  |        |       |          |

Berdasarkan tabel 5.52, terdapat tujuh *order* yang harus menunggu di dalam pusat *cross docking* sebelum akhirnya dimuat ke dalam kendaraan berpendingin yang bertugas untuk mengantarkan *order-order* tersebut ke lokasi pemesanannya. Oleh karena itu, setiap *order* akan mengalami penurunan kualitas sesuai dengan durasi waktu berada di dalam pusat *cross docking*. Tabel di bawah ini akan menunjukkan besar penurunan kualitas produk yang dialami oleh setiap *order* selama berada di dalam pusat *cross docking*.



Tabel 5.53 Besar penurunan kualitas produk tiap *order* akibat durasi waktu seluruh aktivitas di dalam pusat *cross docking* untuk strategi *distance-dependent*

| (i) | $QCD_i$     |
|-----|-------------|
| 1   | 0.031547620 |
| 2   | 0.005208333 |
| 3   | 0.002743056 |
| 4   | 0.015178570 |
| 5   | 0.007083333 |
| 6   | 0.051190480 |
| 7   | 0.005069444 |
| 8   | 0.010193450 |
| 9   | 0.011944440 |
| 10  | 0.011736110 |
| 11  | 0.012013890 |
| 12  | 0.015178570 |
| 13  | 0.011666670 |

Berdasarkan setiap keputusan yang dihasilkan pada tahap ini, maka akan diperoleh total biaya sebagai berikut:

Tabel 5.54 Total biaya proses pendistribusian *order* dari *supplier* ke pusat *cross docking* dan penurunan kualitas produk tiap *order* selama berada di pusat *cross docking*

| Komponen Biaya                              | Alokasi | Biaya (Rp)       |
|---|---------|------------------|
| Kendaraan (unit)                            | 4       | 3,200,000        |
| Durasi waktu perjalanan (menit)             | 210     | 138,600          |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap <i>Order</i> |         | 3,474,708        |
| <b>Total Biaya</b>                          |         | <b>6,813,308</b> |

Berbeda dengan jumlah unit kendaraan yang digunakan pada skenario 1 dimana pada skenario 1 jumlah kendaraan yang optimal adalah sebanyak enam unit. Hal tersebut menunjukkan bahwa ketika terjadi peningkatan terhadap biaya sewa kendaraan, maka akan berpengaruh pada keputusan yang akan diambil. Berikut ini akan ditunjukkan perbedaan biaya apabila pada skenario ini mengalokasikan jumlah kendaraan yang sama dengan skenario 1. Hal yang sama juga dilakukan untuk melihat pengaruh apabila pada skenario 1 dialokasikan jumlah kendaraan yang sama dengan skenario ini.

Tabel 5.55 Perbedaan biaya akibat jumlah alokasi kendaraan pada skenario 2

| Komponen Biaya                              | 4 unit, 210 menit | 6 unit, 300 menit   |
|---|-------------------|---------------------|
| Kendaraan (unit)                            | 3,200,000         | 4,800,000.00        |
| Durasi waktu perjalanan (menit)             | 138,600           | 198,000.00          |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap <i>Order</i> | 3,474,708         | 2,110,157.39        |
| <b>Total Biaya (Rp)</b>                     | <b>6,813,308</b>  | <b>7,108,157.39</b> |

Keputusan yang dihasilkan oleh *LINGO 16.0* berkaitan dengan alokasi empat unit kendaraan merupakan keputusan yang optimal karena mampu menghasilkan total biaya yang paling minimum. Berdasarkan tabel 5.55, diketahui bahwa dengan mengalokasikan jumlah kendaraan yang sama dengan skenario 1 yaitu sebanyak enam unit kendaraan akan berdampak pada besarnya peningkatan biaya sewa kendaraan. Meskipun dengan meningkatnya jumlah kendaraan yang digunakan akan berdampak pada besarnya penurunan total durasi waktu menunggu yang dialami oleh *order* dimana secara signifikan akan mempengaruhi turunnya biaya akibat penurunan kualitas produk tiap *order*, akan tetapi besarnya penurunan biaya tersebut tidak sebanding dengan besarnya peningkatan biaya yang terjadi. Oleh karena itu, meskipun dengan mengalokasikan empat unit kendaraan akan berdampak pada besarnya biaya yang timbul akibat penuruna kualitas namun hal tersebut masih dapat diimbangi dengan rendahnya biaya sewa untuk empat unit kendaraan yang mampu memenuhi setiap batasan yang dibangun di dalam model.

Sama halnya dengan skenario 2, pada skenario 1 juga menunjukkan bahwa keputusan yang dihasilkan oleh *LINGO 16.0* merupakan keputusan yang optimal. Berikut ini adalah perbandingan biaya alokasi kendaraan pada skenario 1:

Tabel 5.56 Perbedaan biaya akibat jumlah alokasi kendaraan pada skenario 1

| Komponen Biaya                              | 4 unit, 210 menit | 6 unit, 300 menit |
|---|-------------------|-------------------|
| Kendaraan (unit)                            | 2,400,000         | 3,600,000         |
| Durasi waktu perjalanan (menit)             | 138,600           | 198,000           |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap <i>Order</i> | 3,474,708         | 2,110,157         |
| <b>Total Biaya (Rp)</b>                     | <b>6,013,308</b>  | <b>5,908,157</b>  |

Berbeda dengan skenario 2, pada skenario 1 jumlah kendaraan yang dialokasikan adalah sebanyak enam unit. Biaya sewa kendaraan pada skenario 1 yang lebih rendah dibandingkan dengan skenario 2 menyebabkan keputusan alokasi

kendaraan yang lebih banyak akan berdampak pada terjadinya penurunan secara signifikan pada biaya yang ditimbulkan akibat penurunan kualitas produk tiap *order*. Hal tersebut disebabkan karena dengan mengalokasikan kendaraan sebanyak enam unit mampu menyebabkan turunnya total durasi waktu menunggu yang dialami oleh *order*. Sehingga, terjadi penurunan biaya yang secara signifikan lebih besar dibandingkan dengan kenaikan biaya akibat jumlah alokasi kendaraan sebanyak enam unit.

### 5.3.2.3 Uji Numerik Tahap II untuk Skenario 3

Berikut adalah keputusan yang dihasilkan dari uji numerik tahap kedua untuk skenario 3 dengan menggunakan *LINGO 16.0*:

Tabel 5.57 Keputusan alokasi *supply order* dan jadwal keberangkatan kendaraan milik *supplier* untuk skenario 3

| (s) | (i) | (v) | $d_v$ | $a_v$ | $UL_v$ |
|-----|-----|-----|-------|-------|--------|
| 1   | 4   | 8   | 172   | 202   | 147    |
|     | 5   |     |       |       |        |
|     | 10  |     |       |       |        |
|     | 12  |     |       |       |        |
|     | 13  |     |       |       |        |
| 2   | 2   | 5   | 253   | 298   | 51     |
|     | 8   |     |       |       |        |
| 3   | 1   | 9   | 130   | 190   | 159    |
|     | 6   |     |       |       |        |
|     | 9   |     |       |       |        |
|     | 11  |     |       |       |        |
| 4   | 3   | 7   | 196   | 271   | 78     |
|     | 7   |     |       |       |        |

Seperti yang terlihat pada tabel 5.57 di atas, terdapat kesamaan antara hasil pengolahan data tahap 2 untuk skenario 2 dan skenario 3. Hal tersebut dikarenakan tidak terdapat perbedaan baik dari segi *input* parameter maupun model yang dibangun untuk menyelesaikan tahap 2 dari kedua skenario tersebut. Perbedaan hanya terletak pada posisi *order*. Dimana pada skenario 3, posisi *order* yang dihasilkan hanya sebagai batasan untuk menjamin bahwa semua *order* yang akan dimuat di dalam kendaraan tidak melebihi kapasitas setiap posisi di dalam kendaraan. Oleh karena itu, posisi optimal dari setiap *order* di dalam kendaraan

berpendingin yang berangkat dari lokasi *supplier* akan diperoleh pada tahap ketiga pengolahan data untuk skenario 3. Sama seperti skenario 1 dan skenario 2, seluruh *order* yang sampai di pusat *cross docking* akan melalui beberapa tahapan sebelum akhirnya meninggalkan pusat *cross docking*.

Tabel 5.58 Durasi waktu setiap aktivitas *order* pada pusat *cross docking* untuk skenario 3

| (v) | (i) | $UL_v$ | $SW_i$ | $WT_i$ | (r) | (i) | $SL_r$ | $L_r$ | $D_{r0}$ |
|-----|-----|--------|--------|--------|-----|-----|--------|-------|----------|
| 8   | 4   | 147    | 349    | 0      | 1   | 1   | 349    | 159   | 508      |
|     | 5   |        | 349    | 0      |     | 2   |        |       |          |
|     | 10  |        | 349    | 249    |     | 4   |        |       |          |
|     | 12  |        | 349    | 0      |     | 3   |        |       |          |
|     | 13  |        | 349    | 192    |     | 5   |        |       |          |
| 5   | 2   | 51     | 349    | 0      | 3   | 12  | 598    | 111   | 709      |
|     | 8   |        | 349    | 249    |     | 7   |        |       |          |
| 9   | 1   | 159    | 349    | 0      | 4   | 8   | 541    | 165   | 706      |
|     | 6   |        | 541    | 192    |     | 11  |        |       |          |
|     | 9   |        | 349    | 192    |     | 10  |        |       |          |
|     | 11  |        | 349    | 249    |     | 6   |        |       |          |
| 7   | 3   | 78     | 349    | 0      | 4   | 9   | 541    | 165   | 706      |
|     | 7   |        | 349    | 249    |     | 13  |        |       |          |

Berdasarkan tabel 5.58, maka diketahui bahwa beberapa *order* akan mengalami penurunan kualitas yang lebih besar dari yang seharusnya terjadi. Hal tersebut dikarenakan *order* tersebut tidak langsung dimuat ke dalam kendaraan berikutnya. Akan tetapi, *order-order* tersebut harus menunggu hingga semua *order* yang akan dimuat ke dalam kendaraan yang sama telah menyelesaikan proses *unloading* di pusat *cross docking*. Semakin lama durasi waktu menunggu yang dialami oleh suatu *order* akan berdampak pada semakin besarnya penurunan kualitas yang akan terjadi. Tabel di bawah ini akan menunjukkan besar penurunan kualitas yang dialami oleh setiap *order* selama berada di dalam pusat *cross docking*.

