

## **PENERAPAN SIMULASI DAN RELIABILITAS PADA MODEL VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP) DENGAN PERMINTAAN PROBABILISTIK**

**Ary Arvianto**

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Industri  
Universitas Diponegoro  
Email: aryarvi@gmail.com

**Rizal Luthfi Nartadhi**

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Industri  
Universitas Diponegoro  
Email: rizalluthfi05@gmail.com

**Diana Puspita Sari**

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Industri  
Universitas Diponegoro  
Email: dp.sari01@gmail.com

**Wiwik Budiawan**

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Industri  
Universitas Diponegoro  
Email: wiwikbudiawan@undip.ac.id

### **ABSTRAK**

Vehicle Routing Problem (VRP) memiliki aplikasi yang penting di bidang manajemen distribusi, sehingga menjadi salah satu contoh masalah yang banyak dipelajari dalam literatur optimasi kombinatorial dan diakui sebagai salah satu pengalaman tersukses dalam riset operasi. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi dari penelitian [1] dengan memperhatikan varian VRP homogeneous fleet size and mix vehicle routing, multiple trips, multiple product and compartments, split delivery, dan multiple time windows dan permintaan tidak pasti (Probabilistic Demand). Hasil yang didapatkan bahwa model yang dibuat telah mampu merepresentasikan penelitian sebelumnya [1] dengan verifikasi hasil yang sama. Permintaan tidak pasti ditunjukkan dengan melakukan pengurangan kapasitas sebesar 5% dan 10% dengan hasil bahwa dengan mengurangi kapasitas sebesar 5% terjadi permintaan pelanggan yang tidak tercukupi di beberapa pos, sedangkan pada 10% semua permintaan dapat tercukupi. Namun dari segi biaya pada nilai 10% memiliki biaya yang lebih tinggi daripada 5% hal ini dikarenakan rute yang dihasilkan lebih banyak sehingga mengakibatkan penggunaan kapal lebih banyak dilakukan.

**Kata kunci:** *vehicle routing problem, vrp, probabilistic demand.*

### **ABSTRACT**

*Vehicle Routing The Problem ( VRP ) has the important applications in role of management distribution , so as to be an example of problems that studied in combine optimization literature and recognized as one of the most successfulll experience in research operation .In this research attempting to make a simulation of research [1] by taking into vrp variant which is, homogeneous fleet size and mix vehicle routing , multiple trips , multiple product and compartments , split delivery , and multiple time windows and uncertainty demand (probabilistic demand). Referring to journal [2], the determination of model simulations with uncertain demand by the reduction of tanker maximum capacity. The results got that the model made has been able to represent previous studies [1] with verification of the same results. An uncertain demand indicated by reducing capacity of 5 % and 10 % with the result that by reducing capacity of 5 % there some of customer demands that did not filled in some post , while in 10 % all demand can be filled . However from cost section on the value of 10 % have cost higher than 5 % because of the more route produced resulting the more use of the ship is needed.*

**Keywords:** *vehicle routing problem, vrp, probabilistic demand.*

## 1. PENDAHULUAN

Transportasi dan distribusi merupakan bagian yang penting untuk kelangsungan hidup perusahaan dan merupakan salah satu aspek penting dalam sistem operasional perusahaan. Masalah yang sering timbul dari segi transportasi adalah proses distribusi produk dari satu atau beberapa sumber, menuju beberapa tujuan dan dengan jumlah permintaan yang berbeda

VRP merupakan permasalahan penentuan sejumlah rute dengan biaya minimal untuk sejumlah kendaraan untuk mengantarkan suatu barang kepada pelanggan yang dimulai dari suatu depot dan berakhir ke depot tersebut [3]. Setiap pelanggan memiliki jumlah permintaan yang berbeda dan jarak antara tiap pelanggan yang berbeda, serta waktu pelayanan yang berbeda. Hal tersebut menyebabkan pihak distributor memiliki kesulitan saat melakukan pengiriman barang ke beberapa titik tujuan. Pihak distributor juga dibatasi oleh adanya kapasitas kendaraan dalam pengangkutan barang serta adanya keterbatasan dalam jumlah kendaraan yang dimiliki oleh distributor.

Arvianto [1] mengembangkan model VRP dengan varian split delivery, multiple product and compartments, multiple trips dan multiple time windows. Model yang dibuat menggunakan varian kendaraan yang homogen, sehingga belum mengakomodir kebutuhan perusahaan yang mempunyai banyak varian jenis dan kapasitas kendaraan. Penelitian yang dilakukan oleh Arvianto [1] bertujuan untuk meminimasi fungsi beban kerja yang dilihat dari faktor jumlah kendaraan yang digunakan dan total waktu penyelesaian pendistribusian barang dan belum mempertimbangkan faktor biaya pada model yang dibuat.

Arvianto [4] juga mengembangkan VRP dengan mengkombinasikan dua model dengan penambahan varian baru yang mempertimbangkan jenis kendaraan dengan kapasitas yang berbeda (heterogeneous fleet) yang kemudian ditambahkan pada varian split delivery, multiple product and compartments, multiple trip, dan multiple time windows dengan tujuan meminimasi beban kerja dan minimasi biaya yang dikeluarkan dalam proses pengiriman produk. Namun pada penelitian ini belum digunakannya kombinasi antar compartment yang menghasilkan rute yang paling optimal, masih menggunakan satu compartment untuk menghasilkan rute optimal.

Dalam kasus ini dilakukan penelitian pada sistem distribusi bahan bakar minyak yang terdapat di Kupang, Nusa Tenggara Timur [5] dan menggunakan data dari penelitian sebelumnya [1]. Kendaraan melakukan loading di depot, kemudian mengirimkan produk kepada sejumlah pelanggan (Discharging) kemudian kembali lagi ke depot. Depot harus menentukan jumlah kapal serta rute-rute kapal dan horison perencanaan yang tepat untuk mengantisipasi kekurangan stok produk pelanggan. Dalam hal ini permintaan pelanggan tidak dapat ditentukan kepastiannya bisa naik ataupun turun, hal ini sering disebut dalam dunia manufaktur sebagai revisi demand. Dampak yang dihasilkan dari revisi demand ini adalah perubahan rencana distribusi produk kepada pelanggan yang menyebabkan perubahan biaya yang sebelumnya telah ditentukan oleh depot, sehingga menyebabkan pengiriman produk menjadi tidak efektif. Dalam hal ini sering terjadi ketidaksesuaian antara rute yang ditempuh dengan biaya yang telah dikeluarkan oleh depot untuk proses pengiriman produk kepada sejumlah pelanggan. Dan juga hal yang sering menjadi permasalahan adalah ketidakpastian dari permintaan pelanggan yang mempengaruhi kapasitas kendaraan yang digunakan atau sering disebut Probabilistic Demand. Mengacu pada jurnal Juan, [2], penentuan model simulasi dengan permintaan tidak pasti dengan pengurangan kapasitas maksimum tanker. Permintaan yang terus berubah ini tidak dapat dengan mudah diprediksi oleh produsen dalam hal ini adalah depot bahan bakar minyak.

Oleh karena itu maka dibutuhkan sistem yang menghitung tingkat reliabilitas dari rute dan permintaan pelanggan yang tidak dapat diprediksi tersebut untuk meminimalkan biaya yang harus dikeluarkan depot dalam proses pengiriman bahan bakar kepada pelanggan.

