



TUGAS AKHIR – TI 184833

**PERMODELAN DISTRIBUSI SAYUR MENGGUNAKAN
MOTOR BERKONTAINER PENDINGIN
MEMPERTIMBANGKAN TEMPERATUR DAN ALOKASI
PRODUK PADA KOMPARTEMEN KONTAINER**

DHEA ELVETA
NRP 0241154000028

PEMBIMBING:
Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng. CSCP, CLTD
NIP. 196811091995031003

KO-PEMBIMBING:
Ratna Sari Dewi, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 1980011132008122002

DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT – TI 184833

**VEGETABLES DISTRIBUTION MODEL USING
REFIGERATED CONTAINER MOTOR CONSIDERING THE
TEMPERATURE AND THE PRODUCTS ALLOCATION ON
THE COMPARTMENT OF THE CONTAINER**

DHEA ELVETA
NRP. 02411540000028

SUPERVISOR:

Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng. CSCP, CLTD
NIP. 196811091995031003

CO-SUPERVISOR:

Ratna Sari Dewi, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 1980011132008122002

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN
PERMODELAN DISTRIBUSI SAYUR MENGGUNAKAN
MOTOR BERKONTAINER PENDINGIN
MEMPERTIMBANGKAN TEMPERATUR DAN ALOKASI
PRODUK PADA KOMPARTEMEN KONTAINER

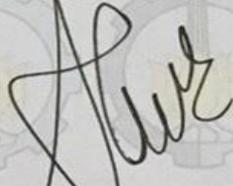
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia

Oleh:

DHEA ELVETA
NRP 0241154000028

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing



Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP, CLTD

NIP. 196811091995031003

Dosen Ko-pembimbing



Ratna Sari Dewi, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 1980011132008122002

SURABAYA, JANUARI 2019



DISCLAIMER

Tugas Akhir ini yang berjudul “Permodelan Distribusi Sayur Menggunakan Motor Berkontainer Pendingin Mempertimbangkan Temperatur dan Alokasi Produk Pada Kompartemen Kontainer” adalah dokumen penelitian yang belum dipublikasikan. Segala macam rujukan terhadap penelitian ini harus dengan izin dosen pembimbing Tugas Akhir ini, dengan mengirimkan *e-mail* permohonan izin rujukan kepada arusdian@ie.its.ac.id. Apabila terdapat publikasi (seminar atau jurnal nasional maupun jurnal internasional) yang berdasarkan penelitian ini, maka selayaknya rujukan ditampilkan pada publikasi tersebut.

PERMODELAN DISTRIBUSI SAYUR MENGGUNAKAN MOTOR BERKONTAINER PENDINGIN MEMPERTIMBANGKAN TEMPERATUR DAN ALOKASI PRODUK PADA KOMPARTEMEN KONTAINER

Nama Mahasiswa : Dhea Elveta
NRP : 02411540000028
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng.
CSCP, CLTD
Ko-pembimbing : Ratna Sari Dewi, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRAK

Produk sayuran termasuk dalam kategori produk *perishable* yaitu produk yang mengalami penurunan kualitas seiring dengan berjalannya waktu. Temperatur merupakan hal penting dalam menjaga kualitas produk *perishable*. Jika sayuran tidak disimpan pada temperatur optimalnya, maka akan mempercepat penurunan kualitas. Pada dasarnya, *Vehicle Routing Problem* merupakan penentuan rute perjalanan untuk meminimalkan biaya distribusi. Semakin lama sayuran berada pada perjalanan maka kualitasnya akan semakin menurun. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan penurunan kualitas selama perjalanan dengan cara mengoptimalkan alokasi produk pada kompartemen kontainer berpendingin. Untuk menentukan alokasi produk yang sesuai pada kendaraan, terlebih dahulu dilakukan pembentukan rute perjalanan. Model penentuan rute perjalanan pada penelitian ini adalah *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) dengan memperhatikan biaya penggunaan kendaraan, biaya transportasi, biaya energi, dan biaya *quality loss*. Rute yang terbentuk dalam VRPTW selanjutnya akan digunakan untuk menentukan alokasi produk mempertimbangkan jumlah dan jenis produk yang dibawa tiap kendaraan serta waktu sampai di konsumen yang dikunjungi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan mengoptimalkan alokasi produk pada tiap kendaraan dapat menurunkan biaya *quality loss* sebesar 50.7%. Perubahan temperatur *setting* pada kontainer dari 4°C menjadi 0°C meningkatkan biaya *quality loss* sebesar 17%, jika temperatur 5°C, peningkatan biaya *quality loss* sebesar 51%, dan jika temperatur 8°C, peningkatan biaya *quality loss* sebesar 263%. Perubahan jumlah kompartemen dari 9 menjadi 3 kompartemen mampu menurunkan biaya *quality loss* sebesar 4%, sedangkan jika jumlah kompartemen menjadi 4, biaya *quality loss* menurun sebesar 8%. Semakin tinggi *Quality Requirement* yang ditentukan maka biaya *quality loss* akan semakin kecil, namun biaya penggunaan kendaraan akan semakin besar. Selain itu, utilisasi kendaraan juga akan semakin kecil.

Kata kunci : Alokasi Produk, Produk *Perishable*, *Quality loss*, VRPTW

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

VEGETABLE DISTRIBUTION MODEL USING REFRIGERATED CONTAINER MOTOR CONSIDERING THE TEMPERATURE AND THE PRODUCTS ALLOCATION ON THE COMPARTMENT OF THE CONTAINER

Name : Dhea Elveta
NRP : 0241154000028
Supervisor : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng.
CSCP, CLTD
Co-supervisor : Ratna Sari Dewi, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRACT

Vegetable products were categorized as *perishable* products. *Perishable* products are the products that experienced a decrease in quality over time. Temperature is important in maintaining the quality of *perishable* products. Vegetable products have optimum specific storage temperature, if the product is not stored at its optimal temperature, then the *quality loss* will be faster. Basically, *Vehicle Routing Problem* (VRP) conducted the determination of routes that can minimize the cost of distribution. In the case of *perishable* products, the longer the product is en route then the quality will be progressively decreased. In order to maintain and to keep the product quality received by consumers will remain good, there needs to be a determination of *Quality Requirement* as minimum limits of product quality received by consumers. The purpose of this research is to minimize *quality loss* during travel by optimizing the products allocation on the container refrigerated compartment. To determine the right amount of products allocation on the vehicle, first thing to do is to establish the travel route using *Vehicle Routing Problem* with Time Windows (VRPTW) model by considering vehicle usage costs, transportation costs, energy costs, and costs of *quality loss*. The route was formed in VRPTW will then be used to determine products allocation considering the kind of product carried by each vehicle and arrival time at consumers. Result showing that by optimizing product allocation on each vehicle it can reduce the cost of *quality loss* by 50.7%. Changes in temperature *setting* in containers from 4 °C to 0 °C increases the cost of *quality loss* by 17%, if the temperature is 5 °C, the cost of *quality loss* is 51%, and if the temperature is 8 °C, the cost of *quality loss* is 263%. Changes in the number of compartments from 9 to 3 compartments can reduce the cost of *quality loss* by 4%, whereas if the number of compartments becomes 4, the cost of *quality loss* decreases by 8%. Results showing that the higher the *Quality Requirements*, then the cost of *quality loss* will be getting smaller, but the vehicle usage costs will be even greater and vehicle utilization will be getting smaller.

Keywords: *Perishable* Products, Products Allocation, *Quality loss*, VRPTW

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Permodelan Distribusi Sayur Menggunakan Motor Berkontainer Pendingin Mempertimbangkan Temperatur dan Alokasi Produk Pada Kompartemen Kontainer.” Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan program sarjana pada Departemen Teknik Industri ITS Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis hendak mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang mendukung selama penelitian Tugas Akhir hingga penyusunan laporan. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M. Eng. CSCP, CLTD, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan segenap waktu dan dengan sangat sabar memberikan bimbingan serta arahan dalam melaksanakan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Ratna Sari Dewi, S.T., M.T., Ph.D., selaku ko-pembimbing yang telah memberikan banyak masukan terkait pelaksanaan Tugas Akhir.
3. Bapak Stefanus Eko Wiratno, S.T. M.T., dan Ibu Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen penguji Seminar Proposal serta Prof. Ir. Budi Santosa, M.S., Ph.D., dan Bapak Dr. Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng., selaku dosen penguji Sidang Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan pada tugas akhir ini sehingga dapat menjadi lebih baik.
4. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D. selaku ketua Departemen Teknik Industri ITS Surabaya, serta Bapak Dr. Adithya Sudiarno, S.T., M.T selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Industri ITS Surabaya.
5. Prof. Iwan Vanany, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dalam menyelesaikan hal – hal terkait akademik.
6. Bapak Elfaurid Aguswantoro dan Ibu Vitri Vibriyanti selaku orang tua penulis, serta saudara dan sahabat penulis yang selalu memberikan doa, motivasi, dan dukungan kepada penulis.

7. Mahasiswa Teknik Industri angkatan 2015 yang telah menemani, memberikan semangat, dan motivasi kepada penulis selama menempuh studi dan selama penyelesaian Tugas Akhir.
8. Semua pihak yang membantu dalam pengerjaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka dengan kritik dan saran yang diberikan demi kesempurnaan laporan ini. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan seluruh pihak yang membaca.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	10
1.3 Tujuan Penelitian	10
1.4 Manfaat Penelitian	11
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	11
1.6 Sistematika Penulisan	12
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	15
2.1 Manajemen Distribusi	15
2.2 Produk <i>Perishable</i>	17
2.3 <i>Cold Chain System</i>	19
2.4 Manajemen Temperatur pada Rantai Pasok Multi Produk <i>Perishable</i>	22
2.5 Temperatur Optimal Pada Produk <i>Agro-perishable</i>	23
2.6 Penurunan Kualitas Pada Produk <i>Perishable</i>	25
2.7 <i>Shelf life</i> sebagai Parameter Penurunan Kualitas	26
2.8 Biaya Pendinginan Pada Kontainer Berpendingin	29
2.9 <i>Vehicle Routing Problem (VRP)</i>	32
2.10 Model VRPTW untuk Produk <i>Perishable</i>	33
2.11 Penyelesaian Model VRP dengan <i>Nearest Neighbor</i>	35

2.12 <i>Storage Assignment</i> Pada Produk <i>Perishable</i>	36
2.13 Posisi Penelitian.....	37
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	43
3.1 Tahap Pengembangan dan Formulasi Model	43
3.2 Penentuan Rute Perjalanan	44
3.3 Alokasi Produk	44
3.4 Percobaan Numerik	45
3.5 Penarikan Kesimpulan dan Saran	45
BAB 4 PENGEMBANGAN MODEL	47
4.1 Deskripsi Model	47
4.1.1 Model Penyusunan Rute Perjalanan	47
4.1.2 Model Alokasi Produk pada Kontainer Berpendingin	49
4.2 Formulasi Model	54
4.2.1 Notasi Model	54
4.2.2 Model Matematis <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP).....	57
4.2.3 Model Matematis Alokasi Produk Pada Kompartemen	60
4.3 Penyusunan Rute dengan Algoritma <i>Nearest Neighbor</i>	61
4.4 Penyusunan Alokasi Produk pada Kontainer Berpendingin.....	63
BAB 5 PERCOBAAN NUMERIK	64
5.1 Parameter Percobaan Numerik	64
5.2 Verifikasi dan Validasi Model.....	65
5.2.1 Verifikasi Temperatur Terburuk yang Dirasakan Produk (<i>T Safe</i>)	66
5.2.2 Verifikasi Pemilihan Rute	68
5.2.3 Verifikasi Evaluasi Kapasitas dan <i>Time Windows</i>	71
5.2.4 Verifikasi dan Validasi Alokasi Produk	73
5.3 Perhitungan Numerik dengan Mempertimbangkan <i>Quality Requirement</i> ..	76

5.4 Perbandingan Biaya	81
5.4.1 Perbandingan Biaya: Total Biaya Mempertimbangkan Penurunan Kualitas	81
5.4.2 Perbandingan Biaya: Total Biaya Mempertimbangkan Biaya Energi .	82
5.4.3 Perbandingan Biaya: Total Biaya Mempertimbangkan <i>Quality Requirement</i>	83
5.5 Percobaan Beberapa Set Data	85
5.6 Percobaan 1: Pengaruh Temperatur <i>Setting</i> dengan Kualitas Produk.....	88
5.7 Percobaan 2: Perbandingan Alokasi Random vs Alokasi Mempertimbangkan Temperatur	96
5.8 Percobaan 3: Perubahan Jumlah Kompartemen.....	98
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	105
6.1 Kesimpulan	105
6.2 Saran.....	106
DAFTAR PUSTAKA	108
LAMPIRAN.....	112

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Persentase <i>Food Loss</i> Pada Rantai Pasok Buah dan Sayuran.....	3
Tabel 2.1 Karakteristik Sayuran dan Buah – buahan Berdasarkan Temperatur dan Kelembapan.....	24
Tabel 2.2 Klasifikasi Tingkat <i>Perishability</i> dan <i>Shelf life</i> Sayuran dan Buah – buahan Pada Temperatur Optimal.....	26
Tabel 2.3 Kelompok Sayuran dan Buah-buahan <i>Chilling Sensitive</i> dan <i>Non-chilling Sensitive</i>	28
Tabel 2.4 Temperatur Optimal dan <i>Shelf life</i> Beberapa Komoditas Sayuran dan Buah - buahan	28
Tabel 2.5 Klasifikasi Frekuensi Membuka Pintu dan Nilai β	31
Tabel 2.6 Posisi Penelitian terhadap Penelitian Terdahulu	41
Tabel 5. 1 Parameter Percobaan Numerik.....	65
Tabel 5.2 Data Karakteristik Beberapa Produk.....	66
Tabel 5.3 Contoh Perhitungan <i>T Safe</i>	67
Tabel 5.4 Temperatur Minimal , Maksimal, dan T safe Produk	67
Tabel 5.5 Matriks Jarak Antar <i>Node</i>	68
Tabel 5.6 Matriks Waktu Antar <i>Node</i>	69
Tabel 5.7 Rute Perjalanan Berdasarkan Algoritma <i>Nearest Neighbor</i>	69
Tabel 5.8 Waktu Sampai Pada Konsumen	70
Tabel 5.9 Contoh Perhitungan Waktu Tiba di Konsumen	70
Tabel 5.10 Rute Perjalanan dengan Algoritma <i>Nearest Neighbor</i>	71
Tabel 5.11 Evaluasi <i>Time Windows</i> Pada Penentuan Rute Perjalanan	71
Tabel 5.12 Evaluasi Kapasitas Pada Penentuan Rute Perjalanan	72
Tabel 5.13 Alokasi Produk 1 – 7 Pada Kompartemen	74
Tabel 5.14 Alokasi Produk 8 – 15 Pada Kompartemen	74
Tabel 5.15 Alokasi Produk Pada Kompartemen (Awal).....	74
Tabel 5.16 Total Biaya <i>Quality loss</i> (Awal)	75
Tabel 5.17 Skenario Alokasi Produk	75
Tabel 5. 18 Produk dengan Kualitas di Bawah <i>Quality Requirement</i>	76

Tabel 5. 19 Rute Perjalanan Mempertimbangkan <i>Quality Requirement</i> 95%	77
Tabel 5. 20 Lama Waktu Tiba di Konsumen.....	77
Tabel 5.21 Alokasi Produk Pada Kompartemen Kendaraan 1 Pada <i>Quality Requirement</i> 95%	78
Tabel 5.22 Alokasi Kompartemen Kendaraan 1 Pada <i>Quality Requirement</i> 95%	78
Tabel 5.23 Alokasi Produk Pada Kompartemen Kendaraan 2 Pada <i>Quality Requirement</i> 95%	79
Tabel 5.24 Alokasi Kompartemen Kendaraan 2 Pada <i>Quality Requirement</i> 95%	79
Tabel 5.25 Alokasi Produk Pada Kompartemen Kendaraan 3 Pada <i>Quality Requirement</i> 95%	79
Tabel 5.26 Lanjutan Alokasi Produk Pada Kompartemen Kendaraan 3 Pada <i>Quality Requirement</i> 95%	79
Tabel 5.27 Alokasi Kompartemen Kendaraan 3 Pada <i>Quality Requirement</i> 95%	80
Tabel 5.28 Biaya <i>Quality loss</i> Pada Rute Dengan <i>Quality Requirement</i> 95%	80
Tabel 5. 29 Perbandingan Total Biaya Mempertimbangkan <i>Quality Loss</i>	81
Tabel 5.30 Perbandingan Total Biaya Mempertimbangkan <i>Biaya Energi</i>	82
Tabel 5.31 Perbandingan Biaya Distribusi Mempertimbangkan <i>Quality Requirement</i> 85%	83
Tabel 5.32 Perbandingan Biaya Distribusi Mempertimbangkan <i>Quality Requirement</i> 90%	83
Tabel 5.33 Perbandingan Biaya Distribusi Mempertimbangkan <i>Quality Requirement</i> 95%	84
Tabel 5. 35 <i>T safe</i> Pada Temperatur <i>Setting</i> 0 °C	88
Tabel 5. 36 Alokasi Produk Pada Temperatur <i>Setting</i> 0°C.....	88
Tabel 5.37 Kualitas Produk di Bawah <i>Quality Requirement</i> Pada Temperatur <i>Setting</i> 0 °C	89
Tabel 5.38 <i>T safe</i> Pada Temperatur <i>Setting</i> 4 °C	90
Tabel 5. 39 Alokasi Produk Pada Temperatur <i>Setting</i> 4°C.....	91
Tabel 5. 40 Kualitas Produk di Bawah <i>Quality Requirement</i> Pada Temperatur <i>Setting</i> 4 °C	91
Tabel 5. 41 <i>T safe</i> Pada Temperatur <i>Setting</i> 5 °C	92

Tabel 5. 42 Alokasi Produk Pada Temperatur <i>Setting</i> 5°C	92
Tabel 5.43 Kualitas Produk di Bawah <i>Quality Requirement</i> Pada Temperatur <i>Setting</i> 5 °C.....	93
Tabel 5. 44 <i>T safe</i> Pada Temperatur <i>Setting</i> 8 °C.....	94
Tabel 5. 45 Alokasi Produk Pada Temperatur <i>Setting</i> 8°C	94
Tabel 5. 47 Rekapitulasi Hasil Percobaan Variasi Temperatur <i>Setting</i>	95
Tabel 5.48 Alokasi Produk Secara Random	96
Tabel 5.53 Optimasi Alokasi Produk.....	97
Tabel 5.58 Alokasi Produk Pada Perubahan Jumlah Kompartemen Skenario 1 ..	99
Tabel 5.59 Alokasi Produk Pada Perubahan Jumlah Kompartemen Skenario 2	100
Tabel 5.60 Alokasi Produk Pada Perubahan Jumlah Kompartemen Skenario 3	101
Tabel 5.61 Perbandingan Biaya Percobaan Perubahan Jumlah Kompartemen ..	102

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Proporsi Konsumsi Sayuran Tahun 2014.....	4
Gambar 1. 2 Bentuk Kontainer Berpendingin Pada Sepeda Motor	8
Gambar 1. 3 Bagian Dalam Kontainer Berpendingin Pada Sepeda Motor.....	8
Gambar 2.1 Ilustrasi Penurunan Kualitas Pada Makanan.....	18
Gambar 2.2 <i>Cold Chain</i> Logistics Network.....	21
Gambar 2.3 Distribusi Temperatur Pada Kontainer Berpendingin.....	23
Gambar 2.4 Kurva Penurunan Kualitas Pada Produk <i>Perishable</i>	25
Gambar 2.5 <i>Shelf life</i> Produk <i>Chilling Sensitive</i> dan <i>Non-chilling Sensitive</i>	27
Gambar 2.6 Perbandingan <i>Shelf life</i> pada Asparagus dan Buah-buahan Berbiji..	27
Gambar 5.1 Verifikasi Alokasi Produk.....	74
Gambar 5.2 Perbandingan Biaya untuk Beberapa Set Data Mempertimbangkan <i>Quality Requirement</i>	86
Gambar 5.3 Perbandingan Biaya <i>Quality Loss</i> Mempertimbangkan <i>Quality Requirement</i>	87
Gambar 5.5 Layout dan Distribusi Temperatur Kompartemen Pada Skenario 1 .	98
Gambar 5.6 Temperatur Tiap Kompartemen Pada Skenario 1	99
Gambar 5.7 Layout dan Distribusi Temperatur Kompartemen Pada Skenario 1 .	99
Gambar 5.8 Temperatur Pada Tiap Bagian Kompartemen Skenario 2.....	100
Gambar 5.9 Layout dan Distribusi Temperatur Kompartemen Pada Skenario 3	101

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang, perumusan masalah dalam penelitian, tujuan, manfaat, ruang lingkup, dan sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya persaingan global dan teknologi, serta semakin dekat jarak antara produsen dengan lokasi konsumen, maka tekanan untuk mengintegrasikan produksi dengan distribusi semakin meningkat (Nagurney, Yu, Masoumi, & Nagurney, 2013). Hal ini disebabkan karena ekspektasi konsumen mengenai ketersediaan produk mengalami peningkatan. Saat ini, industri telah mencapai pada era *Networks Against Time*, dimana pengambil keputusan yang mampu mengoptimalkan sumber daya dan mampu bersaing dalam hal waktu akan mendapatkan keuntungan besar dengan mengalokasikan sumber daya yang dimiliki dengan tepat (Nagurney, Yu, Masoumi, & Nagurney, 2013). Kemampuan untuk menyediakan produk yang tepat, pada waktu yang tepat, dan lokasi yang tepat kepada konsumen mampu meminimalkan biaya pada rantai pasok (Aung & Chang, 2014). Pemanfaatan teknologi dapat menjadi peluang besar untuk meningkatkan daya saing perusahaan. Salah satu strategi yang diterapkan oleh perusahaan adalah dengan melakukan integrasi manajemen rantai pasok. Manajemen rantai pasok adalah aktivitas integrasi rantai pasok pada unit organisasi, termasuk di dalamnya adalah koordinasi aliran material, informasi, dan keuangan untuk memenuhi permintaan pelanggan dengan tujuan untuk meningkatkan daya saing secara keseluruhan (Rong, Akkerman, & Grunow, 2011). Salah satu jenis manajemen rantai pasok adalah manajemen rantai pasok pada makanan atau disebut juga dengan *Food Supply Chain Management*.

Saat ini perhatian konsumen terhadap kualitas dan kecepatan antar pada produk *perishable* semakin meningkat (Chen, Dong, & Lei, 2018). Konsumen memiliki ekspektasi tertentu mengenai kualitas produk pada saat melakukan pembelian, terutama pada produk yang memiliki umur hidup terbatas seperti

sayuran. Persyaratan utama pada makanan yaitu makanan harus memenuhi kriteria kualitas dan keamanan produk hingga pada waktu dikonsumsi. Sayuran merupakan produk *perishable* yaitu produk yang mengalami penurunan kualitas atau deteriorasi segera setelah diproduksi, penurunan kualitas juga akan terjadi selama proses distribusi (Zuniga & Troncoso, 2013). Penurunan kualitas akan terjadi terus menerus hingga pada suatu titik dimana produk tersebut menjadi tidak layak konsumsi. Hal inilah yang menjadi alasan utama konsumen sangat memperhatikan tingkat kesegaran pada produk dan menginginkan produk tersebut dikirimkan dalam kondisi segar. Salah satu tantangan terbesar pada rantai pasok produk pertanian adalah bagaimana meminimalkan perubahan kualitas dan memperhatikan tingkat keamanan produk pertanian selama penyimpanan produk sehingga dapat meminimalkan kerusakan produk.

Fase *pre-consumer* merupakan fase yang kritis dalam pengolahan makanan terutama buah – buahan dan sayuran. Sebanyak 87% buah – buahan, sayuran, dan sereal terbuang sebelum sampai di tangan consumer (Plazzotta, Manzocco, & Nicoli, 2017). Produk makanan memerlukan perlakuan dan teknologi khusus dalam proses *handling*, transportasi, dan penyimpanan (Nagurney, Yu, Masoumi, & Nagurney, 2013). Istilah *Fruit and Vegetable Waste* (FVW) digunakan untuk mendeskripsikan bagian dari buah – buahan maupun sayuran yang terbuang saat pengumpulan, proses *handling*, transportasi, dan saat diproses (Chang et al, 2006 dalam Plazzotta, Manzocco dan Nicoli, 2017). FVW sering terjadi sebelum produk sampai di tangan konsumen, hal ini terjadi akibat adanya *over production* atau kualitas produk yang tidak sesuai dengan standar dari *retail*. Dalam satu tahun, sekitar 89 milyar ton makanan terbuang di Eropa, setara dengan \$218 milyar dan diprediksi nilai ini akan meningkat sebesar 40% dalam empat tahun kedepan (Chen, Dong, & Lei, 2018).

Istilah "*food loss*" bermakna bahwa terjadi penurunan massa makanan yang layak dikonsumsi dan terjadi selama produk berada dalam aliran rantai pasok. Faktor yang menyebabkan terjadinya *food loss* bermacam – macam tergantung pada lingkungan produk tersebut berada. Manajemen kualitas yang tidak sesuai dan *inventory* yang berlebihan merupakan penyebab utama terjadinya *loss* pada *supply chain perishable food* (Xue, Zhang, & Wansheng, 2014). Berdasarkan Tabel 1.1,

selain dipengaruhi oleh karakteristik dan faktor lingkungan, *food loss* juga disebabkan karena terdapat kesalahan pada saat *physical handling*. Berdasarkan aliran dari rantai pasok makanan, *food loss* dapat terjadi pada fase saat sedang ditanam, pasca panen, penyimpanan, proses, pengemasan, distribusi, dan juga fase konsumsi.

Tabel 1.1 Persentase *Food Loss* Pada Rantai Pasok Buah dan Sayuran

Produksi	Pasca Panen (<i>Handling & Storage</i>)	Proses dan <i>Packaging</i>	Distribusi	Konsumsi
10 – 20 %	4 – 10%	2 – 25%	8 – 17%	5 – 28%

Sumber: (Brenner, 2014)

Jumlah *food loss* pada tiap negara berbeda tergantung pada seberapa efisien sistem rantai pasok makanan pada negara tersebut. Menurut Gustavsson et al (2011) dalam Brenner (2014), persentase *food loss* yang terjadi di negara maju pada fase proses dan pengemasan hanyalah 2%, namun pada negara berkembang seperti pada Asia dan Afrika, persentase *food loss* adalah sekitar 20 – 25%. Padahal jika diamati pada Gambar 1.1, dapat dilihat bahwa Asia Pasifik merupakan konsumen sayuran terbesar pada tahun 2014. Hal ini mengindikasikan bahwa di Asia Pasifik konsumsi sayuran cukup tinggi. Namun kondisi ini juga diikuti dengan tingginya persentase *food loss*. Indonesia merupakan negara dengan konsumsi sayuran terbesar kelima di Asia. Namun sistem rantai pasoknya masih belum efisien, hal ini dapat dilihat dari persentase *food loss* di Indonesia yang masih cukup tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di Indonesia kehilangan hasil sayuran mencapai 20 – 50% akibat penanganan pasca panen yang kurang tepat. (Badan Besar Pelatihan Pertanian Lembang, 2015). Selain itu, *food loss* pada komoditas beras di Indonesia pada tahun 2016 mencapai 24.92% (Mulyo & Martianto, 2016). Salah satu contoh kesalahan penanganan pada pasca panen adalah penempatan produk pada temperatur simpan yang salah dan fasilitas penyimpanan yang tidak mendukung. Kondisi seperti ini dapat menjadi peluang besar untuk melakukan perbaikan agar dapat meningkatkan efisiensi dalam distribusi produk *perishable* sehingga dapat meminimalkan jumlah *food loss* dan memaksimalkan keuntungan yang diperoleh.



Gambar 1. 1 Proporsi Konsumsi Sayuran Tahun 2014 (Kocheri, 2015)

Produk sayuran memiliki karakteristik khusus yang menyebabkan timbul batasan dalam penerapan integrasi rantai pasok pada produk berupa makanan. Salah satu karakteristik yang perlu dipertimbangkan sepanjang rantai pasok sayuran adalah kualitas dari produk. Kualitas makanan berhubungan langsung dengan atribut pada makanan seperti integritas, keamanan, dan umur simpan (Rong, Akkerman, & Grunow, 2011). Kualitas sayuran dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dari tempat penyimpanan dan fasilitas transportasi. Adanya hambatan pada transportasi produk makanan segar sangat penting untuk diselesaikan, karena makanan segar memiliki umur simpan yang terbatas dan berhubungan langsung dengan temperatur lingkungannya (Frith, 1991 dalam Brenner, 2014). Produk *perishable* sangat sensitif terhadap temperatur lingkungan dan kelembapan tempat penyimpanan. Untuk menghindari terjadinya kerugian ekonomi, maka penempatan produk *perishable* pada temperatur simpan yang sesuai pada produk *perishable* penting untuk dilakukan sehingga dapat mengoptimalkan kesegaran produk.

Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk memaksimalkan kesegaran produk adalah dengan menerapkan *cold chain system* pada sistem distribusi. Kualitas produk dapat dipertahankan dengan cara mendinginkan produk pada temperatur tertentu sehingga dapat memperlambat terjadinya penurunan kualitas. Penyimpanan produk pada temperatur rendah dapat memperlambat kecepatan respirasi dan aktivitas enzim, memperlambat pertumbuhan mikroba, dan mengurangi produksi etil (Ladaniya, 2008 dalam Delele, et al., 2013). Temperatur yang salah akan mempengaruhi keamanan produk untuk dikonsumsi. Temperatur pada ruang simpan harus disesuaikan dengan karakteristik produk yang dibawa

karena kesalahan penempatan produk pada temperatur simpan yang tidak sesuai dengan karakteristik produk dapat mempercepat penurunan kualitas dan umur hidup produk makanan segar.

Kesadaran untuk menjaga temperatur yang ideal dalam penyimpanan sayuran dan buah – buahan sangat penting dalam manajemen produk *perishable*. Manajemen temperatur adalah salah satu aspek yang kompleks pada industri karena dipengaruhi oleh banyak faktor. Kontrol temperatur diperlukan untuk memperlambat terjadinya proses metabolisme dari produk, dan kelembapan harus dijaga pada level tertentu untuk menghindari terjadinya penguapan kandungan cairan jika disimpan pada kondisi lingkungan yang tidak sesuai sehingga dapat menyebabkan turunnya tingkat kelembapan produk pada makanan segar (Brenner, 2014). Jika produk sayuran dan buah – buahan disimpan pada temperatur yang terlalu rendah maka dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada produk yaitu *freezing injury* (Cornell Cooperative Extension of Chemung County, 2004). Sedangkan jika produk disimpan pada temperatur yang terlalu tinggi, akan mengurangi umur hidup dari produk. Sehingga penempatan produk di lokasi simpan dengan temperatur optimal dan kontrol temperatur berperan penting terhadap kesegaran produk selama perjalanan.

Jenis produk yang berbeda, memerlukan penanganan yang berbeda pula untuk menjaga kualitasnya. Pada pengiriman produk homogen, temperatur *storage* dapat diatur sesuai dengan temperatur penyimpanan optimal produk tersebut. Namun, manajemen temperatur *storage* menjadi kompleks jika di dalamnya terdapat banyak jenis produk yang memiliki temperatur penyimpanan optimal yang berbeda – beda. Sehingga penting untuk memastikan bahwa semua jenis produk dengan temperatur penyimpanan optimal yang berbeda dapat dikelola pada kondisi terbaik pada *cold storage*.