Tabel 5.59 Besar penurunan kualitas produk tiap *order* akibat durasi waktu seluruh aktivitas di dalam pusat *cross docking* untuk strategi *distance-dependent*

| (i) | $QCD_i$     |
|-----|-------------|
| 1   | 0.031547620 |
| 2   | 0.005208333 |
| 3   | 0.002743056 |
| 4   | 0.015178570 |
| 5   | 0.007083333 |
| 6   | 0.051190480 |
| 7   | 0.005069444 |
| 8   | 0.010193450 |
| 9   | 0.011944440 |
| 10  | 0.011736110 |
| 11  | 0.012013890 |
| 12  | 0.015178570 |
| 13  | 0.011666670 |

Berdasarkan setiap keputusan yang dihasilkan pada tahap ini, maka akan diperoleh total biaya sebagai berikut:

Tabel 5.60 Total biaya proses pendistribusian *order* dari *supplier* ke pusat *cross docking* dan penurunan kualitas produk tiap *order* selama berada di pusat *cross docking*

| Komponen Biaya                              | Alokasi | Biaya (Rp)       |
|---|---------|------------------|
| Kendaraan (unit)                            | 4       | 3,200,000        |
| Durasi waktu perjalanan (menit)             | 210     | 138,600          |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap <i>Order</i> |         | 3,474,708        |
| <b>Total Biaya</b>                          |         | <b>6,813,308</b> |

Berdasarkan tabel 5.60, diketahui bahwa total biaya yang dihasilkan pada tahap kedua untuk skenario 3 sama dengan total biaya tahap kedua untuk skenario 2. Hal tersebut dikarenakan setiap keputusan yang dihasilkan pada tahap kedua, baik untuk skenario 2 maupun skenario 3, adalah sama.

### 5.3.3 Uji Numerik Tahap III

Tahap ketiga dari algoritma penyelesaian yang dibangun di dalam penelitian ini bertujuan untuk menentukan temperatur dan posisi peletakan *order* yang optimal di dalam kendaraan berpendingin. Tahap ini akan dibagi menjadi dua bagian. Tahap tiga bagian pertama dilakukan untuk menentukan pengaturan temperatur dan posisi peletakan *order* yang optimal di dalam kendaraan yang berangkat dari lokasi *supplier*. Sedangkan pada bagian kedua dilakukan untuk menentukan posisi peletakan *order* yang optimal di dalam kendaraan yang berangkat dari pusat *cross docking*. Selain itu, secara simultan juga menghasilkan keputusan berkaitan dengan pengaturan temperatur pada setiap perjalanan kendaraan. Pengaturan temperatur dan posisi *order* yang optimal di dalam kendaraan bertujuan untuk meminimasi total biaya yang ditimbulkan akibat besar penurunan kualitas produk yang dialami oleh setiap *order* dan besar konsumsi energi kendaraan berpendingin.

#### 5.3.3.1 Uji Numerik Tahap III untuk Skenario 1

Tahap ketiga di dalam skenario 1 memiliki perbedaan dengan kedua skenario lainnya. Pada skenario ini, tahap ketiga dilakukan untuk mengetahui berapa besar biaya yang dikeluarkan akibat penurunan kualitas produk yang terjadi selama perjalanan *order* baik dari lokasi *supplier* maupun dari pusat *cross docking*. Pada skenario ini, temperatur di dalam kendaraan merupakan standar temperatur ruangan yaitu berada pada 25°C. Hal tersebut dikarenakan pada skenario ini tidak mempertimbangkan penggunaan kendaraan berpendingin yang membutuhkan pengaturan temperatur dan menyebabkan konsumsi energi akibat proses pendinginan. Penyebaran temperatur di dalam kendaraan tanpa pendingin juga diasumsikan seragam. Sehingga, pada tahap 3 skenario 1 tidak mempertimbangkan dimana posisi optimal suatu *order* harus diletakkan.

Berikut ini adalah besar penurunan kualitas produk yang dialami oleh setiap *order* baik terhadap waktu maupun terhadap temperatur selama perjalanan *order* dari lokasi *supplier* hingga sampai ke pusat *cross docking*:

Tabel 5.61 Besar penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari lokasi *supplier* hingga sampai ke pusat *cross docking* untuk skenario 1

| (s) | (i) | (v) | $Q1$     | $Q2$     | $QS_i$   | $DT_v$ |
|-----|-----|-----|----------|----------|----------|--------|
| 1   | 4   | 2   | 0.001488 | 0.007863 | 0.009351 | 25     |
|     | 5   |     | 0.000694 | 0.007863 | 0.008558 |        |
|     | 12  |     | 0.001488 | 0.007863 | 0.009351 |        |
|     | 10  | 4   | 0.000694 | 0.007863 | 0.008558 | 25     |
|     | 13  |     | 0.000694 | 0.007863 | 0.008558 |        |
| 2   | 2   | 8   | 0.001116 | 0.011795 | 0.012911 | 25     |
|     | 8   |     | 0.001116 | 0.011795 | 0.012911 |        |
| 3   | 6   | 3   | 0.005952 | 0.015727 | 0.021679 | 25     |
|     | 9   |     | 0.001389 | 0.015727 | 0.017115 |        |
|     | 11  |     | 0.001389 | 0.015727 | 0.017115 |        |
|     | 1   | 6   | 0.005952 | 0.015727 | 0.021679 | 25     |
| 4   | 3   | 5   | 0.000868 | 0.019658 | 0.020526 | 25     |
|     | 7   |     | 0.000868 | 0.019658 | 0.020526 |        |

Berdasarkan tabel 5.61, diketahui bahwa setiap *order* mengalami penurunan kualitas baik terhadap waktu maupun terhadap perbedaan temperatur antara temperatur lingkungan dengan standar temperatur *order*. Penurunan kualitas terhadap waktu dipengaruhi oleh durasi waktu perjalanan yang ditempuh oleh *order* dari lokasi *supplier* hingga sampai ke pusat *cross docking*. Sedangkan penurunan kualitas akibat perbedaan temperatur terjadi karena *order* berada di dalam lingkungan dengan temperatur 25°C, yang dimana temperatur tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan standar temperatur setiap *order*. Berikut ini adalah besar biaya yang ditimbulkan akibat besar penurunan kualitas yang dialami oleh setiap *order* selama perjalanan dari lokasi *supplier* hingga sampai ke pusat *cross docking*:

Tabel 5.62 Total biaya akibat besar penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari lokasi *supplier* hingga sampai ke pusat *cross docking* untuk skenario 1

| Komponen Biaya                              | Biaya (Rp)       |
|---|------------------|
| Konsumsi Energi                             | -                |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap <i>Order</i> | 3,724,705        |
| <b>Total Biaya</b>                          | <b>3,724,705</b> |

Pada tahap tiga bagian kedua akan dilakukan pengolahan data oleh *LINGO 16.0* untuk mengetahui besar penurunan kualitas produk yang terjadi selama perjalanan *order* dari pusat *cross docking* hingga sampai ke lokasi *order*. Berikut adalah hasil pengolahan data oleh *LINGO 16.0* untuk tahap ketiga bagian kedua:

Tabel 5.63 Besar penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari pusat *cross docking* hingga sampai ke lokasi *order* untuk skenario 1

| (i)   | $Q_{travel_i}$ | Total $Q2_i$ | $Q_{cdtocust_i}$ | Biaya Penurunan Kualitas (i) (Rp) |
|---|----------------|--------------|------------------|-----------------------------------|
| 1   | 0.009126984    | 0.024113980  | 0.0332409640     | 224,376.50                        |
| 2   | 0.003025794    | 0.031977230  | 0.0350030240     | 472,540.80                        |
| 3   | 0.002662037    | 0.060284950  | 0.0629469870     | 882,831.85                        |
| 4   | 0.009771825    | 0.051635370  | 0.0614071950     | 644,775.44                        |
| 5   | 0.005879630    | 0.066575550  | 0.0724551800     | 1,912,816.50                      |
| 6   | 0.011805560    | 0.031190910  | 0.0429964700     | 580,452.10                        |
| 7   | 0.000694444    | 0.015726510  | 0.0164209544     | 314,050.58                        |
| 8   | 0.002008929    | 0.021230780  | 0.0232397090     | 219,615.28                        |
| 9   | 0.004282407    | 0.048490060  | 0.0527724670     | 2,422,256.80                      |
| 10  | 0.003379630    | 0.038267830  | 0.0416474600     | 824,619.60                        |
| 11  | 0.002962963    | 0.033549880  | 0.0365128430     | 887,261.90                        |
| 12  | 0.015724210    | 0.015724210  | 0.0314484200     | 518,766.02                        |
| 13  | 0.006365741    | 0.072079830  | 0.0784455710     | 5,177,406.90                      |
| <b>Total Biaya Penurunan Kualitas Produk Tiap Order</b> |                |              |                  | <b>15,081,770.27</b>              |

Tabel 5.64 Total biaya penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari pusat *cross docking* hingga sampai ke lokasi *order* untuk skenario 1

| Komponen Biaya                       | Biaya (Rp)           |
|--------------------------------------|----------------------|
| Konsumsi Energi                      | -                    |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap Order | 15,081,770.27        |
| <b>Total Biaya</b>                   | <b>15,081,770.27</b> |