Pada penelitian sebelumnya [2] reliabilitas rute telah ditentukan dengan memperhatikan biaya yang dikeluarkan dengan beberapa constraint yang telah ditetapkan dengan permintaan yang tidak pasti atau Probabilistic Demand. Pendekatan yang digunakan adalah dengan menggabungkan simulasi Monte Carlo dengan tingkat reliabilitas yang telah dihitung sebelumnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, Penelitian ini mencoba mengembangkan dari penelitian yang dilakukan sebelumnya [2], namun dengan memperhatikan permasalahan VRP yaitu masalah homogeneous fleet size and mix vehicle routing, multiple trips, multiple product and compartments, split delivery, dan multiple time windows dengan menambahkan sifat demand Probabilistik untuk kemudian dilakukan pemecahan solusi dengan menggunakan metode sequential insertion untuk mendapatkan rute yang optimum kemudian dilakukan uji reliabilitas setiap rute yang ada dengan simulasi ExtendSim untuk mendapatkan nilai probabilitas dari kegagalan rute yang telah dihasilkan dilihat dari jumlah demand yang tidak terpenuhi pada proses distribusi bahan bakar minyak di Kupang, Nusa Tenggara Timur

Dapat diketahui dari latar belakang diatas bahwa telah dilakukan penelitian sebelumnya mengenai pengembangan model permasalahan VRP dengan memperhatikan Probabilistic Demand dan

menggunakan simulasi Monte Carlo untuk menentukan tingkat reliabilitas dari rute yang dihasilkan. Vehicle Routing Problem With Probabilistic Demand (VRPPD) merupakan permasalahan pencarian rute kendaraan dengan kendala bahwa permintaan pelanggan bersifat tidak pasti, yang nilai pastinya baru diketahui setelah kendaraan sampai ditempat pelanggan. Hal ini menyebabkan rencana pengiriman yang telah ditentukan oleh depot berdasarkan horizon waktu dan kapasitas kendaraan menjadi bermasalah, karena berhubungan dengan rute yang dipilih dan biaya yang harus dikeluarkan untuk setiap rute yang ditempuh kendaraan menjadi tidak efektif. Masalah rute kendaraan dengan permintaan stokastik atau Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand (VRPSD) telah dipelajari pada penelitian sebelumnya [6]. tetapi kurang mendapat perhatian yang baik. Kebanyakan karya terbaru berfokus pada ketetapan atau prioritas. VRPSD ini berkembang ketika suatu perusahaan seringkali menggunakan Vehicle Routing Problem secara umum dan mengabaikan kenyataan di lapangan bahwa permintaan dari pelanggan adalah probabilistik.

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk Merancang simulasi pendistribusian produk dengan memperhatikan varian Vehicle Routing Problem. Mengidentifikasi perilaku model simulasi yang telah dibangun dengan parameter permintaan yang tidak terpenuhi saat menggunakan permintaan probabilistik

## 2. LANDASAN TEORI

Menurut Pujawan [7] Supply Chain adalah jaringan perusahaan-perusahaan yang secara bersama-sama bekerja untuk menciptakan dan mengantarkan suatu produk sampai ke tangan pengguna akhir. Diantaranya adalah supplier, pabrik, distributor, toko atau ritel serta perusahaan-perusahaan pendukung seperti perusahaan jasa logistik. Terdapat 3 aliran yang digunakan pada supply chain yaitu:

- a. Aliran barang yang mengalir dari hulu (Upstream) ke hilir (Downstream)
- b. Aliran uang dan sejenisnya yang mengalir dari hilir ke hulu
- c. Aliran informasi yang mengalir dari hulu ke hilir atau sebaliknya

Menurut Gasperz [8] tujuan utama manajemen distribusi produk adalah memperoleh produk pada tempat yang tepat, waktu yang tepat, spesifikasi kualitas yang tepat, serta pada ongkos yang memadai. Keputusan-keputusan distribusi akan mempengaruhi masalah transportasi, fasilitas, investasi inventori, frekuensi kehabisan stock, manufacturing dan komunikasi dan pemrosesan data.

Menurut Pujawan [7] salah satu keputusan operasional yang sangat penting dalam manajemen distribusi adalah penentuan jadwal serta rute pengiriman dari salah satu lokasi ke beberapa lokasi tujuan. Keputusan seperti ini sangat penting bagi mereka yang harus mengirimkan barang dari satu lokasi (misalnya gudang regional) ke berbagai toko yang tersebar di sebuah kota. Dalam ergonomi, untuk mencapai performansi kerja yang baik, maka tugas yang diberikan kepada operator dengan kapasitas kerjanya harus seimbang. Lebih detailnya, beban kerja yang berada melebihi kapasitas kerja operator akan menimbulkan stress bagi operator itu sendiri, sedangkan beban kerja yang tidak mencukupi kapasitas operator selain juga menimbulkan stress juga akan membuat efisiensi produksi tidak maksimal

Secara umum permasalahan penjadwalan dan penentuan rute pengiriman bisa memiliki beberapa tujuan yang ingin dicapai seperti tujuan untuk meminimumkan biaya pengiriman, meminimumkan waktu atau jarak tempuh. Dari segi matematis salah satu tujuan tersebut dapat menjadi kendala (constraint). Misalnya, fungsi tujuannya adalah meminimumkan biaya pengiriman, namun ada kendala time window dan kendala maksimum jarak tempuh tiap kendaraan, disamping kendala lain seperti kapasitas kendaraan atau kendala lainnya.

Vehicle Routing Problem (VRP) memiliki aplikasi yang penting di bidang manajemen distribusi, sehingga menjadi salah satu contoh masalah yang banyak dipelajari dalam literatur optimasi kombinatorial dan diakui sebagai salah satu pengalaman tersukses dalam riset operasi. Tipe VRP secara umum digambarkan sebagai suatu kasus di mana sejumlah kendaraan dengan kapasitas tertentu harus mengirim sejumlah barang dari suatu depot dengan asumsi jarak antara pelanggan telah diketahui sehingga tujuan dari masalah ini adalah meminimalkan jarak tempuh kendaraan supaya biaya operasional kendaraan minimal dengan berbagai pembatas.

Classical Vehicle Routing Problem (CVRP) merupakan varian dasar pada masalah rute kendaraan. Model masalah CVRP secara umum merupakan kunjungan tunggal dengan hanya satu kendaraan yang diperbolehkan mengunjungi pelanggan atau node. Berbagai asumsi yang terdapat dalam CVRP antara lain: hanya terdapat satu depot, kapasitas kendaraan seragam, hanya terdapat satu komoditi yang didistribusikan, permintaan pelanggan telah diketahui sebelumnya dan kendala yang diperhitungkan hanya kapasitas kendaraan.

Banyaknya varian VRP yang muncul banyak dikembangkan dari permasalahan dasar muncul akibat adanya penyesuaian lingkup masalah dalam kasus-kasus VRP. Hal ini berarti model dasar yang sudah ada

sebelumnya membutuhkan pembatas baru ataupun variabel baru yang muncul. Suprayogi [9] memberikan beberapa contoh variasi VRP sebagai berikut :

- a. *VRP with multiple trips*: satu kendaraan dapat melakukan lebih dari satu rute untuk memenuhi kebutuhan pelanggan.
- b. *VRP with time window*: setiap pelanggan mempunyai rentang waktu pelayanan yaitu pelayanan harus dilakukan pada rentang time window masing-masing pelanggan.
- c. *VRP with split deliveries*: setiap pelanggan boleh dikunjungi lebih dari satu kendaraan.
- d. *VRP with multiple products*: permintaan pelanggan lebih dari satu produk. Pada umumnya, VRP bentuk ini juga melibatkan kendaraan dengan multi-compartments.
- e. *Periodic VRP*: adanya horison perencanaan yang berlaku untuk satuan waktu tertentu.
- f. *VRP with delivery and pick-up*: terdapat sejumlah barang yang perlu dipindahkan dari lokasi penjemputan tertentu ke lokasi pengiriman lainnya.
- g. *VRP with multiple depots*: depot awal untuk melayani pelanggan lebih dari satu.
- h. *VRP with heterogeneous fleet of vehicle*: kapasitas kendaraan antara kendaraan satu dengan kendaraan lain. Jumlah dan tipe kendaraan diketahui.
- i. *Stochastic VRP*: memiliki unsur random misalnya permintaan pelanggan yang tidak pasti dan waktu perjalanan
- j. *Dynamic VRP*: pelanggan baru dapat disisipkan pada perencanaan rute selanjutnya.