Selain membutuhkan investasi yang lebih mahal, kendaraan *cold storage* juga mengkonsumsi lebih banyak energi dibandingkan kendaraan distribusi biasa. Biaya energi harus dikeluarkan untuk menjaga temperatur ruang simpan selama perjalanan. Pengaturan temperatur berbeda menyebabkan biaya yang harus dikeluarkan juga berbeda (Xue, Zhang, & Wansheng, 2014). Pada beberapa jenis produk semakin rendah temperatur maka kondisi ruang simpan akan semakin baik

karena memperlambat penurunan kualitas makanan, namun hal ini juga menyebabkan peningkatan biaya energi. Begitu pula sebaliknya, semakin tinggi temperatur yang ditetapkan untuk ruang simpan maka biaya energi yang dikeluarkan menjadi lebih sedikit, namun akan mempercepat laju penurunan kualitas produk makanan.

Temperatur yang beragam dapat terjadi dalam satu kontainer berpendingin. Kendala yang dihadapi ketika menerapkan penyimpanan dengan ruang berpendingin adalah terjadinya heterogenitas temperatur di dalam ruangan simpan yang berpendingin. Semakin jauh lokasi dari pusat pendinginan (*cooler*) akan menyebabkan temperatur pada lokasi tersebut lebih tinggi daripada temperatur yang diatur pada ruang simpan, contohnya adalah produk yang diletakan pada *pallet* yang berada pada bagian ujung/pojok memiliki *shelf life* 15% lebih rendah daripada produk yang berada di bagian tengah *pallet* (Nunes at al., 2014 dalam Mercier et al., 2017). Menjaga temperatur dalam *cold storage* agar homogen merupakan hal yang tidak mudah, distribusi temperatur pada ruangan dipengaruhi oleh bentuk ruang simpan dan aliran udara di dalamnya (Akdemir & Bartzanas, 2015). Temperatur ruang simpan yang tidak homogen menyebabkan perbedaan temperatur yang diterima oleh produk yang diletakan pada lokasi yang berbeda.

Selama transportasi, alokasi produk dengan menyesuaikan temperatur optimal produk tersebut dengan temperatur pada lokasi kompartemen penting untuk diperhatikan untuk meminimalkan terjadinya penurunan kualitas dan menjaga agar produk tetap pada kualitas yang baik, dengan demikian tidak hanya rute distribusi saja yang penting untuk diperhatikan, namun manajemen temperatur dan alokasi produk pada kompartemen kontainer pada saat perjalanan juga penting untuk diperhatikan.

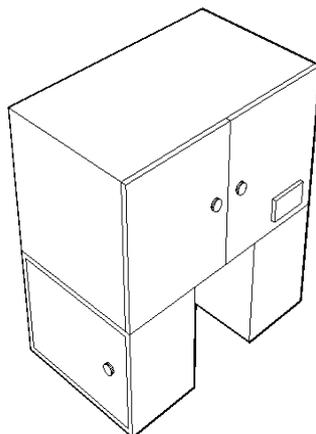
Penggunaan energi pada *cold storage* akan berdampak terhadap kenaikan biaya distribusi. Dengan memperhatikan besarnya konsumsi energi pada *cold storage*, maka penting untuk mempertimbangkan biaya energi sebagai bagian dari biaya distribusi pada produk *perishable*. Biaya energi akan meningkat seiring dengan meningkatnya jarak tempuh dalam distribusi dan lama waktu perjalanan. Sehingga dalam implementasi *cold storage*, keputusan mengenai rute perjalanan akan mempengaruhi biaya distribusi karena semakin panjang rute perjalanan,

menyebabkan durasi perjalanan semakin panjang, sehingga biaya energi menjadi semakin tinggi. Selain itu, pada pengiriman produk dengan menggunakan kontainer berpendingin, ketika pintu kendaraan dibuka untuk mengambil beberapa produk, produk akan mengalami penurunan kualitas karena perbedaan temperatur lingkungan dengan temperatur ruang simpan (Song & Ko, 2016). Jika pengiriman produk dilakukan ke banyak konsumen, akan semakin sulit untuk menjaga kesegaran produk karena waktu perjalanan akan semakin panjang dan juga frekuensi berhenti kendaraan saat melayani konsumen menjadi semakin banyak.

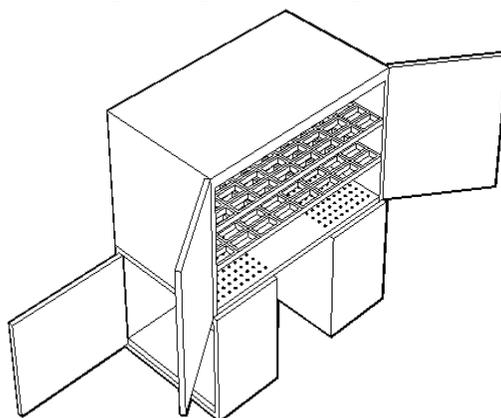
Kualitas pada produk adalah karakteristik terpenting dalam rantai pasok makanan. Saat ini, perhatian konsumen mengenai kualitas produk semakin meningkat terutama terhadap produk yang termasuk dalam kategori *highly perishable*. Produk buah – buahan dan sayuran adalah produk yang sensitif terhadap waktu sehingga pengiriman dengan waktu yang paling minimal akan menguntungkan *supplier* dan juga konsumen karena penurunan kualitas dapat diminimalkan. Strategi dalam waktu pengiriman dapat dioptimalkan untuk meningkatkan produktivitas *supplier* terutama bagi *supplier* dengan jenis produk *perishable*.

Berdasarkan penjelasan di atas maka dapat disimpulkan bahwa temperatur kontainer yang optimal, alokasi produk pada kontainer dan penentuan rute perjalanan penting dilakukan agar lama waktu perjalanan dapat diminimalkan dan akan berdampak terhadap total biaya distribusi dan kepuasan konsumen. Pada penelitian ini *cold storage* yang digunakan dalam distribusi adalah sepeda motor yang dilengkapi kontainer berpendingin yang terdiri dari sembilan kompartemen. Kontainer ini mampu membawa beberapa jenis produk sayuran dengan kapasitas tertentu. *Cooler* untuk mendinginkan temperatur terletak pada bagian atas kontainer, sehingga menyebabkan temperatur yang diterima pada bagian bawah kontainer menjadi lebih tinggi dari temperatur *setting* pada kontainer karena jaraknya yang semakin jauh dari *cooler*. Temperatur kontainer yang tidak homogen menyebabkan perbedaan temperatur pada lokasi yang berbeda. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan alokasi produk pada kompartemen kontainer berdasarkan temperatur optimal produk dengan menyesuaikan terhadap temperatur yang diterima oleh masing – masing kompartemen sehingga penurunan kualitas

dapat diminimalkan. Sketsa bentuk kontainer berpendingin dapat dilihat pada Gambar 1.2 dan Gambar 1.3.



Gambar 1. 2 Bentuk Kontainer Berpendingin Pada Sepeda Motor



Gambar 1. 3 Bagian Dalam Kontainer Berpendingin Pada Sepeda Motor

Pengaturan temperatur *storage* akan mempengaruhi kualitas produk di dalamnya, karena setiap produk memiliki temperatur optimal yang berbeda – beda. Pada penelitian ini akan dilakukan penyelesaian dalam pemilihan rute perjalanan pada distribusi multi produk sayuran dengan mempertimbangkan biaya energi dan penurunan kualitas. Biaya energi untuk transportasi dan pendinginan kontainer dapat diminimalkan dengan meminimalkan jarak tempuh dan waktu transportasi. Sehingga diperlukan pemilihan rute perjalanan yang dapat meminimalkan biaya energi. Permasalahan seperti ini merupakan salah satu jenis *Vehicle Routing Problem* (VRP). VRP adalah permasalahan penentuan rute kendaraan dengan

mempertimbangkan kapasitas kendaraan untuk memenuhi permintaan konsumen dimana hanya terdapat satu depot dan setiap konsumen hanya dapat dilayani oleh satu kendaraan saja. Selain itu, kendaraan harus berangkat dari satu depot dan kembali ke depot tersebut.

Rong, Akkerman, & Grunow (2011) mengembangkan model *mixed-integer programming* untuk memodelkan perencanaan produksi dan distribusi pada rantai pasok makanan dengan mempertimbangkan penurunan kualitas dari produk *perishable*. Dalam penelitian tersebut, penetapan temperatur pada kontainer disesuaikan dengan temperatur optimal satu komoditas saja dan kualitas dipengaruhi oleh lama waktu penyimpanan. Trihardani & Rusdiansyah (2011) mengembangkan model *Vehicle Routing Problem* untuk produk *perishable multi product* dan *multi temperature* dengan mempertimbangkan biaya energi. Tania (2012) melakukan pengembangan model dari model distribusi oleh Trihardani & Rusdiansyah (2011) dengan mempertimbangkan biaya energi dan penurunan kualitas pada *multi produk* dan *multi temperature*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Trihardani & Rusdiansyah (2011), temperatur truk kontainer didedikasikan untuk satu temperatur. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Tania (2012), truk kontainer bersifat dinamis dimana temperatur dapat berubah selama perjalanan sesuai dengan temperatur minimum pada produk yang dibawa untuk meminimumkan biaya energi. Zhang & Chen (2014) mengembangkan model *Vehicle Routing Problem* untuk pengiriman *frozen food*. Pada penelitian tersebut, temperatur penyimpanan diasumsikan sudah optimal. Kerusakan produk terjadi akibat proses *handling* dan lama waktu perjalanan, kemudian juga diasumsikan bahwa konsumen akan menerima produk yang dikirimkan tanpa memperhatikan kualitasnya. Accorsi, Baruffaldi, & Manzini (2018) mengembangkan model untuk menentukan alokasi produk pada *warehouse* dengan memperhatikan perbedaan temperatur dari tiap *pallet* dan temperatur optimal dari produk.

Pada penelitian ini, akan dikembangkan model distribusi untuk produk sayuran dengan kontainer berpendingin untuk meminimalkan biaya energi dan penurunan kualitas dengan mempertimbangkan heterogenitas temperatur di setiap kompartemen pada kontainer. Untuk memenuhi permintaan konsumen, terdapat beberapa kendaraan yang digunakan untuk distribusi. Rute distribusi akan dibuat

dengan memperhatikan batasan yang harus dipenuhi. Tujuan dari penelitian ini adalah menyusun rute perjalanan dan menetapkan alokasi produk yang dapat meminimalkan penurunan kualitas dan total biaya distribusi. Total biaya distribusi terdiri dari biaya penggunaan kendaraan, biaya transportasi, biaya energi, dan biaya kerusakan produk. Model ini akan diselesaikan dengan menggunakan algoritma *Nearest Neighbor*. Pemilihan metode ini dilakukan karena jika menggunakan metode *exact*, untuk mendapatkan solusi pada permasalahan kompleks membutuhkan waktu yang cukup lama dan tidak praktis. Oleh sebab itu, penyelesaian pencarian rute dilakukan dengan metode heuristik *Nearest Neighbor* untuk mendapatkan hasil komputasi yang lebih cepat. Kemudian alokasi produk diselesaikan dengan *branch and bound* yang dilakukan dengan menggunakan Solver pada Ms. Excel 2016. Pemilihan metode *exact (branch and bound)* pada alokasi produk dilakukan karena model alokasi ini tidak lebih kompleks dari penentuan rute sehingga dapat diselesaikan dengan metode *exact* dengan waktu komputasi yang lebih rendah. Sehingga dapat diperoleh alokasi yang paling optimal untuk meminimalkan penurunan kualitas.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana menyusun rute distribusi dan melakukan alokasi produk pada kompartemen kontainer berpendingin yang dapat meminimalkan penurunan kualitas produk selama perjalanan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan model rute distribusi *Vehicle Routing Problem with Hard Time Windows* untuk multi produk sayuran (*agro-perishable*).
2. Memodelkan konsep penurunan kualitas produk sayuran dengan memperhatikan selisih temperatur kontainer dengan temperatur optimal produk.

3. Menentukan alokasi produk pada tiap kompartemen dengan mempertimbangkan temperatur pada kompartemen dan temperatur optimal penyimpanan.
4. Membangkitkan skenario model dan menganalisis pengaruhnya terhadap biaya distribusi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian pada tugas akhir ini adalah:

1. Hasil penelitian dapat dijadikan referensi bagi distributor/produsen produk sayuran dalam mengalokasikan produk pada kontainer berpendingin.
2. Mengetahui dampak alokasi produk sayuran pada kualitas produk yang disimpan pada fasilitas berpendingin.
3. Mengisi kesejangan penelitian terkait distribusi dan alokasi pada produk *perishable*.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian terdiri dari batasan dan asumsi yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini. Batasan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Aliran distribusi terdiri dari satu depot, banyak pembeli, dan beberapa jenis produk sayuran.
2. Data yang digunakan pada percobaan numerik merupakan data sekunder.
3. Distribusi temperatur pada tiap kompartemen telah diketahui.

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Produk yang dibawa kendaraan ketika meninggalkan depot berada pada kondisi kesegaran yang maksimum.
2. Kendaraan distribusi bersifat homogen, memiliki kapasitas yang sama dengan biaya operasional yang sama.
3. Temperatur lingkungan dan temperatur dalam kontainer konstan selama perjalanan.
4. Strategi *supply chain* dalam penelitian adalah *pull supply chain*, dimana distribusi produk didasarkan atas permintaan yang sudah diketahui.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan dilakukannya penelitian, manfaat, ruang lingkup permasalahan yang terdiri dari batasan dan asumsi, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan mengenai teori yang berkaitan dengan permasalahan yang diteliti. Teori yang mendukung dalam penelitian adalah produk *perishable*, *cold chain system*, penurunan kualitas pada produk *perishable*, temperatur optimal pada produk *agro-perishable*, *shelf life* sebagai parameter penurunan kualitas, biaya pendinginan kontainer pada truk berpendingin, manajemen temperatur pada rantai pasok multi produk *perishable*, *Vehicle Routing Problem* (VRP), model distribusi produk *perishable*, dan posisi penelitian dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai tahapan pengerjaan dalam penelitian agar penelitian dapat berjalan dengan sistematis dan teratur. Langkah pengerjaan akan digambarkan dalam diagram alir.

BAB IV PENGEMBANGAN MODEL

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengembangan model yang dilakukan dalam penelitian ini. Model yang dikembangkan adalah model *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) pada produk *perishable* dengan mempertimbangkan biaya energi dan biaya transportasi. Kemudian juga terdapat model alokasi produk pada kompartemen kontainer untuk meminimalkan penurunan kualitas. Pengembangan model dilakukan dengan deskripsi model dan permasalahan, formulasi model matematis, dan algoritma penyelesaian.

BAB V PERCOBAAN NUMERIK

Pada bab ini akan dilakukan pengujian numerik dengan melakukan percobaan terhadap strategi dan analisis pengaruhnya.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian ini dan saran untuk penelitian selanjutnya. Kesimpulan akan menjawab tujuan penelitian yang telah ditentukan. Saran yang diberikan berupa masukan untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori pendukung yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

2.1 Manajemen Distribusi

Jaringan distribusi dan transportasi berperan penting dalam perpindahan produk dari lokasi satu ke lokasi lain dalam jarak dekat maupun jarak jauh (Pujawan & Mahendrawathi, 2017). Tekanan kompetisi dan kebutuhan pelanggan yang makin beragam menyebabkan perusahaan berusaha melakukan peningkatan dalam bidang distribusi dan transportasi. Persaingan pasar akan dimenangkan oleh perusahaan yang mampu mengirimkan produk tepat waktu, dalam jumlah yang sesuai, dan kondisi baik kepada konsumen. Oleh karena itu kemampuan perusahaan untuk mengelola jaringan distribusi dengan efektif dan efisien dapat menjadi keunggulan kompetitif yang penting di industri.

Jaringan distribusi tidak hanya merupakan serangkaian fungsi – fungsi fisik seperti pengangkutan dan penyimpanan, tetapi merupakan bagian integral dari kegiatan rantai pasok dan berperan strategis sebagai titik penyalur informasi dan juga sebagai fasilitas dalam menciptakan nilai tambah (Pujawan & Mahendrawathi, 2017). Fungsi dari distribusi dan transportasi adalah untuk mengantarkan produk dari lokasi tempat produk diproduksi sampai ke konsumen atau tempat produk akan digunakan. Manajemen transportasi dan distribusi mencakup aktivitas menyimpan, mengirim, pengolahan informasi, dan pelayanan kepada pelanggan. Keberhasilan dari manajemen transportasi dan distribusi dapat dilihat dari ketercapaian *service level*, kecepatan pengiriman, kesempurnaan barang sampai konsumen, dan pelayanan yang memuaskan.

Teknologi dan inovasi dalam manajemen distribusi dapat dimanfaatkan untuk mempercepat waktu kirim dan peningkatan efisiensi dalam jaringan distribusi, contohnya adalah pada teknologi penyimpanan untuk produk dengan karakteristik khusus, penggunaan *barcoding*, RFID (*Radio Frequency*

Identification) dan berbagai macam teknologi yang saat ini sudah dimanfaatkan untuk mempermudah proses distribusi.

Fungsi dasar dari manajemen distribusi dan transportasi adalah (Pujawan & Mahendrawathi, 2017):

- a. Melakukan segmentasi dan menentukan target *service level*.
Segmentasi pelanggan perlu dilaksanakan karena setiap pelanggan memiliki karakteristik berbeda serta kontribusi pendapatan yang berbeda pula. Idealnya, perusahaan harus bisa melayani semua pelanggan, namun kondisi ini cukup sulit untuk dicapai. Jika dihubungkan dengan hukum pareto 20/80, maka sekitar 20% pelanggan atau area penjualan menyumbangkan 80% pendapatan yang diperoleh. Sehingga dengan memahami karakteristik dari pelanggan, perusahaan dapat mengoptimalkan alokasi persediaan dan kecepatan pelayanan.
- b. Menentukan moda transportasi
Terdapat banyak jenis moda transportasi dengan karakteristik, kelebihan dan kekurangan yang berbeda – beda. Pada manajemen transportasi, sangat penting untuk menentukan moda transportasi apa yang digunakan dalam melakukan distribusi.
- c. Melakukan konsolidasi informasi dan pengiriman
Konsolidasi informasi diperlukan karena perusahaan dituntut untuk dapat melakukan pengiriman yang cepat dan juga murah. Dengan adanya konsolidasi informasi maka perusahaan dapat menentukan strategi yang tepat dalam pengambilan keputusan.
- d. Melakukan penjadwalan dan penentuan rute pengiriman
Penjadwalan dalam kegiatan operasional distributor adalah menentukan waktu berangkat kendaraan dan rute yang harus dilalui untuk memenuhi permintaan dari pelanggan. Penjadwalan menjadi permasalahan yang kompleks ketika jumlah pelanggan yang harus dikunjungi cukup banyak. Keputusan yang salah dapat berdampak terhadap biaya pengiriman dan penyimpanan yang tinggi.

- e. Memberikan pelayanan nilai tambah

Nilai tambah yang dapat diberikan pada kegiatan distribusi adalah pengepakan, pelabelan harga, pemberian *barcode*, dan lain – lain.

- f. Menyimpan persediaan

Manajemen distribusi tidak lepas dari manajemen pergudangan, jaringan distribusi akan selalu melibatkan penyimpanan produk di gudang maupun di toko tempat produk tersebut dipajang.

- g. Menangani pengembalian (*return*)

Manajemen distribusi juga bertanggung jawab untuk melakukan kegiatan pengembalian dari hilir ke hulu dalam jaringan rantai pasok. Pengembalian ini dilakukan jika produk mengalami kerusakan atau produk tidak terjual, contohnya adalah pada produk makanan, sayuran, dan buah – buahan.

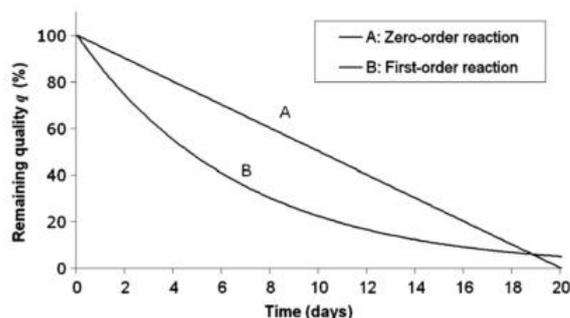
2.2 Produk *Perishable*

Produk *perishable* adalah produk yang sensitif terhadap waktu. Beberapa contoh produk *perishable* adalah obat – obatan yang harus dikonsumsi sesuai dengan jadwal yang ditentukan dan dalam kondisi baik untuk tujuan pengobatan dan pemulihan, ikan, daging, susu, sayuran, dan buah – buahan yang mengalami penurunan kualitas seiring dengan berjalannya waktu (Nagurney, Yu, Masoumi, & Nagurney, 2013). Pada umumnya terdapat dua jenis deteriorasi pada produk *perishable* (Rabbani et al., 2015). Pertama, produk yang tidak dapat dikonsumsi setelah waktu tertentu, contohnya adalah darah. Kantong darah aman digunakan dalam batas waktu tertentu, jika melebihi tanggal kedaluwarsa maka produk tersebut sudah tidak dapat digunakan kembali. Kedua, produk yang memburuk seiring dengan berjalannya waktu sehingga menyebabkan produk tersebut tidak layak dikonsumsi seperti bunga, sayuran, dan buah – buahan.

Jika makanan mengalami kerusakan maka akan mempengaruhi mutu dan nilai gizi yang terdapat pada makanan tersebut dan akan berdampak terhadap kesehatan. Proses perubahan kualitas antar produk *perishable* sangat bervariasi (Chen, Dong, & Lei, 2018). Seperti pada contohnya adalah buah stroberi tidak layak dimakan setelah beberapa hari dipanen, sedangkan buah apel dapat disimpan dalam waktu yang lebih lama dan masih dapat dimakan. Saat ini teknologi untuk menjaga

kesegaran produk *perishable* semakin berkembang, seperti penggunaan *cold storage* dan kemasan khusus untuk menjaga kesegaran produk yang digunakan untuk memperlambat kecepatan penurunan kualitas produk *perishable*.

Banyak literatur *supply chain* hanya fokus pada rantai pasok produk yang tidak mengalami penurunan kualitas. Sehingga, tidak dapat diterapkan langsung pada produk *perishable* yang mengalami deteriorasi. Deteriorasi adalah penurunan kualitas pada produk seiring dengan berjalannya waktu.



Gambar 2.1 Ilustrasi Penurunan Kualitas Pada Makanan (Rong, Akkerman, & Grunow, 2011)

Grafik penurunan kualitas pada makanan dapat dilihat pada Gambar 2.1. Terdapat dua jenis penurunan kualitas yaitu *zero-order reaction* dan *first order reaction*. Pada *zero order reaction* pada garis A, penurunan kualitas bersifat linear. Contohnya adalah buah – buahan dan sayuran. Sedangkan pada *first order reaction* pada garis B, menunjukkan penurunan kualitas pada produk yang dipengaruhi oleh perkembangan mikroba dan bakteri pada produk, contoh produknya adalah daging segar dan ikan. Pada *first order reaction*, penurunan kualitas mengikuti pola eksponensial.

Waktu pengiriman menjadi strategi penting untuk meningkatkan produktivitas dan inovasi, terutama pada produk *perishable*. Sifat sensitif terhadap perubahan waktu pada produk *perishable* dapat berasal dari karakteristik dari produk itu sendiri ataupun permintaan dari konsumen (Nagurney, Yu, Masoumi, & Nagurney, 2013). Pada sayuran, sifat sensitif terhadap waktu terjadi karena karakteristik dari produk tersebut. Hal ini terjadi karena seiring dengan berjalannya waktu, kualitas pada produk akan menurun karena produk tersebut mengalami deteriorasi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1. Temperatur penyimpanan

produk memiliki peran penting dalam mengontrol kualitas produk dalam rantai pasok (Rong, Akkerman, & Grunow, 2011).

Manajemen rantai pasok pada produk *perishable* sangat penting dilakukan pada level strategis, teknis, dan operasional. Tantangan dalam manajemen rantai pasok pada produk *perishable* antara lain (Nagurney, Yu, Masoumi, & Nagurney, 2013):

- a. Transportasi dan *storage* : Proses *handling* pada produk *perishable* harus dilakukan dengan hati – hati, peralatan pengiriman khusus, dan penggunaan fasilitas *cold storage* untuk memastikan bahwa kualitas dan kuantitasnya tetap.
- b. Manajemen persediaan : Pada jumlah permintaan tertentu, proses *tracking* persediaan dan teknik *replenishment* mungkin sangat dibutuhkan untuk meminimalkan jumlah produk yang mengalami deteriorasi.
- c. Biaya pembuangan: Pembuangan limbah pada produk *perishable* dapat menambahkan biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan karena harus dikelola secara khusus.
- d. Dampak lingkungan dan keamanan : Limbah dari produk *perishable* dapat tergolong sebagai limbah beracun sehingga dapat mencemari tanah, udara, dan air.
- e. Manajemen permintaan : Permintaan dapat bersifat tidak pasti (*uncertain*) ataupun sudah pasti (*certain*). Permintaan juga dapat bersifat sensitif terhadap harga.

2.3 Cold Chain System

Cold chain adalah sebuah jaringan pendinginan, *cold stores*, *freezers*, dan *cold boxes* yang terorganisir dan terkontrol sehingga fasilitas tetap pada temperatur tertentu pada proses transportasi, penyimpanan, dan distribusi dari pabrik hingga ke konsumen (World Health Organisation, 2004 dalam White, 2015). *Cold chain management* menjaga temperatur penyimpanan untuk produk yang tidak dapat bertahan pada temperatur yang tinggi. Beberapa aktivitas logistik yang berhubungan dengan *cold chain management* adalah pengiriman/*customize* ruang

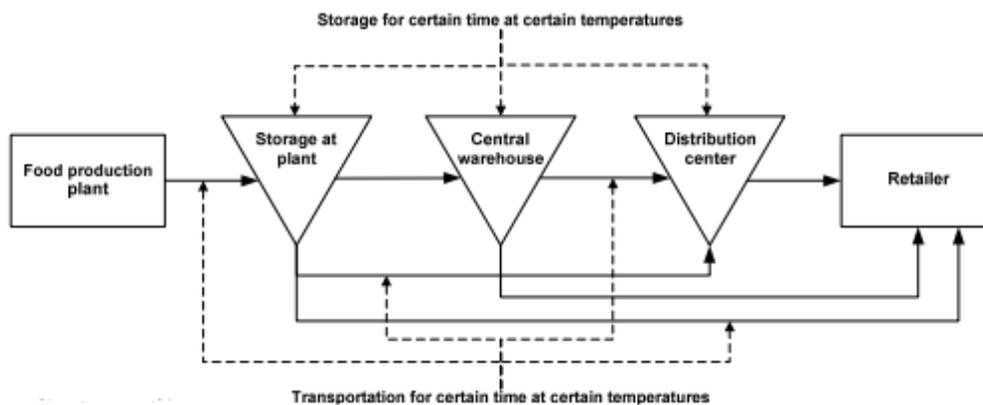
penyimpanan, kontainer pengiriman yang terisolasi, pengiriman/ penyimpanan material dengan fasilitas khusus.

Terdapat dua jenis *cold chain* yaitu *active cold chain* dan *passive cold chain* (Rushton, 1998 dalam White, 2015). *Active cold chain* adalah sistem pendinginan yang menggunakan *active thermal system* dan tidak menggunakan *Phase Change Materials* (PCM) seperti air/es. Pada sistem ini, digunakan sistem elektrik atau mekanikal yang didukung dengan menggunakan sumber energi sehingga dapat menjaga temperatur produk. Contoh peralatan yang digunakan pada *active cold chain* adalah *refrigerator/freezer* dengan menggunakan *compression model* dan *absorption model*. Sumber energi yang digunakan pada peralatan pendingin pada *compression model* adalah seperti solar panel, baterai, energi listrik, dan lain – lain. Sedangkan pada *absorption models*, sumber energi yang digunakan adalah kerosin, gas, *heating resistor*. Sumber energi ini membutuhkan konsumsi energi yang lebih tinggi dan perawatan yang lebih sulit dibandingkan dengan *compression model*. Pada *passive cold chain*, digunakan *thermal system* yang bersifat pasif, yang umumnya digunakan adalah *phase change material* seperti air/udara ataupun *dry ice*. Pengiriman dengan sistem ini adalah metode yang sangat mendasar dan lebih hemat biaya. Peralatan yang pada umumnya digunakan adalah *cool box*, *isothermal packaging (paper wrap)*, *ice packs*, dan lain – lain.

Salah satu contoh dari penerapan *cold chain system* adalah *insulated shipping container*. *Insulated shipping containers* adalah sebuah kemasan yang digunakan untuk pengiriman produk yang sensitif terhadap temperatur seperti makanan, bahan kimia, serta peralatan dan bahan farmasi. Peralatan ini digunakan dalam *cold chain* untuk menjaga kualitas atau kondisi dari produk. *Insulated shipping container* adalah bagian dari *cold chain* yang *komprehensif* dimana temperatur produk akan dikontrol dan didokumentasikan sepanjang siklus distribusi. Umumnya, setiap produk akan memiliki label yang berfungsi untuk dokumentasi status dari produk.

Pada Gambar 2.2 adalah jaringan logistik pada *cold chain*. *Cold chain* termasuk dalam sistem yang kritis dan kompleks. Sistem logistik terdiri dari transportasi, *inventory*, *warehousing*, manajemen informasi, pengemasan, hingga keamanan. Jaringan *cold chain* pada umumnya terdiri dari produsen yang

memproduksi produk, kemudian terdapat aktivitas penyimpanan pada pabrik. Setelah itu, produk akan ditransportasikan ke *central warehouse*. Setelah itu, produk dipindahkan lagi ke *distribution center*. Kemudian produk didistribusikan ke konsumen. Sistem *cold chain* secara keseluruhan adalah mulai dari penyimpanan hingga proses distribusi dimana temperatur di dalamnya dikontrol pada rentang tertentu. Tujuannya adalah untuk mempertahankan umur hidup produk seperti produk pertanian, *seafood*, *frozen food*, dan bahan kimia. Terdapat aliran rantai pasok yang berbeda pada tiap jenis produk yang berbeda. Pada rantai pasok bahan makanan segar atau catering, rantai pasoknya akan relatif lebih pendek. Contohnya yaitu pada rantai pasok sayuran, pada umumnya distribusi akan dilakukan secara langsung dari produsen ke *retail*.



Gambar 2.2 *Cold Chain Logistics Network* (Rong, Akkerman, & Grunow, 2011)

Dalam implementasi *cold chain system* pada jaringan transportasi dan distribusi, terdapat *trade off* antara jarak tempuh perjalanan dengan biaya energi. Semakin jauh jarak tempuh kendaraan, maka jumlah energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan ruang penyimpanan akan semakin banyak sehingga akan berdampak terhadap biaya distribusi (Trihardani & Rusdiansyah, 2011). Semakin tinggi temperatur eksternal menyebabkan biaya energi yang dibutuhkan untuk menyesuaikan temperatur semakin tinggi. Besar energi yang dibutuhkan dipengaruhi oleh dimensi kontainer, jenis material kontainer, temperatur eksternal, dan juga besar muatan.