Besar penurunan kualitas produk yang dialami oleh setiap *order* selama perjalanan dari pusat *cross docking* hingga sampai ke lokasi *order* bergantung pada durasi waktu yang ditempuh oleh setiap *order* dimulai dari waktu keberangkatan dari pusat *cross docking* hingga waktu keberangkatan kendaraan meninggalkan lokasi *order* tersebut. Laju penurunan kualitas yang dialami oleh setiap *order* menjadi semakin cepat dikarenakan pada skenario ini tidak menggunakan kendaraan berpendingin yang berfungsi untuk menghambat laju penurunan kualitas. Oleh karena itu, biaya yang ditimbulkan akibat perjalanan *order* dari pusat *cross docking* hingga sampai ke lokasi *order* menjadi sangat besar karena besarnya penurunan kualitas yang terjadi. Total biaya penurunan kualitas produk yang



ditimbulkan akibat perjalanan seluruh *order* dari pusat *cross docking* adalah sebesar Rp. 15.081.770,27. Berikut ini akan diuraikan besar penurunan kualitas yang dialami oleh setiap *order* dimulai dari lokasi *supplier* hingga sampai ke lokasi *order*:

Tabel 5.65 Besar penurunan kualitas *order* selama proses distribusi dari lokasi *supplier* hingga sampai ke lokasi *order* untuk skenario 1

| (i)   | $Initial Q_{1i}$ | $Initial Q_{2i}$ | $QCD_i$   | $Qcdtocust_i$ | Total $Q_i$ | Biaya Penurunan Kualitas (i) (Rp) |
|---|------------------|------------------|-----------|---------------|-------------|-----------------------------------|
| 1   | 0.0059524        | 0.0157265        | 0.0184524 | 0.0332410     | 0.0733722   | 495,262.6                         |
| 2   | 0.0011161        | 0.0117948        | 0.0052083 | 0.0350030     | 0.0531223   | 717,151.2                         |
| 3   | 0.0008681        | 0.0196581        | 0.0027431 | 0.0629470     | 0.0862162   | 1,209,183.0                       |
| 4   | 0.0014881        | 0.0078633        | 0.0113095 | 0.0614072     | 0.0820681   | 861,714.6                         |
| 5   | 0.0006944        | 0.0078633        | 0.0052778 | 0.0724552     | 0.0862907   | 2,278,073.0                       |
| 6   | 0.0059524        | 0.0157265        | 0.0294643 | 0.0429965     | 0.0941397   | 1,270,885.0                       |
| 7   | 0.0008681        | 0.0196581        | 0.0050694 | 0.0164210     | 0.0420166   | 803,567.1                         |
| 8   | 0.0011161        | 0.0117949        | 0.0101935 | 0.0232397     | 0.0463441   | 437,951.9                         |
| 9   | 0.0013889        | 0.0157265        | 0.0068750 | 0.0527725     | 0.0767629   | 3,523,416.0                       |
| 10  | 0.0006944        | 0.0078633        | 0.0056944 | 0.0416475     | 0.0558996   | 1,106,812.0                       |
| 11  | 0.0013889        | 0.0157266        | 0.0069444 | 0.0365128     | 0.0605727   | 1,471,916.0                       |
| 12  | 0.0014881        | 0.0078633        | 0.0113095 | 0.0314484     | 0.0521093   | 627,235.6                         |
| 13  | 0.000694444      | 0.0078633        | 0.0056250 | 0.0784456     | 0.0926283   | 6,113,465.0                       |
| <b>Total Biaya Penurunan Kualitas Produk Tiap Order</b> |                  |                  |           |               |             | <b>20,916,633.0</b>               |

Tabel 5.66 Total biaya penurunan kualitas *order* selama perjalanan dari lokasi *supplier* hingga sampai ke lokasi *order* untuk skenario 1

| Komponen Biaya                       | Biaya (Rp)        |
|--------------------------------------|-------------------|
| Konsumsi Energi                      | -                 |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap Order | 20,916,633        |
| <b>Total Biaya</b>                   | <b>20,916,633</b> |

Semakin lama durasi waktu perjalanan yang ditempuh oleh suatu *order*, maka akan berdampak pada semakin besarnya penurunan kualitas yang terjadi. Selain itu, laju penurunan kualitas yang dialami oleh setiap *order* menjadi semakin cepat akibat *order* berada pada temperatur yang berada jauh di atas standar temperatur setiap *order*. Hal tersebut dikarenakan tidak adanya proses pendinginan yang bertujuan untuk menghambat laju penurunan kualitas *order*. Sehingga,

menyebabkan besarnya biaya yang harus dikeluarkan akibat penurunan kualitas produk yang dialami oleh setiap *order*. Total biaya penurunan kualitas produk tiap *order* selama proses distribusi dari lokasi *supplier* hingga sampai ke lokasi *order* adalah sebesar Rp. 20.916.633.

### 5.3.3.2 Uji Numerik Tahap III untuk Skenario 2

Berikut adalah hasil pengolahan data oleh *LINGO 16.0* untuk tahap ketiga bagian pertama:

Tabel 5.67 Pengaturan temperatur dan posisi *order* di dalam kendaraan berpendingin milik *supplier* untuk skenario 2

| (s) | (i) | (v) | $W_{ivu}$ | $QS_i$      |          | $DT_v$ | $KE_v$   |
|-----|-----|-----|-----------|-------------|----------|--------|----------|
|     |     |     |           | $Q1$        | $Q2$     |        |          |
| 1   | 4   | 8   | 2         | 0.001488095 | 0        | 5      | 24741.94 |
|     | 5   |     | 2         | 0.000694444 | 0.003439 |        |          |
|     | 10  |     | 3         | 0.000694444 | 0.004483 |        |          |
|     | 12  |     | 3         | 0.001488095 | 0        |        |          |
|     | 13  |     | 1         | 0.000694444 | 0.003013 |        |          |
| 2   | 2   | 5   | 2         | 0.001116071 | 0.000376 | 1      | 8911.188 |
|     | 8   |     | 2         | 0.001116071 | 0.000376 |        |          |
| 3   | 1   | 9   | 3         | 0.005952381 | 0        | 1      | 27781.94 |
|     | 6   |     | 2         | 0.005952381 | 0        |        |          |
|     | 9   |     | 1         | 0.001388889 | 0        |        |          |
|     | 11  |     | 3         | 0.001388889 | 0.003574 |        |          |
| 4   | 3   | 7   | 1         | 0.000868056 | 0.017907 | 18     | 11501.75 |
|     | 7   |     | 3         | 0.000868056 | 0.018645 |        |          |

Tahap ketiga uji numerik untuk skenario 2 bertujuan untuk menentukan temperatur optimal di dalam kendaraan tanpa mempertimbangkan posisi optimal peletakan *order* di dalam kendaraan. Penentuan temperatur optimal di dalam kendaraan hanya mempertimbangkan standar temperatur setiap *order*, durasi waktu perjalanan, dan besar biaya energi yang akan dikeluarkan. Sehingga, temperatur optimal yang dihasilkan tidak mengakomodir adanya ketidakseragaman temperatur di dalam kendaraan. Oleh sebab itu, berdasarkan hasil olah data yang telah dijabarkan di atas diketahui bahwa terdapat beberapa *order* yang tidak hanya mengalami penurunan kualitas terhadap waktu melainkan juga mengalami penurunan kualitas terhadap temperatur. Hal tersebut dikarenakan temperatur pada

posisi tempat *order* diletakkan lebih tinggi dibandingkan dengan standar temperatur *order*. Sehingga, menyebabkan penurunan kualitas yang terus berlangsung di sepanjang perjalanan *order* dari lokasi *supplier* hingga sampai ke pusat *cross docking*. Posisi peletakan *order* di dalam kendaraan berpendingin merupakan *output* dari pengolahan data tahap 2. Yang dimana keputusan tersebut diperoleh dengan hanya mempertimbangkan batasan kapasitas setiap posisi di dalam kendaraan dan tanpa mempertimbangkan adanya ketidakseragaman temperatur yang dapat mempengaruhi kecepatan laju penurunan kualitas *order*. Berikut ini akan ditunjukkan total biaya yang dihasilkan dari serangkaian keputusan yang terbentuk:

Tabel 5.68 Total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari lokasi *supplier* hingga sampai ke pusat *cross docking* untuk skenario 2

| Komponen Biaya                              | Biaya (Rp)         |
|---|--------------------|
| Konsumsi Energi                             | 918,203.7          |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap <i>Order</i> | 1,455,421.0        |
| <b>Total Biaya</b>                          | <b>2,373,624.7</b> |

Berdasarkan hasil olah data yang telah dijabarkan di atas, maka diperoleh total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap *order* dari perjalanan kendaraan berpendingin yang berangkat dari lokasi *supplier* menuju pusat *cross docking* adalah sebesar Rp. 2.373.624,7. Selanjutnya, akan dilakukan pengolahan data tahap tiga bagian kedua untuk mengetahui keputusan-keputusan yang dihasilkan berkaitan dengan distribusi seluruh *order* dari pusat *cross docking* menuju setiap lokasi *order* untuk skenario 2.