Berikut ini adalah beberapa komponen yang terdapat dalam VRP:

- a. *Jaringan Kerja*
- b. *Pelanggan atau node (Customer)*
- c. *Depot*
- d. *Kendaraan*
- e. *Pengendara (Driver)*

## 2.1 Rumusan Matematik VRP Dasar Dengan Basis Travelling Salesman Problem (TSP)

Perumusan berbasis TSP ini merupakan penyederhanaan dari rumusan yang telah dibuat oleh Christofides et al Tahun 1979 dan disederhanakan oleh Suprayogi [9]. Diketahui sebuah jaringan  $G = (N, L)$  dengan  $N$  menunjukkan sekumpulan node  $N = \{0, 1, \dots, n\}$  dan  $L = \{(i, j): i, j \in N, i \neq j\}$  menunjukkan himpunan arc (link). Node 0 menunjukkan depot dan terdapat sejumlah  $NV$  kendaraan. Matriks jarak  $D = d_{ij}$  didefinisikan pada  $L$ . Jika  $d_{ij} = d_{ji}$  untuk semua  $(i, j)$  maka permasalahan dapat dikatakan simetri dan arc merepresentasikan busur yang tidak berarah (undirected arcs). Permintaan pelanggan  $i$  dinyatakan dengan  $q_i$  dan jumlah Permintaan pelanggan dalam satu rute tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan  $Q_k$ . Tujuan dari VRP dasar ini adalah penentuan rute  $NV$  kendaraan yang memberikan jarak total minimal dan setiap kendaraan berangkat dari depot dan kembali lagi ke depot. Formulasi model matematik untuk VRP dasar dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Minimisasi } \sum_i \sum_j \sum_k d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

dengan pembatas

$$\sum_i \sum_k x_{ijk} = 1, \text{ untuk semua } j \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ipk} - \sum_j x_{pjk} = 0, \text{ untuk semua } p, k \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} [\sum_j x_{ijk}] \leq Q_k, \text{ untuk semua } k \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq 1, \text{ untuk semua } k \quad (5)$$

$$y_i - y_j + n \sum_{k=1}^{NV} x_{ijk} \leq n - 1, i \neq j, i \neq 0, j \neq 0 \quad (6)$$

$x_{ijk} \in \{0,1\}$ , untuk semua  $i, j$ , dan  $k$

$$y_i \text{ arbitraty} \quad (7)$$

Notasi :

$i$  = pelanggan  $i$

$j$  = pelanggan  $j$

$k$  = kendaraan

$d$  = demand pelanggan

$x_{ijk}$  = nilai biner 1 jika kendaraan  $k$  melakukan perjalanan dari pelanggan  $i$  ke pelanggan  $j$ , jika tidak maka sebaliknya.

$p$  = produk

$Q_k$  = kapasitas kendaraan

$n$  = jumlah pelanggan

$r$  = rute

$t$  = tur

## 2.2 Teknik Local Search

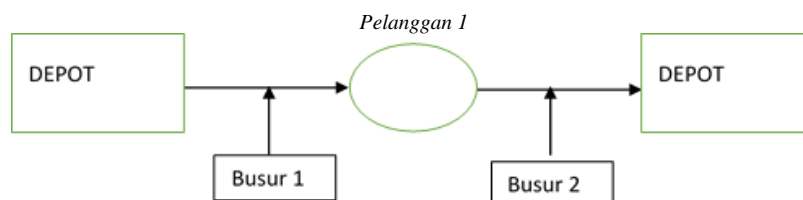
Optimisasi kombinatorial oleh Voudoris dan Tsang [10], didefinisikan dengan  $(S, f)$ ,  $S$  adalah himpunan semua solusi layak (solusi yang memenuhi semua pembatas yang ditentukan) dan  $f$  adalah fungsi tujuan yang memetakan tiap elemen  $s$  dan  $S$  yang mengoptimalkan fungsi tujuan. Sebagai contoh untuk masalah minimasi, dapat dinyatakan dengan:

$$\text{Min } f(x), s \in S \quad (8)$$

## 2.3 Algoritma Sequential Insertion

Algoritma ini membangun solusi yang layak yaitu sekumpulan rute yang layak dengan cara berulang kali mencoba memasukkan pelanggan yang belum masuk dalam rute manapun kedalam bagian sementara dari rute yang terbentuk saat ini. Isu yang muncul pada algoritma ini adalah pemilihan pelanggan yang belum masuk dalam rute manapun untuk disisipkan dan pemilihan lokasi tempat penyisipan pelanggan.

Prinsip dari Algoritma *sequential insertion* adalah mencoba menyisipkan pelanggan diantara semua busur yang ada pada rute saat ini. Busur ini didefinisikan sebagai lintasan yang menghubungkan secara langsung satu lokasi dengan satu lokasi lainnya.



Gambar 1. Penyisipan Pelanggan Pada Rute Saat Ini [1]

Adapun langkah-langkah pemecahan masalah *sequential Insertion* adalah sebagai berikut:

- a. Langkah 1  
Pilih satu titik awal sebagai titik awal (0) yang dipilih berdasarkan aturan yang telah ditentukan sebelumnya, lanjut ke langkah 2.
- b. Langkah 2  
Hitung jarak tempuh yang dilalui distributor ke tiap pelanggan dan hitung waktu tempuh yang dibutuhkan dalam mengirimkan barang ke tiap pelanggan, lanjut ke langkah 3.
- c. Langkah 3  
Hitung sisa kapasitas motor, jika sisa kapasitas motor memenuhi untuk mengirimkan barang sesuai permintaan pelanggan maka lanjut ke langkah 4, jika tidak lanjut ke langkah 9.
- d. Langkah 4  
Jika telah memasuki pelanggan ke-2 atau seterusnya maka lanjut ke langkah 5, jika tidak lanjut ke langkah 6.
- e. Langkah 5  
Sisipkan pelanggan berikutnya ke dalam urutan rute yang telah terbentuk, lanjut ke langkah 6.
- f. Langkah 6  
Pilih pelanggan yang memiliki jarak paling pendek, lanjut langkah 7.

- g. Langkah 7  
 Hitung jarak tur, waktu penyelesaian tur dan list rute pelanggan yang telah dilayani. Lanjut ke langkah 8.
- h. Langkah 8  
 Jika permintaan barang yang akan dikirimkan ke pelanggan belum semua terpenuhi maka lanjut ke kembali 2, jika sudah lanjut ke langkah 10.
- i. Langkah 9  
 Kembali ke depot, buat tur baru,  $t = t+1$ , kembali ke langkah 2.
- j. Langkah 10  
 Semua permintaan barang yang dikirimkan ke pelanggan telah terpenuhi, hentikan prosedur ini.

#### 2.4 Model Matematis Varian VRP

Notasi

- $i$  = indeks lokasi,  $i = 0$  adalah depot,  $i = 1, 2, \dots, N$  adalah pelanggan
- $t$  = indeks tur,  $t = 1, 2, 3, \dots, NT$
- $r$  = indeks rute,  $r = 1, 2, 3, \dots, NR[t]$
- $p$  = indeks produk,  $p = 0, 1, \dots, NP$
- $k$  = indeks posisi,  $k = 1, 2, \dots, NL[t,r]$

Parameter:

- $N$  = jumlah pelanggan
- $NP$  = jumlah jenis produk
- $Q_{L_{t,r,k}p}$  = besarnya permintaan produk  $p$  pada lokasi yang mempunyai posisi  $k$ , rute  $r$ , dan tur  $t$  (satuan volume)
- $W_s$  = waktu setup (satuan waktu)
- $LT$  = kecepatan loading (satuan: jumlah produk persatuan waktu)
- $DT$  = kecepatan discharging (satuan: jumlah produk per satuan waktu)
- $v$  = kecepatan kendaraan (satuan: jarak persatuan waktu)
- $\tau_{[L_{t,r,k}], [L_{t,r,k+1}]}$  = waktu perjalanan antara lokasi  $k$  ke lokasi  $k+1$ , pada rute  $r$ , tur  $t$  (satuan waktu)
- $Q[p]$  = kapasitas kompartemen untuk produk  $p$  pada kendaraan (multiple compartemens)
- $a_i^h$  = batas bawah untuk hole time widows  $h$ , lokasi  $i$
- $b_i^h$  = batas atas untuk hole time widows  $h$ , lokasi  $i$
- $H$  = horison perencanaan (satuan waktu)