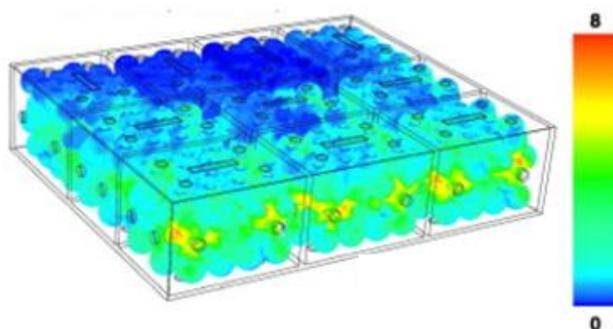
2.4 Manajemen Temperatur pada Rantai Pasok Multi Produk *Perishable*

Shelf life pada makanan dipengaruhi oleh aktivitas mikroba, dimana aktivitas mikroba sangat dipengaruhi oleh temperatur kontainer. Kesegaran produk dipengaruhi oleh waktu dan temperatur. Hal ini menyebabkan manajemen temperatur menjadi hal penting untuk diperhatikan pada produk makanan. Temperatur ruangan menjadi sangat penting diperhatikan ketika dalam ruang simpan terdapat lebih dari satu jenis produk yang memiliki temperatur optimal yang berbeda. Jika temperatur ruangan terlalu tinggi, akan menyebabkan pembusukan menjadi lebih cepat, sedangkan jika temperatur ruangan terlalu rendah akan menyebabkan terjadinya produk menjadi beku. Semakin jauh perbedaan temperatur ruangan dengan temperatur optimal produk, maka semakin tinggi penurunan kualitas yang terjadi pada produk (Aung & Chang, 2014). Pada kendaraan yang mengangkut sayuran dan buah – buahan umumnya memiliki tiga bagian terpisah yaitu: temperatur pada 0°F (-18°C) untuk jenis *frozen food*, 32°F (0°C) untuk jenis produk *chilled food*, dan 55°F (13°C) untuk jenis *chill-sensitive food*. Aung & Chang (2014) merekomendasikan untuk temperatur penyimpanan sayuran dan buah – buahan pada kompartemen sebaiknya dibagi menjadi tiga kelompok yaitu: kelompok dengan temperatur optimal 0 – 4 °C , 5 – 10 °C, dan 13 – 18 °C.

Penentuan temperatur ideal untuk multi produk sangat kompleks karena dipengaruhi oleh banyak hal. Sehingga temperatur ideal pada satu jenis produk tidak tepat jika digunakan sebagai temperatur penyimpanan untuk berbagai macam produk. Aung & Chang (2014) mengembangkan model yang dapat digunakan untuk mengestimasi temperatur optimal untuk penyimpanan multi-produk *perishable*. Penentuan temperatur adalah berdasarkan rata – rata temperatur optimal dari produk yang disimpan di dalam ruang simpan. Pengelompokan produk berdasarkan temperatur optimal yang sejenis penting untuk dilakukan. Produk yang memiliki temperatur optimal sejenis dapat ditempatkan pada satu lokasi yang sama atau berdekatan.

Dalam kontainer berpendingin, terjadi persebaran temperatur yang berbeda pada beberapa segmen di dalamnya. Temperatur yang homogen sangat sulit dicapai karena dipengaruhi oleh bentuk geometris dari kontainer. Hal ini menyebabkan perbedaan temperatur yang diterima oleh produk yang diletakan pada

lokasi yang berbeda. Studi untuk mempelajari persebaran temperatur pada berbagai titik dalam kontainer dapat dilakukan dengan melakukan eksperimen. Namun, cara ini cukup sulit dilakukan serta membutuhkan cukup banyak biaya dan waktu. Maka dari itu, untuk mengetahui persebaran temperatur pada kontainer dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan *numerical modelling*, seperti *Computational Fluid Dynamics* (Akdemir & Bartzanas, 2015). *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dapat digunakan untuk memodelkan transportasi pada produk *agriculture*. Penerapan CFD pada transportasi *cold storage* adalah untuk memprediksikan aliran udara seperti aliran panas dan massa pada produk di kontainer (Delele, et al., 2013). CFD adalah salah satu metode simulasi dengan menggunakan komputer dan aplikasi matematika yang dapat digunakan untuk menentukan desain optimal pada suatu proses dengan memodelkan *fluid flow*.



Gambar 2.3 Distribusi Temperatur Pada Kontainer Berpendingin (Ku Lueven, 2018)

Persebaran temperatur pada kontainer berpendingin dapat diilustrasikan seperti Gambar 2.3. Pada daerah yang dekat dengan pusat pendinginan, temperatur akan semakin mendekati dengan temperatur yang diatur. Sedangkan pada daerah yang jauh dari pusat pendinginan, maka temperaturnya akan semakin tinggi dibandingkan dengan temperatur yang di atur. Sehingga temperatur yang diterima pada tiap lokasi akan berbeda tergantung pada seberapa dekat dengan pusat pendinginan.

2.5 Temperatur Optimal Pada Produk *Agro-perishable*

Temperatur penyimpanan akan mempengaruhi kualitas dari produk *perishable*. Buah – buahan dan sayuran merupakan produk *perishable* yang harus

disimpan pada kondisi yang sesuai setelah dilakukan proses panen. Terdapat empat klasifikasi buah dan sayuran berdasarkan kebutuhan temperatur dan kelembapan yaitu: buah dan sayuran yang harus disimpan dalam kondisi sangat dingin dan lembap, sayuran yang harus disimpan dalam kondisi dingin/sejuk dan lembap, sayuran yang harus disimpan dalam kondisi dingin dan kering, dan sayuran yang harus disimpan dalam temperatur hangat dan kering (Cornell Cooperative Extension of Chemung County, 2004).

Dalam penyimpanannya, buah dan sayuran harus disimpan dalam kondisi gelap untuk menjaga kualitasnya. Selain itu, adanya genangan air harus dihindari untuk menghindari produk tersebut menjadi cepat busuk. Temperatur dari fasilitas pendingin harus sesuai dengan karakteristik produk yang akan disimpan di dalamnya. Berikut adalah kelompok beberapa jenis sayuran dan buah – buahan jika dikelompokkan berdasarkan temperatur optimal penyimpanan dan kelembapan:

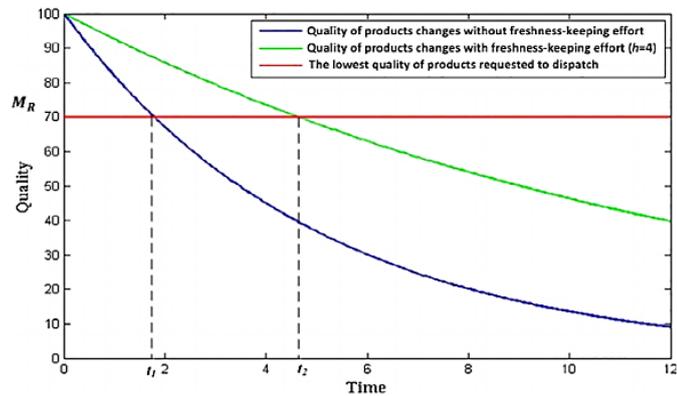
Tabel 2.1 Karakteristik Sayuran dan Buah – buahan Berdasarkan Temperatur dan Kelembapan

<i>Temperature</i>	0 – 2 °C,		7 – 10 °C,	12 – 18 °C,
<i>Humidity</i>	90 – 98% RH <i>(Vegetables)</i>		85 – 95% RH	85 – 95% RH
	85 – 95 % RH <i>(Fruits)</i>			
<i>Vegetables</i>	<i>Artichoke</i> <i>Asparagus</i> <i>Beans; Fava,</i> <i>Broccoli</i> <i>Cabbage</i> <i>Carrot</i> <i>Celery</i> <i>Corn</i>	<i>Garlic</i> <i>Green onion</i> <i>Kale</i> <i>Lettuce</i> <i>Mint</i> <i>Mushroom</i> <i>Parsley</i> <i>Spinach</i>	<i>Basil</i> <i>Beans; snap,</i> <i>green, wax</i> <i>Cucumber</i> <i>Eggplant</i> <i>Long bean</i> <i>Pepper; bell, chilli</i>	<i>Cassava</i> <i>Ginger</i> <i>Potato</i> <i>Pumpkin</i> <i>Sweet potato</i> <i>Taro</i> <i>Tomato</i>
<i>Fruits</i>	<i>Apple</i> <i>Apricot</i> <i>Avocado</i> <i>Blackberry</i> <i>Blueberry</i> <i>Coconut</i> <i>Grape</i> <i>Kiwi fruit</i> <i>Longan</i>	<i>Lychee</i> <i>Peach</i> <i>Plum</i> <i>Raspberry</i> <i>Strawberry</i>	<i>Cranberry</i> <i>Durian</i> <i>Guava</i> <i>Lemon</i> <i>Mango</i> <i>Olive</i> <i>Pineapple</i> <i>Tamarind</i>	<i>Banana</i> <i>Melon</i> <i>Jackfruit</i> <i>Papaya</i> <i>Rambutan</i> <i>Soursop</i> <i>Watermelon</i>

Sumber : (Cornell Cooperative Extension of Chemung County, 2004)

2.6 Penurunan Kualitas Pada Produk *Perishable*

Penurunan kualitas produk *perishable* pada penyimpanan maupun transportasi dipengaruhi oleh waktu penyimpanan, temperatur penyimpanan, dan beberapa konstanta lain yaitu energi aktivasi dan konstanta gas (Labuza, 1982 dalam Chen, Dong dan Xu, 2018). Salah satu cara yang dilakukan untuk mempertahankan kualitas adalah dengan menggunakan fasilitas *cold storage* dan kemasan khusus untuk menjaga kesegaran dari produk.



Gambar 2.4 Kurva Penurunan Kualitas Pada Produk *Perishable* (Chen, Dong, & Lei, 2018)

Pada Gambar 2.4 dapat dilihat pengaruh adanya fasilitas untuk mempertahankan kesegaran produk terhadap kualitas produk, dengan menggunakan fasilitas untuk mempertahankan produk, maka penurunan kualitas dapat diperlambat seiring dengan berjalannya waktu. Sedangkan, penyimpanan produk tanpa adanya fasilitas untuk mempertahankan kesegaran, menyebabkan penurunan kualitas lebih cepat. Pada produk yang disimpan dengan menggunakan fasilitas untuk mempertahankan kesegaran produk, produk masih dapat diterima konsumen pada batas M_R dan waktu t_2 . Sedangkan pada produk yang disimpan tanpa ada fasilitas khusus untuk mempertahankan kesegaran produk, produk dapat diterima konsumen pada batas M_R hingga waktu t_1 dimana $t_1 < t_2$. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya tambahan fasilitas khusus untuk menyimpan produk *perishable*, maka penurunan kualitas dapat diperlambat dengan menambahkan fasilitas pendingin untuk penyimpanan produk.

2.7 Shelf life sebagai Parameter Penurunan Kualitas

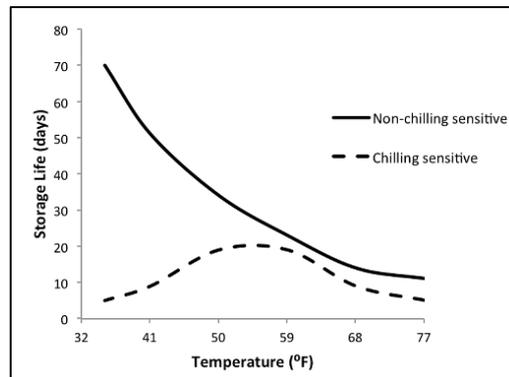
Shelf life adalah waktu dimana produk masih aman untuk digunakan, memenuhi karakteristik mikrobiologi, sensorik, kimia, dan kondisi fisik pada produk yang diizinkan, dan memenuhi persyaratan kandungan nutrisi (Zuniga & Troncoso, 2013). Umur hidup (*shelf life*) sebenarnya bukan hanya merupakan fungsi waktu, namun lebih tepatnya umur hidup produk merupakan fungsi kondisi lingkungan dan seberapa besar perubahan kualitas yang diperbolehkan. Umur hidup dari produk sayur dan buah – buahan ditentukan oleh perubahan aktivitas mikroba dan reaksi biokimia yang terjadi pada temperatur penyimpanan tertentu. Klasifikasi perbedaan *shelf life* dari beberapa produk sayuran dan buah – buahan pada penyimpanan dengan temperatur dan kelembapan ideal dapat dilihat pada Tabel 2.2

Produk *perishable* dapat dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu *chilling sensitive* dan *non-chilling sensitive*. Pada produk *chilling sensitive*, temperatur optimal sangat penting untuk diperhatikan karena jika penyimpanan berada di bawah temperatur optimal, akan menyebabkan terjadinya *chilling injury* atau *freezing injury*. Sedangkan jika disimpan pada temperatur yang lebih tinggi, akan menyebabkan reaksi mikrobiologi dan reaksi kimia yang terjadi menjadi lebih cepat sehingga mempercepat terjadinya pembusukan. Sedangkan pada produk yang tidak termasuk dalam kategori *chilling sensitive*, semakin rendah temperatur simpan maka *shelf life* produk tersebut akan semakin lama. Namun penggunaan temperatur yang terlalu rendah akan mempengaruhi konsumsi energi yang digunakan untuk pendinginan. Ilustrasi pengaruh temperatur penyimpanan dengan *shelf life* produk dapat dilihat pada Gambar 2.6.

Tabel 2.2 Klasifikasi Tingkat *Perishability* dan *Shelf life* Sayuran dan Buah – buahan Pada Temperatur Optimal

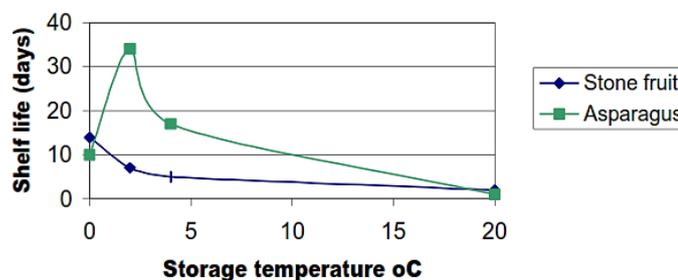
Category	Shelf life (weeks)	Commodities
Very Short	< 1	Blackberry, raspberry, herbs, sprouts
Short	1 – 2	Apricot, artichoke, green bean, blueberry, broccoli, carrots, sweet corn, cucumber, eggplant, mushroom, strawberry
Moderate	2 – 6	Asparagus, cherries, lettuce, melon, green onion, parsley, peach, pepper, radish, tomato, watermelon
Long	> 2	Apple, pear, dry bean, cabbage, celery, garlic, grape, pear, potato

Sumber: (Watkins & Nock, 2012)



Gambar 2.5 *Shelf Life* Produk *Chilling Sensitive* dan *Non-chilling Sensitive* (Watkins & Nock, 2012)

Ilustrasi penurunan kualitas pada asparagus dimana termasuk dalam kategori *chilling sensitive* dapat dilihat pada Gambar 2.5. Asparagus memiliki temperatur optimal 3°C. Sehingga jika asparagus disimpan pada temperatur di bawah 3°C maupun di atas 3°C akan menyebabkan terjadinya penurunan kualitas yang ditandai dengan penurunan *shelf life*. Sifat penurunan kualitas akan berbeda pada produk *non-chilling sensitive* yang memiliki temperatur optimal yang sama. Kondisi ini juga diilustrasikan pada Gambar 2.5, seperti contohnya adalah pada buah – buahan berbiji yang juga memiliki temperatur optimal 3°C. Jika produk disimpan pada temperatur yang lebih rendah dari 3°C, maka *shelf life* menjadi semakin tinggi karena akan semakin memperlambat pertumbuhan mikroba. Penurunan kualitas yang ditandai dengan penurunan *shelf life* hanya akan terjadi jika produk disimpan pada temperatur yang lebih tinggi dari temperatur optimal.



Gambar 2.6 Perbandingan *Shelf Life* pada Asparagus dan Buah-buahan Berbiji (Sydney Postharvest Laboratory, 2012)

Berikut adalah beberapa jenis buah – buahan dan sayuran jika dikelompokkan berdasarkan karakteristik *chilling sensitive* dan *non-chilling sensitive*:

Tabel 2.3 Kelompok Sayuran dan Buah-buahan *Chilling Sensitive* dan *Non-chilling Sensitive*

<i>Non-chilling Sensitive Commodities</i>	<i>Chilling Sensitive Commodities</i>
<i>Apples</i>	<i>Snap bean</i>
<i>Apricots</i>	<i>Cranberry</i>
<i>Artichokes</i>	<i>Cucumbers</i>
<i>Asparagus</i>	<i>Eggplant</i>
<i>Broccoli</i>	<i>Peppers</i>
<i>Cabbage</i>	<i>Potatoes</i>
<i>Carrots</i>	<i>Pumpkins</i>
<i>Celery</i>	<i>Sweet potatoes</i>
<i>Sweet corn</i>	<i>Tomatoes</i>
	<i>Watermelons</i>

Sumber: (Watkins & Nock, 2012)

Berikut adalah beberapa contoh kondisi ideal untuk penyimpanan buah – buahan dan sayuran (Watkins & Nock, 2012) :

Tabel 2.4 Temperatur Optimal dan *Shelf life* Beberapa Komoditas Sayuran dan Buah - buahan

<i>Commodity</i>	<i>Storage Temperature (°C)</i>	<i>Shelf life</i>
<i>Apple</i>	0	<i>3 – 6 months</i>
<i>Apricot</i>	0	<i>1 – 3 weeks</i>
<i>Asparagus</i>	0	<i>2 – 3 weeks</i>
<i>Long bean</i>	4 – 7	<i>6 – 10 weeks</i>
<i>Broccoli</i>	0	<i>7 – 10 days</i>
<i>Carrot</i>	2	<i>1 – 2 months</i>
<i>Cucumber</i>	10 - 12	<i>10 – 14 days</i>
<i>Eggplant</i>	10 – 12	<i>1 – 2 weeks</i>
<i>Onion</i>	0	<i>6 – 7 weeks</i>
<i>Lettuce</i>	0	<i>2 – 3 weeks</i>
<i>Pepper</i>	7 – 10	<i>2 – 3 weeks</i>
<i>Potato</i>	10 – 15	<i>10 – 14 days</i>
<i>Tomato</i>	12	<i>2 – 5 weeks</i>
<i>Sweet potato</i>	12 – 15	<i>4 – 6 weeks</i>

Sumber: (Watkins & Nock, 2012)

Perhitungan *shelf life* dari suatu produk dapat dilakukan dengan memperhatikan komponen indeks yaitu indeks mikrobial dengan memperhatikan kandungan vitamin C atau indeks sensorik seperti penampilan, rasa, bau, dan tekstur (Kim, Aung, Chang, & Makatsoris, 2015). Pada Rong, Akkerman, & Grunow (2011) dijelaskan bahwa *shelf life* dapat dijadikan sebagai salah satu parameter untuk mengetahui perubahan kualitas produk ketika tidak disimpan pada suhu optimal. Penurunan *shelf life* ketika terjadi peningkatan temperatur dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$KS = \frac{SL_1 - SL_2}{T_1 - T_2} \quad (2.1)$$

dimana :

KS = Tingkat perubahan *shelf life* (hari/1°C)

SL_i = *Shelf life* pada temperatur i (hari)

T_i = Temperatur (°C)

Jika berdasarkan percobaan diketahui bahwa *shef-life* pada paprika mengalami penurunan dari 3 minggu menjadi 2 minggu ketika temperatur simpan meningkat dari 7.2°C menjadi 10°C. Maka tingkat perubahan *shelf life* paprika adalah $(3 - 2) \times \frac{7}{10 - 7.2} = 2.5 \text{ hari}/1^\circ\text{C}$.

2.8 Biaya Pendinginan Pada Kontainer Berpendingin

Kualitas *perishable foods* dipertahankan dengan menjaga kondisi ruangan pada temperatur tertentu. Distribusi dengan menggunakan *cold storage* akan mengkonsumsi energi lebih banyak daripada distribusi dengan menggunakan kendaraan biasa. Energi tersebut digunakan untuk transportasi dan juga untuk mengelola temperatur ruang simpan. Pada penelitian ini, perhitungan energi yang dibutuhkan untuk pendinginan dilakukan berdasarkan pendekatan Zhang & Chen (2014) dan Trihardani & Rusdiansyah (2011). Biaya pendinginan (*refrigeration cost*) terdiri dari dua aspek. Aspek pertama adalah perpindahan panas dari lingkungan dan dari dalam ruang simpan. Aspek selanjutnya adalah perpindahan panas akibat proses *unloading* barang ke konsumen. Biaya pendinginan dapat

diperoleh dengan menghitung biaya yang dikeluarkan akibat konsumsi energi yang dibutuhkan untuk pendinginan. Konsumsi energi untuk pendinginan dipengaruhi oleh koefisien perpindahan panas, luas area ruang simpan, temperatur lingkungan sekitar, temperatur ruang simpan dan lain – lain. Besarnya *thermal load* yang dibutuhkan untuk pendinginan ruangan adalah:

$$Q_T = (1 + \alpha) \times k \times \bar{A} \times \Delta T \quad (2.2)$$

dimana :

Q_T = *Thermal load* berdasarkan perbedaan temperatur (kcal/jam)

α = Tingkat depresiasi kendaraan

k = Konduktivitas termal (kcal/h.m².°C)

\bar{A} = Rata – rata luasan kendaraan (m²)

ΔT = Perbedaan temperatur eksternal dan internal (°C)

Biaya yang dikeluarkan untuk mendinginkan ruang simpan adalah *thermal load* untuk pendinginan selama durasi waktu perjalanan tertentu dikalikan biaya pendinginan per unit. Biaya pendinginan dapat hitung dengan formulasi berikut:

$$C_T = Q_T \times t_{ij} \times G \quad (2.3)$$

dimana :

C = Biaya pendinginan (rupiah)

t_{ij} = Durasi waktu perjalanan dari konsumen i ke konsumen j (jam)

G = Biaya pendinginan per unit (rupiah/kg)

Kendaraan dengan sistem berpendingin umumnya memiliki dinding ruang simpan yang cukup tebal untuk mengisolasi udara luar yang lebih panas. Sehingga, aktivitas membuka pintu ruang simpan berpendingin akan menyebabkan sejumlah udara panas dari luar ruangan masuk ke dalam ruang simpan saat melakukan proses *unloading* ketika melayani konsumen. Sehingga *thermal load*

ketika membuka pintu ruang simpan berpendingin dapat dihitung dengan formulasi sebagai berikut (Hsu & Hung, 2003):

$$Q_s = (0.54V_i + 3.22) \times (T_o - T_s) \times \beta \quad (2.4)$$

dimana :

Q_s = Thermal load ketika loading/unloading

V_i = Volume ruang simpan

T_o = Temperatur luar

T_s = Temperatur dalam ruang simpan

β = Indikator frekuensi pembuka pintu

Nilai dari β tergantung pada frekuensi membuka pintu kendaraan simpan dimana nilainya dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Klasifikasi Frekuensi Membuka Pintu dan Nilai β

Klasifikasi	Frekuensi	β
A	Tidak membuka pintu (0)	0.25
B	Setengah dari C	0.5
C	Dua sampai tiga kali dalam satu jam	1
D	Satu setengah kali C	1.5
E	Dua kali C	2

Biaya energi yang dikeluarkan selama melayani konsumen adalah:

$$C_s = Q_s \times \sum_{i=1}^N u_i \times G \quad (2.5)$$

dimana :

C = Biaya pendinginan (rupiah)

u_i = Durasi waktu melayani konsumen i (jam)

G = Biaya pendinginan per unit (rupiah/kg)

Total biaya konsumsi energi (CR) dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$CR = C_T + C_s \quad (2.6)$$

Total biaya konsumsi energi adalah jumlah dari biaya energi untuk mendinginkan ruang simpan berpendingin dan biaya energi untuk melayani konsumen.

2.9 Vehicle Routing Problem (VRP)

Untuk meminimalkan biaya operasional, maka perusahaan perlu untuk membuat keputusan berapa banyak produk yang akan dibawa dalam satu kendaraan dan kemana tujuan pengirimannya (Bramel & Simchi-Levi, 1997). Permasalahan seperti ini dikategorikan dalam permasalahan *Vehicle Routing Problem*. VRP berfokus pada penentuan rute optimal kendaraan yang melayani pelanggan yang tersebar secara geografis. VRP merupakan suatu jaringan simetris $G = (V, E)$ dengan himpunan *node* $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ dan *edge* $E = \{e = \{i, j\} = \{j, i\} : i, j \in V, i \neq j\}$. Fungsi objektif dalam VRP ini adalah mencari rute yang dapat meminimalkan total jarak yang ditempuh dengan memperhatikan batasan yang harus diperhatikan. Setiap rute dimulai dari depot, kemudian mengunjungi konsumen, lalu kembali ke depot.

Salah satu permasalahan dasar dalam VRP adalah *single-depot Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). Pada CVRP diasumsikan bahwa hanya terdapat satu depot yang melayani beberapa konsumen. Depot sebagai titik awal keberangkatan disebut sebagai titik 0. Terdapat set n konsumen, $N = \{1, 2, \dots, n\}$. Jumlah produk yang harus dikirimkan kepada konsumen $i \in N$ merupakan *demand* d_i dari konsumen i . Kendaraan yang digunakan adalah $K = \{1, 2, \dots, |K|\}$ diasumsikan bersifat homogen dengan kapasitas sama yaitu $Q > 0$, dan beroperasi dengan biaya operasional yang sama. Permasalahan pada kasus ini adalah terdapat sekelompok n konsumen dengan *demand* sebesar d yang harus dilayani oleh kendaraan distribusi k dengan kapasitas pengangkutan Q . Jumlah *demand* yang diangkut dalam satu kendaraan tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan angkut.

Kendaraan yang melayani subset konsumen $S \subseteq N$ berangkat dari depot, menuju ke masing – masing konsumen dalam subset S satu kali, dan kembali ke depot. Perpindahan dari konsumen i ke konsumen j membutuhkan biaya perjalanan sebesar c_{ij} . Biaya yang dibutuhkan untuk berpindah dari *node* i ke *node* j bergantung pada jarak yang ditempuh selama perjalanan.

Variasi lain dari VRP adalah *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW). Pada VRPTW pengiriman dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa setiap konsumen memiliki interval waktu tertentu untuk dilayani yang disebut *time window*. Berdasarkan karakteristik *time windows*, VRPTW dibagi menjadi dua yaitu VRP *with Hard Time Windows* (VRPHTW) dan VRP *with Soft Time Windows* (VRPSTW). *Time windows* adalah waktu terawal memulai pelayanan dan waktu terakhir mengakhiri pelayanan, $[r,s]$, dimana batasan *acceptable time* pada VRPSTW dilambangkan dengan $[R,S]$. Pada VRPHTW, *time windows* tidak boleh dilanggar sama sekali, sedangkan pada VRPSTW, terdapat toleransi keterlambatan hingga batas waktu tertentu namun harus membayar biaya penalti keterlambatan pengiriman. Jika kendaraan tiba di lokasi lebih cepat, maka kendaraan harus menunggu hingga waktu R untuk melayani konsumen. Namun jika terjadi keterlambatan kedatangan kendaraan, konsumen masih akan melayani pada waktu $[s,S]$ dengan membayar penalti. Jika kedatangan kendaraan diluar $[R,S]$ maka rute tersebut menjadi *infeasible*.

2.10 Model VRPTW untuk Produk *Perishable*

Zhang dan Chen (2014) mengembangkan model distribusi produk *perishable* multi produk pada *frozen food*. Tujuan utamanya adalah meminimumkan biaya distribusi dengan mempertimbangkan biaya transportasi, biaya pendinginan, biaya penalti pengiriman terlalu awal dan keterlambatan pengiriman, biaya penurunan kualitas (kerusakan produk) dengan memperhatikan perbedaan kualitas dari tiap *frozen food*. Batasan yang diperhatikan dalam model adalah *time windows* dari masing – masing konsumen, batas berat beban dan volume maksimal produk yang dapat diangkut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang dibangun dapat menghasilkan penjadwalan kendaraan yang dapat

meminimumkan biaya distribusi dan meningkatkan kepuasan konsumen. Berikut adalah model rute perjalanan (Zhang & Chen, 2014):

Objective Function:

$$\begin{aligned}
Min Z = & \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^I \sum_{n=1}^P (\theta_p t_{ijk} + \lambda_p d_{ip}) x_{ijk} P_p \\
& + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I \sum_{P=1}^P G c_{ij} x_{ijk} \\
& + \sum_{k=1}^K (1 + \alpha) k \bar{A} \Delta T t_{ij} E \\
& + \sum_{k=1}^K (0.54V + 3.22) \Delta T \beta s_i E + \sum_{i=1}^I B_{vi}
\end{aligned} \tag{2.7}$$

Subject to:

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I d_{ip} z_{ik} \leq W, k = 1, 2, \dots, K \tag{2.8}$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I d_{ip} v_p z_{ik} \leq V, k = 1, 2, \dots, K \tag{2.9}$$

$$\sum_{i=1}^I z_{ik} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, I \tag{2.10}$$

$$\sum_{i=0}^I x_{ijk} \leq z_{ik}, k = 1, 2, \dots, K, i = 1, 2, \dots, I \tag{2.11}$$

$$\sum_{k=0}^K x_{ijk} \leq z_{ik}, k = 1, 2, \dots, K; i = 1, 2, \dots, I \tag{2.12}$$

$$a_i \leq \bar{t}_{ik} + s_i \leq b_i, i = 1, 2, \dots, I \tag{2.13}$$

Fungsi objektif pada Persamaan (2.7) bertujuan untuk meminimalkan total biaya distribusi dari kendaraan untuk mengunjungi konsumen. Total biaya distribusi terdiri dari biaya kerusakan, biaya transportasi, biaya energi untuk

mendinginkan, biaya energi ketika *unloading* melayani konsumen, dan biaya penalti akibat keterlambatan pengantaran. Kendala (2.8) dan (2.9) menyatakan bahwa berat dan volume yang dibawa pada kendaraan k tidak melebihi kapasitas kendaraan yaitu W dan V . Persamaan (2.10) menyatakan bahwa setiap konsumen dilayani hanya oleh satu kendaraan saja. Persamaan (2.11) dan (2.12) menyatakan bahwa setiap konsumen hanya dikunjungi satu kali. Persamaan (2.13) menunjukkan kendala *time windows* dimana waktu kedatangan dan pelayanan harus lebih besar dari waktu mulai pelayanan konsumen dan harus lebih kecil dari batas waktu selesai pelayanan konsumen.

2.11 Penyelesaian Model VRP dengan *Nearest Neighbor*

Nearest Neighbor (NN) merupakan algoritma *constructive heuristic*. NN adalah metode penentuan rute secara iteratif menghubungkan *vertex* pada penelitian sebelumnya dengan *vertex* yang belum memiliki rute. Algoritma heuristik NN akan menyisipkan pelanggan paling dekat dari suatu *node* ke *node* lain. Jika suatu *node* yang paling dekat tidak memenuhi kendala kapasitas, persyaratan kualitas dan *time windows* maka akan digantikan dengan *node* terdekat lainnya. Algoritma NN pada umumnya menghasilkan solusi dengan kualitas rendah, sehingga akan lebih baik jika dilakukan *improvement* dengan menggunakan solusi dari NN sebagai *initial solution*. Berikut adalah tahap dalam penyelesaian dengan metode *Nearest Neighbor* (Hsu, Hung, & Li, 2007)

- Step 1 : Masukan data yang diperlukan seperti *demand*, parameter supplier, dan jaringan $G=(V,A)$.
- Step 2 : Rute diawali dari depot, tentukan depot sebagai titik awal keberangkatan.
- Step 3 : Tentukan konsumen terdekat dari titik terakhir yang dimasukkan ke dalam rute.
- Step 4 : Ulangi langkah 3 selama kendala kapasitas kendaraan dan *time windows* terpenuhi.
- Step 5 : Jika kapasitas kendaraan dan *time windows* terpenuhi, maka tugaskan kendaraan lain untuk melayani konsumen yang belum masuk ke dalam rute.