Berikut adalah hasil pengolahan data oleh *LINGO 16.0* untuk tahap ketiga bagian kedua:

Tabel 5.69 Pengaturan temperatur dan posisi *order* di dalam kendaraan berpendingin yang berangkat dari pusat *cross docking* dan dari setiap lokasi *order* untuk skenario 2

| $(r)$ | $(i)$ | $DT_{ri}$ | $KE_{ri}$  | $W_{iru}$ |
|-------|-------|-----------|------------|-----------|
| 1     | 14    | 1         |            |           |
|       | 1     | 1         | 27781.9684 | 1         |
|       | 2     | 5         | 23064.2784 | 2         |
|       | 4     | 5         | 17167.9084 | 3         |
|       | 5     | 7         | 12118.5284 | 3         |
|       | 3     | 7         | 7925.0284  | 1         |
|       | 12    |           | 2476.5904  | 2         |
|       | 15    |           |            | 0         |
| 3     | 14    | 1         |            | 0         |
|       | 7     | 1         | 19394.9684 | 2         |
|       | 8     | 1         | 11532.1484 | 1         |
|       | 10    | 1         | 7862.8404  | 3         |
|       | 11    |           | 4717.7164  | 1         |
|       | 15    |           |            | 0         |
| 4     | 14    | 1         |            | 0         |
|       | 6     | 1         | 28830.3384 | 1         |
|       | 9     | 5         | 19394.9684 | 2         |
|       | 13    |           | 10098.7784 | 3         |
|       | 15    |           |            |           |

Seperti yang terlihat pada tabel 5.69, kendaraan 1 dan 4 tidak menerapkan pengaturan temperatur yang sama di sepanjang perjalanan kendaraan. Adanya penerapan konsep *dynamic temperature* menyebabkan kendaraan akan melakukan perubahan pengaturan temperatur sesuai dengan karakteristik *order* yang masih berada di dalam kendaraan. Oleh sebab itu, penerapan *dynamic temperature* akan mengakibatkan efisiensi konsumsi energi pada setiap kendaraan.

Tabel 5.70 Besar penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari pusat *cross docking* hingga sampai ke lokasi *order* untuk skenario 2

| (i)   | $Q_{travel_i}$ | Total $Q2_i$ | $Q_{cdtocust_i}$ | Biaya Penurunan Kualitas (i) (Rp) |
|---|----------------|--------------|------------------|-----------------------------------|
| 1   | 0.009126984    | 0            | 0.009126984      | 61,607                            |
| 2   | 0.003025794    | 0.001018701  | 0.004044495      | 54,601                            |
| 3   | 0.002939815    | 0            | 0.002939815      | 41,231                            |
| 4   | 0.009771825    | 0            | 0.009771825      | 102,604                           |
| 5   | 0.005115741    | 0.014793028  | 0.019908769      | 525,591                           |
| 6   | 0.01180556     | 0            | 0.01180556       | 159,375                           |
| 7   | 0.000694444    | 0            | 0.000694444      | 13,281                            |
| 8   | 0.002008929    | 0            | 0.002008929      | 18,984                            |
| 9   | 0.004282407    | 0.001544751  | 0.005827158      | 267,466                           |
| 10  | 0.00275463     | 0            | 0.00275463       | 54,542                            |
| 11  | 0.00337963     | 0            | 0.00337963       | 82,125                            |
| 12  | 0.01572421     | 0.014557497  | 0.030281707      | 158,979                           |
| 13  | 0.006365741    | 0.013448200  | 0.019813941      | 1,307,721                         |
| <b>Total Biaya Penurunan Kualitas Produk Tiap Order</b> |                |              |                  | <b>2,848,108</b>                  |

Sama halnya dengan pengolahan data tahap ketiga bagian pertama, dimana pada skenario ini tidak mempertimbangkan posisi peletakan *order* yang optimal di dalam kendaraan berpendingin yang berangkat dari pusat *cross docking*. Oleh karena itu, adanya ketidakseragaman temperatur di dalam kendaraan menyebabkan terdapat beberapa *order* yang mengalami penurunan kualitas terhadap waktu. Kondisi tersebut disebabkan oleh pengaturan temperatur dan peletakan *order* yang tidak mempertimbangkan adanya ketidakseragaman temperatur di dalam kendaraan. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan total biaya yang dikeluarkan oleh aktivitas perjalanan *order* dari pusat *cross docking*:

Tabel 5.71 Total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari pusat *cross docking* hingga sampai ke setiap lokasi *order* untuk skenario 2

| Komponen Biaya                       | Biaya (Rp)       |
|--------------------------------------|------------------|
| Konsumsi Energi                      | 3,173,916        |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap Order | 2,848,108        |
| <b>Total Biaya</b>                   | <b>6,022,024</b> |

Berdasarkan tabel 5.71, diketahui bahwa total biaya yang dikeluarkan untuk tahap ini adalah sebesar Rp. 6.022.24.

### 5.3.3.3 Uji Numerik Tahap III untuk Skenario 3

Berikut adalah hasil pengolahan data oleh *LINGO 16.0* untuk tahap ketiga bagian pertama:

Tabel 5.72 Pengaturan temperatur dan posisi *order* di dalam kendaraan berpendingin milik *supplier* untuk skenario 3

| (s) | (i) | (v) | $W_{ivu}$ | $QS_i$      |      | $DT_v$ | $KE_v$     |
|-----|-----|-----|-----------|-------------|------|--------|------------|
|     |     |     |           | $Q1$        | $Q2$ |        |            |
| 1   | 4   | 8   | 3         | 0.001488095 | 0    | 4      | 24977.7784 |
|     | 5   |     | 2         | 0.000694444 | 0    |        |            |
|     | 10  |     | 2         | 0.000694444 | 0    |        |            |
|     | 12  |     | 2         | 0.001488095 | 0    |        |            |
|     | 13  |     | 1         | 0.000694444 | 0    |        |            |
| 2   | 2   | 5   | 1         | 0.001116071 | 0    | 1      | 8911.2164  |
|     | 8   |     | 1         | 0.001116071 | 0    |        |            |
| 3   | 1   | 9   | 2         | 0.005952381 | 0    | 0      | 28037.0284 |
|     | 6   |     | 3         | 0.005952381 | 0    |        |            |
|     | 9   |     | 1         | 0.001388889 | 0    |        |            |
|     | 11  |     | 2         | 0.001388889 | 0    |        |            |
| 4   | 3   | 7   | 2         | 0.000868056 | 0    | 17     | 11626.9084 |
|     | 7   |     | 1         | 0.000868056 | 0    |        |            |

Pada tabel 5.72, diketahui bahwa semua *order* sampai di pusat *cross docking* tanpa mengalami penurunan kualitas akibat temperatur. Hal tersebut dikarenakan temperatur pada setiap posisi *order* lebih rendah dibandingkan standar temperatur *order* tersebut. Walaupun terdapat *trade-off* antara biaya konsumsi energi dan biaya penurunan kualitas, namun pada kasus ini jelas terlihat bahwa besar peningkatan biaya akibat konsumsi energi masih lebih rendah jika dibandingkan dengan besar peningkatan biaya penurunan kualitas produk tiap *order* akibat pengaturan temperatur yang lebih tinggi. Berikut ini akan ditunjukkan total biaya yang dihasilkan dari serangkaian keputusan yang terbentuk:

Tabel 5.73 Total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari lokasi *supplier* hingga sampai ke pusat *cross docking* untuk skenario 3

| Komponen Biaya                              | Biaya (Rp)         |
|---|--------------------|
| Konsumsi Energi                             | 926,144.3          |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap <i>Order</i> | 373,779.8          |
| <b>Total Biaya</b>                          | <b>1,299,924.1</b> |

Berdasarkan hasil olah data yang telah dijabarkan di atas, maka diperoleh total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap *order* dari perjalanan kendaraan berpendingin yang berangkat dari lokasi *supplier* menuju pusat *cross docking* adalah sebesar Rp. 2.373.624,7. Kemudian, akan dilakukan pengolahan data tahap tiga bagian kedua untuk mengetahui keputusan-keputusan optimal yang dihasilkan berkaitan dengan proses distribusi seluruh *order* dari pusat *cross docking* menuju setiap lokasi *order* untuk skenario 3. Sama halnya dengan skenario 2, pada tahap ini juga akan menerapkan konsep *dynamic temperature*.

Berikut adalah hasil pengolahan data oleh *LINGO 16.0* untuk tahap ketiga bagian kedua:

Tabel 5.74 Pengaturan temperatur dan posisi *order* di dalam kendaraan berpendingin yang berangkat dari pusat *cross docking* dan dari setiap lokasi *order* untuk skenario 3

| $(r)$ | $(i)$ | $DT_{ri}$ | $KE_{ri}$  | $W_{iru}$ |
|-------|-------|-----------|------------|-----------|
| 1     | 14    | 1         |            |           |
|       | 1     | 1         | 27781.9684 | 3         |
|       | 2     | 4         | 23064.2784 | 1         |
|       | 4     | 4         | 17331.5284 | 2         |
|       | 5     | 7         | 12234.0284 | 2         |
|       | 3     | 7         | 7925.0284  | 3         |
|       | 12    |           | 2476.5904  | 1         |
|       | 15    |           |            |           |
| 3     | 14    | 1         |            |           |
|       | 7     | 1         | 19394.9684 | 3         |
|       | 8     | 1         | 11532.1484 | 1         |
|       | 10    | 1         | 7862.8404  | 2         |
|       | 11    |           | 4717.7164  | 1         |
|       | 15    |           |            |           |
| 4     | 14    | 1         |            |           |
|       | 6     | 1         | 28830.3384 | 3         |
|       | 9     | 4         | 19394.9684 | 1         |
|       | 13    |           | 10195.0284 | 2         |
|       | 15    |           |            |           |



Tabel 5.75 Besar penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari pusat *cross docking* hingga sampai ke lokasi *order* untuk skenario 3

| (i)   | $Q_{travel_i}$ | Total $Q2_i$ | $Q_{cdtocust_i}$ | Biaya Penurunan Kualitas (i) (Rp) |
|---|----------------|--------------|------------------|-----------------------------------|
| 1   | 0.009126984    | 0            | 0.009126984      | 61,607                            |
| 2   | 0.003025794    | 0            | 0.003025794      | 40,848                            |
| 3   | 0.002939815    | 0            | 0.002939815      | 41,231                            |
| 4   | 0.009771825    | 0            | 0.009771825      | 102,604                           |
| 5   | 0.005115741    | 0            | 0.005115741      | 135,056                           |
| 6   | 0.01180556     | 0            | 0.01180556       | 159,375                           |
| 7   | 0.000694444    | 0            | 0.000694444      | 13,281                            |
| 8   | 0.002008929    | 0            | 0.002008929      | 18,984                            |
| 9   | 0.004282407    | 0            | 0.004282407      | 196,562                           |
| 10  | 0.002754630    | 0            | 0.002754630      | 54,542                            |
| 11  | 0.003379630    | 0            | 0.003379630      | 82,125                            |
| 12  | 0.01572421     | 0            | 0.01572421       | 82,552                            |
| 13  | 0.006365741    | 0            | 0.006365741      | 420,139                           |
| <b>Total Biaya Penurunan Kualitas Produk Tiap Order</b> |                |              |                  | <b>1,408,906</b>                  |