Variabel:

- $NV$  = jumlah kendaraan (satuan unit)
- $NT$  = jumlah tur
- $NR[t]$  = jumlah rute dalam tur  $t$
- $NL[t,r]$  = jumlah lokasi pada rute  $r$  dalam tur  $t$
- $L_{t,r,k}$  = lokasi pada posisi  $k$ , rute  $r$  dalam tur  $t$
- $b_{L_{t,r,k}p}$  = besarnya muatan yang diantarkan didalam rute  $r$ , tur  $t$  untuk untuk produk  $p$  (satuan volume)
- $y_{L_{t,r,k}p}$  = proporsi pengiriman muatan produk  $p$  pada rute  $r$ , tur  $t$  dan lokasi  $k$ .
- $J_{m_{L(t,r,k)}}$  = saat keberangkatan pada posisi  $k$  di tur  $t$ , dan rute  $r$  (satuan waktu)
- $W_p$  = waktu perjalanan (satuan waktu)
- $J_{t_{L[t,r,k]}}$  = saat tiba yang terjadi pada posisi  $k$  di tur  $t$ , dan rute  $r$  (satuan waktu)
- $W_{t_{L[t,r,k]}}$  = waktu tunggu pada posisi  $k$  di tur  $t$ , dan rute  $r$  (satuan waktu)
- $WLT$  = waktu loading (satuan waktu)
- $WDT$  = waktu discharging (satuan waktu)
- $J_{S_{L[t,r,NL[t,r]]}}$  = saat selesai pada posisi  $NL[t,r]$  di tur  $t$ , dan rute  $r$  (satuan waktu)
- $CT[t]$  = waktu penyelesaian tur  $t$  (satuan waktu)
- $TCT$  = total waktu penyelesaian tur (satuan waktu)
- $RCT$  = rentang waktu penyelesaian tur (satuan waktu)

Solusi dari permasalahan VRP multiple time windows merupakan suatu rencana tur yang dinyatakan sebagai suatu himpunan rencana tur, dan dikatakan layak jika :

- a. Tiap rute berawal dan berakhir pada depot.
- b. Setiap lokasi (kecuali depot) dikunjungi satu kali untuk setiap rutenya.
- c. Setiap lokasi dapat dikunjungi oleh lebih dari satu kendaraan.
- d. Rencana tur harus memenuhi pembatas kapasitas kendaraan.
- e. Rencana tur harus memenuhi pembatas multiple time windows.
- f. Tiap kendaraan hanya melakukan satu tur.
- g. Waktu penyelesaian tur tidak melebihi horison perencanaan

Permasalahan pada penelitian ini berkaitan dengan tiga fungsi tujuan yaitu meminimumkan jumlah kendaraan NV, meminimumkan waktu total penyelesaian TCT dan meminimumkan rentang waktu total penyelesaian RCT. Fungsi tujuan RCT dimaksudkan untuk memperkecil perbedaan antara waktu total penyelesaian tur terpanjang dengan waktu total penyelesaian tur terpendek sehingga terjadi keseimbangan antar tur. Fungsi tujuan majemuk dalam penelitian ini dilakukan dengan membentuk jumlah tertimbang (weight sum) NV, TCT dan RCT yaitu:

$$\text{Min } f(\theta) = \omega_{NV}NV(\theta) + \omega_{TCT}TCT(\theta) + \omega_{RCT}RCT(\theta) \quad (9)$$

Dimana  $\theta$  merupakan set solusi, sedangkan bobot-bobot  $\omega_{NV}$ ,  $\omega_{TCT}$  dan  $\omega_{RCT}$  masing-masing menyatakan bobot untuk fungsi tujuan meminimumkan jumlah kendaraan NV, meminimumkan waktu total penyelesaian TCT, dan meminimumkan rentang waktu total penyelesaian tur RCT.

Waktu perjalanan antar lokasi dinyatakan dengan  $\tau_{[L[t,r,k]], [L[t,r,k+1]]}$  Tiap pelanggan  $i$  memiliki permintaan untuk tiap produk  $p$  yaitu  $q_{L[t,r,k]p}$ . Notasi  $L_{t,r,1}$  merupakan lokasi depot dimana  $i=0$  dan akan berakhir pada lokasi yang sama. Dengan demikian lokasi depot dapat didefinisikan sebagai:

$$L_{t,r,1} = L_{t,r,NL[t,r]} = 0; t = 1, 2, \dots, NT; r = 1, 2, \dots, NR_{[t]} \quad (10)$$

Untuk lokasi pelanggan didefinisikan sebagai:

$$L_{t,r,k} = i \\ t = 1, 2, \dots, NT; r = 1, 2, \dots, NR_{[t]}; k = 2, \dots, NL_{[t,r]} - 1; i = 1, 2, \dots, N \quad (11)$$

*Jumlah Kendaraan (Number of Vehicles)*

Dalam VRP with multiple trips, setiap kendaraan melakukan satu tur.  $NV = NT$

$$L_{t,r,1} = L_{t,r-1,NL[t,r-1]} = 0; t = 1, 2, \dots, NT; r = 1, 2, \dots, NR_{[t]} \quad (12)$$

Kendala split delivery memastikan bahwa setiap pelanggan akan mendapatkan setidaknya satu kali pengantaran, sehingga permintaan pada lokasi atau pelanggan  $i$  dapat dihantarkan dengan lebih dari sekali pengantaran.

$$L_{t,r,k} \geq i \\ t = 1, 2, \dots, NT; r = 1, 2, \dots, NR_{[t]}; k = 2, \dots, NL_{[t,r]} - 1 \quad (13)$$

Muatan pada setiap rute untuk tiap produk harus lebih kecil atau sama dengan kapasitas kompartemen. Dalam hal pengantaran produk, banyaknya muatan tiap kompartemen kendaraan  $b$  yang melayani suatu rute  $r$  dalam tur  $t$  tidak boleh melebihi kapasitas kompartemen produk  $p$ .

$$b_{L_{t,r}p} \leq Q [p] \\ t = 1, 2, \dots, NT; r = 1, 2, \dots, NR_{[t]}; p = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

Besarnya muatan yang dibawa tanker dalam tur  $t$ , rute  $r$  untuk produk  $p$ , jumlahnya kurang atau sama dengan jumlah permintaan pelanggan yang ada didalam rute  $r$  dari tur  $t$  untuk produk  $p$ . Proporsi

$y_{L_{t,r,k}^p}$  terjadi akibat split delivery sehingga mungkin saja demand suatu konsumen dipenuhi dengan lebih dari sekali pengiriman

$$b_{L_{t,r,k}^p} \leq \sum_{k=2}^{NL_{[t,r]}-1} q_{L_{t,r,k}^p} \cdot y_{L_{t,r,k}^p}; \quad (15)$$

$$t = 1, 2, \dots, NT; r = 1, 2, \dots, NR_{[t]}; p = 1, 2, \dots, n$$

Setiap pelanggan akan menerima kiriman demand secara penuh.

$$\sum_{t=1}^{NT} y_{L_{t,r,k}^p} = 1; t = 1, 2, \dots, NT; r = 1, 2, \dots, NR_{[t]}; p = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

Generalisasi dari multiple time windows memastikan bahwa waktu pelayanan yang tersedia  $T_i$  secara dinamik dan implisit dibatasi oleh batas bawah

$a_i^h$  dan batas atas  $b_i^h$  untuk semua pelanggan  $i$ .

$$\bigwedge_{h=1}^{m_i} \neg (a_i^h \leq T_i \leq b_i^h), \forall i \in N, m = 1, 2, \dots, NM \quad (17)$$

Pembatas ini menyatakan bahwa  $m_i$  adalah jumlah holes didalam time windows untuk pelanggan  $i$ , sehingga  $a_i^h, b_i^h$  menjadi hole ke- $h$

*Waktu Penyelesaian Tur (Tour Completion Time)*

Waktu penyelesaian suatu tur yang dinyatakan dengan  $CT[t]$ , mencakup waktu perjalanan, waktu setup, dan waktu loading/discharging yang terdapat pada tur tersebut. Waktu penyelesaian setiap tur tidak boleh melebihi horison perencanaan.