2.12 Storage Assignment Pada Produk Perishable

Semakin meningkatnya perhatian konsumen mengenai kualitas dan keamanan produk menjadikan suatu tantangan baru pada bidang logistik. Kualitas dan keamanan produk yang dijual akan berdampak besar terhadap penjualan, seperti reputasi perusahaan, pengembalian produk, komplain konsumen, dan sejumlah produk yang rusak atau tidak layak dikonsumsi. Kunci utama dalam sistem logistik dan aktivitas rantai pasok produk yang sensitif terhadap perubahan temperatur adalah bagaimana meningkatkan efisiensi setiap aktivitas serta meningkatkan keamanan dan kualitas produk. Kondisi temperatur yang diterima produk selama penyimpanan, transportasi, dan penanganan dapat menyebabkan perubahan kualitas produk. Sehingga, perhatian terhadap temperatur simpan selama penyimpanan produk perlu diperhatikan untuk menghindari terjadinya kerusakan produk. Pada penggunaan ruang simpan berpendingin, temperatur udara tidak terdistribusi secara merata dan bervariasi secara signifikan pada lokasi simpan yang berbeda (Accorsi, Baruffaldi, & Manzini, 2018).

Accorsi, Baruffaldi, & Manzini (2018) melakukan sebuah penelitian untuk mengetahui kebijakan *storage assignment* produk *perishable* pada *warehouse* dengan tujuan untuk mengoptimalkan efisiensi pada *warehouse* dan meminimalkan terjadinya kerusakan yang terjadi pada produk akibat perbedaan temperatur simpan. Kebijakan ini menentukan lokasi penyimpanan produk yang baru datang di *warehouse* dengan mencoba untuk mengurangi frekuensi dan jarak perjalanan saat pengambilan dan menjaga produk pada temperatur yang aman untuk produk secara bersamaan. Pada penelitian tersebut, konfigurasi pada ruang simpan dilakukan dengan tujuan meminimalkan *temperature stress* pada produk yang disimpan, dimana hal ini dihitung berdasarkan selisih antara temperatur terburuk yang dirasakan produk dengan temperatur ruang simpan. Temperatur terburuk yang dirasakan produk dapat dihitung dengan rumus:

$$T_{safe} = \begin{cases} T_{max,p}, & \text{jika } |T_m - T_{min,p}| \geq |T_m - T_{max,p}| \\ T_{min,p}, & \text{jika tidak} \end{cases} \quad (2.14)$$

Pada persamaan di atas, dijelaskan bahwa temperatur terburuk yang dirasakan produk p jika disimpan pada temperatur T_m adalah sebesar temperatur maksimum dalam *range* temperatur optimal produk ($T_{max,p}$), jika selisih antara temperatur kompartemen m dengan temperatur minimum dalam *range* temperatur optimal produk ($T_{min,p}$) lebih besar daripada selisih antara temperatur kompartemen m dengan temperatur minimum dalam *range* temperatur optimal produk ($T_{max,p}$), begitu pula sebaliknya.

Alokasi produk pada kompartemen dilakukan dengan minimasi penurunan *shelflife* pada produk dengan memperhatikan selisih temperatur yang diterima pada bagian kompartemen m dengan temperatur optimal produk p . Sehingga model matematis fungsi tujuannya adalah:

$$\min \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} (T_{safe,p} - T_m) \times \delta_p \times q_{pm} \quad (2.15)$$

2.13 Posisi Penelitian

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai posisi penelitian dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Pada sub bab ini akan dilakukan analisis mengenai penelitian terdahulu yang berkaitan dengan hal – hal yang akan dibahas pada penelitian ini. Zhang & Chen (2014) mengembangkan model distribusi produk *perishable* multi produk pada *frozen food*. Tujuan utamanya adalah meminimumkan biaya distribusi dengan mempertimbangkan biaya transportasi, biaya pendinginan, biaya penalti pengiriman terlalu awal dan keterlambatan pengiriman, serta biaya kerusakan produk selama perjalanan dan *service time*. Setiap konsumen memiliki *time windows* masing – masing, dan keterlambatan hingga waktu tertentu akan dikenakan biaya penalti. Batasan yang diperhatikan dalam model adalah *time windows* dari masing – masing konsumen, batas berat beban dan volume maksimal produk yang dapat diangkut. Penyelesaian model dilakukan dengan menggunakan pendekatan heuristik dan metaheuristik yaitu *Genetic Algorithm* (GA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang dibangun dapat menghasilkan penjadwalan kendaraan yang dapat meminimumkan biaya distribusi dan meningkatkan kepuasan konsumen.

Aung & Chang (2014) melakukan penelitian untuk menghitung temperatur optimal dan *clustering* untuk multi komoditas pada ruang simpan berpendingin. Metode perhitungan yang digunakan adalah dengan menggunakan pendekatan *euclidian distance* yang dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan percobaan dengan menggunakan *Wireless Sensor Network* (WSN) untuk mengetahui temperatur ruang simpan secara *real time*. Pada penelitian tersebut dilakukan manajemen temperatur pada ruang simpan dengan memperhatikan temperatur penyimpanan optimalnya. Produk yang memiliki temperatur optimal yang sama akan dikelompokkan menjadi satu *cluster*. Pada penelitian ini tidak dilakukan pengembangan model pada *vehicle routing problem*, penelitian ini hanya fokus pada manajemen temperatur pada produk *perishable*.

Rabbani, Ramezankhani, Farrokhi-Asl, & Farshbaf-Geranmayeh (2015) mengembangkan model *Vehicle Routing Problem* dengan fungsi tujuan memaksimalkan keuntungan dan memaksimalkan kesegaran produk, setiap konsumen memiliki *demand* yang bersifat deterministik dan *soft time windows*. Profit yang diperoleh perusahaan bergantung pada kondisi dan kesegaran produk ketika produk tersebut sampai di konsumen. Pada penelitian ini, jenis produk yang dipertimbangkan adalah *multi-product*, namun pada model ini belum mempertimbangkan fungsi penurunan kualitas akibat perbedaan temperatur, penurunan kualitas dihitung dengan menggunakan variabel *shelf life* dimana penurunan *shelf life* pada penelitian ini hanya dipengaruhi oleh lama waktu perjalanan dilakukan untuk menuju ke konsumen. Fungsi penurunan *shelf life* tidak mempertimbangkan temperatur yang ditetapkan pada ruang simpan.

Song & Ko (2016) mengembangkan model distribusi multi produk untuk *perishable food*. Tujuan utama dalam penelitian tersebut adalah memaksimalkan tingkat kepuasan konsumen, tingkat kepuasan konsumen tergantung pada tingkat kesegaran dari produk yang dipesan oleh konsumen ketika sampai di lokasi. Semakin cepat pengiriman dilakukan maka tingkat kepuasan konsumen akan semakin baik karena penurunan kualitas tidak terlalu signifikan. Jenis kendaraan pengiriman pada penelitian ini bersifat heterogen, terdapat kendaraan dengan fasilitas berpendingin dan kendaraan tanpa fasilitas berpendingin.

Accorsi, Baruffaldi, & Manzini (2018) melakukan sebuah penelitian untuk mengetahui kebijakan *storage assignment* produk *perishable* pada *warehouse* dengan tujuan untuk mengoptimalkan efisiensi pada *warehouse* dan meminimalkan terjadinya kerusakan yang terjadi pada produk akibat perbedaan temperatur simpan. Kebijakan ini menentukan lokasi penyimpanan produk yang baru datang di *warehouse* dengan mencoba untuk mengurangi frekuensi dan jarak perjalanan saat pengambilan dan menjaga produk pada temperatur yang aman untuk produk secara bersamaan.

Pada beberapa penelitian yang dijelaskan pada sub bab sebelumnya, sudah banyak penelitian VRP untuk produk *perishable* dengan mempertimbangkan penurunan kualitas produk. Namun penurunan kualitas produk hanya merupakan fungsi waktu, yaitu durasi waktu produk berada dalam ruang simpan berpendingin. Rong, Akkerman, & Grunow (2011) mengembangkan model penurunan kualitas akibat waktu dan perbedaan temperatur simpan dengan temperatur optimal produk. Pada penelitian tersebut, menggunakan rumus Arrhenius. Rumus tersebut digunakan untuk mendeskripsikan penurunan kualitas pada satu produk dan akan valid digunakan jika koefisien k (konduktivitas termal) dan E_a (energi aktivasi) pada tiap produk dan tiap temperatur diketahui. Jika koefisien k dan E_a untuk semua produk diasumsikan sama, maka tidak dapat menangkap perbedaan penurunan kualitas akibat perbedaan suhu ruang simpan dengan temperatur optimal dari masing – masing produk, karena derajat penurunan kualitas setiap produk adalah sama. Pada penelitian yang dilakukan oleh Zhang & Chen (2014), total biaya distribusi sudah mempertimbangkan biaya energi yang dibutuhkan untuk pendinginan *storage* dan biaya energi selama *service time*. Tetapi pada penelitian ini, belum mempertimbangkan penurunan kualitas pada produk yang disimpan tidak pada temperatur optimalnya.

Hal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah membuat model distribusi yang dikembangkan mempertimbangkan penurunan kualitas pada produk yang disimpan tidak pada temperatur optimalnya. Formulasi yang digunakan untuk menghitung penurunan kualitas adalah berdasarkan Rong, Akkerman, & Grunow (2011) dan Accorsi, Baruffaldi, & Manzini (2018), dimana penurunan kualitas ditandai dengan perubahan *shelf life* produk ketika tidak disimpan pada temperatur

optimalnya. Namun pada penelitian Rong, Akkerman, & Grunow (2011), perhitungan perubahan *shelf life* akibat temperatur tidak dibahas detail, hanya diberikan contoh perhitungan untuk satu produk saja. Sehingga pada penelitian ini akan dikembangkan model matematis untuk memodelkan penurunan *shelf life* akibat perubahan temperatur berdasarkan Rong, Akkerman, & Grunow (2011). Model Accorsi, Baruffaldi, & Manzini (2018) adalah melakukan alokasi produk pada *warehouse* dengan mempertimbangkan temperatur optimalnya. Pada penelitian ini, model tersebut akan digunakan untuk menentukan alokasi produk pada kompartemen kendaraan dengan mempertimbangkan temperatur produk dan temperatur kompartemen.

Untuk meminimalkan terjadinya penurunan kualitas pada tiap produk maka penentuan alokasi penempatan produk pada kontainer dan temperatur *storage* perlu diperhatikan. Pada penelitian sebelumnya, belum ada model distribusi yang membahas mengenai alokasi produk untuk meminimalkan penurunan kualitas pada produk *perishable* pada saat distribusi. Penempatan produk pada lokasi yang temperaturnya tidak sesuai dengan temperatur optimal produk tersebut akan menyebabkan penurunan kualitas menjadi semakin cepat. Penurunan kualitas pada penelitian ini akan mempertimbangkan waktu dan juga temperatur simpannya. Waktu simpan merupakan waktu mulai dari produk dibawa hingga sampai di lokasi konsumen. Maka dari itu, dalam penelitian ini, ditentukan juga rute distribusi yang untuk mengetahui lama waktu simpan produk hingga sampai di lokasi konsumen. Rute distribusi akan menjadi *input* untuk menghitung berapa besar penurunan kualitas hingga produk sampai di konsumen.

Berdasarkan studi literatur mengenai penelitian terdahulu dan kesenjangan penelitian, dapat diketahui posisi penelitian. Posisi penelitian saat ini terhadap penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Posisi Penelitian terhadap Penelitian Terdahulu

	Trihardani & Rusdiansyah (2011)	Rong dkk, (2011)	Zhang & Chen (2014)	Accorsi, Baruffaldi, & Manzini (2018)	Penelitian Saat Ini
Fokus Penelitian					
Distribusi	√	√	√		√
Produksi		√			
Kualitas	√	√		√	√
Alokasi produk				√	√
Fungsi Tujuan					
Minimasi total biaya distribusi	√		√		√
Menentukan temperatur optimal					
Minimasi penurunan kualitas				√	√
Model					
VRPTW	√		√		√
Integrasi produksi & VRPTW		√			
<i>Product Assignment</i>				√	√
Jenis Produk					
<i>Single Item</i>		√			
<i>Multi Item</i>	√		√	√	√
Waktu Perjalanan					
Deterministik			√		√
Stokastik	√				
Komponen Biaya					
Biaya Produksi		√			
Biaya Energi	√	√	√		√
Biaya <i>Quality Loss</i>	√	√	√	√	√
Komponen Penurunan Kualitas					
Durasi perjalanan	√	√	√		√
Temperatur optimal tiap produk				√	√
<i>Shelf life</i>		√		√	√
Persyaratan kualitas		√			√
Kendaraan					
Homogen	√	√	√		√
Heretogen				√	
Metode Penyelesaian					
Teknik Penyelesaian	<i>Nearest Neighbor, PSO</i>	<i>Mixed-integer programming</i>	<i>Generic Algorithm</i>	<i>Bi-objective programming</i>	<i>Nearest Neighbor, Branch and Bound</i>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah sistematis dalam menyelesaikan permasalahan yang diteliti. Metodologi penelitian digunakan sebagai kerangka penelitian sehingga penelitian dapat berjalan dengan baik dan mencapai tujuan penelitian. Langkah sistematis dalam penelitian digambarkan dalam diagram alur pada Gambar 3.1. Penjelasan mengenai setiap tahap akan dijelaskan pada sub bab pada bab ini.

3.1 Tahap Pengembangan dan Formulasi Model

Pada tahap ini dilakukan deskripsi permasalahan dengan menggunakan model matematis *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) dengan fungsi objektifnya adalah minimasi biaya distribusi. Biaya distribusi terdiri dari biaya tetap penggunaan kendaraan, biaya transportasi, biaya energi, serta biaya kerusakan produk selama perjalanan dan pelayanan (*quality loss*). Pada penelitian kualitas produk akan dikontrol berdasarkan waktu dan selisih temperatur simpan dengan temperatur optimal produk, sehingga perhitungan penurunan kualitas menjadi aspek penting dalam model yang akan dikembangkan. Penentuan rute distribusi akan mempengaruhi kualitas produk karena semakin lama produk berada di dalam kendaraan, maka jika temperatur tidak sesuai menyebabkan kualitas akan semakin menurun.

Referensi utama dalam penelitian ini adalah model yang dikembangkan oleh Zhang & Chen (2014), Rong, Arkkerman, & Grunow (2011), dan Accorsi, Baruffaldi, & Manzini (2018). Zhang & Chen (2014) dan Trihardani & Rusdiansyah (2011) mengembangkan model VRPTW dengan memperhitungkan biaya energi dan biaya kerusakan produk selama perjalanan. Rong, Arkkerman, & Grunow (2011) mengembangkan formulasi penurunan kualitas berdasarkan waktu dan temperatur penyimpanan selama penyimpanan dan perjalanan, dimana produk yang tidak sesuai dengan persyaratan yang diinginkan konsumen akan menjadi *waste*. Sedangkan Accorsi, Baruffaldi, & Manzini (2018), mengembangkan

formula untuk meminimalkan penurunan kualitas dengan cara meminimalkan perbedaan temperatur produk dengan temperatur kendaraan. Penurunan kualitas akan terjadi pada penyimpanan multi-produk *perishable* pada kontainer distribusi dimana setiap jenis produk memiliki temperatur optimal yang berbeda – beda. Alokasi produk dilakukan sesuai dengan temperatur tiap kompartemen dan temperatur optimal tiap produk. Sehingga model distribusi yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah penentuan rute dalam VRPTW dengan mempertimbangkan biaya energi dan alokasi produk pada kontainer untuk meminimalkan penurunan kualitas.

3.2 Penentuan Rute Perjalanan

Pada tahap ini akan dilakukan pembentukan rute perjalanan menggunakan algoritma *Nearest Neighbor*. Pencarian rute dilakukan dengan memilih *node* terdekat dari titik keberangkatan, dimana titik tersebut memberikan biaya perjalanan terkecil karena jarak antar titik keberangkatan dan tujuan adalah yang terkecil. Kendala yang digunakan dalam penelitian ini adalah kendala *time windows*, kapasitas berat kontainer, dan kapasitas volume. Rute perjalanan akan dijadikan *input* untuk alokasi produk, data yang digunakan adalah jumlah produk yang harus dibawa pada satu kendaraan dan juga lama waktu perjalanan. Pencarian rute dilakukan dengan menggunakan *software* VBA Ms. Excel 2016

3.3 Alokasi Produk

Alokasi produk dilakukan untuk meminimalkan penurunan kualitas produk, dengan cara meminimalkan selisih antara temperatur optimal produk dan temperatur kompartemen. Setelah diperoleh lokasi simpan produk yang sesuai dengan hasil alokasi menggunakan metode *branch and bound* pada *software* Solver Ms.Excel 2016, kemudian dilakukan evaluasi penurunan kualitas pada produk. Jika kualitas produk di bawah *Quality Requirement*, maka pesanan dari konsumen akan di kirimkan dengan menggunakan kendaraan baru untuk meminimalkan durasi perjalanan sehingga dapat meminimalkan penurunan kualitas. Selanjutnya dilakukan perhitungan biaya *quality loss*. Biaya *quality loss* adalah biaya yang

muncul akibat penurunan kualitas pada produk ketika tidak disimpan pada temperatur optimalnya selama waktu tertentu.

3.4 Percobaan Numerik

Pada tahap ini dilakukan percobaan numerik. Percobaan numerik dilakukan untuk memastikan bahwa algoritma yang dikembangkan telah sesuai. Kemudian tujuan lain dilakukan percobaan numerik adalah untuk mengetahui bagaimana perubahan total biaya distribusi dan penurunan kualitas jika dilakukan perubahan terhadap strategi alokasi produk.

3.5 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan dan saran pada penelitian. Kesimpulan akan menjawab tujuan penelitian yang telah dirumuskan pada Bab 1. Sedangkan saran yang diberikan adalah saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 4

PENGEMBANGAN MODEL

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengembangan model VRP (*Vehicle Routing Problem*) pada produk *perishable* dengan mempertimbangkan biaya energi dan penentuan alokasi produk pada kompartemen kontainer berpendingin.

4.1 Deskripsi Model

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai deskripsi model yang terdiri dari dua bagian yaitu model penyusunan rute perjalanan dan model penyusunan alokasi produk pada kompartemen kontainer berpendingin.

4.1.1 Model Penyusunan Rute Perjalanan

Model dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah model Zhang & Chen (2014). Model tersebut adalah model distribusi produk *perishable* dengan mempertimbangkan biaya energi yang dikeluarkan untuk mendinginkan kontainer selama perjalanan. Fungsi tujuan pada model ini adalah meminimalkan total biaya distribusi dengan menggunakan kendaraan yang identik, dimana kendaraan berangkat dari depot kemudian mengunjungi seluruh konsumen satu kali dan kemudian kembali ke depot. Biaya distribusi terdiri dari biaya tetap penggunaan kendaraan, biaya transportasi, biaya energi, dan biaya *quality loss*.

Pada penelitian Zhang & Chen (2014), produk yang dibawa adalah beberapa jenis produk *perishable* yang memiliki karakteristik berbeda. Pada penelitian ini, rute perjalanan fokus pada minimasi total biaya transportasi dengan fungsi kendala berupa kapasitas kendaraan yang diukur dengan kapasitas dalam kilogram dan juga volume maksimal yang dapat ditampung oleh kendaraan. Selain itu, juga mempertimbangkan *time windows* dari konsumen dan juga depot. Distribusi produk dilakukan dengan cara mencari lokasi terdekat dari depot atau lokasi pengiriman sebelumnya. Jika fungsi kendala kapasitas dan *time windows* tidak dapat dipenuhi, maka akan dilakukan penyusunan rute perjalanan dengan menggunakan kendaraan baru dan dimulai dari depot.

Pada penelitian ini, dilakukan penentuan rute distribusi berdasarkan model yang dikembangkan Zhang & Chen (2014) dan Trihardani & Rusdiansyah (2011). Namun pada penelitian ini, digunakan *hard time windows*, seluruh kedatangan kendaraan tidak dapat diterima oleh konsumen ketika kendaraan tiba diluar rentang jam buka dan jam tutup konsumen. Sehingga kendaraan harus sampai pada lokasi konsumen di antara jam buka dan jam tutup atau $a_i < \bar{t}_i < b_i$. Jika kendaraan tiba sebelum jam buka konsumen, maka dilakukan perhitungan waktu tunggu untuk melayani konsumen tersebut. Jika waktu tunggu melebihi maksimum waktu tunggu yang ditentukan, maka akan dicari konsumen lain yang dapat dikunjungi. Namun, jika waktu tunggu masih dibawah batas waktu tunggu maksimum yang ditentukan, maka kendaraan akan menunggu hingga waktu konsumen buka dan konsumen akan tetap dilayani. Namun, terdapat penambahan biaya energi yang harus dikeluarkan selama waktu tunggu tersebut. Hal ini terjadi karena biaya energi dipengaruhi oleh durasi kendaraan berada dalam perjalanan. Sedangkan jika kendaraan tiba melebihi jam tutup konsumen, maka kedatangan kendaraan beserta produk tidak akan diterima sehingga pengiriman akan dilakukan dengan menggunakan kendaraan baru.

Penentuan rute perjalanan mempertimbangkan biaya energi yang terdiri dari biaya energi selama perjalanan dan biaya energi selama *unloading* barang. Konsumsi energi selama perjalanan dapat dihitung dengan Persamaan 4.1.

$$Q_T = (1 + \alpha) \times k \times \bar{A} \times \Delta T \quad (4.1)$$

Besar energi yang dibutuhkan sangat bergantung pada temperatur lingkungan dan juga temperatur yang diatur pada dalam kontainer. Biaya energi juga dipengaruhi oleh durasi kendaraan berada diperjalanan. Sehingga model matematis untuk perhitungan biaya energi adalah sesuai dengan Persamaan 4.2.

$$C_T = Q_T \times \bar{t}_{ij} \times E ; \forall i \in I_o, \forall j \in I_o \quad (4.2)$$

Jika kendaraan tiba sebelum konsumen buka, maka kendaraan akan menunggu dalam toleransi waktu tertentu. Ketika kendaraan memutuskan untuk menunggu konsumen untuk buka, maka akan menambah konsumsi energi yang dibutuhkan selama dalam perjalanan. Sehingga akan ada kenaikan biaya energi jika kendaraan menunggu, dimana biaya energi akan dipengaruhi oleh penambahan waktu menunggu kendaraan pada lokasi konsumen.

Penentuan konsumen mana yang dikunjungi adalah berdasarkan titik dengan biaya perjalanan terkecil dari titik keberangkatan. Selain mempertimbangkan *time windows* konsumen, penyusunan rute perjalanan juga mempertimbangkan *time windows* dari depot. Penyusunan rute juga mempertimbangkan kapasitas dari kendaraan. Kapasitas kendaraan dievaluasi dengan dua jenis perhitungan kapasitas yaitu berdasarkan berat maksimal yang dapat ditampung oleh satu kendaraan dan volume maksimal yang dapat ditampung oleh satu kendaraan.

Rute perjalanan selanjutnya akan dijadikan *input* untuk alokasi produk. Data yang digunakan adalah daftar konsumen yang harus dikunjungi masing – masing kendaraan, total waktu kendaraan dalam perjalanan hingga sampai di lokasi konsumen, dan demand produk yang dibawa.

4.1.2 Model Alokasi Produk pada Kontainer Berpendingin

Setelah dilakukan penentuan rute perjalanan, maka akan dilakukan penentuan lokasi simpan produk dalam kontainer berpendingin selama perjalanan. Setiap kendaraan akan membawa jenis produk dan jumlah yang berbeda – beda, bergantung pada pesanan dari konsumen yang akan dikunjungi.

Penentuan lokasi simpan produk dalam kontainer berpendingin selama perjalanan dilakukan untuk meminimalkan penurunan kualitas produk selama perjalanan. Ketika produsen menetapkan kualitas minimum dari produk ketika diterima oleh konsumen, penentuan lokasi simpan produk menjadi hal yang penting sehingga penurunan kualitas dapat diminimalkan.

Pada kontainer berpendingin, temperatur pada kontainer tidak terdistribusi secara merata. Semakin jauh lokasi kompartemen atau bagian dari pusat pendinginan (*cooler*), maka temperatur pada lokasi tersebut juga semakin tinggi.

Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa distribusi temperatur pada tiap kompartemen telah diketahui. Berdasarkan karakteristiknya, produk *perishable* merupakan produk yang mengalami *shelf life* terbatas, seiring berjalannya waktu produk *perishable* mengalami penurunan kualitas. Untuk meminimalkan penurunan kualitas, maka penentuan lokasi penyimpanan produk pada kompartemen perlu diperhatikan. Minimasi penurunan kualitas dilakukan dengan menentukan lokasi penyimpanan yang dapat meminimalkan penurunan kualitas dengan memperhatikan perbedaan temperatur optimal penyimpanan produk dengan temperatur yang diterima produk jika ditempatkan pada satu bagian kompartemen.

Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa kontainer pada sepeda motor terdiri dari sembilan kompartemen, dimana produk yang harus diantarkan kepada konsumen nantinya akan ditempatkan pada kompartemen yang tersedia. Dalam satu kompartemen, dapat diisi dengan beberapa jenis produk asalkan kapasitasnya mencukupi. Namun, untuk menghindari penumpukan produk pada satu kontainer, maka akan dibatasi jika minimal satu kontainer diisi oleh satu produk. Berdasarkan karakteristik produk sayuran, jika produk tersebut disimpan secara bertumpukan, maka akan menghambat sirkulasi udara pada produk dan akan berakibat pada penurunan kualitas. Sehingga pada model alokasi produk pada penelitian ini, terdapat fungsi kendala yang menyatakan bahwa tiap kompartemen minimal di isi oleh satu produk terlebih dahulu.

Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa tiap produk hanya dapat diletakan pada satu lokasi kompartemen yang sama. Sehingga tidak diperbolehkan untuk mengalokasikan satu jenis produk pada dua atau lebih kontainer. Hal ini dilakukan untuk menghindari adanya penurunan kualitas yang berbeda pada satu jenis produk, dimana perbedaan penurunan kualitas pada satu jenis produk akan mempersulit perhitungan. Sehingga diasumsikan bahwa tiap produk mengalami penurunan kualitas yang sama selama perjalanan. Untuk memenuhi asumsi tersebut, maka pada alokasi produk, ditetapkan bahwa tiap jenis produk diletakan dalam satu lokasi kompartemen yang sama.

Setiap kompartemen diasumsikan memiliki kapasitas yang sama. Kapasitas kompartemen ditinjau dari dua aspek yaitu berdasarkan berat dan volume. Jika kapasitas yang dapat dibawa satu kontainer adalah 18 kg, maka

kapasitas berat maksimal tiap kompartemen adalah 2 kg. Pada penelitian ini, diterapkan *soft capacity* pada alokasi produk, dimana tiap produk dapat menerima kelebihan berat sebesar 500 gram per kompartemen. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari adanya satu jenis produk yang dialokasikan pada dua lokasi kompartemen yang berbeda. Sehingga, jika jumlah produk yang dialokasikan pada satu kompartemen melebihi 2 kg, masih dapat ditoleransi tambahan berat pada kompartemen tersebut tidak melebihi 500 gram. Hal ini berlaku juga untuk kapasitas volume kendaraan.

Dalam upaya minimasi penurunan kualitas produk, maka alokasi produk mana saja yang akan diletakan pada kompartemen yang tersedia perlu diperhatikan. Distribusi temperatur pada kompartemen adalah seperti pada Gambar 4.1

A	B	C
D	E	F
G	H	I

Gambar 4.1 Layout Kompartemen Pada Kontainer Berpendingin

Lokasi kompartemen yang berwarna biru tua dan biru muda, yaitu kompartemen A,B, dan C merupakan lokasi yang paling dekat dengan *cooler* sehingga temperatur pada lokasi ini merupakan temperatur yang paling mendekati temperatur *setting* pada kontainer. Persebaran temperatur pada tiap bagian adalah sebagai berikut:

+0.5	0	+0.5
+1.5	+1	+1.5
+2.5	+2	+2.5

Gambar 4.2 Distribusi Temperatur Pada Kompartemen

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pada lokasi B tidak terjadi perbedaan temperatur *setting* dengan temperatur kompartemen karena bagian ini merupakan bagian kompartemen yang paling dekat dengan *cooler*. Sedangkan pada lokasi A

dan C, terdapat perbedaan temperatur kompartemen dari temperatur *setting* sebesar 0.5°C. Pada baris kedua, perbedaan temperatur yang diterima pada lokasi E dari temperatur *setting* adalah sebesar 1°C, sedangkan pada lokasi D dan F, terdapat perbedaan sebesar 1.5°C dari temperatur *setting*. Pada baris ketiga, merupakan lokasi yang paling jauh dari *cooler*. Hal ini menyebabkan terjadi perbedaan temperatur sebesar 2°C pada bagian H, dan 2.5 °C pada bagian G dan I. Pada bagian tengah kompartemen, perbedaan temperatur yang diterima lebih kecil daripada pada bagian kanan dan kiri kompartemen, hal ini dikarenakan *cooler* pada kompartemen berlokasi di bagian tengah, sehingga pada ketiga bagian A,E, dan H, perbedaan temperatur yang diterima oleh bagian ini lebih rendah daripada kompartemen pada bagian sisi kanan dan kiri.

Perhitungan penurunan kualitas dilakukan berdasarkan pengaruh penurunan *shelf life* produk akibat penyimpanan produk yang tidak pada temperatur optimalnya. Pada Rong, Akkerman, & Grunow (2011), dijelaskan bahwa berdasarkan penelitian, diperoleh bahwa *shelf life pepper* menurun dari 3 minggu menjadi 2 minggu ketika temperatur simpan meningkat dari 7.2 °C menjadi 10 °C. Sehingga dapat dihitung tingkat penurunan kualitas pada *pepper* berdasarkan persamaan 4.3 adalah sebesar 2.5 hari/1°C. Prinsip dari koefisien penurunan kualitas pada penelitian ini diasumsikan mengikuti Persamaan 4.3. Namun karena keterbatasan data yang diperoleh, maka koefisien penurunan kualitas akan diasumsikan telah diketahui untuk tiap produk. Penurunan kualitas akan sangat bergantung pada temperatur yang diterima produk selama berada pada lokasi simpan tertentu.

$$KS = \frac{SL_1 - SL_2}{T_1 - T_2} \quad (4.3)$$

Produk memiliki temperatur optimal pada *range* tertentu. Sehingga produk dapat disimpan pada temperatur minimal dan temperatur maksimal tertentu. Jika produk disimpan pada temperatur di luar *range* tersebut, maka akan menyebabkan terjadinya penurunan kualitas pada produk. Batas temperatur terburuk yang dirasakan oleh produk *p* adalah:

$$T_{safe} = \begin{cases} T_{max,p}, & \text{jika } |T_m - T_{min,p}| \geq |T_m - T_{max,p}| \\ T_{min,p}, & \text{jika tidak} \end{cases} \quad (4.4)$$

Pada Persamaan 4.4, dijelaskan bahwa temperatur terburuk yang dirasakan produk p jika disimpan pada temperatur T_m adalah sebesar temperatur maksimum dalam *range* temperatur optimal produk ($T_{max,p}$) jika selisih antara temperatur kompartemen m dengan temperatur minimum dalam *range* temperatur optimal produk ($T_{min,p}$) lebih besar daripada selisih antara temperatur kompartemen m dengan temperatur minimum dalam *range* temperatur optimal produk ($T_{max,p}$), begitu pula sebaliknya. Sehingga T_{safe} produk merupakan temperatur optimal maksimum produk tersebut atau temperatur optimal minimum produk tersebut, bergantung pada selisih antara kedua temperatur tersebut dengan temperatur kompartemen.