Tabel 5.76 Total biaya konsumsi energi dan penurunan kualitas produk tiap *order* selama perjalanan dari pusat *cross docking* hingga sampai ke setiap lokasi *order*

| Komponen Biaya                       | Biaya (Rp)       |
|--------------------------------------|------------------|
| Konsumsi Energi                      | 3,179,843        |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap Order | 1,408,906        |
| <b>Total Biaya</b>                   | <b>4,588,749</b> |

Berdasarkan tabel 5.76, diketahui bahwa total biaya yang dikeluarkan untuk tahap ini adalah sebesar Rp. 4.588.749. Yang dimana pada tabel 5.75 ditunjukkan bahwa biaya penurunan kualitas produk tiap *order* hanya disebabkan oleh penurunan kualitas produk tiap *order* terhadap waktu. Hal tersebut dikarenakan pengaturan temperatur dan posisi optimal di dalam kendaraan berpendingin menyebabkan setiap *order* berada pada posisi dengan kondisi temperatur yang lebih rendah dibandingkan standar temperatur *order* tersebut. Sehingga, menyebabkan *order* tidak mengalami penurunan kualitas terhadap temperatur.

Setelah melakukan ketiga tahap pengolahan data secara berurutan, maka dilakukan perhitungan terhadap total biaya distribusi produk sayur segar dalam memenuhi setiap *order* yang ada. Berikut ini adalah total biaya distribusi produk sayur segar yang dihasilkan oleh setiap skenario:

Tabel 5.77 Perbandingan total biaya distribusi produk sayur segar antar skenario

| Komponen Biaya                              | SKENARIO 1 |                   | SKENARIO 2 |                   | SKENARIO 3 |                   |
|---|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|
|   | Alokasi    | Biaya (Rp)        | Alokasi    | Biaya (Rp)        | Alokasi    | Biaya (Rp)        |
| Kendaraan (unit)                            | 9          | 5,400,000         | 7          | 5,600,000         | 7          | 5,600,000         |
| Durasi waktu perjalanan (menit)             | 645        | 425,700           | 555        | 366,300           | 555        | 366,300           |
| Durasi waktu menunggu (menit)               | 33         | 11,550            | 33         | 11,550            | 33         | 11,550            |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap <i>Order</i> |            | 20,916,633        |            | 7,778,237         |            | 5,257,394         |
| Konsumsi Energi                             | -          | -                 | -          | 4,092,120         | -          | 4,105,987         |
| <b>Total Biaya Distribusi</b>               |            | <b>26,753,883</b> |            | <b>17,848,207</b> |            | <b>15,341,231</b> |

*Trade-off* antara biaya konsumsi energi dan biaya akibat penurunan kualitas sangat jelas terlihat pada ketiga skenario yang dijalankan. Pada tabel 5.77, diketahui bahwa skenario 3 menghasilkan total biaya distribusi produk sayur segar yang paling rendah dibandingkan dengan skenario 1 dan 2. Meskipun pada skenario 2 dan 3 menggunakan kendaraan berpendingin dengan biaya sewa yang lebih mahal dibandingkan dengan kendaraan tanpa pendingin seperti yang digunakan pada skenario 1, namun hal tersebut mampu meminimasi besar biaya akibat penurunan kualitas produk yang dialami oleh setiap *order*. Berdasarkan hasil olah data, diketahui bahwa dengan mengimplementasikan skenario 1 proses distribusi mampu meminimasi total biaya akibat penggunaan kendaraan. Selain itu, penggunaan kendaraan tanpa pendingin di dalam skenario 1 juga menyebabkan tidak adanya biaya yang harus dikeluarkan akibat konsumsi energi. Akan tetapi, tidak adanya proses pendinginan yang tepat di dalam kendaraan menyebabkan peningkatan pada laju penurunan kualitas setiap *order*. Oleh karena itu, penggunaan kendaraan tanpa pendingin akan berdampak pada besarnya biaya yang ditimbulkan akibat penurunan kualitas produk tiap *order*.

Skenario 3 merupakan skenario yang melibatkan pertimbangan mengenai adanya ketidakseragaman temperatur dalam pengambilan keputusan pengaturan

temperatur dan posisi peletakan setiap *order* di dalam kendaraan. Meskipun pertimbangan tersebut menyebabkan biaya konsumsi energi skenario 3 lebih tinggi dibandingkan dengan skenario 2. Namun perbedaan biaya yang hanya sebesar Rp. 13.867 mampu mengakibatkan penurunan biaya kualitas sebesar Rp. 2.520.843 pada skenario 3. Jadi, dapat disimpulkan bahwa melalui implementasi skenario 3 dengan biaya konsumsi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan skenario 1 dan skenario 2 mampu menghasilkan total biaya distribusi produk sayur segar yang lebih rendah dibandingkan kedua skenario tersebut.

#### **5.4 Analisa Sensitivitas**

Setelah dilakukan percobaan numerik terhadap ketiga skenario, maka selanjutnya akan dilakukan analisa sensitivitas terhadap model yang dikembangkan. Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap perubahan perilaku model yang disebabkan oleh perubahan nilai parameter. Analisa sensitivitas bertujuan untuk mengetahui performansi model yang dikembangkan. Parameter yang akan dilakukan analisa sensitivitas pada penelitian ini adalah nilai waktu keberangkatan tiap kendaraan dari pusat *cross docking* menuju lokasi *order* dan biaya energi atas penggunaan kendaraan berpendingin.

##### **5.4.1 Analisa Sensitivitas Pada Perubahan Waktu Keberangkatan Setiap Kendaraan dari Pusat *Cross Docking***

Analisa sensitivitas yang pertama akan dilakukan pada parameter waktu keberangkatan setiap kendaraan dari pusat *cross docking*. Perubahan waktu keberangkatan kendaraan dilakukan secara seragam untuk tiap kendaraan. Yang dianggap sebagai nilai awal dari parameter waktu keberangkatan kendaraan adalah nilai yang didapatkan dari skenario 3, dimana kendaraan memiliki pengaturan temperatur tertentu selama perjalanan dan mempertimbangkan posisi peletakan *order* di dalam kendaraan. Tabel 5.78 menunjukkan perbandingan biaya dari setiap perubahan waktu keberangkatan kendaraan.

Perubahan nilai waktu keberangkatan dilakukan dengan mengurangi nilai awal waktu keberangkatan sebanyak 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 20 menit. Perubahan hanya dilakukan dengan cara mengurangi nilai awal waktu keberangkatan karena didapatkan hasil berupa *infeasible solution* ketika perubahan

nilai dilakukan dengan cara menambah nilai awal waktu keberangkatan sebanyak 5 menit, 10 menit, 15 menit, maupun 20 menit. Hal ini dikarenakan pada beberapa lokasi *order*, kendaraan akan sampai pada waktu yang melewati *the latest time windows* dari *order* tersebut. Sehingga apabila perubahan dilakukan dengan cara menambah nilai waktu keberangkatan tiap kendaraan, akan menyebabkan *order* tersebut tidak dapat sampai di lokasi *order* pada *range time windows* yang telah ditetapkan.

Tabel 5.78 Perbandingan total biaya akibat perubahan keputusan waktu keberangkatan kendaraan dari pusat *cross docking*

| Komponen Biaya                       | <i>D<sub>r0</sub> -20</i> |                   | <i>D<sub>r0</sub> -15</i> |                   | <i>D<sub>r0</sub> -10</i> |                   | <i>D<sub>r0</sub> -5</i> |                   | Skenario 3 |                   |
|--------------------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|------------|-------------------|
|                                      | Alokasi                   | Biaya (Rp)        | Alokasi                   | Biaya (Rp)        | Alokasi                   | Biaya (Rp)        | Alokasi                  | Biaya (Rp)        | Alokasi    | Biaya (Rp)        |
| Kendaraan (unit)                     | 7                         | 5.600.000         | 7                         | 5.600.000         | 7                         | 5.600.000         | 7                        | 5.600.000         | 7          | 5.600.000         |
| Durasi Waktu Perjalanan (menit)      | 565                       | 372.900           | 670                       | 442.200           | 555                       | 366.300           | 680                      | 448.800           | 555        | 366.300           |
| Durasi Waktu Menunggu                | 187                       | 99.470            | 55                        | 69.300            | 63                        | 31.570            | 2                        | 2.380             | 33         | 11.550            |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap Order |                           | 5.545.655         |                           | 4.705.278         |                           | 5.326.750         |                          | 4.759.825         |            | 5.257.394         |
| Konsumsi Energi                      |                           | 4.660.962         |                           | 4.489.101         |                           | 4.194.254         |                          | 4.516.790         |            | 4.105.987         |
| <b>Total Biaya Distribusi</b>        |                           | <b>16.278.986</b> |                           | <b>15.305.879</b> |                           | <b>15.518.873</b> |                          | <b>15.327.795</b> |            | <b>15.341.231</b> |

