**PENYELESAIAN *VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH - TIME WINDOWS* UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA TRANSPOTASI DENGAN METODE *ALGORITMA SWEEP* DAN *SAVING***

**PADA PT. XYZ**

Karnadi

Magister Teknik Industri Universitas Pasundan Bandung

Karnadi209@gmail.com

**Abstrak**

Distribusi merupakan hal yang sangat penting bagi perusahaan, karena proses distribusi merupakan suatu proses perpindahan barang yang di produksi oleh suatu perusahaan yang kemudian akan disalurkan ke konsumen untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Hal ini menyebabkan jalur pengiriman yang tidak optimal sehingga ongkos bahan bakar yang di butuhkan bertambah. Permasalahan yang sering dihadapi adalah kurang efektifnya rute distribusi yang menyebabkan waktu pendistribusian panjang, waktu kunjungan ke beberapa *customer* melebihi jam yang ditargetkan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rute-rute pendistribusian baru sehingga dapat meminimalkan total waktu distribusi, jarak dan biaya transportasi. Metode yang digunakan untuk memecahkan masalah ini adalah *Algoritma Sweep* dan *Saving Matrix*, dan dilanjutkan pengurutan dengan *Nearest Neighbour*. Keseluruhan metode memperhatikan jarak tempuh dan waktu tempuh. Dengan membandingkan metode tersebut diharapkan dapat menghasilkan distribusi yang lebih efektif dan efisien secara waktu dan jarak yang pada akhirnya akan berpengaruh ke biaya transportasi. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan metode yang terpilih adalah metode pengklasteran *Algoritma Sweep* dan metode pengurutan menggunakan metode *Nearest Neighbor*. Pengolahan solusi awal menghasilkan 2004,87 km dan biaya Rp. 25.528.612 sedangkan menggunakan dengan *metode sweep* dihasilkan 1673,58 dan biaya Rp. 21.310.194 maka terjadi penurunan penghematan waktu pelayanan sebesar 0,20 % dan penghematan jarak tempuh sebesar 0,17 %.dan penurunan biaya pengiriman sebesar Rp. 4.218.418 atau 4,22 %. Dari hasil perbandingan diatas dapat dilihat bahwa, biaya yang dikeluarkan oleh hasil *Metode Sweep* menghasilkan penghematan sebesar 74 % dibandingkan dengan kondisi saat ini. Dengan begitu keuntungan yang didapatkan oleh PT. XYZ dengan menggunakan *Metode Sweep* sebesar Rp. 56. 970.696.

**Kata Kunci**: Rute Distribusi, *Vehicle Routing Problem, Time Windows, Algortima*

*Sweep,Nearest Neighbour*

**Pendahuluan**

Dari permasalahan pendistribusisan dengan mempertimbangkan rute kendaraan, jenis kendaraan yang digunakan, dan pengiriman dikenal dengan VRP (*Vehicle Routing Problem*). Selama ini penentuan rute pengiriman barang berdasarkan pengelompokan area dari *customer* yang menjadi tujuannya dan kurang mempertimbangkan jalur rute secara keseluruhan, serta kapasitas dari kendaraan yang dipakai, misalnya *customer* yang berada di daerah Bekasi dikelompokan menjadi satu kendaraan. Setiap tujuan hanya boleh dilayani oleh satu armada saja. Hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan dalam satu kali angkut, untuk meminimalkan biaya yang diperlukan. Masalah pengiriman dan penentuan rute dapat dialami oleh perusahaan besar atau perusahaan distribusi dengan jumlah *customer* yang besar. Dalam sistem pengirimannya PT. XYZ mengirim kepada 38 *customer* dengan mengunakan jenis kendaraan *Truk Fuso* 220 P dengan kapasitas angkut 10 ton. Rute kendaraan dalam pengiriman yang saat ini dari PT. XZY menuju *customer* paling jauh kemudian ke PT. XYZ tanpa mempertimbangkan kapasitas truk dan permintaan. Harusnya rute yang bertujuan untuk mempercepat proses pengiriman dibentuk bedasarkan kapasitas truk, permintaan *customer* dan jarak antara *customer*. Hal ini menyebabkan jalur pengiriman yang tidak optimal sehingga ongkos bahan bakar yang di butuhkan bertambah. Dari permasalahan pendistribusisan dengan mempertimbangkan rute kendaraan, jenis kendaraan yang digunakan, dan pengiriman dikenal dengan VRP (*Vehicle Routing Problem*). Salah satu permasalahan yang akan dibahas pada tesis ini adalah *Vehicle Routing Problem* (VRP). Jenis VRP yang akan digunakan adalah VRP with *Time Windows* (VRPTW). Pada VRPTW, Setiap pelanggan harus disuplai dalam jangka waktu tertentu.