*Waktu Perjalanan (Travel Time)*

Waktu perjalanan  $\tau_{[L[t,r,k]],[L[t,r,k+1]]}$  merupakan waktu yang dibutuhkan oleh kendaraan mulai dari saat keberangkatan dari suatu lokasi  $[L[t,r,k]]$  hingga sampai lokasi  $[L[t,r,k+1]]$  Kecepatan kendaraan dan jarak antara lokasi  $[L[t,r,k]]$  dan lokasi  $[L[t,r,k+1]]$  menentukan waktu perjalanan dari lokasi  $[L[t,r,k]]$  ke lokasi  $[L[t,r,k+1]]$

$$W_p = \tau_{[L[t,r,k]],[L[t,r,k+1]]} \quad (18)$$

*Waktu setup (Setup Time)*

Waktu setup,  $W_s$ , merupakan waktu yang diperlukan untuk menyiapkan kendaraan, baik ketika akan berangkat dari lokasi maupun ketika kendaraan sampai dilokasi.

*Waktu Loading (Loading Time)*

Waktu loading  $WLD$  merupakan waktu untuk memasukkan muatan ke dalam kendaraan didepot. Waktu loading didapatkan dari jumlah produk yang diangkut, artinya semakin banyak yang dimuat maka waktu loading akan semakin lama

$$WLT = \frac{b_{[t,r,p]}}{LT} \quad (19)$$

*Waktu Discharging (Discharging Time)*

Waktu discharging  $DT$  adalah waktu membongkar muatan dari kendaraan yang dilakukan dilokasi pelanggan. Waktu discharging juga didapatkan dari jumlah produk yang dikeluarkan dari kendaraan, artinya semakin banyak yang diturunkan maka waktu discharging akan semakin lama. Kecepatan aliran barang per satuan waktu menentukan waktu loading dan discharging yang diperlukan



$$WDT = \frac{b[l[t,r,p]]}{DT} \quad (20)$$

Waktu penyelesaian tur = Waktu setup + Waktu loading + Waktu discharging + Waktu perjalanan + Waktu tunggu

$$CT_{[t]} = WS \sum_{r=1}^{NR[t]} \sum_{k=1}^{NL_{[t,r]}-1} L_{t,r,k} + (WD + WLT) \sum_{r=1}^{NR[t]} \sum_{i=1}^n b_{L_{t,r,p}} + \sum_{r=1}^{NR[t]} \sum_{k=1}^{NL_{[t,r]}-1} \tau_{[L_{t,r,k}][L_{t,r,k}+1]} + \sum_{r=1}^{NR[t]} \sum_{k=2}^{NL_{[t,r]}-1} Wt_{L_{t,r,k}} \quad (21)$$

Waktu penyelesaian tur adalah sama dengan saat selesai suatu tur  $JS_{L_{[t,r,NL[t,r]]}}$

$$CT_{[t]} = JS_{L_{[t,r,NL[t,r]]}} \quad (22)$$

Saat keberangkatan dari lokasi pelanggan  $Jm_{L_{[t,r,k]}}$  merupakan saat selesai pelanggan pada lokasi sebelumnya  $JS_{L_{[t,r,k-1]}}$

$$Jm_{L_{[t,r,k]}} = JS_{L_{[t,r,k-1]}} \quad (23)$$

Saat tiba merupakan saat/jam keberangkatan kendaraan ditambah dengan waktu perjalanan kendaraan.

$$Jt_{L_{[t,r,k]}} = Jm_{L_{[t,r,k]}} = Wp \quad (24)$$

Waktu tunggu terjadi bila saat kedatangan kapal pada suatu lokasi lebih kecil daripada waktu buka pelayanan atau didefinisikan sebagai kedatangan mendahului jam buka operasi pada suatu lokasi pelanggan.

$$WtL[t,r,k] = \begin{cases} b_i^h - JtL[t,r,k], & b_i^h \geq JtL[t,r,k] \\ 0, & b_i^h < JtL[t,r,k] \end{cases} \quad (25)$$

*Horison Perencanaan (Planning Horison)*

Horison perencanaan ini membatasi total waktu penyelesaian tur. Panjang horizon perencanaan dinotasikan dengan H.  $CT_{[t]}$  completion time untuk tur t tidak boleh melebihi horison perencanaannya.

$$CT_{[t]} \leq H \quad (26)$$

Sehingga Total Completion Time (TCT) merupakan hasil penjumlahan dari semua *completion time* semua tur t yang dibutuhkan sebagai solusi.

$$TCT = \sum_{t=1}^{NT} CT_{[t]} \quad (27)$$

*Range of Completion Time*

Range of completion time merupakan perbedaan antara waktu penyelesaian maksimum dan minimum yang digunakan sebagai ukuran keseimbangan waktu penyelesaian tur.

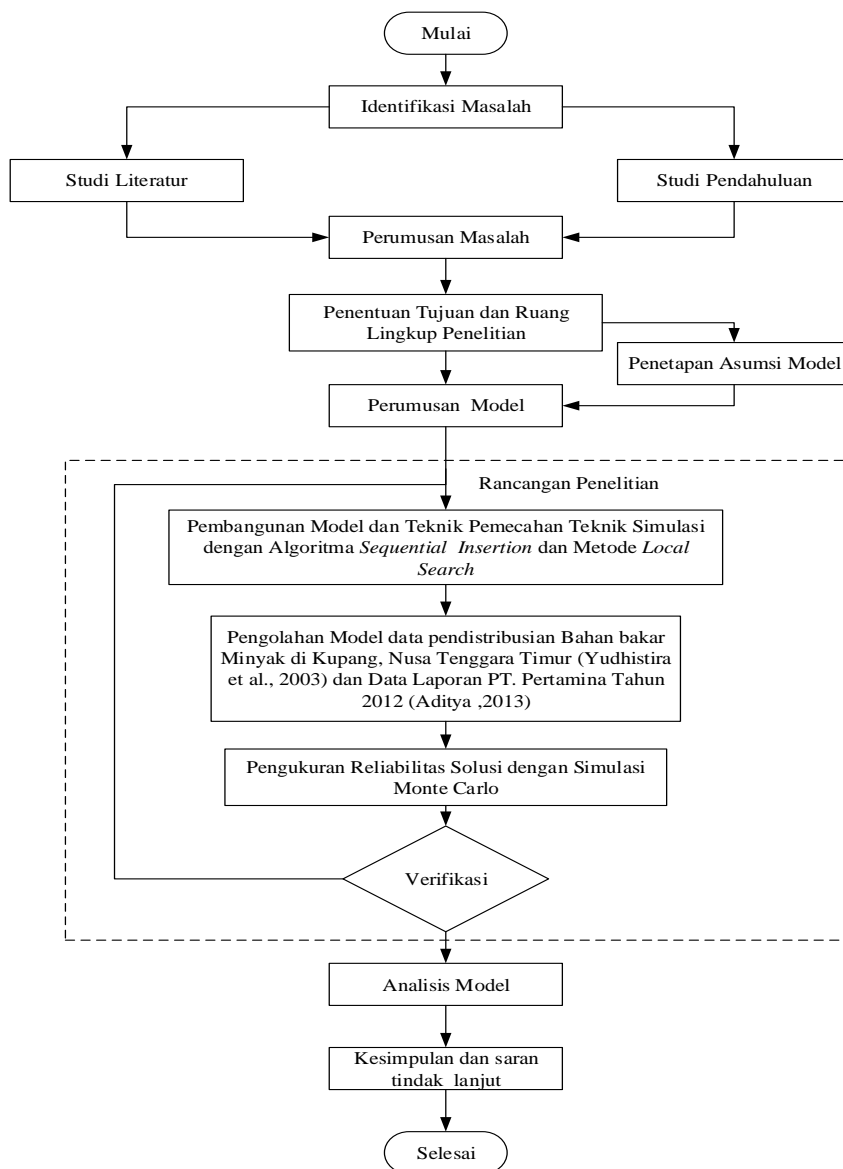
$$RCT = \begin{cases} \text{Max}\{CT_{[t]}\} - \text{Min}\{CT_{[t]}\}, & NT > 2 \\ 0, & NT = 1 \end{cases} \quad (28)$$