Seperti ditunjukkan pada tabel 5.78, nilai awal parameter waktu keberangkatan kendaraan tidak menghasilkan total biaya distribusi terendah. Total biaya distribusi terendah justru didapatkan ketika mengurangi nilai waktu keberangkatan tiap kendaraan sebanyak 15 menit dari nilai awal. Hal ini didapatkan karena model penyelesaian yang dikembangkan di dalam penelitian ini dilakukan dalam secara bertahap dengan tiga tahap penyelesaian. Walaupun menggunakan pendekatan penyelesaian secara optimasi, namun nilai optimasi yang dihasilkan merupakan solusi yang memperoleh nilai global optimal per tahap bukan secara global atau keseluruhan. Sehingga total biaya distribusi, yang merupakan hasil akhir dari tiga tahap penyelesaian, belum tentu memperoleh nilai yang termurah secara agregasi. Sebagai contoh, pada skenario 3 tahap pertama yang dimana hasil yang diperoleh pada tahap ini bernilai global optimal dan akan menjadi *input* pada tahap berikutnya memperoleh total biaya tahap pertama yang lebih rendah dibandingkan dengan total biaya yang dihasilkan oleh -5, -10, -15, dan -20 dari waktu keberangkatan. Hal ini disebabkan karena skenario 3 memiliki kombinasi antara total durasi waktu perjalanan dan total durasi waktu menunggu di lokasi *order* yang mampu menghasilkan biaya terendah. Seperti yang terlihat pada tabel 5.78 durasi waktu perjalanan yang akan ditempuh pada skenario 3 lebih rendah dibandingkan dengan -15 menit dan -5 waktu keberangkatan. Meskipun durasi waktu menunggu yang dihasilkan pada -5 menit waktu keberangkatan lebih pendek, namun total biaya tahap pertama yang dihasilkan tetap lebih besar dibandingkan dengan skenario 3. Hal tersebut dikarenakan penurunan total durasi waktu menunggu di lokasi *order* pada -5 waktu keberangkatan terjadi akibat adanya perubahan kunjungan pada rute yang terbentuk yang di sisi lain juga berdampak pada peningkatan total durasi waktu perjalanan. Namun karena keputusan berkaitan jadwal keberangkatan kendaraan dari pusat *cross docking* diputuskan secara terpisah dengan keputusan yang berkaitan dengan jadwal keberangkatan kendaraan dari lokasi *supplier*, maka keputusan yang dihasilkan pada tahap pertama hanya mempertimbangkan minimasi total biaya akibat penggunaan kendaraan, durasi waktu perjalanan, dan durasi waktu menunggu tanpa mempertimbangkan penurunan kualitas produk tiap *order*. Hal inilah yang menyebabkan bahwa meskipun pada skenario -15 dan -5 menit waktu keberangkatan memperoleh total

biaya tahap pertama yang lebih besar dibandingkan dengan skenario 3, namun pada kedua skenario tersebut mampu menghasilkan total biaya penurunan kualitas yang lebih rendah dibandingkan dengan skenario 3. Salah satu hal yang mempengaruhi total biaya penurunan kualitas yang lebih rendah adalah total durasi waktu menunggu *order* pada kedua skenario tersebut lebih rendah dibandingkan dengan pada skenario 3. Tabel 5.79 menunjukkan perbandingan total durasi waktu menunggu yang dialami oleh setiap *order* di dalam pusat *cross docking*. Durasi waktu menunggu yang dialami oleh suatu *order* akan secara signifikan mempengaruhi penurunan kualitas terhadap waktu yang dialami oleh *order* tersebut. Semakin besar penurunan kualitas produk tiap yang dialami oleh setiap *order* akan berdampak pada besarnya total biaya penurunan kualitas yang akan dihasilkan. Hal tersebutlah yang menyebabkan total biaya penurunan akibat penurunan kualitas yang dihasilkan oleh -15 menit dan -5 menit dari waktu keberangkatan lebih rendah dibandingkan dengan skenario 3. Oleh karena itu, meskipun skenario tersebut menghasilkan biaya perjalanan dan biaya konsumsi energi yang lebih tinggi namun skenario tersebut mampu meminimalisir total durasi waktu menunggu *order* di dalam pusat *cross docking* yang akan berdampak pada rendahnya biaya akibat penurunan kualitas produk tiap *order*. Sehingga, peningkatan yang dialami pada komponen biaya lainnya dapat diimbangi dengan penurunan biaya akibat penurunan kualitas produk tiap *order* yang kontribusinya mampu menyebabkan total biaya distribusi menjadi lebih rendah dibandingkan dengan skenario 3.

Disamping itu ditemukan pula bahwa pengurangan waktu keberangkatan kendaraan secara konstan tidak menyebabkan perubahan total biaya distribusi yang linear. Hal ini selain dipengaruhi oleh durasi waktu menunggu yang dialami oleh setiap *order* di pusat *cross docking* juga dipengaruhi oleh perubahan rute yang akan ditempuh oleh kendaraan untuk mampu menghasilkan solusi yang optimal atau dalam hal ini total biaya yang paling rendah. Sebagai contoh, dapat dilihat bahwa pengurangan waktu keberangkatan selama 15 menit mampu menghasilkan total biaya distribusi yang lebih kecil dibandingkan dengan pengurangan selama 10 menit dan 5 menit. Hal tersebut dikarenakan adanya perubahan kunjungan di dalam rute yang terbentuk mampu mempengaruhi penurunan besar biaya akibat

penurunan kualitas yang terjadi selama perjalanan *order* dari pusat *cross docking* hingga sampai ke setiap lokasi *order*. Besar biaya akibat penurunan kualitas produk pada *order* tidak hanya dipengaruhi oleh durasi waktu yang dihabiskan oleh *order* di dalam perjalanan, melainkan juga dipengaruhi oleh *shelf life* dan harga masing-masing *order*. Hal ini memungkinkan skenario ini memiliki total biaya penurunan kualitas yang lebih rendah meskipun memiliki total durasi waktu perjalanan ditambah waktu menunggu yang lebih panjang dibandingkan skenario lainnya. Selain itu meskipun memiliki durasi waktu menunggu yang panjang di suatu lokasi *order*, namun *order* yang harus menunggu tersebut memiliki kecenderungan harga produk yang murah. Hal lain yang juga dapat mempengaruhi besar total biaya penurunan kualitas yang dialami selama perjalanan dari pusat *cross docking* adalah apabila *order* yang memiliki kecenderungan *shelf life* pendek dengan harga yang mahal serta *demand* yang tinggi berada di awal-awal kunjungan setiap rute. Berdasarkan penjelasan di atas sebagai contoh dapat dilihat pada tabel 5.79, dimana diketahui bahwa total durasi waktu menunggu pada -15 menit dari waktu keberangkatan kendaraan lebih lama dibandingkan dengan -5 menit dari waktu keberangkatan kendaraan. Akan tetapi seperti yang terlihat pada tabel 5.80, skenario tersebut memiliki total biaya penurunan kualitas produk tiap *order* selama berada di dalam pusat *cross docking* yang lebih rendah dibandingkan skenario lainnya. Hal tersebut dikarenakan *order* yang mengalami waktu tunggu pada pengurangan waktu keberangkatan sebanyak 15 menit merupakan *order* yang memiliki kecenderungan *shelf life* yang panjang, harga produk murah, serta jumlah *demand* yang rendah.

Sama halnya dengan biaya penurunan kualitas, biaya konsumsi energi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu pengaturan temperatur, durasi waktu kendaraan berada pada temperatur tersebut, dan berat muatan di dalam kendaraan berpendingin. Hal tersebut yang menyebabkan terjadinya peningkatan biaya konsumsi energi pada skenario -5 menit waktu keberangkatan. Oleh karena itu, meskipun pada skenario tersebut memiliki total durasi waktu perjalanan ditambah dengan waktu menunggu di lokasi *order* yang lebih rendah dibandingkan dengan skenario -15 menit waktu keberangkatan akan tetapi skenario tersebut memiliki



biaya konsumsi energi yang lebih besar dibandingkan dengan skenario -15 menit waktu keberangkatan.

Tabel 5.79 Perbandingan durasi waktu menunggu setiap *order* di pusat *cross docking*

| (i)          | D <sub>r0</sub> -15 | D <sub>r0</sub> -5 | Skenario 3  |
|--------------|---------------------|--------------------|-------------|
| 1            | 0                   | 0                  | 0           |
| 2            | 0                   | 0                  | 0           |
| 3            | 198                 | 0                  | 0           |
| 4            | 0                   | 54                 | 0           |
| 5            | 36                  | 54                 | 0           |
| 6            | 0                   | 198                | 192         |
| 7            | 0                   | 0                  | 249         |
| 8            | 234                 | 252                | 249         |
| 9            | 198                 | 198                | 192         |
| 10           | 36                  | 54                 | 249         |
| 11           | 198                 | 0                  | 249         |
| 12           | 0                   | 54                 | 0           |
| 13           | 36                  | 0                  | 192         |
| <b>Total</b> | <b>936</b>          | <b>864</b>         | <b>1572</b> |

Tabel 5.80 Perbandingan total biaya penurunan kualitas produk tiap *order* selama berada di dalam pusat *cross docking*

| (i)          | D <sub>r0</sub> -15 | D <sub>r0</sub> -5 | Skenario 3         |
|--------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 1            | 210,937.5           | 214,955.4          | 212,946.4          |
| 2            | 69,308.0            | 71,317.0           | 70,312.5           |
| 3            | 70,125.0            | 38,958.3           | 38,471.4           |
| 4            | 157,812.5           | 160,937.5          | 159,375.0          |
| 5            | 187,000.0           | 188,833.3          | 187,000.0          |
| 6            | 421,875.0           | 699,107.1          | 691,071.4          |
| 7            | 51,796.9            | 53,125.0           | 96,953.1           |
| 8            | 95,625.0            | 96,328.1           | 96,328.1           |
| 9            | 545,062.5           | 554,625.0          | 548,250.0          |
| 10           | 140,250.0           | 141,625.0          | 232,375.0          |
| 11           | 288,562.5           | 180,562.5          | 291,937.5          |
| 12           | 78,906.3            | 80,468.8           | 79,687.5           |
| 13           | 467,500.0           | 476,666.7          | 770,000.0          |
| <b>Total</b> | <b>2,784,761.2</b>  | <b>2,957,509.7</b> | <b>3,474,707.9</b> |

#### 5.4.2 Analisa Sensitivitas Pada Perubahan Biaya Energi

Analisa sensitivitas yang kedua dilakukan terhadap biaya energi per kkal per jam. Perubahan dilakukan secara seragam untuk setiap skenario, baik skenario 2 maupun skenario 3. Perubahan biaya energi tidak dilakukan pada skenario 1 dikarenakan pada skenario ini tidak mempertimbangkan penggunaan kendaraan berpendingin, oleh karena itu pada skenario ini tidak terdapat biaya konsumsi energi yang ditimbulkan akibat proses pendinginan produk sayur segar. Biaya energi awal yang digunakan pada percobaan numerik yaitu sebesar Rp. 15 per kkal per jam setelah itu akan dilakukan perubahan biaya energi secara bertahap. Kemudian analisa sensitivitas akan dilakukan pada seluruh biaya yang dihasilkan akibat perubahan biaya energi sebesar Rp. 20, Rp. 30, Rp. 40, Rp. 50, dan Rp.60 per kkal per jam terhadap total biaya yang diperoleh sebelumnya pada percobaan numerik untuk skenario 1, skenario 2, dan skenario 3.