**Tabel. 1.1** Data awal Perusahaan

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan rute distribusi pipa pralon dari PT. XYZ (Depot) ke setiap *custome*r dengan mempertimbangkan kapasitas angkut kendaraan dan permintaan setiap *customer* sehingga diperoleh total biaya transportasi yang minimum. Sedangkan tujuan penelitian ini adalah menentukan rute distribusi Pipa Pralon dari pusat distribusi (Depot) ke setiap *customer* dengan mempertimbangkan kapasitas angkut kendaraan dan permintaan setiap *customer* sehingga diperoleh total biaya transportasi yang minimum.

**Landasan Teori**

1. ***Vehicle Routing Problem* (VRP)**

*Vehicle Routing Problem* (VRP) adalah nama umum untuk suatu metode yang digunakan untuk menentukan rute suatu armada kendaraan baik dari satu atau beberapa depot untuk melayani beberapa kota atau pelanggan yang tersebar seacar geografis. Tujuan dari VRP adalah melakukan pengiriman barang ke pelanggan sesuai dengan permintaan masing-masing dengan meminimalkan jarak tempuh kendaraan dan biaya transportasi dalam pengirimannya.VRP muncul sebagai masalah utama dalam bidang transportasi, distribusi dan *logistic*. VRP bertujuan untuk melakukan pengiriman kepada beberapa customer yang diketahui permintaannya dengan biaya rute yang minimal dimana rute dimulai dan diakhiri di depot. VRP klasik secara umum

digambarkan dengan grafik 𝐺 = (𝑉, 𝐸), dimana 𝑉 = {𝑣0, 𝑣1, … , 𝑣𝑛} merupakan Vertex yang menyatakan kumpulan lokasi, 𝐸 menyatakan 𝑛 kota. Selain itu terdapat pula notasi 𝐶 yang menyatakan matriks non negative atau jarak 𝑐𝑖𝑗 antara customer 𝑣𝑖 dan 𝑣𝑗, 𝑅𝑖 menyatakan rute untuk kendaraan 𝑖, 𝑚 menyatakan banyaknya kendaraan (semua identik dan berkendara dengan kecepatan konstan), satu rute ditugaskan untuk setiap kendaraan (Faied et al., 2010). VRP termasuk ke dalam permasalahan Node dimana permintaan pelayanan terkait dengan Node (Sandhya & Kumar, 2013).

1. ***Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW)**

*Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) adalah perluasan dari *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dimana pelayanan untuk setiap customer harus dimulai dalam interval waktu yang berhubungan dan disebut *time windows* atau jendela waktu.” Dalam kasus *hard time windows*, kendaraan datang terlalu cepat dan harus menunggu hingga customer siap dilayani dimana pada umumnya tidak diperlukan biaya menunggu. Sementara dalam kasus *soft time windows*, setiap *time windows* dapat dilanggar dengan menanggung biaya pinalti. VRPTW memiliki tujuan yakni meminimalkan banyaknya keseluruhan kendaraan yang digunakan untuk melayani customer dan meminimalkan biaya perjalanan seluruh kendaraan dengan tetap memenuhi batasan-batasan. Batasan-batasan tersebut antara lain (Sandhya & Kumar, 2013):

1. Setiap customer hanya dilayani tepat satu kali
2. Batasan time windows harus dipenuhi
3. Total permintaan dari setiap rute tidak boleh melampaui batasan kapasitas kendaraan
4. Setiap kendaraan harus mulai dan berakhir di depot.
5. **Model Matematis VRPTW**

Untuk menjelaskan model VRPTW, perhatikan suatu *graph* (N,A). Set node N terdiri dari suatu set pelanggan yang dinyatakan sebagai C, dimana node 0 dan node n+1 adalah depot. Set arc A menyatakan hubungan di antara node satu dengan node yang lain. Tidak ada arc yang berakhir di node 0 dan tidak ada arc yang berawal dari node n+1. Setiap rute akan berawal dari node 0 dan akan berakhir di node n+1. Setiap *arc* (i,j )∈ A ditandai dengan ongkos Cij dan waktu tempuh tij. Karena besarnya ongkos dianggap proporsional terhadap jarak dan waktu tempuh maka besarnya unit ongkos bisa dinyatakan sama dengan 1. Setiap pelanggan berkaitan dengan kebutuhan di dan waktu pelayanan $t\_{i}$, i∈C. Set kendaraan dinyatakan sebagai V dimana setiap kendaraan memiliki kapasitas angkut yang seragam, yaitu q. Pelayanan di setiap pelanggan harus dilaksanakan dalam interval waktu ($a\_{i}$,$ b\_{i}$), i∈ C. Setiap kendaraan harus meninggalkan depot dalam interval waktu ($a\_{0}$, $b\_{0}$) dan harus kembali ke depot dalam interval waktu [$a\_{n+1}$, $b\_{n+1}$]. Kendaraan yang datang di pelanggan sebelum awal time window harus menunggu hingga pelayanan dapat dimulai, tetapi tidak boleh datang setelah batas atas *time window*. Berikut akan diberikan pendefinisian variabel dan model matematika untuk memformulasikan model matematis VRPTW digunakan dua variabel yang mengacu pada Dimyati, T.T. (2017).