Alokasi produk pada kompartemen dilakukan dengan minimasi penurunan *shelf life* pada produk dengan memperhatikan selisih temperatur yang diterima pada bagian kompartemen m dengan temperatur optimal produk p . Sehingga model matematis fungsi tujuannya adalah:

$$\min \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} (T_{safe,p} - T_m) \times \delta_p \times q_{pm} \quad (4.5)$$

Produk yang dialokasikan pada kompartemen merupakan produk p yang dibawa kendaraan k untuk diantarkan ke konsumen i . Setelah dilakukan alokasi produk, kemudian akan dilakukan perhitungan biaya *quality loss*. Biaya *quality loss* adalah biaya yang muncul ketika produk mengalami penurunan kualitas saat disimpan pada lokasi tertentu dengan temperatur tertentu dan durasi waktu tertentu. Biaya *quality loss* merupakan perkalian dari harga produk dengan persen penurunan kualitas ketika produk tersebut diletakan pada lokasi tertentu pada kompartemen.

Setelah dilakukan perhitungan besar penurunan kualitas dan biaya *quality loss*, kemudian akan dilakukan evaluasi kualitas produk terhadap *Quality*

Requirement. Jika kualitas produk di bawah *Quality Requirement*, maka produk tersebut dianggap tidak dapat diterima oleh konsumen. Sehingga perlu dilakukan evaluasi terhadap rute perjalanan agar penurunan kualitas dapat diminimalkan. Evaluasi terhadap rute perjalanan dilakukan dengan cara memindahkan konsumen yang memiliki *demand* di bawah kualitas yang ditentukan ke kendaraan baru, sehingga waktu kendaraan sampai di konsumen tersebut dapat lebih singkat. Hal ini akan berpengaruh terhadap kualitas produk, karena selain dipengaruhi oleh lokasi simpan, penurunan kualitas juga dipengaruhi oleh durasi perjalanan. Semakin lama produk tersebut berada di perjalanan maka kualitasnya akan semakin menurun. Proses ini akan dilakukan selama iterasi tertentu hingga sudah tidak ada konsumen yang akan menerima produk di bawah *Quality Requirement* yang ditentukan.

4.2 Formulasi Model

Pada sub bab ini terdiri dari tiga bagian yaitu notasi model, fungsi tujuan, dan fungsi kendala pada penelitian ini. Terdapat dua model yaitu model *Vehicle Routing Problem* (VRP) untuk pencarian rute dan model alokasi produk pada kompartemen.

4.2.1 Notasi Model

1. Notasi pada Himpunan Indeks Model

I_o Himpunan *node* = $\{0,1,2,3,\dots,i\}$, dimana $\{0\}$ = depot dan $I = \{1,2,3,\dots,i\}$

P Himpunan produk = $\{1,2,3,\dots,p\}$

K Himpunan kendaraan = $\{1,2,3,\dots,k\}$

M Himpunan lokasi kompartemen = $\{1,2,3,\dots,m\}$

2. Notasi Biaya

F Biaya tetap penggunaan kendaraan per unit

G Biaya transportasi kendaraan k per unit jarak

E Biaya energi per kg

3. Notasi Jarak

x_i Koordinat x konsumen i

- y_i Koordinat y konsumen i
 c_{ij} Jarak konsumen i ke konsumen j
4. Notasi Temperatur
- T_s Temperatur internal kontainer
 T_e Temperatur eksternal
 T_{safe} Batas temperatur teburuk yang dirasakan oleh produk $p, p \in P$
 $T_{max,p}$ Temperatur maksimal penyimpanan produk $p, p \in P$
 $T_{min,p}$ Temperatur minimal penyimpanan produk $p, p \in P$
5. Notasi Kendaraan
- A_o Luas bagian dalam kontainer
 A_e Luas bagian luar kontainer
 \bar{A} Rata – rata luasan bagian dalam dan luar kontainer; $\bar{A} = \sqrt{A_e A_o}$
 V Kapasitas *volume* maksimum kontainer kendaraan
 W Kapasitas berat maksimum kontainer kendaraan
 h Kecepatan kendaraan
6. Notasi Energi
- k Konduktivitas *thermal*
 α Tingkat depresiasi kendaraan
 Q_T *Thermal load* selama perjalanan (kkal/jam)
 Q_s *Thermal load* ketika *unloading* (kkal/jam)
 V Volume ruang simpan
 β Indikator frekuensi membuka pintu
7. Notasi Waktu
- b_i Waktu akhir pelayanan konsumen i
 a_i Waktu awal pelayanan konsumen i
 \bar{t}_{ik} Waktu tiba kendaraan k di pelanggan i
 t_{ij} Durasi perjalanan dari konsumen i ke j
 s_i Durasi pelayanan konsumen i
 ω_{ij} Lama waktu menunggu ketika perjalanan dari i menuju j (*waiting time*)

8. Notasi Produk *Perishable*

d_{ip} Permintaan pelanggan i terhadap produk p

SL_p Umur hidup produk p

w_p Berat produk p per unit produk

v_p Volume produk p per unit produk

δ_p *Degradation degree* produk p

9. Notasi Variabel Keputusan

a. Notasi Variabel Keputusan Pada Penentuan Rute Perjalanan

x_{ijk} = Keputusan untuk mengunjungi konsumen j setelah mengunjungi konsumen i dengan kendaraan k

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{Jika konsumen } j \text{ dilewati segera oleh kendaraan } k \text{ setelah} \\ & \text{mengunjungi konsumen } i \\ 0, & \text{Jika tidak} \end{cases}$$

z_{ik} = Keputusan untuk melayani konsumen i dengan kendaraan k

$$z_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{Jika konsumen } i \text{ dilayani kendaraan } k \\ 0, & \text{Jika tidak} \end{cases}$$

b. Notasi Variabel Keputusan Pada Alokasi Produk

q_{pmk} = keputusan menempatkan produk p pada kompartemen m di kendaraan k

$$q_{pmk} = \begin{cases} 1, & \text{Jika produk } p \text{ ditempatkan di kompartemen } m \text{ pada} \\ & \text{kendaraan } k \\ 0, & \text{Jika tidak} \end{cases}$$

y_{mk} = keputusan mengisi kompartemen m dengan sejumlah produk

$$y_{mk} = \begin{cases} 1, & \text{Jika kompartemen } m \text{ pada kendaraan } k \text{ terisi} \\ 0, & \text{Jika tidak} \end{cases}$$

ε_{mk} = jumlah produk yang ditempatkan pada kompartemen m pada kendaraan k

4.2.2 Model Matematis *Vehicle Routing Problem* (VRP)

Pada bagian ini terdiri dari model matematis *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang terdiri dari fungsi tujuan dan fungsi kendala pada model matematis yang digunakan pada penelitian ini. Model matematis ini adalah berdasarkan model yang dibuat oleh Zhang & Chen (2014) dan Trihardani & Rusdiansyah (2011).

4.2.2.1 *Fungsi Tujuan*

Penentuan rute dilakukan untuk meminimalkan biaya *fixed cost* penggunaan kendaraan, biaya transportasi, dan biaya energi yang dipengaruhi oleh durasi waktu kendaraan berada dalam perjalanan dan temperatur yang diatur pada ruang simpan. Berikut adalah penjelasan dari tiap komponen biaya:

1. Biaya tetap kendaraan adalah biaya yang dikeluarkan ketika kendaraan digunakan. Semakin banyak jumlah kendaraan yang digunakan maka biaya tetap akan semakin tinggi. Biaya tetap kendaraan merupakan biaya yang harus dikeluarkan ketika kendaraan digunakan per harinya. Biaya ini terdiri dari biaya kendaraan per hari ditambah dengan gaji kurir tiap kendaraan.
2. Biaya transportasi adalah biaya yang dikeluarkan untuk melakukan perjalanan dari satu titik ke titik lain. Biaya ini dipengaruhi oleh jarak tempuh antar titik. Semakin jauh jarak tempuh yang dilalui kendaraan, maka biaya transportasi akan semakin tinggi.
3. Biaya energi adalah biaya yang digunakan untuk mendinginkan kontainer selama perjalanan. Biaya energi terdiri dari dua jenis biaya yaitu biaya untuk melakukan perpindahan panas selama perjalanan berlangsung dimana biaya ini muncul karena terjadi perpindahan panas akibat perbedaan temperatur lingkungan dan temperatur dalam kontainer selama durasi perjalanan dan *unloading cost* dimana biaya ini merupakan biaya energi saat pintu kontainer dibuka ketika proses *unloading* barang saat berada di lokasi konsumen. Biaya energi saat perjalanan dipengaruhi oleh luasan kontainer, temperatur yang diinginkan, berat produk yang dibawa satu kendaraan dan durasi kendaraan berada selama berada diperjalanan. Sedangkan biaya energi ketika *unloading* barang dipengaruhi oleh durasi waktu melayani konsumen.

Berdasarkan komponen biaya yang sudah dijelaskan di atas, model matematis pada total biaya distribusi produk dengan menggunakan kontainer berpendingin adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\min Z = & \sum_{\forall k \in K} F \\
& + \sum_{\forall i \in I_o} \sum_{\forall j \in I_o} \sum_{\forall k \in K} G c_{ij} x_{ijk} \\
& + \sum_{\forall i \in I_o} \sum_{\forall j \in I_o} E \\
& \times \left[\left((1 + \alpha) \times k \times \bar{A} \times \Delta T \times \bar{t}_{ij} \right) + \omega_{ij} \right] \\
& + \sum_{\forall i \in I} E \times (0.54V_i + 3.22) \times (T_o - T_s) \times \beta \times s_i
\end{aligned} \tag{4.6}$$

Pada Persamaan 4.6, masih belum mempertimbangkan penurunan kualitas produk akibat penyimpanan produk yang tidak sesuai dengan temperatur optimalnya. Perhitungan terhadap penurunan kualitas akan dilakukan setelah melakukan alokasi produk pada kompartemen di setiap kendaraan yang digunakan. Model matematis untuk alokasi produk pada kompartemen akan dibahas pada sub bab tersendiri.

4.2.2.2 Fungsi Kendala pada Model Penentuan Rute Perjalanan

Berikut adalah fungsi kendala pada model penentuan rute perjalanan:

1. Setiap konsumen hanya dilayani oleh satu kendaraan.

$$\sum_{k \in K} z_{ik} = 1, \forall i \in I \tag{4.7}$$

2. Setiap konsumen hanya dikunjungi satu kali.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} = z_{ik} \tag{4.8}$$

3. Jumlah berat muatan yang dibawa kendaraan k tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan.

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I d_{ip} w_p z_{ik} \leq W, \forall k \in K \quad (4.9)$$

4. Jumlah volume muatan yang dibawa kendaraan k tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan.

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} d_{ip} v_p z_{ik} \leq V, \forall k \in K \quad (4.10)$$

5. Rentang waktu pengiriman produk ke pelanggan i berada antara waktu buka pelanggan i dan waktu tutup pelanggan i . Dikarenakan pada penelitian ini *hard time windows*, maka pengiriman melebihi waktu tutup pelanggan i tidak diterima.

$$a_i \leq \bar{t}_{ik} + s_i \leq b_i, \forall i \in I \quad (4.11)$$

6. Waktu kedatangan pada pelanggan i dari depot merupakan penjumlahan dari waktu keberangkatan kendaraan k dari depot ditambahkan dengan durasi perjalanan dari depot menuju ke pelanggan i .

$$\bar{t}_{ikp} \geq \bar{t}_{0kp} + t_{0(i)kp} - (1 - x_{0(i)kp})M; \forall i \in I, \forall k \in K, \forall p \in M \quad (4.12)$$

7. Waktu kedatangan di pelanggan $(i+1)$ merupakan penjumlahan dari waktu kedatangan di pelanggan i ditambah dengan *service time* pada pelanggan i , dan waktu perjalanan dari i menuju ke $(i+1)$.

$$\begin{aligned} \bar{t}_{(i+1)kp} &\geq \bar{t}_{ikp} + u_{ikp} + t_{i(i+1)kp} - (1 - x_{i(i+1)kp})M; \\ \forall i \in I, \forall k \in K, \forall p \in M \end{aligned} \quad (4.13)$$

8. Waktu kedatangan pada depot merupakan penjumlahan dari waktu kedatangan pada pelanggan $(i+1)$ ditambah dengan *service time* pada pelanggan $(i+1)$ dan waktu perjalanan dari $(i+1)$ menuju ke depot.

$$\begin{aligned} \bar{t}_{0kp} &\geq \bar{t}_{(i+1)kp} + u_{(i+1)kp} + t_{(i+1)0kp} - (1 - x_{(i+1)0kp})M; \\ \forall i \in I, \forall k \in K, \forall p \in M \end{aligned} \quad (4.14)$$

9. Kendala biner pada variabel

$$x_{ijk} \in \{0,1\}; z_{ik} \in \{0,1\} \quad (4.15)$$

4.2.3 Model Matematis Alokasi Produk Pada Kompartemen

Pada bagian ini terdiri dari model matematis alokasi produk pada kompartemen yang terdiri dari fungsi tujuan dan fungsi kendala pada model matematis yang digunakan pada penelitian ini. Model matematis ini adalah berdasarkan pengembangan dari model Accorsi, Baruffaldi, & Manzini (2018).

4.2.3.1 Fungsi Tujuan:

$$\min Z = \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} (T_{safe,p} - T_m) \times \delta_p \times q_{pmk} \quad (4.16)$$

Fungsi tujuan pada alokasi produk adalah meminimalkan penurunan kualitas per hari dengan cara meminimalkan perbedaan temperatur optimal produk dengan temperatur ruang simpan produk pada kompartemen. Penurunan kualitas diukur berdasarkan penurunan *shelf life* (umur hidup) produk ketika disimpan tidak pada temperatur yang sesuai. Sehingga penurunan kualitas pada suatu produk per hari nya adalah perkalian dari selisih temperatur dengan *degradation degree* produk

4.2.3.1 Fungsi Kendala

1. Setiap produk p hanya ditempatkan pada satu lokasi kompartemen m saja.

$$\sum_{m \in M} q_{pmk} = 1; \forall p \in P, \forall k \in K \quad (4.17)$$

2. Jika jumlah produk yang dibawa lebih dari jumlah kompartemen, maka seluruh kompartemen harus terisi.

$$\sum_{m \in M} y_{mk} \geq M; \forall k \in K, P \geq M \quad (4.18)$$

3. Sedangkan jika jumlah produk yang dibawa lebih kecil daripada jumlah kompartemen, maka jumlah kompartemen yang terisi lebih besar sama dengan jumlah produk yang dibawa.

$$\sum_{m \in M} y_{mk} = P; \quad \forall k \in K \quad (4.19)$$

4. Produk p hanya dapat ditempatkan pada lokasi m hanya jika lokasi m tersedia.

$$q_{pmk} \leq y_{mk}; \quad \forall p \in P, \forall k \in K, \forall m \in M, \quad (4.20)$$

5. Jika jumlah produk yang dibawa lebih kecil daripada jumlah kompartemen, maka kompartemen m hanya dapat ditempati oleh maksimal satu produk.

$$\sum_{p \in P} q_{pmk} \leq 1; \quad \forall m \in M, \forall k \in K, P \leq M \quad (4.21)$$

6. Produk yang dialokasikan pada kompartemen tidak boleh melebihi kapasitas volume kompartemen

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I d_{ip} w_p q_{pmk} \leq W_m, \quad \forall m \in M, \forall k \in K \quad (4.22)$$

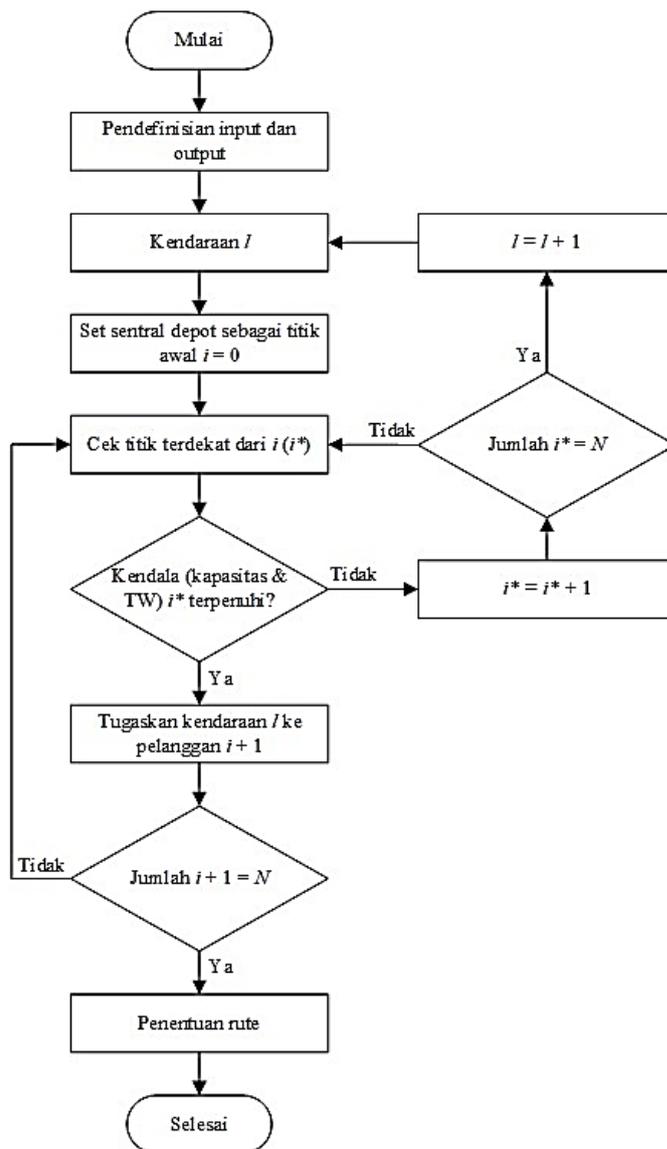
7. Kendala biner untuk variabel q_{pmk} dan y_{mk}

$$q_{pmk} \in \{0,1\}; \quad y_{mk} \in \{0,1\} \quad (4.23)$$

4.3 Penyusunan Rute dengan Algoritma *Nearest Neighbor*

Pencarian rute dilakukan dengan menggunakan algoritma *Nearest Neighbor* (NN). Pencarian rute diawali dengan mendefinisikan *input* dan *output* dalam pencarian rute. Kemudian ditugaskan kendaraan baru untuk memulai rute baru. Kendaraan diawali dengan berangkat dari depot atau *node* 0. Kemudian akan dilakukan pencarian rute terdekat dari titik keberangkatan. Setelah itu, akan dilakukan evaluasi terhadap kendala. Kendala dalam penelitian ini adalah kendala *time windows* dan kapasitas berdasarkan berat dan volume. Jika kendala terpenuhi,

maka tugaskan kendaraan untuk melayani konsumen tersebut. Kemudian dilakukan pencarian rute terdekat lagi selama masih ada konsumen yang belum dilayani. Jika kendala tidak terpenuhi, maka akan dicari konsumen lain yang dapat dilayani oleh kendaraan tersebut. Namun, jika semua konsumen sudah di evaluasi namun tidak ada yang memenuhi kendala, maka konsumen yang belum dilayani akan dilayani oleh kendaraan lain. Sehingga ditugaskan kendaraan baru. Jika semua konsumen sudah dilayani, maka pencarian rute dapat dihentikan.



Gambar 4. 3 Algoritma *Nearest Neighbor*
 Sumber: (Trihardani & Rusdiansyah, 2011)

4.4 Penyusunan Alokasi Produk pada Kontainer Berpendingin

Input dari alokasi produk adalah rute perjalanan yang sebelumnya telah ditentukan dengan metode *Nearest Neighbor*. Langkah awal penentuan alokasi produk dimulai dengan melakukan perhitungan terhadap penurunan kualitas yang terjadi jika produk disimpan pada lokasi tersebut, dimana penurunan kualitas yang terjadi dipengaruhi oleh *degradation degree* produk dan selisih temperatur optimal produk dengan temperatur ruang simpan produk. Metode yang digunakan untuk menentukan alokasi produk adalah dengan metode *branch and bound* yang dilakukan dengan Solver Ms. Excel. Setelah didapatkan alokasi produk, kemudian dihitung penurunan kualitas setiap produk pada tiap konsumen. Jika kualitas produk berada di bawah *Quality Requirement*, maka konsumen tersebut akan dikeluarkan dari rute perjalanan dan akan dibuatkan rute perjalanan baru bersama konsumen lain yang memiliki kualitas *demand* produk di bawah *quality produk*. Selanjutnya dilakukan penentuan rute lagi untuk konsumen dengan kendaraan baru. Lalu dilakukan alokasi produk kembali pada seluruh kendaraan dan dievaluasi penurunan kualitasnya. Jika semua produk pada konsumen sudah memenuhi *Quality Requirement*, maka proses iterasi dihentikan dan dilakukan perhitungan biaya *quality loss*.

BAB 5

PERCOBAAN NUMERIK

Pada bab ini akan dilakukan percobaan numerik, validasi model, serta pengembangan skenario model.

5.1 Parameter Percobaan Numerik

Percobaan numerik dilakukan untuk menguji model. Percobaan dilakukan dengan menggunakan data jarak dari beberapa titik di Surabaya secara *random* yang diperoleh dari *google maps*. Sedangkan data *demand* dan *time windows*, dibangkitkan secara random.

Pada data karakteristik produk, data temperatur optimal dan *shelf life* produk diperoleh berdasarkan Sydney Postharvest Laboratory (2012), sedangkan pada data lainnya diperoleh berdasarkan penelitian terdahulu. Selain data di atas, terdapat parameter yang dibutuhkan untuk menghitung total biaya distribusi dan penurunan kualitas produk. Beberapa parameter yang dibutuhkan adalah:

1. Parameter Biaya Distribusi
 - a. Biaya tetap penggunaan kendaraan sebesar Rp 155.000,00 merupakan biaya yang harus dikeluarkan untuk menggunakan satu kendaraan/hari. Biaya ini terdiri dari biaya penggunaan sepeda motor dan kontainer per hari ditambah dengan biaya gaji kurir.
 - b. Biaya transportasi merupakan biaya konsumsi bahan bakar dengan menggunakan sepeda motor. Diasumsikan 1 liter bensin dapat digunakan untuk menempuh 50 km. Harga bahan bakar adalah Rp 9.500,00 per liter. Sehingga biaya transportasi per kilometer adalah Rp 190,00.
 - c. Biaya energi adalah Rp 100,00 per kg.
2. Parameter Kendaraan
 - a. Kecepatan kendaraan (v) adalah 40 km/jam.
 - b. Kapasitas berat muatan kendaraan (W) adalah 18 kg.
 - c. Dimensi kontainer pada kendaraan adalah 90 cm x 44 cm x 50 cm.

- d. Kapasitas volume kendaraan (V) adalah 0.022 m^3 .
 - e. Luas bagian luar kontainer (A_0) adalah 2.132 m^2
 - f. Luas bagian dalam kontainer (A_1) adalah 1.631 m^2
 - g. *Depreciation degree* kendaraan adalah 0.08
3. Parameter Komponen Energi
 - a. Konduktivitas thermal (k) adalah $2.49 \text{ kcal}/(\text{jam}.\text{m}^2.\text{°C})$
 - b. Frekuensi membuka pintu (β) adalah 1
 4. Parameter Temperatur
 - a. Temperatur internal kontainer (T_1) adalah 4°C .
 - b. Temperatur eksternal kontainer (T_0) adalah 34°C .

Rekapitulasi parameter yang digunakan pada percobaan numerik dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Parameter Percobaan Numerik

Kelompok	Parameter	Nilai	Unit
Biaya Distribusi	Biaya tetap penggunaan kendaraan	Rp 155,000.00	per kendaraan
	Biaya transportasi	Rp 190,00	per km
	Biaya energi	Rp 100,00	per kg
Kendaraan	Kecepatan kendaraan	40	Km/jam
	Kapasitas Berat	18	Kg
	Kapasitas volume	0.022	m^3
	Luas luar kontainer	2.132	m^2
	Luas dalam kontainer	1.631	m^2
	<i>Depreciation degree</i>	0.08	
Energi	Konduktivitas thermal (k)	2.49	$\text{Kkal}/(\text{jam}.\text{m}^2.\text{°C})$
	Frekuensi membuka pintu	1	
Temperatur	T internal	4	°C
	T eksternal	34	°C

5.2 Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi dan validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan telah sesuai. Verifikasi dilakukan dengan cara

membandingkan perhitungan manual dengan hasil *output* pada VBA Excel. Data yang digunakan adalah terdiri dari 1 depot, 13 konsumen, dan data demand yang dibangkitkan secara random. Validasi dilakukan pada tahap alokasi produk untuk menunjukkan bahwa *output* dari alokasi produk dengan menggunakan Solver lebih baik dari skenario lain.

5.2.1 Verifikasi Temperatur Terburuk yang Dirasakan Produk (T_{Safe})

Setiap produk *perishable* memiliki *range* temperatur optimal penyimpanan produk. Pada penelitian ini temperatur diukur dalam satuan derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$). Untuk menghitung perbedaan temperatur antara temperatur ruang simpan dengan temperatur optimal penyimpanan produk, digunakan parameter T_{safe} yang merupakan temperatur terburuk yang dirasakan produk untuk menjaga agar tidak terjadi penurunan kualitas produk. T_{safe} adalah temperatur maksimum atau temperatur minimum produk. Pemilihan temperatur maksimum ataukah temperatur minimum yang menjadi T_{safe} produk dapat dilihat berdasarkan selisih dari batas *range* temperatur optimal tersebut dengan temperatur kompartemen tempat produk tersebut disimpan. Berikut adalah data temperatur optimal produk yang terdiri dari *range* temperatur minimum dan temperatur maksimum penyimpanan produk.

Tabel 5.2 Data Karakteristik Beberapa Produk

No	Nama Produk	Temperatur		Shelf life	Degradation Degree	Berat (gr)	Volume (m3)	Harga
		Min	Max					
1	<i>Kale</i>	0	4	14	1.4	100	0.0005	Rp 11,000.00
2	<i>Basil</i>	5	10	7	0.7	100	0.001125	Rp 8,000.00
3	<i>Cilantro</i>	0	1	14	2	100	0.0005	Rp 14,000.00
4	<i>Celery</i>	0	3	30	1.9	100	0.001125	Rp 6,000.00
5	<i>Lettuce</i>	0	2	21	1.6	200	0.003	Rp 8,000.00
6	<i>Beans</i>	7	10	14	1.2	200	0.0015	Rp 6,000.00
7	<i>Spinach</i>	6	8	14	1.8	200	0.004	Rp 10,000.00
8	<i>Sugar Peas</i>	0	4	14	0.9	150	0.001125	Rp 8,600.00
9	<i>Asparagus</i>	0	2	14	2	250	0.003	Rp 8,000.00
10	<i>Cucumber</i>	7	12	14	1.5	300	0.006	Rp 9,500.00
11	<i>Broccoli</i>	0	3	21	1.2	250	0.0015	Rp 16,000.00

No	Nama Produk	Temperatur		Shelf life	Degradation Degree	Berat (gr)	Volume (m3)	Harga
		Min	Max					
12	<i>Leek</i>	0	3	35	1.6	250	0.003	Rp 8,000.00
13	<i>Parsley</i>	0	2	30	2.1	100	0.001125	Rp 9,000.00
14	<i>Mushroom</i>	2	7	10	1.5	250	0.00075	Rp 10,000.00
15	<i>Pepper (chilli)</i>	5	10	24	2.5	100	0.00225	Rp 7,500.00

Rumus perhitungan T_{safe} dapat dilihat pada Persamaan (4.4). Berdasarkan rumus dan data pada tabel di atas, dapat diketahui bahwa Produk 2 (Basil) memiliki *range* temperatur optimal antara 5°C dan 10°C. Jika diasumsikan temperatur *setting* pada kontainer adalah 4°C. Maka perhitungan T_{safe} untuk Produk 2 (Basil) adalah:

Tabel 5.3 Contoh Perhitungan T_{Safe}

	T optimal (°C)	T Setting (°C)	Selisih (°C)
T opt min (°C)	5	4	5 - 4 = 1
T opt max (°C)	10	4	10 - 4 = 6

Berdasarkan Tabel 5.3 maka dapat dihitung bahwa T_{safe} Basil adalah merupakan temperatur minimum penyimpanan basil yaitu 5°C. Hal ini terjadi karena selisih antara temperatur minimum penyimpanan basil dengan temperatur *setting* kontainer lebih kecil daripada selisih antara temperatur maksimum penyimpanan basil dengan temperatur *setting* kontainer. Berikut adalah hasil perhitungan T_{safe} untuk 15 jenis produk:

Tabel 5.4 Temperatur Minimal , Maksimal, dan T safe Produk

#Produk	Nama Produk	Temperatur		T_{safe}
		Min	Max	
1	<i>Kale</i>	0	4	4
2	<i>Basil</i>	5	10	5
3	<i>Cilantro</i>	0	1	1
4	<i>Celery</i>	0	3	3
5	<i>Lettuce</i>	0	2	2
6	<i>Beans</i>	7	10	7
7	<i>Spinach</i>	6	8	6
8	<i>Sugar Peas</i>	0	4	4
9	<i>Asparagus</i>	0	2	2

#Produk	Nama Produk	Temperatur		<i>T safe</i>
		Min	Max	
10	<i>Cucumber</i>	7	12	7
11	<i>Broccoli</i>	0	3	3
12	<i>Leek</i>	0	3	3
13	<i>Parsley</i>	0	2	2
14	<i>Mushroom</i>	2	7	2
15	<i>Pepper (chilli)</i>	5	10	5

Berdasarkan rekapitulasi perhitungan *T safe* pada Tabel 5.4, maka dapat disimpulkan hasil perhitungan *T safe* dengan VBA sudah sesuai dengan perhitungan manual.