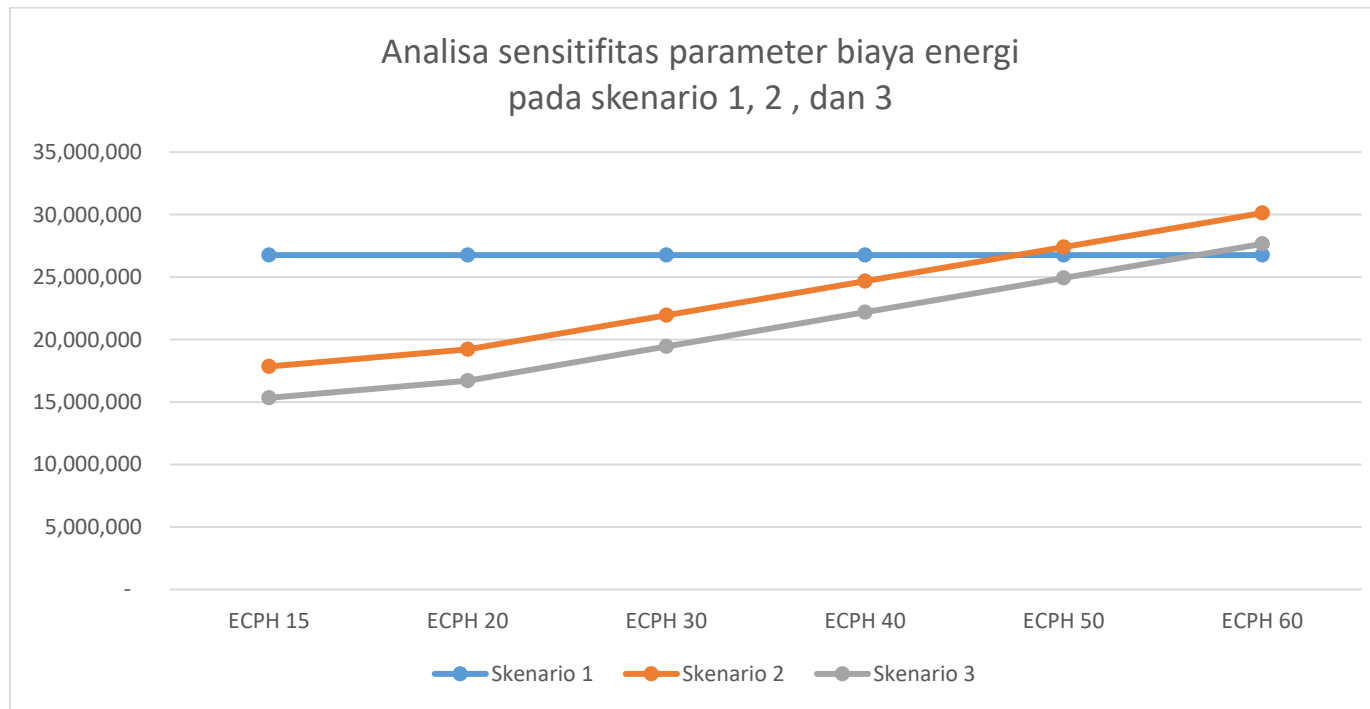
Pada tabel 5.81, diketahui bahwa tidak terjadi perubahan biaya terhadap komponen biaya atas penggunaan kendaraan, durasi waktu perjalanan, dan durasi waktu menunggu. Hal tersebut dikarenakan perubahan biaya energi hanya mempengaruhi pengambilan keputusan model terhadap nilai pengaturan temperatur pada setiap perjalanan yang ditempuh oleh setiap kendaraan. Oleh karena itu, perubahan atas kenaikan biaya energi hanya akan berdampak pada biaya yang dikeluarkan akibat penurunan kualitas produk yang dialami oleh setiap *order* dan biaya atas konsumsi energi seluruh kendaraan berpendingin.

Berdasarkan gambar 5.5 dapat dilihat bahwa pada biaya energi sebesar Rp. 60 per kkal per jam, skenario 3 menghasilkan keputusan yang menyebabkan penggunaan kendaraan berpendingin dalam rangka menghambat laju penurunan kualitas produk tiap *order* menghasilkan total biaya yang lebih besar dibandingkan dengan skenario 1 yang tidak menggunakan kendaraan berpendingin. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa kenaikan biaya energi hingga mencapai Rp. 60 per kkal per jam menyebabkan model yang dibangun lebih memilih untuk mengorbankan terjadinya penurunan kualitas yang lebih besar akibat perbedaan temperatur dibandingkan menurunkan pengaturan temperatur di dalam kendaraan. Hal tersebut disebabkan karena dengan menurunkan pengaturan temperatur di dalam kendaraan akan menyebabkan peningkatan biaya akibat konsumsi energi yang akan

mempengaruhi peningkatan total biaya distribusi produk sayur segar yang lebih besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa apabila biaya energi mencapai harga Rp. 60 per kkal per jam atau lebih, sistem distribusi produk sayur segar yang dikembangkan di dalam penelitian ini lebih baik dilakukan tanpa menggunakan kendaraan berpendingin.

Tabel 5.81 Perbandingan total biaya distribusi akibat perubahan parameter biaya energi per kkal per jam

| Komponen Biaya                       | SKENARIO 1        | SKENARIO 2 ECPH 15 | SKENARIO 2 ECPH 20 | SKENARIO 2 ECPH 30 | SKENARIO 2 ECPH 40 | SKENARIO 2 ECPH 50 | SKENARIO 2 ECPH 60 | SKENARIO 3 ECPH 15 | SKENARIO 3 ECPH 20 | SKENARIO 3 ECPH 30 | SKENARIO 3 ECPH 40 | SKENARIO 3 ECPH 50 | SKENARIO 3 ECPH 60 |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                      | Biaya (Rp)        |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Kendaraan (unit)                     | 5,400,000         | 5,600,000          | 5,600,000          | 5,600,000          | 5,600,000          | 5,600,000          | 5,600,000          | 5,600,000          | 5,600,000          | 5,600,000          | 5,600,000          | 5,600,000          | 5,600,000          |
| Durasi Waktu Perjalanan (menit)      | 425,700           | 366,300            | 366,300            | 366,300            | 366,300            | 366,300            | 366,300            | 366,300            | 366,300            | 366,300            | 366,300            | 366,300            | 366,300            |
| Durasi Waktu Menunggu                | 11,550            | 11,550             | 11,550             | 11,550             | 11,550             | 11,550             | 11,550             | 11,550             | 11,550             | 11,550             | 11,550             | 11,550             | 11,550             |
| Penurunan Kualitas Produk Tiap Order | 20,916,633        | 7,778,237          | 7,778,237          | 7,778,237          | 7,778,237          | 7,778,237          | 7,778,237          | 5,257,394          | 5,257,394          | 5,257,394          | 5,257,394          | 5,269,568          | 5,269,568          |
| Konsumsi Energi                      | -                 | 4,092,120          | 5,456,161          | 8,184,240          | 10,912,321         | 13,640,401         | 16,368,482         | 4,105,987          | 5,474,650          | 8,211,974          | 10,949,300         | 13,673,872         | 16,408,647         |
| <b>Total Biaya Distribusi</b>        | <b>26,753,883</b> | <b>17,848,207</b>  | <b>19,212,247</b>  | <b>21,940,326</b>  | <b>24,668,408</b>  | <b>27,396,487</b>  | <b>30,124,568</b>  | <b>15,341,231</b>  | <b>16,709,894</b>  | <b>19,447,218</b>  | <b>22,184,544</b>  | <b>24,921,290</b>  | <b>27,656,065</b>  |



Gambar 5.5 Grafik analisa sensitivitas terhadap perubahan parameter biaya energi per kkal per jam

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan yang didapatkan untuk menjawab tujuan penelitian. Berikut ini adalah beberapa kesimpulan yang didapatkan :

1. Didapatkan model penyelesaian untuk kasus operasional *cross docking* yang mensinkronisasikan jadwal keberangkatan kendaraan berpendingin antara pengiriman *order* dari *supplier* ke pusat *cross docking* dengan pengiriman dari pusat *cross docking* ke setiap lokasi *customer* dengan tujuan minimasi total biaya distribusi yang terdiri atas biaya tetap penggunaan kendaraan, biaya perjalanan, biaya konsumsi energi, biaya penurunan kualitas, dan biaya pinalti. Model penyelesaian yang dikembangkan menggunakan pendekatan optimasi dan diselesaikan dengan penerapan konsep *sequential minimal optimization algorithm* yang membagi model ke dalam 3 tahapan penyelesaian. Tahapan pertama dilakukan untuk mencari rute perjalanan dan jadwal pengiriman terbaik dari pusat *cross docking* ke titik *customer* dengan batasan *time windows*. Tahapan kedua dilakukan untuk mencari jadwal pengiriman dari *supplier* ke pusat *cross docking* dengan mengacu pada jadwal pengiriman yang didapat dari tahap pertama. Tahap ketiga dilakukan untuk mencari pengaturan temperatur dan peletakan *order* di setiap kendaraan, baik dari *supplier* ke pusat *cross docking* maupun dari pusat *cross docking* ke titik *customer*.