Xijk = 1 jika kendaraan k melakukan perjalanan dari node i ke j (∀(i,j )∈ A, ∀k∈ V) = 0 jika tidak

Sik (∀i∈N, ∀k∈V) menyatakan saat kendaraan k memulai pelayanan di pelanggan i (i∈C)

Dalam hal ini dapat diasumsikan $S\_{0k}$ = 0 ∀k. $S\_{n+1}$,k menyatakan saat kepulangan kendaraan k di depot. Model matematis VRPTW dapat diformulasikan sebagai berikut:

$Z\_{VRPTW}=minimize \sum\_{k\in V}^{}\sum\_{i\in N}^{}\sum\_{i\in N}^{}C\_{ij}x\_{ijk}$ (2.1)

Batasan :

$\sum\_{k\in V}^{}\sum\_{i\in N}^{}x\_{ijk}=1 ∀\_{i} \in C$ (2.2)

$\sum\_{i\in C}^{}d\_{i}\sum\_{j\in N}^{}X\_{ijk}\leq q ∀\_{k}\in V$ (2.3)

$\sum\_{j\in N}^{}x\_{0jk}=1 ∀\_{k} \in V$ (2.4)

$\sum\_{i\in N}^{}x\_{ijk}- \sum\_{j\in N}^{}x\_{ijk}=1 ∀\_{h} \in C, ∀\_{k}\in V $ (2.5)

$\sum\_{i\in N}^{}x\_{i,n+1, k}=1 ∀\_{k}\in V$ (2.6)

$ t\_{ij} \left( s\_{ik}+t\_{i}+ t\_{ij}-s\_{ijk}\right)\leq 0 ∀\_{i,j} \in N, ∀\_{k} \in V$ (2.7)

$a\_{i}\leq s\_{ik}\leq b\_{i} ∀\_{i,} \in N, ∀\_{k} \in V$ (2.8)

$x\_{ijk} \in \{0,1\} ∀\_{i,} \in N, ∀\_{k} \in V$ (2.9)

Fungsi tujuan (1) menyatakan bahwa total ongkos harus diminimumkan. Pembatas (2) menyatakan bahwa setiap pelanggan hanya dilayani oleh satu kendaraan, sedang pembatas (3) menyatakan setiap kendaraan hanya akan melayani konsumen sebatas kapasitasnya. Pembatas (4), (5), dan (6) menyatakan bahwa setiap kendaraan k akan berangkat dari depot, meninggalkan node h, (h$\in $C) jika kendaraan itu memasuki node h, dan akan kembali ke depot. *Arc* (0, n+1) dimasukkan ke dalam network untuk mengikut sertakan perjalanan awal dari depot dan perjalanan kembali ke depot. Pembatas (7) menyatakan bahwa jika kendaraan k melakukan perjalanan dari i ke j maka kendaraan tesebut akan tiba di node j setelah $s\_{ik}+t\_{j}+t\_{ij}$. Pembatas (8) menyatakan setiap kendaraan k akan tiba di pelanggan i dalam batas *time window* pelanggan tersebut, sedangkan pembatas (9) adalah pembatas integralitas.

1. **Sweep Method**

*Sweep method* adalah metode yang sederhana dalam perhitungannya, bahkan untuk memecahkan masalah dengan ukuran yang cukup besar. Keakuratan metode ini rata-rata kesalahan perhitungannya adalah sebesar 10 persen. Keakuratan metode ini adalah pada cara pembuatan jalur rutenya. Prosesnya terdiri dari dua tahap, pertama titik pemberhentian ditentukan untuk kendaraan yang ada. Tahap kedua adalah menentukan urutan titik pemberhentian pada rute.

Tahap pengelompokan (*clustering*) langkah–langkah yang dilakukan pada tahap pengelompokan adalah :

1. Menentukan setiap posisi agen dan menetapkan lokasi depot sebagai pusat koordinat dalam koordinat kartesius
2. Menentukan seluruh koordinat polar tiap agen/toko dengan depot awal

$r=\sqrt{x^{2}+ y^{2}} $ (2.11)

$θ=arc\tan(\frac{x}{y})$ (2.12)

Dimana :

$r$ = koordinat polar

$θ$ = koordinat polar

$x$ = koordinat kartesius

$y$ = koordinat kartesius

1. Membentuk pengelompokan (*clustering*) dimulai dari agen/toko yang memiliki sudut polar terkecil hingga terbesar dengan mempertimbangkan ketersediaan kapasitas kendaraan.
2. Memastikan semua agen/toko yang terlibat telah dikelompokan dalam cluster ini. Pengelompokan dihentikan apabila terdapat satu *cluster* akan melebihi kapasitas maksimal kendaraan.
3. Jika hal tersebut terjadi maka dilakukan pembuatan *cluster* baru seperti langkah sebelumnya.
4. **Saving Method**