5.2.2 Verifikasi Pemilihan Rute

Verifikasi pemilihan rute dilakukan dengan menggunakan data dari 13 titik konsumen yang dipilih secara *random*. Matriks jarak antar tiap titik yang diukur dengan satuan kilometer (km) dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Matriks Jarak Antar *Node*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	3.8	16	19	5.6	2.5	17.3	7.2	12	7.9	11.5	18.8	6.6	3.4
1	2.8	0	26.6	16.1	7.8	4.7	28.4	9.7	9.9	11	13.6	17.8	8.8	5.8
2	15.8	25.5	0	3.6	20	16.5	16.3	15.6	19.8	15	21.5	4.7	24.2	13.3
3	15.8	21.7	3.6	0	19.8	16.5	19.2	15.3	14.8	15.2	24.4	2.3	19.3	14.1
4	5.8	8	21.9	30.1	0	5.5	22	12.8	16.2	14.3	12.8	31.2	7.8	8.8
5	3.6	5.8	16.9	19.1	4.7	0	17.2	7.8	14	9.3	8.8	20.4	3.8	3.9
6	16.9	24.6	7.1	10.1	22.2	17.7	0	10.9	18.9	10.2	16.9	11.3	19.5	14.2
7	6.7	9.5	12.9	15.9	11.6	7.5	11.3	0	10.1	3	11.2	16	8.8	4.2
8	7.9	5.3	19	14.3	12.9	9.7	20.8	11.8	0	11.4	18.7	16.1	13.9	9.6
9	8.8	11.5	12.6	19.2	14.1	9.6	8.6	2.7	10.8	0	10	16.8	11.3	6.1
10	12.2	14	21.5	24.3	12	8.8	16.5	9.3	22.2	10.8	0	24.8	6.6	9.9
11	16.7	23.4	4.7	2.5	21.5	17.6	20.5	16.4	17.7	16.2	26.4	0	20.4	15.2
12	7.1	9.4	18.9	22.4	7	3.8	18.6	9.2	17.6	10.7	8.4	22.3	0	5.5
13	3.6	6.4	13.1	16.6	8.3	4.3	13.9	4	10.9	5.6	10.7	16.5	5.7	0

Data jarak tersebut akan dikonversikan menjadi matriks waktu. Diasumsikan bahwa kecepatan kendaraan adalah 40 km/jam. Matriks waktu perjalanan antar titik yang diukur dalam satuan menit dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Matriks Waktu Antar *Node*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	5.7	24	28.5	8.4	3.75	25.9 5	10.8	18	11.8 5	17.2 5	28.2	9.9	5.1
1	4.2	0	39.9	24.1 5	11.7	7.05	42.6	14.5 5	14.8 5	16.5	20.4	26.7	13.2	8.7
2	23.7	38.2 5	0	5.4	30	24.7 5	24.4 5	23.4	29.7	22.5	32.2 5	7.05	36.3	19.9 5
3	23.7	32.5 5	5.4	0	29.7	24.7 5	28.8	22.9 5	22.2	22.8	36.6	3.45	28.9 5	21.1 5
4	8.7	12	32.85	45.1 5	0	8.25	33	19.2	24.3	21.4 5	19.2	46.8	11.7	13.2
5	5.4	8.7	25.35	28.6 5	7.05	0	25.8	11.7	21	13.9 5	13.2	30.6	5.7	5.85
6	25.3 5	36.9	10.65	15.1 5	33.3	26.5 5	0	16.3 5	28.3 5	15.3	25.3 5	16.9 5	29.2 5	21.3
7	10.0 5	14.2 5	19.35	23.8 5	17.4	11.2 5	16.9 5	0	15.1 5	4.5	16.8	24	13.2	6.3
8	11.8 5	7.95	28.5	21.4 5	19.3 5	14.5 5	31.2	17.7	0	17.1	28.0 5	24.1 5	20.8 5	14.4
9	13.2	17.2 5	18.9	28.8	21.1 5	14.4	12.9	4.05	16.2	0	15	25.2	16.9 5	9.15
10	18.3	21	32.25	36.4 5	18	13.2	24.7 5	13.9 5	33.3	16.2	0	37.2	9.9	14.8 5
11	25.0 5	35.1	7.05	3.75	32.2 5	26.4	30.7 5	24.6	26.5 5	24.3	39.6	0	30.6	22.8
12	10.6 5	14.1	28.35	33.6	10.5	5.7	27.9	13.8	26.4	16.0 5	12.6	33.4 5	0	8.25
13	5.4	9.6	19.65	24.9	12.4 5	6.45	20.8 5	6	16.3 5	8.4	16.0 5	24.7 5	8.55	0

Pemilihan urutan rute dilakukan dengan dengan metode *Nearest Neighbor*. *Node* tujuan yang dikunjungi adalah *node* tujuan dengan biaya perjalanan terkecil. Biaya perjalanan merupakan total dari biaya transportasi dan biaya energi dari *node* asal menuju ke *node* tujuan. Setelah dilakukan pencarian rute, diperoleh rute perjalanan adalah seperti pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Rute Perjalanan Berdasarkan Algoritma *Nearest Neighbor*

# Kendaraan	Rute														
1	0	13	9	7	12	5	1	4	8	11	3	2	6	10	0

Rute yang terbentuk dengan menggunakan VBA Excel 2016 sudah sesuai dengan rute yang dihitung dengan cara perhitungan manual. Rute yang terbentuk juga sudah memenuhi *constrain* yang terdapat pada Bab 4, di antaranya adalah *constrain* kapasitas berat muatan, volume muatan, dan *time windows*. Detail tahapan perhitungan manual akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

Selanjutnya, berdasarkan rute perjalanan yang terbentuk, maka dapat di hitung durasi kendaraan berada dalam perjalanan dan waktu sampai pada lokasi konsumen adalah seperti pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Waktu Sampai Pada Konsumen

Konsumen	Waktu Selama Perjalanan
5	5.1
12	23.5
13	37.55
7	60.75
9	76.45
6	95.15
2	116.85
3	151.15
11	185.3
8	199.05
1	214.45
4	248.9
10	284.25

Durasi produk selama perjalanan hingga sampai dilokasi konsumen dapat dihitung berdasarkan waktu berangkat kendaraan dari depot dikurangi dengan waktu sampai di lokasi konsumen. Berikut adalah contoh perhitungannya:

Tabel 5.9 Contoh Perhitungan Waktu Tiba di Konsumen

Konsumen	Waktu Berangkat	Waktu Dilayani	Waktu Selama Perjalanan
1	613.9	709.05	$709.05 - 613.9 = 95.15$

Berdasarkan Tabel 5.9, jika kendaraan berangkat pada 613.9, kemudian tiba di lokasi konsumen 1 dan melayani konsumen 1 pada 709.05, maka dapat dihitung waktu selama perjalanan mulai dari keberangkatan kendaraan hingga tiba di konsumen 1 adalah 95.15. Rute perjalanan dan waktu sampai di konsumen ini akan digunakan sebagai *input* untuk alokasi produk pada kompartemen. Data yang dibutuhkan adalah berat produk yang dibawa dan waktu sampai pada lokasi konsumen.

5.2.3 Verifikasi Evaluasi Kapasitas dan *Time Windows*

Pada pembentukan rute perjalanan berdasarkan algoritma *Nearest Neighbor*, diperoleh rute perjalanan awal seperti pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Rute Perjalanan dengan Algoritma *Nearest Neighbor*

# Kendaraan	Rute														
1	0	13	9	7	12	5	1	4	8	11	3	2	6	10	0

Urutan rute perjalanan yang terbentuk berdasarkan hasil *running* VBA Excel sudah sesuai dengan rute perjalanan berdasarkan perhitungan manual. Berdasarkan rute di atas, akan dilakukan evaluasi *time windows*-nya seperti pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Evaluasi *Time Windows* Pada Penentuan Rute Perjalanan

No	#Kendaraan	Node		Jarak	Waktu				Feasible?
		From	To		Waktu Tempuh	Waktu Sampai	Waktu Dilayani	Waktu Pergi	
1	1	0	13	3.4	5.10	619.00	619.00	629.00	Yes
2	1	13	9	5.6	8.40	637.40	637.40	647.40	Yes
3	1	9	7	2.7	4.05	651.45	651.45	661.45	Yes
4	1	7	12	8.8	13.20	674.65	674.65	684.65	Yes
5	1	12	5	3.8	5.70	690.35	690.35	700.35	Yes
6	1	5	1	5.8	8.70	709.05	709.05	719.05	Yes
7	1	1	4	7.8	11.70	730.75	730.75	740.75	Yes
8	1	4	8	16.2	24.30	765.05	765.05	775.05	Yes
9	1	8	11	16.1	24.15	799.20	799.20	809.20	Yes
10	1	11	3	2.5	3.75	812.95	812.95	822.95	Yes
11	1	3	2	3.6	5.40	828.35	828.35	838.35	Yes
12	1	2	6	16.3	24.45	862.80	862.80	872.80	Yes
13	1	6	10	16.9	25.35	898.15	898.15	908.15	Yes

Selanjutnya, rute perjalanan juga dievaluasi kapasitasnya yaitu berdasarkan kapasitas berat dan juga kapasitas volume seperti pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Evaluasi Kapasitas Pada Penentuan Rute Perjalanan

No	Node		Kapasitas Volume (m ³)			Kapasitas (kg)			Status
	From	To	Awal	Volume	Akhir	Awal	Berat	Akhir	
1	0	13	0.131	0.008	0.123	18	0.65	17.35	1
2	13	9	0.123	0.004	0.119	17.35	0.45	16.9	1
3	9	7	0.119	0.015	0.104	16.9	1.2	15.7	1
4	7	12	0.104	0.005	0.099	15.7	0.6	15.1	1
5	12	5	0.099	0.012	0.087	15.1	1.1	14	1
6	5	1	0.087	0.010	0.076	14	0.9	13.1	1
7	1	4	0.076	0.019	0.057	13.1	1.1	12	1
8	4	8	0.057	0.015	0.043	12	0.95	11.05	1
9	8	11	0.043	0.006	0.037	11.05	0.55	10.5	1
10	11	3	0.037	0.003	0.033	10.5	0.65	9.85	1
11	3	2	0.033	0.013	0.020	9.85	1.1	8.75	1
12	2	6	0.020	0.005	0.015	8.75	0.9	7.85	1
13	6	10	0.015	0.014	0.001	7.85	1.25	6.6	1

Berikut adalah pembuktian untuk rute yang terbentuk:

1. *Node* awal dimulai dari depot yaitu *node* 0 dan menuju ke konsumen terdekat yaitu *node* 13.
2. Jam buka konsumen pada *node* 13 adalah pada 619. Sehingga kendaraan akan berangkat pada jam buka konsumen yang dikunjungi pertama dikurangi dengan durasi perjalanan dari *node* 0 menuju konsumen tersebut. Sehingga, jam berangkat kendaraan dari depot adalah $619 - 8.70 = 613.9$.
3. Kendaraan tiba di lokasi *node* 13 pada rentang diantara jam buka dan jam tutup konsumen, sehingga konsumen dapat langsung dilayani.
4. Dengan asumsi waktu pelayanan sebesar 10 menit, maka konsumen pada *node* 13 selesai dilayani pukul $619 + 10 = 629$.
5. Waktu tiba dan waktu selesai pelayanan tidak melebihi jam tutup konsumen, sehingga konsumen *feasible* untuk dilayani.
6. Keputusan TW feasible adalah “yes” jika konsumen dilayani dalam rentang waktu jam buka dan jam tutupnya. Jika tidak, maka keputusan “no”.

7. Selanjutnya, dilakukan evaluasi kapasitas berdasarkan jumlah produk yang dibawa. Jika kapasitas memenuhi, dan *time windows* memenuhi, maka status “1”, jika tidak, maka status “0”
8. Jika status “1”, maka akan berlanjut untuk mencari *node* terdekat selanjutnya dari *node* yang terakhir dikunjungi.
9. Jika semua konsumen sudah dilayani, maka kendaraan akan kembali ke depot.

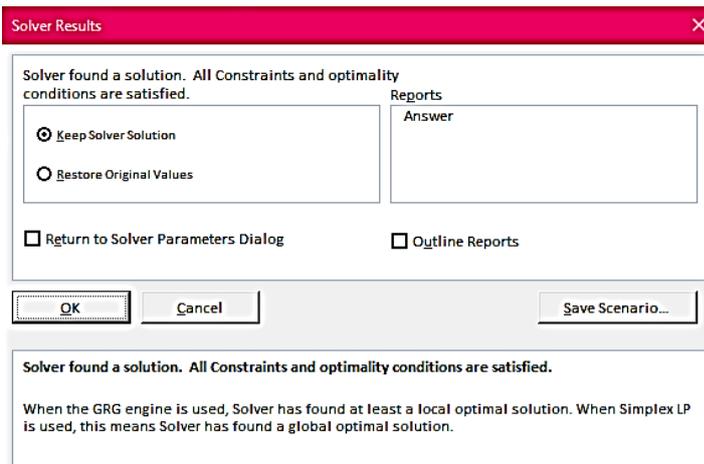
Berdasarkan perhitungan manual di atas, hasil *running* sudah sesuai dengan perhitungan manual.

5.2.4 Verifikasi dan Validasi Alokasi Produk

Setelah diketahui rute perjalanan dan waktu sampai di lokasi konsumen, maka akan dilakukan alokasi produk di kompartemen pada kendaraan. Alokasi produk bergantung pada temperatur optimal, *degradation degree*, *shelf life*, dan berat produk yang dibawa pada satu kendaraan. Alokasi produk dilakukan dengan menggunakan Solver Pada Ms. Excel 2016 yang kemudian akan dimasukkan ke dalam VBA Excel 2016 sehingga dapat digunakan untuk jumlah data yang berbeda.

Fungsi tujuan dalam alokasi produk adalah meminimalkan penurunan kualitas dari suatu produk jika ditempatkan pada lokasi kompartemen tertentu. Minimasi penurunan kualitas dilakukan dengan meminimalkan selisih antara temperatur kompartemen dengan temperatur optimal (*T safe*) produk. Produk yang memiliki temperatur optimal sama dapat ditempatkan pada satu kompartemen yang sama selama kapasitas kompartemen masih cukup.

Berdasarkan Gambar 5.1, maka dapat dikatakan bahwa model yang dibuat sudah terverifikasi. Hal ini dibuktikan dengan adanya *feasible solution* yang dihasilkan setelah dilakukan *running* Solver. Hal ini menunjukkan bahwa semua kendala/batasan dalam model dapat dipenuhi. Hasil dari alokasi produk pada kompartemen dapat dilihat pada Tabel 5.13 – 5.14.



Gambar 5.1 Verifikasi Alokasi Produk

Tabel 5.13 Alokasi Produk 1 – 7 Pada Kompartemen

Produk	1	2	3	4	5	6	7	8
Lokasi Simpan	B	F	B	B	C	G	H	B
Temperatur Optimal	4	5	1	3	2	7	6	4
Delta T	0	0	3	1	2.5	0.5	0	0
Degradation Degree	1.4	0.7	1.2	1.9	1.6	1.2	1.8	0.9
Penurunan Kualitas/min	0	0	0.005	0.00264	0.0056	0.00083	0	0

Tabel 5.14 Alokasi Produk 8 – 15 Pada Kompartemen

Produk	9	10	11	12	13	14	15
Lokasi Simpan	A	I	A	E	B	D	D
Temperatur Optimal	2	7	3	3	2	2	5
Delta T	2.5	0.5	1.5	2	2	0	0
Degradation Degree	2	1.5	1.2	1.6	2.1	1.5	2.5
Penurunan Kualitas/min	0.0069	0.001041	0.0025	0.004	0.00583	0	0

Berdasarkan alokasi pada Tabel 5.13 dan Tabel 5.14, erikut adalah rekapitulasi produk yang ditempatkan pada bagian kompartemen:

Tabel 5.15 Alokasi Produk Pada Kompartemen (Awal)

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
A	4.5	9, 11	0.018	2000
B	4	1, 3, 4, 8, 13	0.019125	2350
C	4.5	5	0.015	1000
D	5.5	14, 15	0.015	1750
E	5	12	0.012	1000
F	5.5	2	0.00675	600

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
G	6.5	6	0.006	800
H	6	7	0.019712	1000
I	6.5	10	0.018	900

Berdasarkan alokasi pada Tabel 5.15, maka dapat dilakukan evaluasi terhadap kualitas produk jika ditempatkan pada lokasi tersebut. Selain dipengaruhi oleh alokasi produk pada kompartemen, penurunan kualitas juga dipengaruhi oleh durasi kendaraan dalam perjalanan hingga tiba di lokasi konsumen. Dengan melakukan alokasi seperti pada Tabel 5.15, maka dapat dihitung biaya penurunan kualitas pada kendaraan tersebut selama perjalanan adalah sebagai berikut:

Tabel 5.16 Total Biaya *Quality Loss* (Awal)

No	#kendaraan	Biaya <i>Quality loss</i>
1	1	Rp 10.620,71

Selanjutnya, untuk membuktikan bahwa model perhitungan alokasi produk valid, maka dibangun beberapa skenario dan dibandingkan nilai *objective function* setiap skenario. Berikut adalah skenario pada alokasi produk:

Tabel 5.17 Skenario Alokasi Produk

Kompartemen	Skenario			
	1	2	3	4
A	9, 11	10	6, 11	11, 15
B	1, 3, 4, 8, 13	1, 3, 13	1, 9	13,6
C	5	14	14,13	9, 14
D	14, 15	5, 7	5, 8	7
E	12	2, 15	2, 15	1,2
F	2	9, 12	12	5, 10
G	6	4	4	4, 12
H	7	11	3, 10	3
I	10	6, 8	7	8
<i>Objective Function</i>	25.05	42.15	39.15	46.5

Validasi alokasi produk dilakukan dengan membangun beberapa skenario dengan alokasi yang berbeda dari hasil alokasi yang dilakukan dengan Solver. Terdapat empat skenario perubahan letak alokasi seperti pada Tabel 5.17. Skenario

1 merupakan hasil pencarian rute optimal dengan menggunakan Solver. Sedangkan pada skenario 2, 3, dan 4 dilakukan perubahan letak alokasi produk secara acak dan perhitungan manual. Berdasarkan hasil uji empat skenario di Tabel 5.17, dapat dilihat bahwa *objective function* pada skenario 1 merupakan yang terkecil. Hal ini sesuai dengan tujuan dari alokasi produk yaitu untuk meminimalkan penurunan kualitas, skenario terbaik adalah yang memiliki nilai *objective function* terkecil. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa skenario 1 yang merupakan hasil alokasi dengan Solver adalah solusi terbaik karena memiliki nilai *objective function* terkecil. Sehingga dapat dikatakan bahwa model alokasi produk adalah valid.

5.3 Perhitungan Numerik dengan Mempertimbangkan *Quality Requirement*

Untuk memastikan bahwa produk berada pada kualitas baik ketika sampai di konsumen, maka perlu ditentukan standar kualitas produk agar produk yang diterima konsumen adalah produk dengan kualitas yang baik. Jika ditetapkan *Quality Requirement* seluruh produk adalah minimal 95%. Kemudian jika terdapat produk yang kualitasnya dibawah *Quality Requirement*, maka rute perjalanan dan alokasi produk yang sudah dibentuk sebelumnya perlu dievaluasi lagi. Berdasarkan data jarak, rute perjalanan, dan alokasi produk pada sub bab sebelumnya, dapat dihitung produk yang memiliki kualitas di bawah *Quality Requirement* sebesar 95% adalah seperti pada Tabel 5.18.

Tabel 5. 18 Produk dengan Kualitas di Bawah *Quality Requirement*

No	Konsumen	Waktu Sampai	Produk	%Penurunan Kualitas
1	8	151.15	3	5.40%
2	2	214.45	3	7.66%
3			5	5.67%
4	10	284.25	9	14.10%
5			13	5.53%

Berdasarkan Tabel 5.18 maka diketahui bahwa ketika kendaraan tiba di konsumen 2, 8, dan 10 kualitas produk berada di bawah *Quality Requirement*, sehingga konsumen tersebut akan dikeluarkan dari rute perjalanan, dan akan digunakan kendaraan baru untuk melayani konsumen tersebut. Hal ini dilakukan

untuk meminimalkan durasi perjalanan menuju konsumen 2, 8, dan 10. Setelah dilakukan iterasi penentuan rute perjalanan baru, maka diperoleh rute perjalanan dengan tiga kendaraan yang dibutuhkan. Berikut adalah rute perjalanan setelah iterasi:

Tabel 5. 19 Rute Perjalanan Mempertimbangkan *Quality Requirement 95%*

# Kendaraan	Rute												
1	0	10	0										
2	0	8	2	0									
3	0	13	9	7	12	5	1	4	11	3	6	0	

Berdasarkan rute perjalanan pada Tabel 5.19, maka dapat dilihat bahwa konsumen dengan *demand* produk di bawah kualitas akan dikeluarkan dari rute awal, dan pelayanannya akan dilakukan dengan kendaraan baru. Maka dapat di hitung durasi kendaraan berada dalam perjalanan dan waktu sampai pada lokasi konsumen adalah seperti pada Tabel 5.20.

Tabel 5. 20 Lama Waktu Tiba di Konsumen

Kendaraan	Node	Waktu Sampai
1	10	17.25
2	8	18
2	2	87
3	13	5.1
3	9	23.5
3	7	37.55
3	12	60.75
3	5	76.45
3	1	95.15
3	4	116.85
3	11	173.65
3	3	187.4
3	6	226.2

Setelah dilakukan iterasi, diperoleh bahwa jumlah kendaraan yang dibutuhkan adalah tiga kendaraan untuk menjaga agar produk berada pada kualitas di atas 95%. Konsumen pada kendaraan 1, merupakan konsumen yang dipisahkan

dari kendaraan pada rute sebelumnya karena kualitas produk yang dibawa sudah tidak memenuhi persyaratan kualitas yang telah ditentukan. Sehingga digunakan kendaraan baru untuk mengirimkan produk agar produk tetap pada kualitas yang sesuai. Setelah terbentuk rute perjalanan, kemudian akan dilakukan evaluasi terhadap alokasi produk pada tiap kendaraan. Pada rute perjalanan ini terdapat tiga kendaraan, sehingga alokasi produk akan dilakukan pada tiga kendaraan tersebut karena jumlah muatan yang dibawa tiap kendaraan berbeda, sehingga memungkinkan alokasi produk pada kompartemen juga berbeda. Berikut adalah detail alokasi tiap produk yang dibawa oleh kendaraan 1.

Tabel 5.21 Alokasi Produk Pada Kompartemen Kendaraan 1 Pada *Quality Requirement 95%*

Produk	4	7	9	13	14
Lokasi Simpan	A	I	C	B	D
Delta T	1.5	0	2.5	2	0
Penurunan Kualitas/min	0.0039	0	0.0069	0.00583	0

Tabel 5.22 Alokasi Kompartemen Kendaraan 1 Pada *Quality Requirement 95%*

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m³)	Berat (gram)
A	4.5	4	0.00225	200
B	4	13	0.001125	100
C	4.5	9	0.006	500
D	5.5	14	0.00075	250
E	5	-	0	0
F	5.5	-	0	0
G	6.5	-	0	0
H	6	-	0	0
I	6.5	7	0.004	200

Pada kendaraan 1, hanya terdapat satu konsumen yang dikunjungi yaitu konsumen 10. Jenis produk yang dibawa adalah *demand* dari konsumen 10 yaitu produk 4, 7, 9, 13, dan 14. Selanjutnya dilakukan alokasi untuk kendaraan kedua yaitu sebagai berikut:

Tabel 5.23 Alokasi Produk Pada Kompartemen Kendaraan 2 Pada *Quality Requirement 95%*

Produk	3	4	5	7	12	15
Lokasi Simpan	E	B	C	I	A	D
Delta T	4	1	2.5	0	1.5	0
Penurunan Kualitas/min	0.0067	0.0026	0.0056	0	0.003	0

Tabel 5.24 Alokasi Kompartemen Kendaraan 2 Pada *Quality Requirement 95%*

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
A	4.5	12	0.009	750
B	4	4	0.001125	100
C	4.5	5	0.006	400
D	5.5	15	0.00225	100
E	5	3	0.0015	300
F	5.5	-	0	0
G	6.5	-	0	0
H	6	-	0	0
I	6.5	7	0.008	400

Berdasarkan tabel 5.23 dan 5.24, dapat dilihat bahwa kendaraan 2 tidak memuat jenis semua produk, produk yang dibawa adalah produk 3, 4, 5, 7, 12, dan 15. Jenis produk yang dibawa ini sesuai dengan demand dari konsumen yang akan dikunjungi yaitu konsumen 2 dan 8. Alokasi produk pada kompartemen menunjukkan bahwa kompartemen A terisi produk 12, kompartemen B terisi produk 4, kompartemen C terisi produk 5, kompartemen D terisi produk 15, kompartemen E terisi produk 3, dan kompartemen I terisi 1 produk yaitu produk 7.

Tabel 5.25 Alokasi Produk Pada Kompartemen Kendaraan 3 Pada *Quality Requirement 95%*

Produk	1	2	4	5	6	7	8
Lokasi Simpan	B	F	B	C	I	H	C
Delta T	0	0	1	2.5	0.5	0	0.5
Penurunan Kualitas/min	0	0	0.00263	0.0056	0.00083	0	0.00063

Tabel 5.26 Lanjutan Alokasi Produk Pada Kompartemen Kendaraan 3 Pada *Quality Requirement 95%*

Produk	9	10	11	12	13	14	15
Lokasi Simpan	B	G	A	B	B	D	E

Produk	9	10	11	12	13	14	15
Delta T	2	0.5	1.5	1	2	0	0
Penurunan Kualitas/min	0.0056	0.001	0.0025	0.002	0.0058	0	0

Tabel 5.27 Alokasi Kompartemen Kendaraan 3 Pada *Quality Requirement* 95%

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
A	4.5	11	0.006	1000
B	4	1,4, 9, 12, 13	0.01875	1950
C	4.5	5, 8	0.012375	1050
D	5.5	14	0.003	1000
E	5	15	0.009	400
F	5.5	2	0.00675	600
G	6.5	10	0.018	900
H	6	7	0.008	400
I	6.5	6	0.006	800

Berdasarkan tabel 5.25 dan 5.26, dapat dilihat bahwa kendaraan 3 tidak memuat jenis semua produk, produk yang dibawa adalah produk 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, dan 15. Alokasi produk pada kompartemen menunjukkan bahwa kompartemen A terisi produk 11, kompartemen B terisi produk 1, 4, 9, 12, 13, kompartemen C terisi produk 5 dan 8, kompartemen D terisi produk 14, kompartemen E terisi produk 15, kompartemen F terisi produk 2, kompartemen G terisi produk 10, kompartemen H terisi produk 7, dan kompartemen I terisi 1 produk yaitu produk 6.

Setelah dilakukan iterasi pembentukan rute baru dan alokasi produk, maka didapatkan bahwa sudah tidak ada produk yang memiliki kualitas di bawah *quality requirement*. Sehingga dapat dihitung biaya penurunan kualitasnya adalah sebagai berikut:

Tabel 5.28 Biaya *Quality Loss* Pada Rute Dengan *Quality Requirement* 95%

No	#kendaraan	Biaya <i>Quality loss</i>
1	1	Rp 194.40
2	2	Rp 1,804.04
3	3	Rp 2,918.20
Total Biaya <i>Quality loss</i>		Rp 4,916.65

Berdasarkan Tabel 5.28 maka dapat dilihat bahwa biaya *quality loss* dengan mempertimbangkan *Quality Requirement* 95% adalah Rp 4,916.65. Biaya ini lebih kecil daripada tidak mempertimbangkan *Quality Requirement*. Dengan mempertimbangkan *Quality Requirement* 95%, diperoleh bahwa terjadi penurunan biaya penurunan kualitas sebesar 54%. Namun terjadi kenaikan biaya penggunaan kendaraan dikarenakan jumlah kendaraan yang digunakan bertambah dari 1 kendaraan menjadi 3 kendaraan.

5.4 Perbandingan Biaya

Analisis perbandingan biaya dilakukan untuk mengetahui perubahan biaya yang terjadi ketika terdapat perubahan komponen biaya pada total biaya distribusi. Data yang digunakan adalah salah satu set data random dengan total 13 konsumen dan 15 produk sayuran. Perbandingan biaya juga dilakukan untuk mengetahui hubungan antar komponen biaya.

5.4.1 Perbandingan Biaya: Total Biaya Mempertimbangkan Penurunan Kualitas

Perbandingan biaya dengan mempertimbangkan *quality loss* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kontribusi biaya *quality loss* terhadap biaya total distribusi. Berikut adalah rekapitulasi perbandingan total biaya jika mempertimbangkan *quality loss* dan tidak mempertimbangkan *quality loss*:

Tabel 5. 29 Perbandingan Total Biaya Mempertimbangkan *Quality Loss*

Jenis Biaya	Biaya
Pemakaian Kendaraan	Rp 155,000.00
Energi	Rp 76,719.10
Transportasi	Rp 23,123.00
<i>Quality loss</i>	Rp 10,620.71
Total Biaya dengan <i>Quality Loss</i>	Rp 265,462.81
Total Biaya tanpa <i>Quality Loss</i>	Rp 254,842.10
Kenaikan Biaya	4.10%

Berdasarkan Tabel 5.27 dapat disimpulkan bahwa dengan mempertimbangkan adanya biaya *quality loss*, akan menyebabkan kenaikan biaya dari Rp 254,842.10 menjadi Rp 265,462.8, terdapat kenaikan total biaya sebesar 4.10% ketika tidak mempertimbangkan *quality loss* yang terjadi. Jika tidak ada *quality requirement*, maka diasumsikan konsumen akan menerima berapapun

kualitas produk ketika sampai pada lokasi konsumen. Biaya *quality loss* dipengaruhi oleh koefisien penurunan kualitas selama durasi perjalanan tertentu, temperatur simpan, dan harga produk. Koefisien penurunan kualitas produk dipengaruhi oleh durasi perjalanan dan juga alokasi produk pada kompartemen kontainer berpendingin. Semakin tingginya penurunan kualitas yang terjadi akan menyebabkan biaya *quality loss* yang tinggi.

5.4.2 Perbandingan Biaya: Total Biaya Mempertimbangkan Biaya Energi

Perbandingan biaya dengan mempertimbangkan biaya energi dilakukan untuk mengetahui berapa besar kontribusi biaya energi terhadap total biaya distribusi. Berikut adalah rekapitulasi total biaya dan perbandingan biaya ketika mempertimbangkan biaya energi dan tidak mempertimbangkan biaya energi:

Tabel 5.30 Perbandingan Total Biaya Mempertimbangkan *Biaya Energi*

Jenis Biaya	Biaya
Pemakaian Kendaraan	Rp 155,000.00
Energi	Rp 76,719.10
Transportasi	Rp 23,123.00
<i>Quality loss</i>	Rp 10,620.71
Total Biaya dengan Biaya Energi	Rp 265,462.81
Total Biaya tanpa Biaya Energi	Rp 188,743.71
Kenaikan Biaya	40.6%

Berdasarkan Tabel 5.30, diperoleh bahwa total biaya tanpa mempertimbangkan adanya biaya energi adalah Rp 188,743.71. Sedangkan total biaya dengan mempertimbangkan biaya energi adalah Rp 265,462.81. Sehingga dapat dihitung total kenaikan biaya ketika mempertimbangkan adanya biaya energi adalah 40.6%. Biaya energi yang dikeluarkan dipengaruhi oleh lama waktu pelayanan, berat produk yang dibawa dan durasi perjalanan. Semakin lama waktu pelayanan dan durasi perjalanan, akan menyebabkan biaya energi semakin tinggi. Biaya energi merupakan komponen biaya yang penting untuk diperhatikan, karena perbedaan total biaya distribusi ketika memperhatikan biaya energi dan tidak memperhatikan biaya energi cukup tinggi yaitu 40.6%.

5.4.3 Perbandingan Biaya: Total Biaya Mempertimbangkan *Quality Requirement*

Perbandingan biaya yang dihasilkan dengan mempertimbangkan *quality requirement* dilakukan untuk mengetahui bagaimana dampak penentuan batas kualitas terhadap biaya distribusi secara keseluruhan. Pada penelitian ini, terdapat tiga skenario *quality requirement* yang diujikan yaitu *quality requirement* sebesar 85%, 90%, dan 95%. Biaya distribusi pada tiap skenario akan dibandingkan dengan biaya distribusi jika tidak mempertimbangkan *quality requirement*.