2. Model yang dikembangkan diaplikasikan ke dalam 3 skenario yang berbeda, yaitu :

- ❖ Menggunakan kendaraan tidak berpendingin sehingga tidak mempertimbangkan pengetaruran temperatur dan posisi peletakan *order* yang optimal di dalam kendaraan.
- ❖ Menggunakan kendaraan berpendingin namun tidak mempertimbangkan adanya ketidakseragaman penyebaran temperatur di dalam kendaraan dalam pengambilan keputusan berkaitan dengan pengaturan temperatur yang optimal di dalam kendaraan berpendingin. Oleh karena itu, pada skenario ini juga tidak mempertimbangkan posisi peletakan *order* yang optimal.
- ❖ Menggunakan kendaraan berpendingin dan mempertimbangkan ketidakseragaman penyebaran temperatur dalam pengambilan keputusan berkaitan dengan pengaturan temperatur dan posisi peletakan *order* di dalam kendaraan.

Dari hasil aplikasi model ke dalam 3 skenario tersebut, didapatkan bahwa biaya akibat penurunan kualitas memiliki dampak yang sangat besar di dalam model yang dikembangkan. Hal tersebut dibuktikan dengan sangat besarnya total biaya distribusi yang dihasilkan ketika proses distribusi dilakukan tanpa menggunakan kendaraan berpendingin. Selain itu, pengambilan keputusan optimal mengenai pengaturan temperatur dan posisi peletakan order dengan mempertimbangkan adanya ketidakseragaman penyebaran temperatur di dalam kendaraan berpendingin juga mampu menurunkan total biaya akibat penurunan kualitas secara khusus, dan total biaya distribusi secara umum.



3. Dari hasil analisa sensitivitas yang dilakukan di dalam penelitian ini, diperoleh bahwa solusi yang didapatkan dari model yang dikembangkan belum tentu menghasilkan total biaya distribusi yang global optimal secara keseluruhan. Hal ini dikarenakan penyelesaian model dilakukan secara bertahap di dalam penelitian ini, sehingga mengakibatkan solusi yang dihasilkan hanya mencapai global optimal jika dilihat dari masing – masing tahap penyelesaian, namun belum tentu menghasilkan solusi yang global optimal secara keseluruhan. Hal ini bisa dimaklumi karena besarnya *computational time* yang dibutuhkan apabila menyelesaikan keseluruhan model secara simultan.

## 6.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut dalam pengembangan model operasional *cross-docking*. Beberapa saran tersebut antara lain :

1. Penelitian ini menggunakan pendekatan optimasi yang membutuhkan *computational time* yang cukup panjang. Penelitian berikutnya diharapkan dapat menghasilkan model penyelesaian dengan pendekatan heuristik untuk mengurangi *computational time* yang dibutuhkan.
2. Dari hasil *numerical experiment* yang dilakukan dalam penelitian ini, didapatkan total biaya distribusi yang sangat besar untuk serangkaian proses distribusi produk sayur segar. Jika diteliti lebih lanjut, komponen biaya terbesar terletak pada biaya penurunan kualitas produk. Pada rumus acuan penurunan kualitas terhadap temperatur yang digunakan di dalam penelitian ini belum mempertimbangkan selisih antara standar temperatur produk dan pengaturan temperatur. Penelitian selanjutnya diharapkan mampu menghasilkan rumus penurunan kualitas yang lebih komprehensif, sehingga lebih realibel ketika diaplikasikan di dalam model penelitian ini.
3. Pada penelitian ini hanya mempertimbangkan perbedaan temperatur dalam satu dimensi namun pada kenyataannya penyebaran temperatur

terjadi dalam ruang tiga dimensi. Penelitian berikutnya diharapkan mampu mengakomodasi nilai perbedaan temperatur secara tiga dimensi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adler, W. D. (2007). *Transfair Engineering: Survey about CFC-free Refrigerator Production-Part 4: Designing and Prototyping of Refrigerator and Freezer Cooling*. Dusseldorf: Transfair GmbH.
- Agustina, D., Lee, C. K. M., & Piplani, R. (2014). Int . J . Production Economics Vehicle scheduling and routing at a cross docking center for food supply chains. *Intern. Journal of Production Economics*, 152, 29–41.
- Amorim, P., Günther, H. O., & Almada-Lobo, B. (2012). Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products. *International Journal of Production Economics*, 138(1), 89–101.
- Aung, M. M., & Chang, Y. S. (2014). Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. *Food Control*, 40(1), 198–207.
- Bogataj, M., Bogataj, L., & Vodopivec, R. (2005). Stability of perishable goods in cold logistic chains, 94, 345–356.
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuysse, I. (2015). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers and Industrial Engineering*.
- Chen, H., Hsueh, C., & Chang, M. (2009). Computers & Operations Research Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food products, 36, 2311–2319. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2008.09.010>
- Daellenbach, H., McNickle, D., & Dye, S. (n.d.). *Management Science: Decision-Making Through Systems Thinking*. Hampshire: Palgrave.
- Hernandez, F., Feillet, D., Giroudeau, R., & Naud, O. (2016). Branch-and-price algorithms for the solution of the multi-trip vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 249(2), 551–559.
- Hsu, C., Hung, S., & Li, H. (2007). Vehicle routing problem with time-windows for perishable food delivery, 80, 465–475.
- Jia, J., & Hu, Q. (2011). Computers & Industrial Engineering Dynamic ordering and pricing for a perishable goods supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 60(2), 302–309.
- Kuo, J. C., & Chen, M. C. (2010). Developing an advanced Multi-Temperature Joint Distribution System for the food cold chain. *Food Control*, 21(4), 559–566.
- Osvald, A., & Stirn, L. Z. (2008). A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food. *Journal of Food Engineering*, 85(2), 285–295.
- Pullman, M., & Wu, Z. (2012). *Food Supply Chain Management*. United Kingdom: Routledge.
- Rong, A., Akkerman, R., & Grunow, M. (2011). Int . J . Production Economics An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. *Intern. Journal of Production Economics*, 131(1), 421–429.
- Song, B. D., & Ko, Y. D. (2016). A vehicle routing problem of both refrigerated-and general-type vehicles for perishable food products delivery. *Journal of Food Engineering*, 169, 61–71.
- Standar Nasional Indonesia. (1998). Sistem Analisa Bahaya dan Pengendalian Titik

- Kritis (HACCP) Serta Pedoman Penerapannya (SNI 01-4852-1998). Jakarta Pusat: Badan Standardisasi Nasional.
- Tania, M. (2012). *Pengembangan Model Vehicle Routing Problem untuk Pendistribusian Produk Perishable Menggunakan Truk Berpendingin*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. (P. L. Hammer, Ed.). Bologna, Italy: Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia.
- Trihardani, L. (2011). *Pengembangan Model Distribusi Produk Perishable Multi Temperatur Dengan Mempertimbangkan Biaya Energi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- United States Departement of Agriculture. (2008). *Protecting Perishable Foods During Transport by Truck*. United States.
- Valentas, K. J., Rotstein, E., & Singh, R. P. (1997). *Handbook of Food Engineering Practice*. (H. M. Kane, A. W. Starkweather, & D. Boyd, Eds.). New York: CRC Press.
- Xie, R. (2011). Study on the Temperature Field inside Refrigerated Containers, 8.
- Xue, M., Zhang, J., & Tang, W. (2014). Optimal temperature control for quality of perishable foods. *ISA Transactions*, 53(2), 542–546.
- Zanoni, S., & Zavanella, L. (2012). Int . J . Production Economics Chilled or frozen ? Decision strategies for sustainable food supply chains. *Intern. Journal of Production Economics*, 140(2), 731–736.

## BIODATA PENULIS



Memiliki nama lengkap **Afifah Fianda Utami Chandra Bhuana**, penulis lahir tanggal 14 November 1991 di Ujung Pandang, Sulawesi Selatan. Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Chandra Bhuana dan Fajriaty Muhammadiyah. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri Mangkura 1 Makassar, SMP Negeri 6 Makassar, SMA Negeri 1 Makassar, dan berlanjut hingga perguruan tinggi di Universitas Hasanuddin Jurusan Teknik Mesin Prodi Teknik Industri pada tahun 2009 hingga 2013 untuk mengambil pendidikan strata-1. Setelah lulus menjadi sarjana, penulis pernah bekerja sebagai Funding Executive di PT. Bank Internasional Indonesia yang kemudian melanjutkan studi strata-2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Industri Konsentrasi Logistik dan Manajemen Rantai Pasok pada tahun 2015 hingga 2017. Selama menempuh jalur pendidikan, penulis aktif dalam beberapa organisasi, yaitu OSIS serta Cheerleaders SMP Negeri 6 Makassar, PASKIBRA, Marching Band, serta OSIS SMA Negeri 1 Makassar, Himpunan Mahasiswa Mesin, dan Paduan Suara Mahasiswa UNHAS. Pada masa studi magister, penulis. Selama pendidikan magister, penulis juga diberi kesempatan berharga sebagai asisten dalam 2 proyek kerjasama antara bidang akademisi dan bidang praktisi oleh Bapak Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M. Eng. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail [afifahfiandautami@gmail.com](mailto:afifahfiandautami@gmail.com)