Algoritma *Clarke-Wright Savings* (*Clarke-Wright Savings Method*) merupakansuatu metode yang ditemukan oleh *Clarke* dan *Wright* pada tahun 1964. Metode ini dipublikasikan sebagai suatu algoritma yang digunakan sebagai solusi untuk permasalahan rute kendaraan dimana sekumpulan rute padasetiap langkah ditukar untuk mendapatkan sekumpulan rute yang lebih baik, dan metode ini digunakan untuk mengatasi permasalahan yang cukup besar, dalam hal ini adalah jumlah rute yang banyak. Algoritma *Clarke-Wright Savings* melakukan perhitungan penghematan yang diukur dari seberapa banyak dapat dilakukan pengurangan jarak tempuh dan waktu yang digunakan dengan mengaitkan *node-node* yang ada dan menjadikannya sebuah *rute* berdasarkan nilai *saving* yangterbesar yaitu jarak tempuh antara *source node* dan *node* tujuan.

1. **Nearest Negihbor**

Metode *Nearest Neighbor* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1983 dan merupakan metode yang sangat sederhana yaitu dengan dilakukannya pencarian pelanggan terdekat dengan pelanggan terakhir untuk ditambahkan pada akhir rute tersebut. Rute baru dimulai dengan cara yang sama jika terdapat posisi yang fisibel untuk menempatkan pelanggan baru karena kendala kapasitas atau *time windows.* (Braysy, O., B. Gendreau, 2005)*.* Cara kerja metode ini diawali dengan semua rute kendaraan dalam keadaan kosong. Dimulai dari rute kendaraan pertama, metode ini memasukan (*insert*) satu persatu *customer* terdekat (*Nearest Neighbor*) yang belum dikunjungi kedalam rute, selama memasukan customer tersebut kedalam rute kendaraan tidak melanggar Batasan kapasitas maksimum kendaraan tersebut atau batasan-batasan yang dijabarkan oleh varian VRP yang lain).

**Metode Penelitian**

Dalam penelitian ini menjabarkan langkah –langkah sistematis untuk menyelesaikan kasus yang berkenan tentang masalah distribusi PT. XYZ yang dapat di lihat pada gambar 3.1

****

**Gambar 3.1** *Flowchart* Penelitian

**Hasil dan Pembahasan**

Rute pengiriman diperoleh dengan mencari solusi awal menggunakan metode n*earest neighbour* yang termasuk dalam *cluster methods*. Pengerjaannya dilakukan secara manual dengan melakukan pengkelompokan *customer* ke area lokasi tertentu dengan mengurukan dari sudut terkecil tehadap titik pusat (gudang). Selanjutnya ditentukan beberapa titik pemberhentian yaitu pengiriman ke beberapa *customer* sampai semua *customer* yang berada didaerah tertentu di hubungkan dan di akhir gudang. Dari hasil rute pengiriman yang dilakukan dengan *metode sweep* artinya didapatkan total jarak yang ditempuh oleh setiap armada pada masing – masing area. Rute pengiriman ini merupakan solusi awal untuk menyelesaikan menyelesaikan VRP ini dengan menggunakan *metode sweep* setelah melakukan pengolahan data terhadap solusi awal dengan *algoritma sweep* selanjutnya solusi yang didapat dengan *algoritma sweep* ini merupakan rute optimal dengan mendapatkan jarak terpendek dari beberapa kombinasi yang diperoleh antar *customer* yang berdekatan. Melakukan pengelompokan (*clustering*) dimulai dari agen yang memiliki sudut polar terkecil dan seterusnya berurutan sampai agen yang memiliki sudut polar terbesar dengan memperhatikan kapasitas kendaraan.ahapan ini menggambarkan bahwa hasil koordinat polar terkecil itu adalah tempat paling dekat dengan titik nol atau depot/perusahaan, pada dasarnya adalah kendaraan harus menganagkut terlebih dahulu mengangkut ke tujuan *customer* terdekat dengan depot/perusahaan agar lebih menghemat jarak angkut, berikut Tabel hasil pengurutan koordinat polar mulai dari yang terkecil sampai ke paling besar.

1. **Waktu Tempuh**

Rata-rata kecepatan didapatkan dari jarak tempuh serta waktu lamanya perjalanan yang ditempuh kendaraan dari customer menuju customer lainnya yang didapatkan berdasarkan informasi *Google Earth Pro*. Perhitungan rata-rata kecepatan kendaraan antara lain:

$Kecepatan rata-rata = \frac{Jarak tempuh (s)}{Waktu Tempuh (t)}$

$XYZ-Agung Niaga Nusantara, PT:$

$Kecepatan rata-rata = \frac{71 km}{1 jam 11 menit}$

Kecepatan rata – rata = 60 km/jam

Hasil perhitungan kecepatan rata-rata yang didapatkan sebesar 59,458 km/jam, hal ini didapatkan berdasarkan rata-rata waktu tempuh tercepat dan terlama dari jarak tempuh terjauh dan terdekat.