## 2.5 Software Simulasi Extend

Software Simulasi Extend digunakan untuk memodelkan, menganalisis dan mengoptimalkan proses. Memiliki sejumlah fitur seperti kumpulan komponen, hirarki model, link dengan MS Office dan memodelkan sistem kontinyu, diskrit dan hybrid. Extend mempunyai bahasa pemodelan sendiri (ModL) yang mirip dengan C, dan mampu memanggil kode dari bahasa lainnya. Mempunyai paket khusus untuk sistem industri, riset operasional dan simulasi proses kontinyu.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini membahas tentang masalah VRP dalam pendistribusian bahan bakar minyak di Kupang, Nusa Tenggara Timur dengan kapasitas tanker tidak ditentukan. penelitian ini mencoba mengembangkan masalah varian VRP yang diteliti dan dikembangkan oleh Arvianto (2009) dengan mengubah karakteristik dari penelitian sebelumnya yaitu pemecahan masalah dengan menggunakan simulasi dengan mempertimbangkan reliabilitas dari setiap rute. Dalam penelitian ini juga akan membangun model *Vehicle Routing Problem* dengan *Probabilistic Demand* yang kemudian dilakukan pemecahan solusi yaitu simulasi untuk mengukur reliabilitas solusi yang dihasilkan dengan menggunakan *software* simulasi *ExtendSim* untuk masing-masing rute dan biaya yang dihasilkan. Hasil output dari penelitian ini adalah rute yang dihasilkan dengan tingkat probabilitas kesalahan rute yang paling optimal.



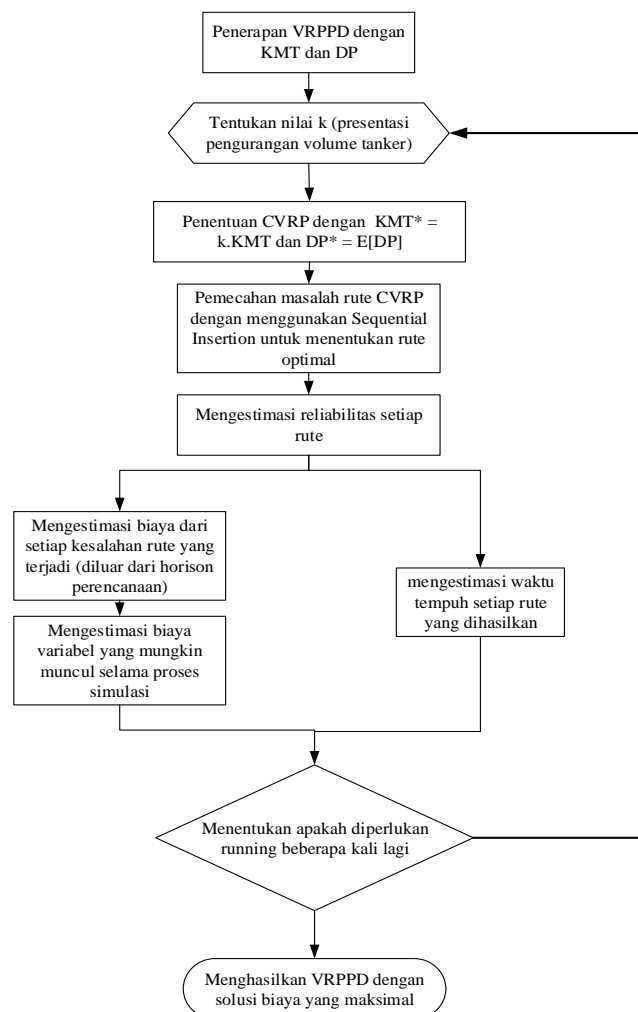
Gambar 2. Tahapan Penelitian

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan data penelitian sebelumnya yaitu berdasarkan hasil penelitian Yudhistira [5]. Pelabuhan yang digunakan terdiri dari sembilan pelabuhan, satu depot supply point dan delapan pelanggan *Destination Point*. Data yang digunakan sebagai input pada penelitian tersebut adalah :

- a. Data Depot dan Pelanggan
- b. Data Kapasitas, Throughput dan Daya Tahan Stok Pelanggan
- c. Data Jarak Antar Pelabuhan dalam Kilometer
- d. Data Jarak Antar Pelabuhan dalam Jam
- e. Biaya per Satuan Waktu
- f. Biaya Total Jarak antar Pelabuhan
- g. Data Konstanta Biaya
- h. Data Produk Bahan Bakar Minyak
- i. Data Konstanta Waktu
- j. Data Time Windows Pelanggan
- k. Kecepatan Aliran Bahan Bakar
- l. Waktu Setup (terdiri dari waktu saat mulai dan selesai loading/unloading)
- m. Total kapasitas kapal tanker
- n. Kapasitas compartment
- o. Horizon Perencanaan
- p. Data Permintaan Bahan Bakar Minyak

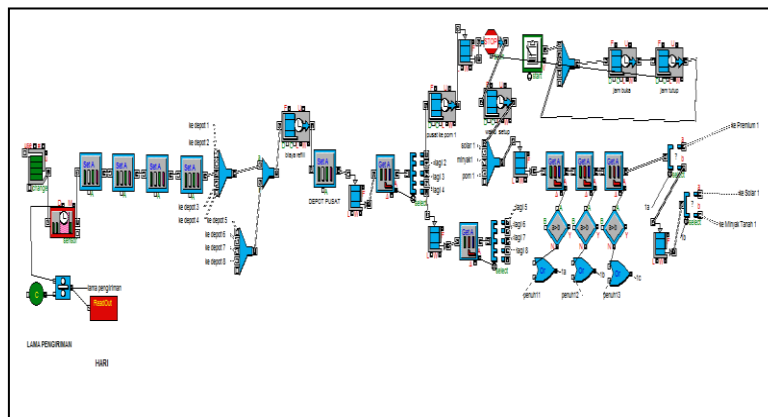


**Gambar 3. Flowchart Proses Simulasi Extendsim**

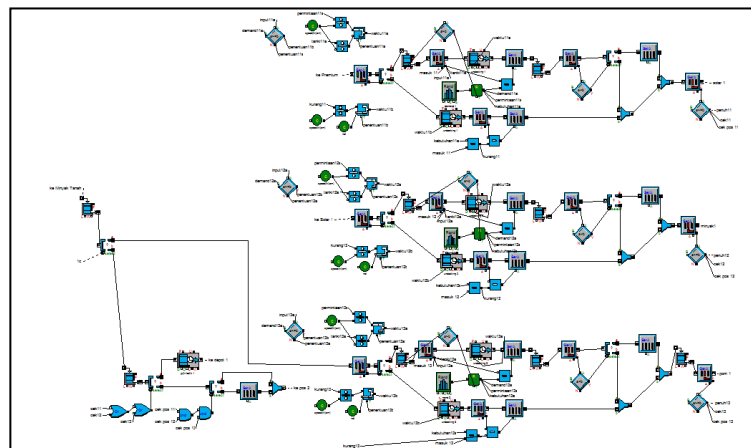
Proses pengolahan data pada simulasi pendistribusian bahan bakar minyak ini dilakukan dengan langkah-langkah pada gambar 4.1, dengan detail sebagai berikut:

- Penentuan nilai  $k$ , nilai persentase dari kapasitas maksimal tanker dan kompartmen. Nilai ini digunakan untuk mengurangi kapasitas dari tanker, dimana kapasitas yang dikurangi digunakan untuk mengakomodasi permintaan pelanggan yang tidak pasti tersebut.
- Penentuan CVRP dengan KMT (Kapasitas Maksimal Tanker) dengan rincian  $KMT^* = k \cdot KMT$ . Kemudian penentuan demand probabilistik dengan cara menggunakan segalamacam distribusi.
- Penentuan rute dengan metode sequential insertion dengan pembatas permintaan probabilistik dengan pengurangan kapasitas tanker. Dimana sisa kapasitas tanker tersebut digunakan untuk mengakomodasi permintaan pelanggan yang tidak pasti. Hasil penentuan rute ini digunakan untuk bahan input pada simulasi sesuai data masing-masing pelanggan.
- Estimasi rute dilakukan untuk menilai apakah rute yang dihasilkan tidak terjadi kesalahan rute yang dapat disebabkan karena rute melebihi waktu horizon perencanaan, kemudian rute yang dihasilkan tidak memenuhi semua demand yang ada.
- Jika terjadi kesalahan rute maka dilakukan analisis kesalahan rute disebabkan dari lebihnya horizon perencanaan sehingga pemberian sanksi berupa penalty biaya harus dilakukan.
- Melakukan pengamatan selama proses simulasi jika terdapat variabel yang muncul selama proses simulasi berlangsung.
- Mengestimasi waktu tempuh proses simulasi dengan menghitung total waktu setiap rute yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan sequential insertion. Jika waktu tempuh melebihi horizon perencanaan selama 168 jam (7 hari) maka dikenakan pinalty sesuai waktu lebih.
- Menilai apakah rute yang dihasilkan sudah handal (*reliable*) dengan memperhatikan demand probabilitas dan rute yang dihasilkan dari proses sequential insertion.
- Menghasilkan solusi VRPPD dengan solusi waktu dan biaya yang optimal.

Running simulasi dilakukan untuk mengetahui proses simulasi pendistribusian barang jika dilakukan perubahan variabel pada permintaan barang menjadi probabilistik akan berdampak signifikan atau tidak. Dan untuk mengetahuinya dilakukan running simulasi selama 30 kali proses.



Gambar 4. Model Simulasi ExtendSim Untuk Depot



Gambar 5. Model Simulasi ExtendSim Untuk Pelanggan

#### 4.2 Hasil Perolehan Data

Pada proses simulasi yang telah dilakukan dihasilkan beberapa variabel yang dibutuhkan untuk proses uji reliabilitas rute. Beberapa diantaranya adalah waktu siklus, biaya yang dibutuhkan seperti akomodasi operasional dan biaya bahan bakar. Berikut adalah hasil rekap proses perhitungan yang telah dilakukan dengan proses simulasi model.

Pada tabel 1 dapat diketahui bahwa dengan menggunakan nilai  $k$ , presentase pengurangan kapasitas tanker dan masing-masing kompartmen, menghasilkan rute yang berbeda dengan menggunakan kapasitas penuh. Hal ini disebabkan karena sisa kompartmen yang disediakan ditujukan untuk mengakomodasi permintaan yang tidak pasti dari pelanggan. Dapat dilihat untuk nilai  $k = 5\%$  didapatkan 4 rute perjalanan dimana terdapat beberapa rute yang diharuskan melakukan multiple trips yaitu pada rute 1,2 dan 4. Kemudian ada 1 rute yaitu rute 3 yang tidak melakukan multiple trips. Hal ini dapat dikarenakan permintaan yang dihasilkan melebihi kapasitas masing-masing kompartmen, sehingga mengharuskan kapal untuk kembali ke depot untuk melakukan pengisian ulang bahan bakar minyak. Kemudian untuk rute yang melakukan multiple trips, hal ini dapat dikarenakan juga permintaan pada pelanggan terakhir melebihi dari sisa kompartmen yang dibawa oleh kapal saat melalui pelanggan terakhir. Kapasitas tanker nilai yang dihasilkan pada masing-masing kompartmen adalah untuk nilai 5%.

**Tabel 1. Hasil rekap proses simulasi**

No	k	Rute	Simulasi ke-	Kapasitas Tanker (liter)			Rata-rata Waktu Siklus (jam)	Total Waktu Siklus (jam)	Range of Completion Time (jam)
				Premium	Solar	Minyak Tanah			
1	5%	00-03-04-01-00-02-01-00	1	285000	570000	570000	126	605.01	41.45
		00-08-05-07-00-08-00					168		
		00-02-05-06-00-06-05-00-06-00					142		
		00-03-04-01-00-01-00					96.54		
		00-08-05-07-00-08-00					124.91		
		00-02-05-06-00					125.68		
		00-02-05-06-00					120.39		
2	10%	00-02-05-06-00	2	270000	540000	540000	106	574.19	29.14
		00-02-05-06-00					120.39		
		00-06-05-00					106.67		

premium sebesar 285.000 liter, kemudian solar sebesar 570.000 liter, minyak tanah sebesar 570.000 liter. Kemudian untuk waktu siklus pada masing-masing rute didapatkan nilai yang terbesar pada rute pertama dan waktu terkecil pada rute keempat. Perbedaan waktu siklus ini dipengaruhi oleh jarak antar depot dan jarak antar pelanggan, waktu setup masing-masing pelanggan, waktu loading dan unloading masing-masing pelanggan, kecepatan kapal dan kecepatan alir bahan bakar minyak. Kemudian hasil total waktu siklus yang dihasilkan untuk tur pertama adalah sebesar 605.01 jam dengan *Range of Completion Time* (RCT) sebesar 41.45 jam. Nilai RCT ini masih cukup besar dalam horizon perencanaan sehingga rute ini menunjukkan bahwa kapal masih belum mencapai keseimbangan kerja. Hal ini dapat dikarenakan berbagai hal seperti multiple time windows, jam buka tutup dari pelanggan yang menyebabkan kapal harus menunggu saat tiba pada waktu jam tutup pelanggan. Sehingga menyebabkan waktu menunggu yang lama yang harus ditanggung oleh kapal.

Pada tur kedua menunjukkan bahwa dengan nilai  $k$  sebesar 10% didapatkan rute sebanyak lima rute dengan dua rute melakukan multiple trips, dan tiga rute tidak melakukan multiple trips. Hal ini juga dapat dikarenakan permintaan pada pelanggan terakhir melebihi dari sisa kompartemen yang dibawa oleh kapal saat melalui pelanggan terakhir atau permintaan yang dihasilkan melebihi kapasitas masing-masing kompartemen, sehingga mengharuskan kapal untuk kembali ke depot untuk melakukan pengisian ulang bahan bakar minyak. Untuk kapasitas tanker nilai yang dihasilkan pada masing-masing kompartemen adalah untuk nilai 10% premium sebesar 270.000 liter, kemudian solar sebesar 540.000 liter, minyak tanah sebesar 540.000 liter. Kemudian untuk waktu siklus pada masing-masing rute didapatkan nilai yang terbesar pada rute ketiga dan waktu terkecil pada rute pertama. Perbedaan waktu siklus ini juga dipengaruhi oleh jarak antar depot dan jarak antar pelanggan, waktu setup masing-masing pelanggan, waktu loading dan unloading masing-masing pelanggan, kecepatan kapal dan kecepatan alir bahan bakar minyak. Kemudian hasil total waktu siklus yang dihasilkan untuk tur kedua adalah sebesar 574.19 jam, dengan *Range of Completion Time* (RCT) sebesar 29,14 jam. Nilai RCT ini masih cukup besar dalam horizon perencanaan namun masih dibawah nilai RCT pada nilai  $k=5%$  hal ini menunjukkan bahwa nilai  $k=10%$  lebih mencapai keseimbangan kerja.

#### **4.2.1 Presentase Demand tidak Terpenuhi**

Dengan melihat hasil yang dilakukan diatas dapat diketahui bahwa dengan menggunakan nilai  $k$  yang berbeda dapat menghasilkan solusi yang berbeda pula. Seperti demand yang berbeda-beda, kemudian biaya akomodasi, operasional dan bahan bakar yang berbeda. Kemudian dihasilkan juga waktu siklus dan jumlah hari yang berbeda.

Kemudian dengan mengubah rentang distribusi uniform untuk menentukan jenis distribusi yang digunakan juga akan mengubah solusi yang dihasilkan. Pada awalnya digunakan rentang distribusi sebesar  $\pm 10.000$  yang kemudian diubah menjadi  $\pm 30.000$  dengan pertimbangan rata-rata perubahan permintaan pelanggan.