Tabel 5.31 Perbandingan Biaya Distribusi Mempertimbangkan *Quality Requirement* 85%

Jenis Biaya	Tanpa <i>Quality requirement</i>	<i>Quality Requirement</i> 85%	
		Biaya Distribusi	Perubahan Biaya
Pemakaian Kendaraan	Rp 155,000.00	Rp 155,000.00	0%
Energi	Rp 76,719.10	Rp 76,719.10	0%
Transportasi	Rp 23,123.00	Rp 23,123.00	0%
<i>Quality loss</i>	Rp 10,620.71	Rp 10,620.71	0%
Total Biaya	Rp 265,462.81	Rp 265,462.81	0%

Pada tabel 5.31, dapat dilihat bahwa ketika *quality requirement* bernilai 85%, tidak terdapat kenaikan maupun penurunan biaya distribusi. Hal ini terjadi karena setelah dilakukan alokasi produk dengan mempertimbangkan penurunan kualitas, diperoleh bahwa tidak ada kualitas produk yang bernilai dibawah 85%, sehingga biaya distribusi dan rute perjalanan dengan mempertimbangkan *quality requirement* 85% sama dengan biaya distribusi dan rute perjalanan ketika tidak melakukan pertimbangan *quality requirement*.

Tabel 5.32 Perbandingan Biaya Distribusi Mempertimbangkan *Quality Requirement* 90%

Jenis Biaya	Tanpa <i>Quality Requirement</i>	<i>Quality Requirement</i> 90%	
		Biaya Distribusi	Perubahan Biaya
Pemakaian Kendaraan	Rp 155,000.00	Rp 310,000.00	100%
Energi	Rp 76,719.10	Rp 78,647.25	2.5%
Transportasi	Rp 23,123.00	Rp 25,308.00	9%
<i>Quality loss</i>	Rp 10,620.71	Rp 7,596.01	-28%
Total Biaya	Rp 265,462.81	Rp 421,551.27	59%

Pada Tabel 5.32, dapat dilihat bahwa ketika *quality requirement* bernilai 90%, terdapat kenaikan biaya distribusi 59%. Hal ini terjadi karena setelah dilakukan alokasi produk dengan mempertimbangkan penurunan kualitas, diperoleh bahwa ada produk yang memiliki kualitas bernilai di bawah 90% ketika sampai di konsumen, sehingga perlu dilakukan penentuan ulang rute perjalanan untuk menghindari adanya produk yang memiliki kualitas dibawah kualitas yang ditentukan.

Dengan *quality requirement* sebesar 90%, diperoleh bahwa terdapat kenaikan biaya pemakaian kendaraan. Hal ini disebabkan karena untuk mencapai kualitas produk minimal 90%, dibutuhkan kendaraan baru yang digunakan untuk melayani konsumen yang dikeluarkan dari rute awal tanpa mempertimbangkan *quality requirement*. Dengan mempertimbangkan *quality requirement* 90%, didapatkan biaya *quality loss* mengalami penurunan yang cukup besar yaitu sekitar 28% dibandingkan jika tidak mempertimbangkan *quality requirement*. Selain itu, juga terjadi kenaikan biaya. Biaya energi mengalami kenaikan sebesar 2.5% dan biaya transportasi mengalami kenaikan sebesar 9%. Sehingga kenaikan total biaya yang terjadi adalah 59%. Hal ini terjadi karena dengan menugaskan kendaraan baru, maka total jarak dan durasi perjalanan seluruh kendaraan akan meningkat, sehingga menyebabkan kenaikan biaya pada biaya transportasi dan juga energi.

Tabel 5.33 Perbandingan Biaya Distribusi Mempertimbangkan *Quality Requirement* 95%

Jenis Biaya	Tanpa <i>Quality Requirement</i>	<i>Quality Requirement</i> 95%	
		Biaya Distribusi	Perubahan Biaya
Pemakaian Kendaraan	Rp 155,000.00	Rp 465,000.00	200%
Energi	Rp 76,719.10	Rp 111,752.65	46%
Transportasi	Rp 23,123.00	Rp 33,858.00	46%
<i>Quality loss</i>	Rp 10,620.71	Rp 4,916.65	-54%
Total Biaya	Rp 258,978.56	Rp 615,527.30	132%

Semakin tinggi *quality requirement* maka terdapat peningkatan biaya pula. Hal ini dibuktikan dengan Tabel 5.33, bahwa dengan kualitas produk sebesar 95% maka kenaikan biaya pemakaian kendaraan 200%, biaya energi sebesar 46%, dan biaya transportasi 46%. Sedangkan terjadi nilai penurunan biaya *quality loss* pada

kualitas 95% sebesar 54%. Total biaya distribusi mengalami kenaikan sebesar 132%.

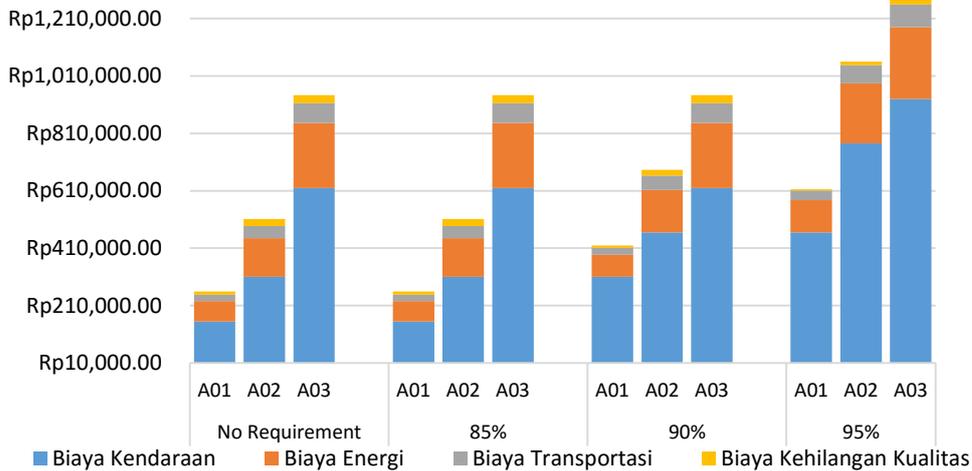
Sehingga dapat disimpulkan, nilai *quality loss* menunjukkan bahwa apabila *quality requirement* semakin tinggi maka biaya *quality loss* akan lebih kecil. Total biaya yang dibutuhkan juga berbeda, semakin tinggi *quality requirement* yang diinginkan maka semakin besar pula total biaya distribusi. Berdasarkan rincian biaya di atas, dapat dilihat pula bahwa dengan mempertimbangkan kualitas, jumlah kendaraan yang digunakan meningkat dari awalnya satu kendaraan menjadi dua kendaraan. Hal ini berdampak terhadap kenaikan biaya pemakaian kendaraan hingga dua kali lipat. Jika dilihat dari segi total biaya distribusi, setiap kenaikan *quality requirement*, menyebabkan kenaikan biaya distribusi yang cukup tinggi. Hal ini terjadi karena biaya penggunaan kendaraan meningkat untuk memenuhi kebutuhan pemenuhan *quality requirement*.

5.5 Percobaan Beberapa Set Data

Percobaan dengan beberapa set data dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing – masing komponen biaya terhadap jumlah data konsumen yang berbeda – beda. Percobaan dilakukan dengan tiga set data yaitu data A01, A02, dan A03. Data A01 terdiri dari 13 titik konsumen, data A02 terdiri dari 30 titik konsumen, dan A03 terdiri dari 50 titik konsumen. Tiap set data dievaluasi dengan memperhatikan *Quality Requirement* yang ditentukan yaitu 85%, 90%, dan 95%. Perbandingan total biaya distribusi antar set data dapat dilihat pada Tabel 5.34.

Berdasarkan rekapitulasi biaya dari hasil *running VBA* pada Tabel 5.34, dapat dilihat bahwa pada ketiga set data, peningkatan *quality requirement* menyebabkan terjadinya kenaikan pada biaya distribusi juga. Selain itu, dengan adanya peningkatan *quality requirement* yang telah ditetapkan, terjadi penurunan pada biaya *quality loss*. Biaya *quality loss* adalah biaya yang harus ditanggung akibat adanya penurunan kualitas selama perjalanan. Menurunnya biaya *quality loss* ketika terdapat kenaikan *quality requirement* terjadi karena dengan adanya penggunaan kendaraan baru, maka durasi perjalanan menuju konsumen dapat diminimalkan, sehingga penurunan kualitas dapat diminimalkan.

Perbandingan Biaya Distribusi Mempertimbangkan *Quality Requirement*



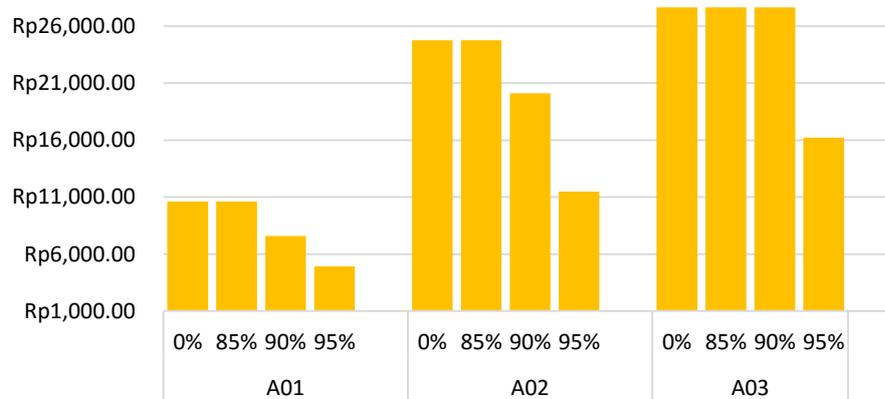
Gambar 5.2 Perbandingan Biaya untuk Beberapa Set Data Mempertimbangkan *Quality Requirement*

Berdasarkan Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa pada semua data set menunjukkan bahwa semakin tinggi *quality requirement* akan mengakibatkan biaya distribusi semakin meningkat. Dari Gambar 5.2 juga dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran data atau jumlah konsumen yang harus dilayani, maka membutuhkan biaya distribusi yang semakin tinggi. Hal ini terjadi karena jarak tempuh untuk mengunjungi semua konsumen mengalami peningkatan, ketika semakin banyak jumlah konsumen yang harus dilayani. Sehingga penentuan *quality requirement* yang tepat bergantung pada jumlah konsumen yang dilayani perlu dipertimbangkan untuk menghindari peningkatan biaya yang terlalu tinggi. Total biaya distribusi pada data set A03 pada *quality requirement* 95% merupakan total biaya distribusi paling tinggi, hal ini disebabkan karena jumlah konsumen yang dilayani lebih banyak daripada data set lain, sehingga menyebabkan kebutuhan kendaraan untuk melayani 50 konsumen akan meningkat, sehingga menyebabkan kenaikan biaya distribusi yang cukup signifikan.

Kenaikan biaya distribusi ketika terdapat kenaikan *quality requirement* terjadi karena untuk dapat memenuhi *quality requirement*, maka durasi perjalanan

menuju konsumen tujuan harus diminimalkan, sehingga untuk itu digunakan kendaraan baru sehingga perjalanan menuju ke konsumen tujuan dapat lebih cepat. Dengan ini, maka jumlah kendaraan yang dibutuhkan semakin meningkat, sehingga menyebabkan kenaikan biaya distribusi yang tinggi.

**Perbandingan Biaya Quality Loss
Mempertimbangkan *Quality Requirement***



Gambar 5.3 Perbandingan Biaya *Quality Loss* Mempertimbangkan *Quality Requirement*

Jika dilihat berdasarkan biaya *quality loss*, dapat dilihat pada Gambar 5.3, pada seluruh data set menunjukkan bahwa semakin tinggi *quality requirement* yang ditetapkan, maka biaya penurunan kualitas akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena dengan menambahkan kendaraan baru untuk melayani konsumen, maka lama waktu perjalanan kendaraan untuk menuju ke lokasi konsumen akan semakin kecil. Sehingga penurunan kualitas yang terjadi menjadi semakin kecil.

Semakin banyak kendaraan yang ditambahkan namun dengan utilitas kecil akan menyebabkan kenaikan biaya yang sangat tinggi. Sehingga penentuan *quality requirement* harus juga memperhatikan berapa besar utilitas dari kendaraan baru tersebut. Pada Gambar 5.4, dengan memperhatikan *quality requirement*, pada saat *quality requirement* 85% membutuhkan jumlah kendaraan yang sama dengan jika tanpa *quality requirement*. Pada saat ditetapkan *quality requirement* 90%. Dibutuhkan 3 kendaraan. Sedangkan jika *quality requirement* 95%, dibutuhkan 5

5.6 Percobaan 1: Pengaruh Temperatur *Setting* dengan Kualitas Produk

Perhitungan pada penelitian ini diasumsikan temperatur *setting* pada kontainer adalah 4°C. Namun pada Percobaan 1 akan dilakukan perubahan temperatur *setting* untuk mengetahui pengaruh temperatur *setting* terhadap penurunan kualitas. Skenario percobaan dilakukan dengan melakukan perubahan temperatur *setting* pada kontainer kendaraan, kemudian akan dianalisa bagaimana pengaruhnya terhadap kualitas produk yang disimpan di dalam kontainer tersebut. Skenario temperatur *setting* yang digunakan adalah 0°C, 4°C, 5°C, dan 8°C.

a. Temperatur *Setting* 0 °C

Ketika temperatur *setting* berubah, maka akan ada penyesuaian pada *T safe*. *T safe* pada saat temperatur *setting* 0 °C dapat dilihat seperti pada Tabel 5.33.

Tabel 5. 34 *T safe* Pada Temperatur *Setting* 0 °C

#Produk	Nama Produk	Temperatur		<i>T safe</i>
		Min	Max	
1	<i>Kale</i>	0	4	0
2	<i>Basil</i>	5	10	5
3	<i>Cilantro</i>	0	1	0
4	<i>Celery</i>	0	3	0
5	<i>Lettuce</i>	0	2	0
6	<i>Beans</i>	7	10	7
7	<i>Spinach</i>	6	8	6
8	<i>Sugar Peas</i>	0	4	0
9	<i>Asparagus</i>	0	2	0
10	<i>Cucumber</i>	7	12	7
11	<i>Broccoli</i>	0	3	0
12	<i>Leek</i>	0	3	0
13	<i>Parsley</i>	0	2	0
14	<i>Mushroom</i>	2	7	2
15	<i>Pepper (chilli)</i>	5	10	5

Tabel 5. 35 Alokasi Produk Pada Temperatur *Setting* 0°C

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
A	0.5	9	0.012	1000
B	0	3, 11	0.0075	1300

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
C	0.5	8, 12	0.015375	1450
D	1.5	10	0.018	900
E	1	1, 4	0.01425	1600
F	1.5	5	0.015	1000
G	2.5	2, 15	0.018	1100
H	2	6, 14	0.00975	2050
I	2.5	7	0.019712	1000

Berdasarkan alokasi pada Tabel 5.36, dapat dihitung biaya *quality loss* ketika temperatur *setting* pada 0°C dan diperoleh biaya *quality loss* adalah Rp 12,407.06. Biaya ini lebih tinggi daripada jika temperatur *setting* 4°C. Hal ini terjadi karena terdapat lebih banyak produk yang berada pada temperatur yang tidak sesuai dengan temperatur optimalnya sehingga kualitas produk mengalami penurunan lebih besar. Temperatur tertinggi adalah pada kompartemen I yaitu sebesar 2.5 °C, nilai ini masih jauh dari temperatur optimal beberapa produk, diantara adalah produk 2, 6, 7, 10, dan 15. Sehingga menyebabkan penurunan kualitas yang tinggi pada produk yang memiliki *range* temperatur optimal di atas 2.5 °C. Mayoritas produk memiliki temperatur optimal di antara 0 °C –2.5 °C. Hal ini menyebabkan terdapat banyak produk yang tidak mengalami penurunan kualitas atau penurunan kualitasnya kecil.

Tabel 5.36 Kualitas Produk di Bawah *Quality Requirement* Pada Temperatur *Setting* 0 °C

No	Konsumen	Waktu Sampai	Produk	%Penurunan Kualitas
1	1	95.15	10	7.79%
2	4	116.85	7	7.30%
3	8	151.15	10	9.56%
4			7	9.45%
5			15	5.47%
6	11	185.30	2	6.43%
7			15	6.70%
8	3	199.05	6	11.85%
9	6	248.90	6	14.82%
10	10	284.25	7	17.77%

Berdasarkan tabel 5.37, diperoleh bahwa lebih banyak konsumen yang menerima produk dengan kualitas di bawah 95% Produk yang kualitasnya di bawah 5% adalah produk 2, 6, 7, 10 dan 15 ketika tiba di konsumen 1, 3, 4, 10, 11, dan 12. Produk 2 dan 15 memiliki *range* temperatur optimal 5°C – 10°C, produk 6 memiliki *range* temperatur optimal 7°C – 10°C, dan produk 10 memiliki *range* temperatur optimal 7°C – 12°C. Terdapat perbedaan temperatur yang cukup tinggi antara temperatur pada lokasi kompartemen dengan temperatur optimal produk. Perbedaan temperatur yang besar ini menyebabkan penurunan kualitasnya lebih tinggi daripada produk lain.

b. Temperatur Setting 4 °C

Terjadi perubahan *T safe* ketikan temperatur *setting* diubah menjadi 4 °C. Berikut adalah *T safe* pada skenario ini:

Tabel 5.37 *T safe* Pada Temperatur *Setting* 4 °C

#Produk	Nama Produk	Temperatur		<i>T safe</i>
		Min	Max	
1	<i>Kale</i>	0	4	4
2	<i>Basil</i>	5	10	5
3	<i>Cilantro</i>	0	1	1
4	<i>Celery</i>	0	3	3
5	<i>Lettuce</i>	0	2	2
6	<i>Beans</i>	7	10	7
7	<i>Spinach</i>	6	8	6
8	<i>Sugar Peas</i>	0	4	4
9	<i>Asparagus</i>	0	2	2
10	<i>Cucumber</i>	7	12	7
11	<i>Broccoli</i>	0	3	3
12	<i>Leek</i>	0	3	3
13	<i>Parsley</i>	0	2	2
14	<i>Mushroom</i>	2	7	2
15	<i>Pepper (chilli)</i>	5	10	5

Selanjutnya dilakukan alokasi produk pada temperatur *setting* 4 °C adalah seperti pada Tabel 5.39

Tabel 5.38 Alokasi Produk Pada Temperatur *Setting* 4°C

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
A	4.5	9, 11	0.018	2000
B	4	1, 3, 4, 8, 13	0.019125	2350
C	4.5	5	0.015	1000
D	5.5	14, 15	0.015	1750
E	5	12	0.012	1000
F	5.5	2	0.00675	600
G	6.5	6	0.006	800
H	6	7	0.019712	1000
I	6.5	10	0.018	900

Berdasarkan alokasi pada Tabel 5.39, diperoleh biaya *quality loss* ketika temperatur *setting* pada 4°C adalah Rp 10,620.71. Temperatur tertinggi adalah pada kompartemen I yaitu sebesar 6.5 °C, nilai ini masih jauh dari temperatur optimal beberapa produk, sehingga menyebabkan penurunan kualitas yang tinggi pada produk yang memiliki *range* temperatur optimal di atas 4.5 °C.

Tabel 5.39 Kualitas Produk di Bawah *Quality Requirement* Pada Temperatur *Setting* 4 °C

No	Konsumen	Waktu Sampai	Produk	%Penurunan Kualitas
1	8	151.15	3	5.40%
2	2	214.45	3	7.66%
3			5	5.67%
4	10	284.25	9	14.10%
5			13	5.53%

Berdasarkan tabel 5.38, diperoleh bahwa terdapat 3 konsumen yang menerima produk dengan kualitas di bawah 95% Produk yang kualitasnya di bawah 5% adalah produk 3, 5, 9, dan 13 ketika tiba di konsumen 2, 8, dan 10. Beberapa jenis produk ini memiliki temperatur optimal di atas temperatur *setting* dan tidak ada kompartemen yang memiliki temperatur sama dengan *range* temperaturnya sehingga menyebabkan penurunan kualitasnya cukup tinggi. Selain itu, konsumen 10 dikunjungi terakhir sehingga menyebabkan penurunan kualitas pada produk 14 semakin tinggi mencapai 10.30%.

c. *Temperatur Setting 5 °C*

Terjadi perubahan *T safe* ketika temperatur *setting* diubah menjadi 5 °C.

Berikut adalah *T safe* pada skenario ini:

Tabel 5. 40 *T safe* Pada Temperatur *Setting 5 °C*

#Produk	Nama Produk	Temperatur		<i>T safe</i>
		Min	Max	
1	<i>Kale</i>	0	4	4
2	<i>Basil</i>	5	10	5
3	<i>Cilantro</i>	0	1	1
4	<i>Celery</i>	0	3	3
5	<i>Lettuce</i>	0	2	2
6	<i>Beans</i>	7	10	7
7	<i>Spinach</i>	6	8	6
8	<i>Sugar Peas</i>	0	4	4
9	<i>Asparagus</i>	0	2	2
10	<i>Cucumber</i>	7	12	7
11	<i>Broccoli</i>	0	3	3
12	<i>Leek</i>	0	3	3
13	<i>Parsley</i>	0	2	2
14	<i>Mushroom</i>	2	7	7
15	<i>Pepper (chilli)</i>	5	10	5

Selanjutnya dilakukan alokasi produk pada temperatur *setting 5 °C* adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 41 Alokasi Produk Pada Temperatur *Setting 5°C*

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
A	5.5	5	0.015	1000
B	5	1, 3, 4, 8, 13	0.019125	2350
C	5.5	9, 11	0.018	2000
D	6.5	14	0.00375	1250
E	6	12	0.012	1000
F	6.5	7	0.019712	1000
G	7.5	10	0.018	900
H	7	6	0.006	800
I	7.5	2, 15	0.018	1100

Berdasarkan alokasi pada Tabel 5.42, diperoleh biaya *quality loss* ketika temperatur *setting* pada 5°C adalah Rp 16,022.97. Alokasi terbanyak adalah pada kompartemen B. Hal ini terjadi karena mayoritas temperatur optimal produk berada pada rentang di bawah 5°C. Sehingga beberapa produk dengan *range* temperatur di bawah 5°C akan ditempatkan pada kompartemen B karena kompartemen ini memiliki temperatur terendah dibandingkan kompartemen lain. Ketika kapasitas sudah penuh, maka produk yang memiliki temperatur optimal di bawah temperatur *setting*, akan dialokasikan ke kompartemen A dan C untuk meminimalkan kualitas. Biaya *quality loss* cukup tinggi karena lebih banyak produk dengan temperatur optimal di bawah 5°C. Selanjutnya

Tabel 5.42 Kualitas Produk di Bawah *Quality Requirement* Pada Temperatur *Setting* 5 °C

No	Konsumen	Waktu Sampai	Produk	%Penurunan Kualitas
1	8	151.15	3	7.20%
2	11	185.30	13	5.40%
3	2	214.45	3	10.21%
4			5	7.94%
5	6	248.90	13	7.26%
6	10	284.25	4	5.00%
7			9	19.74%
8			13	8.29%

Berdasarkan tabel 5.43, diperoleh bahwa terdapat lima konsumen yang menerima produk dengan kualitas di bawah 95% . Produk yang kualitasnya di bawah 5% adalah produk 3, 4, 5, 9, dan 13 ketika tiba di konsumen 2, 6, 8, 10 dan 11. Produk 3 memiliki *range* temperatur optimal 0°C – 1°C, produk 4 memiliki *range* temperatur optimal 0°C – 3°C, sedangkan produk 5, 9, dan 13 memiliki *range* temperatur optimal 0°C – 2°C. Kelima produk ini memiliki temperatur optimal di jauh dari temperatur *setting*. Hal ini menyebabkan penurunn kualitas pada kelima produk ini sangat tinggi.

d. *Temperatur Setting* 8 °C

Terjadi perubahan T_{safe} ketika temperatur *setting* diubah menjadi 8 °C. Berikut adalah T_{safe} pada skenario ini:

Tabel 5. 43 T_{safe} Pada Temperatur *Setting* 8 °C

#Produk	Nama Produk	Temperatur		T_{safe}
		Min	Max	
1	<i>Kale</i>	0	4	4
2	<i>Basil</i>	5	10	10
3	<i>Cilantro</i>	0	1	1
4	<i>Celery</i>	0	5	5
5	<i>Lettuce</i>	0	5	5
6	<i>Beans</i>	5	10	10
7	<i>Spinach</i>	0	5	5
8	<i>Sugar Peas</i>	0	7	7
9	<i>Asparagus</i>	0	5	5
10	<i>Cucumber</i>	7	12	7
11	<i>Broccoli</i>	0	5	5
12	<i>Leek</i>	0	5	5
13	<i>Parsley</i>	0	4	4
14	<i>Mushroom</i>	2	7	7
15	<i>Pepper (chilli)</i>	5	10	10

Selanjutnya dilakukan alokasi produk pada temperatur *setting* 8 °C adalah seperti pada Tabel 5.45.

Tabel 5. 44 Alokasi Produk Pada Temperatur *Setting* 8°C

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
A	8.5	9, 14	0.01575	2250
B	8	1, 3, 4, 8, 13	0.019125	2350
C	8.5	11, 12	0.018	2000
D	9.5	6	0.006	800
E	9	7	0.019712	1000
F	9.5	5	0.015	1000
G	10.5	2	0.00675	600
H	10	15	0.01125	500
I	10.5	10	0.018	900

Berdasarkan alokasi pada Tabel 5.45, diperoleh biaya *quality loss* ketika temperatur *setting* pada 8°C adalah Rp 38,522.17. Alokasi terbanyak adalah pada kompartemen A, B, dan C. Hal ini terjadi karena mayoritas temperatur optimal produk berada di bawah 8°C, sehingga produk tersebut akan dialokasikan pada kompartemen dengan temperatur terendah. Keadaan ini juga menyebabkan perbedaan temperatur optimal produk dengan kompartemen cukup tinggi dan berakibat penurunan kualitas juga tinggi. Sehingga berdampak terhadap biaya *quality loss* yang sangat tinggi.

Berdasarkan Tabel 5.46, diperoleh bahwa terdapat 7 konsumen yang menerima produk dengan kualitas di bawah 95%. Produk yang mengalami penurunan kualitas di bawah 95% adalah produk 1, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13, dan 14. Sepuluh dari lima belas produk mengalami penurunan kualitas di atas 5% ketika sampai di konsumen. Hal ini terjadi karena temperatur *setting* yang diatur terlalu jauh dari temperatur optimal dari sembilan produk tersebut. Sehingga menyebabkan penurunan kualitas yang terjadi juga tinggi.

e. Perbandingan Biaya Quality loss Mempertimbangkan Temperatur Setting

Jika diasumsikan pada kondisi eksisting temperatur *setting* adalah 4 °C. Maka dapat dihitung seberapa besar perubahan biaya ketika dilakukan perubahan terhadap temperatur *setting* pada kondisi eksisting. Berdasarkan percobaan pada sub bab *a)* sampai *d)*, rekapitulasi percobaan perubahan temperatur *setting* terdapat pada Tabel 5.47.

Tabel 5.45 Rekapitulasi Hasil Percobaan Variasi Temperatur *Setting*

Percobaan	Temperatur <i>Setting</i>	Biaya <i>Quality loss</i>	Perubahan Biaya
1	0°C	Rp 12,407.06	17%
2 (Eksisting)	4°C	Rp 10,620.71	-
3	5°C	Rp 16,022.97	51%
4	8°C	Rp 38,522.17	263%

Berdasarkan Tabel 5.47, dapat dilihat bahwa dengan mengatur temperatur *setting* menjadi 0°C, terjadi kenaikan biaya sebesar 17% dari kondisi eksisting.

Range temperatur kompartemen pada percobaan temperatur *setting* 0°C adalah 0°C – 2.5°C. Temperatur tertinggi adalah pada kompartemen I yaitu sebesar 2.5 °C, Kenaikan biaya terjadi karena temperatur yang diterima oleh tiap kompartemen jauh dari temperatur optimal beberapa produk. nilai ini masih jauh dari temperatur optimal beberapa produk, sehingga menyebabkan penurunan kualitas yang tinggi pada produk yang memiliki temperatur optimal di atas 2.5 °C. Kemudian dengan mengatur temperatur *setting* menjadi 5°C, diperoleh kenaikan biaya *quality loss* sebesar 51%, kenaikan biaya terjadi karena selisih temperatur optimal produk dengan *range* di bawah 5°C cukup tinggi sehingga biaya penurunan kualitasnya tinggi. Dengan menjadikan temperatur *setting* 8°C, diperoleh bahwa kenaikan biaya menjadi paling tinggi melebihi dua kali lipat biaya *quality loss* pada kondisi eksisting, kenaikan biayanya mencapai 263%. Biaya yang cukup tinggi ini terjadi karena temperatur ini sangat jauh dibandingkan temperatur optimal mayoritas produk yang dibawa. Sehingga penurunan kualitasnya tinggi. Sehingga dapat disimpulkan berdasarkan Percobaan 1 dengan melakukan perubahan terhadap temperatur *setting*, jika ditinjau dari segi biaya *quality loss* diperoleh bahwa temperatur *setting* terbaik yang dapat meminimalkan biaya penurunan kualitas adalah menggunakan temperatur *setting* 4°C.

5.7 Percobaan 2: Perbandingan Alokasi Random vs Alokasi Mempertimbangkan Temperatur

Pada sub bab ini akan dilakukan perbandingan biaya *quality loss* yang terjadi jika alokasi produk dilakukan secara random tanpa memperhatikan temperatur optimal produk dengan jika alokasi produk dilakukan dengan optimasi *branch and bound*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar penurunan biaya yang terjadi dengan melakukan optimasi pada alokasi produk. Pengalokasian secara random dapat dilihat pada Tabel 5.48

Tabel 5.46 Alokasi Produk Secara Random

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
A	4.5	1, 3, 9	0.0165	1900
B	4	2, 13	0.0135	1200

C	4.5	6	0.006	800
D	5.5	4, 5	0.0195	1400
E	5	15	0.01125	500
F	5.5	7, 11	0.026	2000
G	6.5	10	0.018	900
H	6	12	0.012	1000
I	6.5	8, 14	0.007125	1700

Berdasarkan Tabel 5.49 dan Tabel 5.50, dapat dilihat bahwa penurunan kualitas tertinggi terjadi pada produk 9 ketika sampai di konsumen 10, persen penurunan kualitasnya adalah 14.1%. Berdasarkan penurunan kualitas tersebut, biaya *quality loss* dapat dihitung dengan mengalikan persentase kualitas dengan harga tiap produk dan jumlah demand produk tersebut pada tiap konsumen.