Setiap *customer* dihitung sudut polarnya terhadap depot yang merupakan koordinat (0,0). Langkah untuk mengubah koordinat kartesius (x,y) menjadi koordinat polar (r, 𝜃) adalah sebagai berikut:

$r=\sqrt{x^{2}+xy^{2}}$ (4.1)

$θ= $arc tan $\frac{x}{y}$ (4.2)

Mencari koordinat polar dari titik XYZ (0,0) maka :

$$r= \sqrt{2,72^{2}+3,61^{2}}$$

$$r= \sqrt{7,39+13,03}$$

$r=\sqrt{20,43}$

$$r= 4,52$$

Selanjutnya mencari θ :

$$θ= arc\tan(\frac{x}{y})$$

$$θ= arc\tan(\frac{2,72}{3,61})$$

$$θ= arc\tan(0,75)$$

$$θ= 36,98 \left(Kuadran IV\right)$$

$$θ= 360-36,98$$

$$θ= 323,02°$$

**Tabel 4.1** Hasil Perhitungan Koordinat Polar Masing – Masing Customer

**Tabel 4.2** Urutan Koordinat Polar Terkecil Ke Terbesar

Setelah pengurutan dari yang terkecil ke koordinat polar tebesar lalu dilanjutkan ke tahapan pengelompokan, ini dilakukan untuk menentukan *customer* mana saja yang masuk kepada rute 1,2 dan seterusnya dengan memperhatikan kapasitas angkut kendaraan (kg) yang ada, sehingga pada tahapan ini semua *customer* yang dilalui oleh kendaraan dapat tersapu bersih.

Pada tahapan clustering diperoleh empat kelompok terdiri dari **Kelompok (1)** yaitu ***customer* (Kode)** A1, Z, O, C, R, B, N, Y, H, P, **Kelompok (2)** Q, M, I, G, C3, K, D4, J, L, **Kelompok (3)** X, E5, S, B2, T, U, V, A, E, **Kelompok (4)** D, F6, W, 18, H7, F, G6, K10, J9, L11.

Berikut hasil pembentukan rute dengan metode *Nearest Neighbor* :

**Tabel 4.3** Pembentukan Rute Dengan Metode *Nearest Neighbor*

1. **Tahap Pembentukan Rute**

Pada tahap pembentukan rute, masing-masing *cluster* yang telah diperoleh pada tahapan sebelumnya akan diselesaikan dengan menggunakan metode *Nearest Neighbour* sehingga dapat diperoleh urutan rute perjalanan dari masing-masing *cluster*. Sebelum pada pentuan rute kendaraan haruslah diketahui jarak dari gudang ke konsumen juga jarak antar konsumen pada jarak yang sudah di *cluster*, agar dapat menentukan jarak mana yang terdekat yang akan dikunjungi pada tahapan pembentukan rute, berikut matrik jarak yang ada denagan menggunakan bantuan *google maps*:

1. **Saving Matrix**

Pada langkah ini, diasumsikan bahwa setiap toko akan dikunjungi oleh satu armada secara eksklusif. *Saving matriks* merepresentasikan penghematan yang bisa direalisasikan dengan menggabungkan dua pelanggan ke dalam satu rute.

Untuk perhitungan penghematan jarak dapat menggunakan persamaan :

S (x,y) = J (G,x) + J (G,y) – J (x,y)

Dimana :

S (x,y) = Penghematan J

 (G, x) = Jarak gudang ke toko x

 (G, y) = Jarak gudang ke toko y

Berikut contoh Perhitungan Nilai *Saving*  :

1. Gudang A1 + Gudang Z - *Customer* AI

67, 45 + 67,45 – 62, 60 = 72,29

1. Gudang A1 + Gudang O – *Customer* O
2. 45 + 5,21 – 9,49 = 63,17
3. Gudang A1 + Gudang C – *Customer* A1

67,45 + 13,60 – 9,77 = 71,28

**Tabel 4.4** Matrik Jarak Kelompok I *Customer*

**Tabel 4.4** Penghematan Jarak Kelompok I dari Gudang Ke *Customer*

Pada tahap pembentukan rute, *cluster* permata, *cluster* kedua, *cluster* ketiga dan *cluster* empat yang telah diperoleh pada tahap *clustering* akan diselesaikan dengan menggunakan metode  *Nearest Neighbour* sehingga akan di peroleh rute terbaik pada masing – masing *cluster*. Langkah – langkah dalam menentukan pembentukan *rute* yaitu :

1. Langkah 0 : Inisialiasi
2. Menentukan satu titik yang akan menjadi titik awal perjalanan dimana dalam peneltian ini sudah ditentukan bahwa titik awal perjalanan dimulai dari awal dari depot perusahaan.
3. Menentukan 𝐶 = {1, 2, 3, 4, … , 𝑛} sebagai himpunan titik yang dikunjungi.
4. Menentukan urutan rute perjalan saat ini (sementara) (R).
5. Langkah 1: Memilih titik yang selanjutnya akan dikunjungi.