Berubahnya beberapa variable yang digunakan maka yang pertama kali akan berpengaruh adalah demand, karena sifat probabilitas yang digunakan dalam penelitian ini. Dapat dilihat bahwa dalam setiap  $k$  yang diubah akan mengubah rata-rata demand yang dihasilkan. Setelah dilakukan proses running terdapat beberapa pos pelanggan yang tidak terpenuhi permintaannya. Berikut adalah presentase dari demand yang tidak terpenuhi untuk setiap nilai  $k$  yang ditentukan dan setiap Tur yang dihasilkan dilampirkan pada table 2.

**Tabel 2. Presentase demand yang tidak terpenuhi pada rentang distribusi  $\pm 10.000$  liter**

	<i>Rute</i>	<i>Jumlah Total Permintaan (liter)</i>		
		<i>Premium</i>	<i>Solar</i>	<i>Minyak Tanah</i>
k=5%	00-03-04-01-00-02-01-00	792.716,41	851.808,86	1.585.574,11
	00-08-05-07-00-08-00	498.171,24	698.023,94	938.077,86
	00-02-05-06-00	350.315,56	830.324,85	900.643,08
	00-06-05-00-06-00	338.124,32	651.487,85	682.235,38
	<b>Total</b>	<b>1979327,524</b>	<b>3031645,498</b>	<b>4106530,43</b>
	<b>Demand Tidak Terpenuhi</b>	<b>337944,91</b>	<b>0</b>	<b>680267,29</b>
	<b>Presentase</b>	<b>17%</b>	<b>0</b>	<b>16,5%</b>
	<i>Rute</i>	<i>Jumlah Total Permintaan (liter)</i>		
		<i>Premium</i>	<i>Solar</i>	<i>Minyak Tanah</i>
k=10%	00-03-04-01-00-01-00	443056,81	691093,52	683311,622
	00-08-05-07-00-08-00	390256,604	819174,7	837881,463
	00-02-05-06-00	372391,86	708746,77	674232,14
	00-02-05-06-00	377713,114	706127,98	722284,904
	00-06-05-00	338.078,3	652872	678548,61
	<b>Total</b>	<b>1921496,698</b>	<b>3578014,97</b>	<b>3596258,739</b>
	<b>Demand Tidak Terpenuhi</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Presentase</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## 5. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Pembuatan simulasi menggunakan software ExtendSim versi 4 dengan memperhatikan kasus pendistribusian barang secara umum dengan produk bahan bakar minyak berupa premium, solar dan minyak tanah secara khusus. Proses pendistribusian barang ini menggunakan beberapa variabel yang berhubungan dengan permasalahan routing atau sering disebut dengan Vehicle Routing Problem (VRP). Beberapa varian VRP yang digunakan dalam penelitian ini adalah Homogeneous Fleet Size, Multiple Trips, Split Delivery, dan Multiple Product and Compartment. Dalam pembuatan simulasi ini menggunakan varian diatas untuk mensimulasikan proses secara lebih nyata dan sesuai dengan proses yang ada dilapangan. Pada simulasi ini menggunakan model 1 Depot Supply dan 8 Pos Pelanggan yang mensimulasikan proses pendistribusian bahan bakar minyak di Kupang, Nusa Tenggara Timur. Kemudian proses simulasi ini menggunakan demand probabilitas dengan asumsi menggunakan distribusi uniform dengan memperhatikan pola permintaan pada periode sebelumnya. Secara keseluruhan dengan model simulasi dan logika Vehicle Routing Problem yang digunakan, proses simulasi berjalan lancar dan masih memiliki batasan-batasan yang tidak dapat dipenuhi oleh ExtendSim itu sendiri.
- b. Proses pengujian model simulasi diawali dengan verifikasi hasil model simulasi dengan penelitian Arvianto [1], yang memiliki batasan dan proses yang sama Dan diperoleh hasil yang sama, sehingga model yang digunakan dapat digunakan untuk proses pengujian selanjutnya. Kemudian dilakukan perubahan beberapa variabel seperti, penentuan kapasitas tanker untuk mengakomodasi permintaan probabilistik, dan pengubahan sifat demand deterministik menjadi probabilistik. Perubahan kapasitas tanker dilakukan dua kali yaitu mengurangi sebesar 5% dan 10% dari kapasitas maksimum tanker. Kemudian untuk permintaan deterministic menjadi probabilistic menggunakan distribusi uniform dengan melihat pola permintaan pada periode sebelumnya. Proses pengujian reliabilitas model yang dilakukan berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan sebanyak 30 kali dengan menghasilkan beberapa hal yang menjadi perhatian dalam penelitian ini. Hasil yang ditunjukkan dengan mengurangi kapasitas tanker sebesar 5% menunjukkan terjadinya permintaan yang tidak terpenuhi oleh depot yang disebabkan horizon perencanaan yang kurang, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mendistribusikan produk lebih lama. Kemudian hasil yang ditunjukkan dengan mengurangi kapasitas tanker sebesar 10% menunjukkan bahwa semua permintaan pelanggan telah didistribusikan sesuai waktu yang telah ditentukan. Namun dari segi biaya yang dihasilkan pengurangan kapasitas tanker sebesar 10% menuntut depot untuk mengeluarkan biaya tambahan daripada pengurangan tanker sebesar 5%.

Biaya yang menjadi perbedaan secara signifikan adalah jumlah kapal yang digunakan pada pengurangan kapasitas tanker 10% berjumlah 5 buah kapal dan pada 5% berjumlah 4 kapal. Hal ini menuntut depot untuk menyewa kapal tambahan dengan kapasitas yang sama dengan biaya yang tinggi

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arvianto, Ary. (2009). Teknik *Local Search* untuk Pemecahan Masalah Rute dan Jadwal Kendaraan Dengan Karakteristik *Multiple Time Windows*. Tesis Magister Teknik Industri ITB
- [2] Juan, A., Grasman, S., Faulin, J., Riera, D., Méndez, C., & Ruiz, B. (2009, December). Applying Simulation and Reliability to Vehicle Routing Problems with Stochastic Demands. In Proceedings of the XI Conference of the AIIA (pp. 201-214).
- [3] Harun, I. A., Mahmudy, W. F., & Yulistira, N. (2014). Implementasi evolution strategies untuk penyelesaian Vehicle Routing Problem with Time Windows pada distribusi minuman soda XYZ'. DORO: Repository Jurnal Mahasiswa PTIIK Universitas Brawijaya, 4(1).
- [4] Arvianto, A., Setiawan, A. H., & Saptadi, S. (2014). Model Vehicle Routing Problem dengan Karakteristik Rute Majemuk, Multiple Time Windows, Multiple Products dan Heterogeneous Fleet untuk Depot Tunggal. Jurnal Teknik Industri, 16(2), 83-94.
- [5] Yulistira, T., Suprayogi, dan Halim, A.H., (2003). Algoritma Heuristik Penjadwalan Alat Angkut untuk Pendistribusian Produk Majemuk dengan Sumber Tunggal dan Destinasi Majemuk. Prosiding Seminar SistemProduksi VI, pp. 573-586.
- [6] Tillman, Frank A., (1969). The Multiple Terminal Delivery Problem with Probabilistic Demands. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS).
- [7] Pujawan. I Nyoman. (2005). Supply Chain Management. Suarabaya: Penerbit Guna
- [8] Gesperz, Vincent.(2002). Production and Inventory Control Berdasarkan Pendekatan Sistem Terintegrasi MRP II dan JIT Menuju Manufacturing 21. Jakarta:Gramedia Pustaka Utama,
- [9] Suprayogi. (2003). Algoritma Sequential Insertion untuk Memecahkan Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Time Windows. Jurnal Teknik dan Manajemen Industri ITB.
- [10] Voudouris, C., & Tsang, E. (1999). Guided Local Search and Its Application to The Traveling Salesman Problem. European journal of operational research, 113(2), 469-499.