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 5.41 dan 5.52 maka diperoleh total biaya *quality loss* adalah Rp 16,005.78. Setelah dilakukan perhitungan penurunan kualitas pada alokasi random, maka selanjutnya dilakukan perhitungan penurunan kualitas pada alokasi dengan optimasi *branch and bound* yang dilakukan dengan bantuan *software Solver Ms. Excel*. Berikut adalah hasil alokasi produknya:

Tabel 5.47 Optimasi Alokasi Produk

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
A	4.5	9, 11	0.018	2000
B	4	1, 3, 4, 8, 13	0.019125	2350
C	4.5	5	0.015	1000
D	5.5	14, 15	0.015	1750
E	5	12	0.012	1000
F	5.5	2	0.00675	600
G	6.5	6	0.006	800
H	6	7	0.019712	1000
I	6.5	10	0.018	900

Berdasarkan Tabel 5.54 dan Tabel 5.55, dapat dilihat bahwa penurunan kualitas terbesar adalah sebesar 14.1% pada produk 9 ketika sampai di lokasi konsumen 10. Berdasarkan rincian biaya per produk pada Tabel 5.56 dan 5.57, dapat dihitung total biaya *quality loss* pada alokasi optimal adalah Rp 10,620.71. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan mengoptimalkan alokasi produk dengan mempertimbangkan penurunan kualitas biaya *loss quality* 50.7% lebih rendah daripada jika alokasi dilakukan secara random. Alokasi produk secara

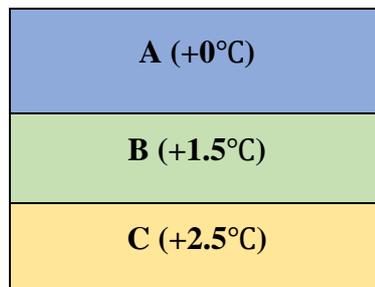
random akan menyebabkan banyak produk yang disimpan tidak dalam temperatur optimalnya, sehingga menyebabkan penurunan kualitas menjadi lebih tinggi daripada jika dilakukan alokasi yang optimal.

5.8 Percobaan 3: Perubahan Jumlah Kompartemen

Pada Percobaan 3, dilakukan perubahan jumlah kompartemen untuk mengetahui pengaruh jumlah kompartemen terhadap biaya *quality loss*.

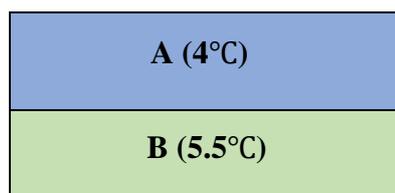
a. Skenario 1: Jumlah Kompartemen Tiga Bagian

Pada skenario ini, kontainer dibagi menjadi 3 bagian seperti pada Gambar 5.5 di bawah ini:



Gambar 5.4 Layout dan Distribusi Temperatur Kompartemen Pada Skenario 1

Berdasarkan layout dan distribusi temperatur kompartemen pada Gambar 5.5, jika diasumsikan temperatur *setting* adalah 4°C, maka dapat dihitung temperatur pada tiap kompartemen adalah seperti pada Gambar 5.6. Kemudian akan dilakukan alokasi produk pada kompartemen dengan menggunakan tiga bagian kompartemen. Jika dibagi menjadi 3 kompartemen kapasitas tiap kompartemen adalah 0.0591 m³ dan 6500 gram. Hasil alokasi produk pada Skenario 1 adalah pada Tabel 5.58.



C (6.5°C)

Gambar 5.5 Temperatur Tiap Kompartemen Pada Skenario 1

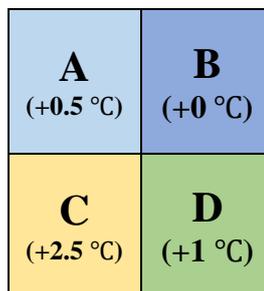
Tabel 5.48 Alokasi Produk Pada Perubahan Jumlah Kompartemen Skenario 1

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
A	4	1, 3, 4, 5, 8, 9, 12, 13	0.058125	5350
B	5.5	2, 11	0.01275	1600
C	6.5	6, 7, 10, 14, 15	0.059	4450

Berdasarkan alokasi pada Tabel 5.58, diperoleh bahwa total biaya *quality loss* adalah Rp 10,154.67. Pada kompartemen A, terdapat 8 produk yang dialokasikan dengan total volume 0.058125 m³ dan total berat produk yang dialokasikan adalah 5350 gram. Produk yang memiliki temperatur optimal di bawah temperatur *setting* akan dialokasikan pada kompartemen A. Pada kompartemen B, terdapat 2 produk yang dialokasikan dengan total volume 0.01275 m³ dan total berat produk 1600 gram. Sedangkan pada kompartemen C, terdapat 5 produk yang dialokasikan dengan total volume 0.059 m³ dan berat produk 4450 gram.

b. Skenario 2: Jumlah Kompartemen Empat Bagian

Skenario selanjutnya adalah membagi kontainer menjadi 4 bagian kompartemen. Berikut adalah ilustrasi dari pembagian kompartemen:



Gambar 5.6 Layout dan Distribusi Temperatur Kompartemen Pada Skenario 1

Berdasarkan pembagian distribusi temperatur pada Gambar 5.7, maka diperoleh temperatur pada tiap bagian kompartemen adalah sebagai berikut:

A (4.5 °C)	B (+4 °C)
C (6.5 °C)	D (6 °C)

Gambar 5.7 Temperatur Pada Tiap Bagian Kompartemen Skenario 2

Kemudian akan dilakukan alokasi produk pada kompartemen dengan menggunakan empat bagian kompartemen. Jika kontainer dibagi menjadi empat bagian maka kapasitas tiap kompartemen adalah 0.0444 m³ dan 5000 gram. Hasil alokasi produk pada Skenario 2 adalah seperti pada Tabel 5.59.

Tabel 5.49 Alokasi Produk Pada Perubahan Jumlah Kompartemen Skenario 2

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
A	4.5	5, 11, 14	0.02475	3250
B	4	1, 3, 4, 8, 9, 12, 13	0.043125	4350
C	6	2, 15	0.018	1100
D	6.5	6, 7, 10	0.044	2700

Berdasarkan alokasi produk pada Tabel 5.59, dapat dihitung total biaya *quality loss* adalah Rp 9,776.45. Terdapat 3 produk pada kompartemen A yaitu 5, 11, dan 14 dengan total volume kompartemen yang terisi adalah 0.02475 m³ dan beratnya 3250 gram. Pada kompartemen B juga terdapat 7 produk yaitu produk 1, 3, 4, 8, 9, 12, dan 13 dengan volume 0.043125 m³ dan berat 4350 gram. Pada kompartemen C terdapat 2 produk yaitu produk 2 dan 15 dengan volume total 0.018 m³ dan berat 1100 gram. Sedangkan pada kompartemen D hanya terdapat 3 produk yaitu produk 6, 7, dan 10 dengan volume total 0.044 m³ dan berat 2700 gram.

c. *Skenario 3: Jumlah Kompartemen Sembilan Bagian*

Skenario selanjutnya adalah membagi kontainer menjadi 9 bagian kompartemen. Ilustrasi dari pembagian kompartemen dapat dilihat pada Gambar 5.9.

A (+0.5 °C)	B (+0 °C)	C (+0.5°C)
D (+1.5 °C)	E (+1°C)	F (+1.5 °C)
G (+2.5 °C)	H (+2 °C)	I (+2.5 °C)

Gambar 5.8 Layout dan Distribusi Temperatur Kompartemen Pada Skenario 3

Kemudian akan dilakukan alokasi produk pada kompartemen dengan menggunakan sembilan bagian kompartemen. Kapasitas tiap kompartemen adalah 0.0197 m³ dan 2555.6 gram. Hasil alokasi produk pada Skenario 3 adalah sebagai berikut:

Tabel 5.50 Alokasi Produk Pada Perubahan Jumlah Kompartemen Skenario 3

Kompartemen	Temperatur (°C)	#Produk	Volume (m ³)	Berat (gram)
A	4.5	9, 11	0.018	2000
B	4	1, 3, 4, 8, 13	0.019125	2350
C	4.5	5	0.015	1000
D	5.5	14, 15	0.015	1750
E	5	12	0.012	1000
F	5.5	2	0.00675	600
G	6.5	6	0.006	800
H	6	7	0.019712	1000
I	6.5	10	0.018	900

Berdasarkan alokasi produk pada Tabel 5.60, dapat dihitung total biaya *quality loss* adalah Rp 10,620.71. Terdapat 2 produk pada kompartemen A yaitu 9 dan 11 dengan total volume kompartemen yang terisi adalah 0.018 m³ dan beratnya 2000 gram. Pada kompartemen B terdapat 5 produk yaitu produk 1, 3, 4, 8, dan 13 dengan volume 0.019125 m³ dan berat 2350 gram. Pada kompartemen C terdapat 1 produk yaitu produk 5 dengan volume total 0.015 m³ dan berat 1000 gram. Pada kompartemen D terdapat 2 produk yaitu produk 14 dan 15 dengan volume total 0.015 m³ dan berat 1750 gram. Pada kompartemen E terdapat 1 produk yaitu produk 12 dengan volume total 0.012 m³ dan berat 1000 gram. Pada kompartemen F

terdapat 1 produk yaitu produk 2 dengan volume total 0.00675 m³ dan berat 600 gram. Pada kompartemen G terdapat 1 produk yaitu produk 6 dengan volume total 0.006 m³ dan berat 800 gram. Pada kompartemen H terdapat 1 produk yaitu produk 7 dengan volume total 0.019712 m³ dan berat 1000 gram. Pada kompartemen I terdapat 1 produk yaitu produk 10 dengan volume total 0.018 m³ dan berat 900 gram.

d. *Perbandingan Biaya Percobaan Perubahan Jumlah Kompartemen*

Berdasarkan dari tiga skenario jumlah kompartemen yang dikembangkan, maka diperoleh rekapitulasi biaya *quality loss* untuk tiap strategi adalah seperti pada Tabel 5.61.

Tabel 5.51 Perbandingan Biaya Percobaan Perubahan Jumlah Kompartemen

Skenario Percobaan	Jumlah Kompartemen	Biaya	Perubahan Biaya
1	3	Rp 10,154.67	-4%
2	4	Rp 9,776.45	-8%
3 (Eksisting)	9	Rp 10,620.71	-

Berdasarkan Tabel 5.61, dapat dilihat dengan melakukan perubahan terhadap jumlah kompartemen menjadi tiga dan empat bagian menyebabkan terjadinya penurunan biaya *quality loss*. Jika diasumsikan bahwa *layout* kompartemen pada kondisi eksisting adalah sama seperti Skenario 3, maka dengan melakukan perubahan jumlah dan *layout* kompartemen seperti pada Gambar 5.6, terjadi penurunan biaya sebesar 4% menjadi Rp 10,154.67. Sedangkan ketika kontainer dibagi menjadi empat bagian seperti pada Gambar 5.7 menyebabkan penurunan biaya sebesar 8% menjadi Rp 9,776.45.

Perbedaan biaya ini terjadi karena alokasi produk pada tiap Skenario mengalami beberapa perbedaan dipengaruhi oleh kapasitas kompartemen dan temperatur kompartemen. Kapasitas kompartemen yang lebih kecil akan menyebabkan jenis produk yang dapat ditampung dalam satu kompartemen menjadi lebih sedikit. Hal ini menyebabkan ketika kompartemen penuh, produk dengan temperatur sesuai yang tidak dapat ditampung dalam kompartemen akan dialokasikan ke kompartemen lain sehingga menyebabkan terjadi perbedaan

temperatur optimal produk dengan temperatur kompartemen yang lebih tinggi dan menyebabkan kenaikan biaya *quality loss*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan disampaikan kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini dilakukan penyelesaian permasalahan *Vehicle Routing Problem with Hard Time Windows* untuk produk *perishable*. Pembentukan rute perjalanan dilakukan dengan *Nearest Neighbor*. Rute perjalanan dipilih berdasarkan total biaya distribusi terkecil. Dengan mempertimbangkan biaya energi, terjadi kenaikan biaya distribusi sebesar 40.6%, sedangkan dengan mempertimbangkan biaya *quality loss* terjadi kenaikan total biaya distribusi sebesar 4.1%.
2. Pada penelitian ini dikembangkan model minimasi penurunan kualitas produk sayuran pada kompartemen yang ada pada kontainer berpendingin. Minimasi penurunan kualitas dilakukan dengan meminimalkan selisih antara temperatur optimal dengan temperatur ruang simpan tempat produk tersebut diletakan selama perjalanan.
3. Alokasi produk dilakukan dengan menggunakan metode *branch and bound* yang dilakukan dengan bantuan *software Solver Ms.Excel 2016*. Pemilihan lokasi untuk produk dilakukan dengan meminimalkan selisih temperatur produk dengan temperatur kompartemen. Alokasi produk dilakukan dengan memperhatikan batasan kapasitas berat dan volume dari masing – masing kompartemen. Pada penelitian ini, jumlah kompartemen yang digunakan adalah sembilan kompartemen. Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa dengan mengoptimalkan alokasi produk pada kompartemen, maka biaya *quality loss* dapat diminimalkan hingga 50.7% dari total biaya *quality loss* jika alokasi dilakukan secara random tanpa mempertimbangkan temperatur.

4. Jumlah kompartemen pada satu kontainer akan mempengaruhi besar biaya *quality loss*. Pada skenario awal kontainer dibagi menjadi 9 kompartemen. Jika jumlah kompartemen diubah menjadi 3 bagian dapat menurunkan biaya *quality loss* sebesar 4%, sedangkan jika jumlah kompartemen diubah menjadi 4 bagian, dapat menurunkan biaya *quality loss* sebesar 8%. Semakin sedikit jumlah kompartemen, maka semakin besar kapasitas tiap kompartemennya sehingga dapat menampung lebih banyak produk pada temperatur yang sesuai dengan kompartemen tersebut.
5. Pada penelitian ini dilakukan pengembangan skenario perbandingan biaya pada tiga set data dengan *quality requirement* berbeda – beda yaitu 85%, 90%, dan 95%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, semakin tinggi *quality requirement* yang ditetapkan maka semakin tinggi total biaya distribusi yang harus dikeluarkan. Kenaikan biaya terjadi ketika *quality requirement* 90% dan 95%. Ketika *quality requirement* 85%, tidak terjadi kenaikan biaya karena semua konsumen terlayani dengan kualitas produk di atas 85%, sedangkan pada *quality requirement* 90% terjadi kenaikan biaya 59% dan pada *quality requirement* 95% terjadi kenaikan biaya 132%.

6.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Melakukan penentuan rute perjalanan dengan algoritma yang lebih baik performansinya, seperti algoritma metaheuristik, agar durasi perjalanan dapat diminimalkan, sehingga biaya distribusi dapat diminimalkan.
2. Pada penelitian ini, temperatur *setting* pada kontainer telah ditentukan. Pada penelitian selanjutnya, dilakukan perhitungan temperatur *setting* yang optimal sesuai dengan karakteristik produk agar penurunan kualitas dapat diminimalkan.
3. Melakukan penelitian penentuan harga produk *perishable* berdasarkan kualitas produk ketika sampai di konsumen.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Accorsi, R., Baruffaldi, G., & Manzini, R. (2018). Picking Efficiency and Stock Safety: A Bi-objective Storage Assignment Policy for Temperature-sensitive Products. *Computers & Industrial Engineering*, *115*, 240-252.
- Akdemir, S., & Bartzanas, T. (2015). Numerical Modelling and Experimental Validation of a Cold Store. *Journal of Agricultural Sciences*, *21*, 606-619.
- Amorim, P., & Almada-Lobo, B. (2014). The Impact of Food Perishability Issues in the Vehicle Routing Problem. *Journal of Computers & Industrial Engineering*, *67*, 223-233.
- Aung, M. M., & Chang, Y. S. (2014). Temperature Management for The Quality Assurance of A Perishable Food Supply Chain. *Journal of Food Control*, *40*, 198-207.
- Badan Besar Pelatihan Pertanian Lembang. (2015, September 14). *Pasca Panen Sayuran*. Dipetik Oktober 28, 2018, dari BBPP Lembang: <http://www.bbpp-lembang.info/index.php/arsip/artikel/artikel-pertanian/941-pasca-panen-sayuran>
- Bramel, J., & Simchi-Levi, D. (1997). *The Logic of Logistics: Theory, Algorithms, and Applications for Logistics Management*. New York: Springer.
- Brenner, V. (2014). *Cause of Supply Chain Disruptions: An Empirical Analysis in Cold Chains for Food*. Hannover: Springer Gabler. Diambil kembali dari <https://books.google.co.id/books?id=VeBsBgAAQBAJ&pg=PA173&lpg=PA173&dq=Cause+of+Supply+Chain+Disruptions:+An+Empirical+Analysis+in+Cold+Chains+for+Food&source=bl&ots=vP699sokja&sig=sPyOa7A9kvRVcB2LsWbwKv6nIpQ&hl=id&sa=X&ved=2ahUKEwja9srJtKfeAhUGeCsKHVC4BA>
- Chen, J., Dong, M., & Lei, X. (2018). A Perishable Product Shipment Consolidation Model Considering Freshness-keeping Effort. *Transportation Research Part E*, *115*, 56-86.

- Cornell Cooperative Extension of Chemung County. (2004). *Storage Guidelines for Fruits & Vegetables*. New York: Chemung County. Diambil kembali dari <http://chemung.cce.cornel.edu>
- Delele, M., Ngcobo, M., Getahun, S., Chen, L., Mellmann, J., & Opara, U. L. (2013). Studying airflow and heat transfer characteristics of a horticultural. *Postharvest Biology and Technology*, *86*, 536-545.
- Hsu, C.-I., & Hung, S.-F. (2003). Vehicle Routing Problem for Distributing Refrigerated Food. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, *05*, 2261-2272.
- Hsu, C.-I., Hung, S.-F., & Li, H.-C. (2007). Vehicle Routing Problem with Time-windows for Perishable Food Delivery. *Journal of Food Engineering*, *80*, 465-475.
- Kim, W. R., Aung, M. M., Chang, Y. S., & Makatsoris, C. (2015). Freshness Gauge Based Cold Storage Management: A Method for Adjusting Temperature and Humidity Levels for Food Quality. *Journal of Food Control*, *47*, 510-519.
- Kocheri, S. (2015). Consumption of Fruits and Vegetables: Global and Asian Perspective. *Horti Asia 2015*. Thailand. Dipetik 09 12, 2018, dari <https://www.slideshare.net/Euromonitor/consumption-of-fruits-and-vegetables-global-and-asian-perspective>
- Ku Lueven. (2018). *COLD STORE DESIGN AND CONTROL*. Diambil kembali dari Ku Lueven: <https://www.biw.kuleuven.be/biosyst/mebios/postharvest-group/research/engineering-applications/cold-store-design-and-control.html>
- Mahanty, B. (2018, September 19). Lecture 37: Tabu Search. *Course on Selected Topics in Decision Modeling*. India: Indian Institute of Technology Kharagpur. Dipetik Oktober 31, 2018, dari <https://www.youtube.com/watch?v=A7cTp1Fhg9o>
- Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Uysal, I. (2017). Time–Temperature Management Along the FoodCold Chain: A Review of Recent Developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *16*, 647-677.

- Mulyo, R. A., & Martianto, D. (2016). *Perkiraan Kehilangan Pangan (Food Loss dan Food Waste) Komoditas Beras di Indonesia*. Dipetik Oktober 28, 2018, dari Repository Institut Pertanian Bogor: <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/86894>
- Nagurney, A., Yu, M., Masoumi, A. H., & Nagurney, L. S. (2013). *Networks Against Time: Supply Chain Analytics for Perishable Products*. Springer. Diambil kembali dari Researchgate.net
- Plazzotta, S., Manzocco, L., & Nicoli, M. C. (2017). Fruit and Vegetable Waste Management and The Challenge of Fresh-cut Salad. *Trends in Food Science & Technology*, 63, 51-58.
- Pujawan, I. N., & Mahendrawathi, E. (2017). *Supply Chain Management*. Surabaya.
- Rabbani, M., Ramezankhani, M. J., Farrokhi-Asl, H., & Farshbaf-Geranmayeh, A. (2015). Vehicle Routing with Time Windows and Customer Selection for Perishable Goods. *International Journal of Supply and Operation Management*, 02, 700-719.
- Rong, A., Akkerman, R., & Grunow, M. (2011). An Optimization Approach for Managing Fresh Food Quality Throughout The Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 131, 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.
- Sydney Postharvest Laboratory. (2012). *Correct Cool Chain Management is Essential for All Fruit and Vegetables*. Sidney: Sydney University. Diambil kembali dari www.postharvest.com.au
- Tania, M. (2012). *Pengembangan Model Vehicle Routing Problem Untuk Pendistribusian Produk Perishable Menggunakan Truk Berpendingin*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Trihardani, L., & Rusdiansyah, A. (2011). *Pengembangan Model Distribusi Produk Perishable Multi Temperatur Dengan Mempertimbangkan Biaya Energi*. Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Industri, Surabaya.

- Watkins, C. B., & Nock, J. F. (2012). *Production Guide for Storage of Organic Fruits and Vegetables*. New York: Departement of Holticulture Cornell University. Diambil kembali dari ecommons.cornel.edu
- White, J. (2015, Agustus 7). *Cold Chain*. Dipetik Oktober 10, 2018, dari Digital Logistics Capacity Assessments: <https://dlca.logcluster.org/display/LOG/Cold+Chain>
- Xue, M., Zhang, J., & Wansheng, T. (2014). Optimal Temperature Control for Quality of Perishable Foods. *ISA Transactions*, 53, 542-546.
- Zhang, Y., & Chen, X. (2014). An Optimization Model for the Vehicle Routing Problem in Multi-product Frozen Food Delivery. *Journal of Applied Research and Technology*, 12, 239-250.
- Zuniga, R. N., & Troncoso, E. (2013). Shelf-life Calculation and Temperature-Time Indicators: Importance in Food Safety. Dalam *Chemical Food Safety and Health* (hal. 130-148). Santiago: Nova Science Publishers, Inc.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Data Set A01

Time Windows Depot dan Konsumen Data Set A01

<i>Node</i>	<i>Buka</i>	<i>Tutup</i>
Depot	480	1080
1	612	912
2	667	967
3	683	983
4	600	900
5	640	940
6	650	950
7	512	812
8	598	898
9	551	851
10	631	931
11	601	901
12	657	957
13	619	919

Demand Konsumen Data Set A01

<i>Konsumen</i>	<i>Total Demand</i>	<i>Total Berat</i>	<i>Total Volume</i>
1	4	0.9	0.01013
2	6	1.1	0.013
3	4	0.65	0.00325
4	7	1.1	0.019
5	7	1.1	0.01238
6	5	0.9	0.00525
7	6	1.2	0.01513
8	6	0.95	0.01488
9	2	0.45	0.00375
10	7	1.25	0.01413
11	4	0.55	0.006
12	5	0.6	0.00475
13	4	0.65	0.00825

LAMPIRAN B

Data Set A02

Time Windows Data Set A02

Node	Buka	Tutup	Total Demand	Total Berat	Total Volume
Depot	480	1080			
1	587	887	6	0.75	0.007
2	616	916	4	0.7	0.00875
3	622	922	6	0.9	0.011
4	562	862	5	1.1	0.0125
5	556	856	6	0.9	0.00775
6	508	808	5	0.8	0.0135
7	579	879	3	0.6	0.002
8	589	889	4	0.6	0.00875
9	593	893	4	0.6	0.00988
10	542	842	4	0.6	0.00525
11	588	888	4	0.6	0.00525
12	534	834	5	0.9	0.01075
13	537	837	5	0.8	0.00963
14	650	950	5	0.8	0.00813
15	586	886	5	0.75	0.00825
16	620	920	5	0.75	0.00875
17	544	844	6	0.85	0.01013
18	642	942	6	1	0.0105
19	542	842	5	0.95	0.01425
20	597	897	6	0.85	0.0065
21	607	907	4	0.55	0.00688
22	531	831	4	0.65	0.00813
23	512	812	5	0.7	0.0085
24	539	839	5	0.8	0.00538
25	543	843	4	0.75	0.00863
26	594	894	4	0.4	0.00563
27	584	884	4	0.4	0.0055
28	625	925	5	1	0.0085
29	637	937	6	0.6	0.00838
30	575	875	5	0.8	0.00838

LAMPIRAN C

Data Set A03

Koordinat dan *Time Windows* Data Set A03

Node	x	y	Buka	Tutup	Total Demand	Total Berat	Total Volume
Depot	70	70	480	1080			
1	83.09	80.13	634	934	4	0.4	0.0055
2	66.23	69.97	583	883	4	0.6	0.006375
3	69.96	65.72	587	887	7	1.2	0.01375
4	77.64	63.9	509	809	5	0.5	0.00725
5	77.76	83.48	596	896	4	0.7	0.007625
6	71.9	65.24	574	874	4	0.85	0.01
7	87.25	81.54	557	857	7	0.8	0.009625
8	73.57	75.32	601	901	5	0.9	0.009375
9	61.07	78.14	635	935	3	0.6	0.0035
10	69.53	63.28	564	864	6	0.85	0.007375
11	81.6	70.03	562	862	5	0.6	0.00825
12	80.93	72.22	608	908	5	0.95	0.009375
13	74.19	64.86	542	842	5	0.6	0.01075
14	62.44	87.41	543	843	8	1.05	0.0115
15	77.31	68.59	628	928	6	0.7	0.00775
16	68.93	82.27	526	826	7	1.1	0.013625
17	68.4	62.04	574	874	4	0.55	0.00575
18	72.68	76.74	505	805	3	0.6	0.00375
19	68.91	63.8	549	849	6	0.85	0.0075
20	81.28	77.56	645	945	5	1.25	0.023
21	83.17	75.51	591	891	3	0.3	0.00275
22	65.33	85.26	548	848	4	0.6	0.00675
23	76.81	76.72	615	915	4	0.7	0.0105
24	80.02	79.24	614	914	4	0.4	0.003875
25	67.23	75.39	576	876	5	0.7	0.005125
26	75.83	67.89	562	862	5	0.9	0.0165
27	69.81	87.21	578	878	5	0.9	0.01475
28	76.32	73.02	505	805	4	0.85	0.004125
29	70.58	63.86	598	898	5	0.8	0.009375
30	64.29	65.54	556	856	9	1.2	0.01375
31	62.68	77.23	605	905	5	0.65	0.0065
32	72.31	71.78	550	850	6	0.9	0.011125
33	79.62	65.97	507	807	5	0.9	0.009
34	84.81	61.21	569	869	4	0.7	0.007

Node	x	y	Buka	Tutup	Total Demand	Total Berat	Total Volume
35	80.69	81.15	623	923	5	0.9	0.012375
36	65.87	73.12	630	930	5	0.6	0.00625
37	83.19	71.49	569	869	5	0.95	0.006125
38	69.77	66.98	621	921	5	0.5	0.006
39	75.24	75.07	594	894	6	0.8	0.01025
40	62.47	79.91	539	839	5	0.5	0.007875
41	61.61	67.71	644	944	5	0.8	0.00875
42	69.16	78.14	555	855	4	0.6	0.0105
43	70.36	69.15	532	832	4	0.6	0.0075
44	65.95	71.85	593	893	6	1.05	0.012
45	66.76	79.21	588	888	6	0.8	0.01125
46	76.88	62.21	507	807	4	0.8	0.0095
47	64.29	66.89	560	860	4	0.7	0.008625
48	76.35	68.05	625	925	4	0.7	0.012375
49	85.15	74.75	558	858	4	0.55	0.00575
50	60.08	67.02	524	824	6	0.9	0.009

LAMPIRAN D

PERCOBAAN 1

Penurunan Kualitas Temperatur *Setting* 0 °C

Konsumen	Waktu Perjalanan	% Penurunan Kualitas						
		Produk 1	Produk 2	Produk 3	Produk 4	Produk 5	Produk 6	Produk 7
13	5.1	0	0	0	0	0	0	0
9	23.5	0	0	0	0	0	0	0
7	37.55	0	1.83%	0	0	0	2.01%	0
12	60.75	0	0.00%	0	0	0	3.25%	0
5	76.45	0	3.72%	0	0	0	0	0
1	95.15	0	4.63%	0	0	0	0	0
4	116.85	0	5.68%	0	0	0	0	7.30%
8	151.15	0	0	0	0	0	0	9.45%
11	185.3	0	9.01%	0	0	0	0	0
3	199.05	0	0	0	0	0	10.66%	0
2	214.45	0	0	0	0	0	0	0
6	248.9	0	0	0	0	0	13.33%	0
10	284.25	0	0	0	0	0	0	17.77%

Penurunan Kualitas Temperatur *Setting* 0 °C

Konsumen	% Penurunan Kualitas Per Produk							
	8	9	10	11	12	13	14	15
13	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0.24%	0
7	0	0	2.79%	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	2.77%
1	0	0	7.08%	0	0	0	0	0.00%
4	0	0	8.69%	0	0	0	0	4.23%
8	0	0	0	0	0	0	0	5.47%
11	0	0	0	0	0	0	0	6.70%
3	0	0	0	0	0	0	2.07%	0.00%
2	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	2.59%	0
10	0	0	0	0	0	0	2.96%	0

Penurunan Kualitas Temperatur *Setting* 5 °C

Konsumen	Waktu Perjalanan	% Penurunan Kualitas						
		Produk 1	Produk 2	Produk 3	Produk 4	Produk 5	Produk 6	Produk 7
13	5.1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
9	23.5	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
7	37.55	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
12	60.75	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5	76.45	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1	95.15	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4	116.85	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
8	151.15	0%	0%	7%	3%	0%	0%	0%
11	185.3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	199.05	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	214.45	0%	0%	10%	0%	8%	0%	0%
6	248.9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10	284.25	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%

Penurunan Kualitas Temperatur *Setting* 5 °C

Konsumen	% Penurunan Kualitas Per Produk							
	8	9	10	11	12	13	14	15
13	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
7	0%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
12	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
5	1%	0%	0%	2%	1%	0%	0%	0%
1	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
8	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%
11	0%	0%	0%	4%	0%	5%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%
6	0%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	0%
10	0%	20%	0%	0%	0%	8%	0%	0%

Penurunan Kualitas Temperatur *Setting* 8 °C

Konsumen	Waktu Perjalanan	% Penurunan Kualitas						
		Produk 1	Produk 2	Produk 3	Produk 4	Produk 5	Produk 6	Produk 7
13	5.1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
9	23.5	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
7	37.55	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
12	60.75	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5	76.45	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1	95.15	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4	116.85	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
8	151.15	0%	0%	7%	3%	0%	0%	0%
11	185.3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	199.05	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	214.45	0%	0%	10%	0%	8%	0%	0%
6	248.9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10	284.25	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%

Penurunan Kualitas Temperatur *Setting* 8 °C

Konsumen	% Penurunan Kualitas Per Produk							
	8	9	10	11	12	13	14	15
13	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
7	0%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
12	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
5	1%	0%	0%	2%	1%	0%	0%	0%
1	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
8	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%
11	0%	0%	0%	4%	0%	5%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%
6	0%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	0%
10	0%	20%	0%	0%	0%	8%	0%	0%

BIODATA PENULIS



Dhea Elveta dilahirkan di Malang, 16 November 1997 sebagai anak ke empat dari lima bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Lowokwaru II Malang, SMPN 3 Malang, dan SMAN 3 Malang.

Setelah menempuh pendidikan SMA, penulis melanjutkan Studi S1 di Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SNMPTN pada tahun 2015. Selama menjalani perkuliahan penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Industri (HMTI ITS) Surabaya sebagai Staf Departemen Lingkar Kampus periode 2016/2017 dan sebagai Kabiro *Event* Departemen Lingkar Kampus periode 2017/2018. Selain itu penulis juga merupakan salah satu penerima Beasiswa Beswan Djarum 2017/2018.

Dalam rangka mengaplikasi keilmuan teknik industri, penulis mendapat kesempatan untuk menjalankan Kerja Praktek di PT Semen Indonesia pada Departemen Pengelolaan Produksi. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* dheaelveta1697@gmail.com.