Jika $n^{1}$ adalah titik yang berada diurutan terakhir dari rute *R* maka akan ditemukan titik berikutnya, $n^{2}$ yang memiliki jarak paling minimum dengan $n^{1}$ dimana $n^{2}$ merupakan anggota dari *C*. Apabila terdapat banyak pilihan optimal artinya terdapat lebih dari satu titik yang memiliki jarak yang sama dari titik terakhir dalam rute *R* dan jarak tersebut merupakan jarak paling minimum maka pilih secara acak.

1. Langkah 2: Menambahkan titik yang terpilih pada langkah 1 pada urutan rute berikutnya. Menambahkan titik $n^{2}$ di urutan akhir dari rute sementara dan mengeluarkan yang terpilih tersebut dari daftar titik yang belum dikunjungi.
2. Langkah 3: Jika semua titik yang harus dikunjungi telah dimasukkan dalam rute atau C = 𝜃, maka tidak ada lagi titik yang ada di C. Selanjutnya menutup rute dengan menambahkan titik inisialisasi atau titik awal perjalanan diakhir rute. Dengan kata lain, rute ditutup dengan kembali lagi ke titik asal. Jika sebaliknya, kembali melakukan langkah 1.

Berikut hasil pembentukan rute dengan metode *Nearest Neighbor* :

**Tabel 4.5** Pembentukan Rute Dengan Metode *Nearest Neighbor*

**Tabel 4.6** Total Jarak, Waktu, Dan Biaya *Metode* *Sweep*



Dari hasil pengolahan dengan *metode sweep* dan rute awal, maka dapat dilihat adanya penurunan jarak dan biaya yang lebih kecil menggunakan *metode sweep*, pengolahan solusi awal menghasilkan 2004,87 km dan biaya Rp. 25.528.611 sedangkan menggunakan dengan *metode sweep* dihasilkan 1673,58 dan biaya Rp. 21.310.194 makan terjadi penurunan jarak tempuh sebesar 331,29 atau presentase 0,17 % dan penurunan biaya pengiriman sebesar Rp. 4.218.417 atau 4,22 %

Analisa penyelesaian permasalahan menggunakan data jarak dan waktu pelayanan yang didapatkan dari hasil survey pada saat pengangkutan sampah dan juga dengan menggunakan bantuan *software google* maps dan *geogebra* *clasic* yang dilakukan di wilayah Jakarta, Bandung, Tangerang, Bekasi dan Subang dengan memperhitungkan *factor* kompaksi. Terdapat 4-unit kendaraan berkapasitas 10.000 kg yang beropesarasi setiap harinya. Berdasarkan hasil dari pengolaha data dengan menggunakan meode *Saving Matrix* dan *Nearest Neighbor* terdapat 15 *rute* (*cluster*) yang dihasilkan pada permasalahan pengiriman barang di wilayah Bandung, Jakarta, Tangerang, Bekasi dan Subang dimana didalamnya terdapat 38 *customer* yang memiliki jarak tempuh berbeda-beda dan sesuai dengan kapasitas kendaran yang digunakan yaitu 10.000 kg.

**Tabel 4.7** Rekapitulasi Rute Baru

Untuk mengetahui seberapa besar penghematan yang dapat dilakukan dalam penentuan rute pengangkutan barang dengan menggunakan *metode algorithma sweep* perlu dilakukan suatu perbandingan antara hasil dari *metode algorithma sweep* dengan kondisi saat ini. Perbandingan ini dilakukan berdasarkan jarak tempuh yang dilewati oleh kendaraan dan waktu pelayanan yang terdiri dari waktu tempuh dan waktu *loading* dari setiap *customer*.

**Tabel 5.1** Perbandingan *Metode Sweep* Dengan Kondisi Saat Ini



Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa rute akhir memberikan penghematan waktu pelayanan sebasar : 90,42 jam – 72,31 jam = 18,11 jam atau presentase penghematan 18,11/90,42 = 0,20 %

Dengan kata lain, perusahaan akan menghemat jarak tempuh sebesar :

2004,87 km – 1673,58 km = 331,29 jam atau presentase penghematan 331,29/2004,87 = 0,17 %. Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa, dengan menggunkan metode *Sweep* dalam penentuan rute pengangkutan barang, PT. XYZ dapat melakukan presentase penghematan waktu pelayanan sebesar 0,20 % dan presentase penghematan jarak tempuh sebesar 0,17 %. Agar dapat mengetahui seberapa besar keuntungan yang didapatkan oleh PT. XYZ dari penghematan yang dilakuakan dengan menggunakan metode *Sweep*, maka dilakukan perbandingan total biaya yang dikeluarkan antara kondisi saat ini dengan hasil dari metode *Sweep.*

Berikut adalah perhitungan biaya yang dihasilkan dengan menggunakan metode *Sweep*

1. Truk I

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost*  = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya Masuk Tol Karawang Timur – Bandung + Masuk Tol Bandung – Karawang Timur

= ((158,28 x 0,33) x 5.150) + Rp 90.000 + Rp. 90.000

 = Rp. 448.996,86

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 448.996,68

 = Rp. 1.104.158,68

1. Truk II

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Klapanunggal + Tol Klapanunggal – Karawang Timur

= ((54,20 x 0,33) x 5.150) + Rp. 18.000 + 18.000

 = Rp. 128.112,9

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 128.112,9

 = Rp. 783.274,9

1. Truk III

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Sadang + Masuk Tol Sadang – Karawang Timur

= ((54,82 x 0,33) x 5.150) + Rp. 90.000 + Rp. 90.000

 = Rp. 273.166,9

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 273.166,9

 = Rp. 928.328,9

1. Truk IV

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Bogor + Masuk Tol Bogor – Karawang Timur

= (( 10,43 x 0,33) x 5.150) + Rp. 105.000 + 105.000

 = Rp. 127.725,785

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 127.725,78

 = Rp. 782.887,78

1. Truk V

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Jl. Soekarno Hatta, Bandung + Masuk Tol Jl. Soekarno Hattta Bandung – Karawang Timur

= ((126,57 x 0,33) x 5.150) + Rp. 90.000 + Rp. 90.000

 = Rp. 395.105,715

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 395.105,72

 = Rp. 1.05.0867,72

1. Truk VI

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Jl. Lapangan + Masuk Tol Jl. Lapangan – Karawang Timur

= ((214,21 x 0,33) x 5.150) + Rp. 45.000 + 45.000

 = Rp. 454.032,9

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 454.032,9

 = Rp. 1.109.194,9

1. Truk VII

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Jl. Raya Gn Sindur + Masuk Tol Jl. Gn Sindur – Karawang Timur

= ((136,57 x 0,33) x 5.150) + Rp. 87.500 + 87.500

 = Rp. 407.406,625

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 407.406,63

 = Rp. 1.062.568,63

1. Truk VIII

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Jl. Raya Mustika + Masuk Jl. Raya Mustika – Karawang Timur

= ((4,09 x 0,33) x 5.150) + Rp. 18.000 + Rp. 18.000

 = Rp. 42.950,955

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 42.950,96

 = Rp. 698.112,96

1. Truk IX

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Jl. Kebon Jati + Masuk Tol Kebon Jati – Karawang Timur

= ((98,04 x 0,33) x 5.150) + Rp. 27.500 + 27.500

 = Rp. 221.618,98

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 221.618,98

 = Rp. 876.780,98

1. Truk X

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Tangerang + Masuk Tol Tangerang – Karawang Timur

= ((90,14 x 0,33) x 5.150) + Rp. 87.500 + 87.500

 = Rp. 328.192,93

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 328.192,93

 = Rp. 983.354,93

1. Truk XI

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Tangerang + Tangerang – Karawang Timur

= ((113,63 x 0,33) x 5.150) + Rp. 42.500 + 42.500

 = Rp. 278.114,185

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 278.114,19

 = Rp. 933.276,19

1. Truk XII

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Bandung + Masuk Tol Bandung + Karawang Timur

= ((132,05 x 0,33) x 5.150) + Rp. 88.000 + Rp. 88.000

 = Rp. 400.418,975

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 400.418,98

 = Rp. 1.055.580,98

1. Truk XIII

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Jl. Imam Bonjol + Masuk Jl. Imam Bonjol – Karawang Timur

= ((185,04 x 0,33) x 5.150) + Rp. 33.000 + 33.000

 = Rp. 380.475,48

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 380.475,48

 = Rp. 1.035.637,48

1. Truk XIV

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Jl. Timor Rorotan + Masuk Tol Jl. Timor Rorotan – Karawang Timur

= ((128,07 x 0,33) x 5.150) + Rp. 41.500 + 41.500

 = Rp. 300.654,965

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 300.654,97

 = Rp. 955.816,97

1. Truk XV

*Fixed Cost* = Biaya Pengemudi + Biaya Kru

 = Rp 131.032,4 + (Rp.131.032,4x4)

 = Rp. 655.162

*Variable Cost* = ((Jarak Tempuh x Indeks Kendaraan) x Harga Solar) + Biaya

Masuk Tol Karawang Timur – Jl. Tamim Bandung + Masuk Tol Tamim Bandung – Karawang Timur

= ((110,56 x 0,33) x 5.150) + Rp. 90.500 + 90.500

 = Rp. 368.896,72

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 655.162 + Rp. 368.896,72

 = Rp. 1.024.058,72

Dari hasil perhitungan diatas, maka metode *Sweep* mengeluarkan biaya berdasakan waktu yang dibutuhkan untuk melayanai seluruh *customer*, adalah sebagai berikut :

*Fixed Cost* = Biaya pengemudi + Biaya Kru / 4 truk

= Rp. 1.965.486 + Rp. 7.861.944

= Rp. 15.723.888

*Variable Cost* = Biaya bahan bakar 4 truk + biaya masuk tol

= Rp. 4.200.275,72

Total = Rp. 19.924.163,72

Adapun biaya yang dikeluarkan oleh PT. XYZ untuk kondisi saat ini berdasarkan waktu yang dibutuhkan dalam melayani seluruh customer yaitu 5 hari, adalah sebagai berikut

*Fixed Cost* = (Biaya pengemudi x 6 truk x 5 hari) + ( Biaya Kru x 4 orang x 6 truk x 5 hari)

= (Rp 131.032,4 x 6 truk x 5 hari) + (Rp. 131.032,4 x 4 orang x 6 truk x 5 hari)

= Rp. 3.930.972 + Rp. 15.723.888 = Rp. 19.654.860

*Variable Cost* = (Biaya bahan bakar/sekali operasi x 6 truk x 5 hari) + Biaya Masuk Tol

= (Rp. 12.733,3 x 30 truk) + Rp. 1.908.000

Total = *Fixed Cost* + *Variable Cost*

= Rp. 19.654.860 + Rp. 57.240.000

= Rp. 76.894.860

Dari biaya perhitungan diatas, agar dapat mengetahui seberapa besar keuntungan yang didapatkan oleh PT. XYZ makan dilakukan perbandingan biaya yang dikeluarkan dari hasil menggunakan *Metode Sweep* dengan kondisi saat ini. Hasil perbandingan tersebut dapat di lihat pada tabel 5.9 berikut ini :

**Tabel 5.2** Perbandingan Biaya Hasil *Metode Sweep* Dengan Kondisi Saat Ini

Dari hasil perbandingan diatas dapat dilihat bahwa, biaya yang dikeluarkan oleh hasil *Metode Sweep* menghasilkan penghematan sebesar 74 % dibandingkan dengan kondisi saat ini. Dengan begitu keuntungan yang didapatkan oleh PT. XYZ dengan menggunakan *Metode Sweep* sebesar Rp. 56.970.696. Penghematan ini terjadi karena jarak tempuh yang lebih pendek, sehingga konsumsi bahan bakar menjadi berkurang. Setelah itu, lama waktu yang dibutuhkan untuk melayani seluruh *customer* yang tersedia lebih sedikit dikarenakan pelayanan beberapa *customer* dilakukan dalam satu rute.

**Kesimpulan**

Berdasarkan pengolahan data dan analisis hasil yang dilakukan, dengan ketentuan perusahaan memiliki empat klaster, maka dapat disimpulkan bahwa rute terpendek yang dihasilkan dengan mempertimbangkan *Time Windows* adalah pengklasteran menggunakan *Algoritma Sweep* dengan metode pengurutan rute *Nearest Neighbour*. Penggunaan *Metode Sweep* dapat memberikan pengurangan waktu pelayanan, jarak tempuh, dan biaya yang keluarkan berdasarkan waktu yang dibutuhkan untuk melayani seluruh *customer* rute yang dihasilkan dengan menggunakan *Metode Sweep*, dari 38 *customer* tersedia dapat membentuk 15 *Sub Cluster*, yang kemudian dikelompokkan kembali menjadi hanya 4 *Cluster*. Sedangkan presentase penghematan waktu pelayanan sebesar 0,20 % dan presentase penghematan jarak tempuh sebesar 0,17 %. Pengurangan waktu pelayanan dan jarak tempuh yang dilakukan *Metode Sweep*, menghasilkan penghematan biaya yang dikelurkan oleh PT. XYZ sebesar 74 %. Dengan begitu, keuntungan yang didapatkan oleh PT. XYZ dengan menggunakan *Metode Sweep* sebesar Rp. 56.970.696

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Andriansyah. 2015 Manajemen Transpotasi Dalam Kajian Dan Teori. Edisi pertama Jakarta
2. Ballou, Ronald H., 1992, *Business Logistics Management*, 4th ed., Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
3. Braysy, Olli dan Michel Gendreau, 2001, “Tabu Search Heuristics for Vehicle Routing Problem with Time Windows”, *Journal of SINTEF*, hal. 5
4. Bowersox, Donald J. 1996. *Manajemen Logistik*. Jakarta : Bumi Aksara.
5. Cahyaningsih, W. K., Sari, E. R., & Hernawati, K. (2015). Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem (Cvrp) Menggunakan Algoritma Sweep Untuk Optimasi Rute Distribusi Surat Kabar Kedaulatan Rakyat. In *Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika UNY* (pp. 1-8).
6. Daneshzand, F. (2011). The vehicle-routing problem. *Logistics Operations and Management*, *8*, 127-153.
7. Djunaidi, A. V., & Juwono, C. P. (2018). Football game algorithm implementation on the capacitated vehicle routing problems. *Int J Comput Algoritm*, *7*(1), 45-53.
8. Euchi, J., & Sadok, A. (2021). Hybrid genetic-sweep algorithm to solve the vehicle routing problem with drones. *Physical Communication*, *44*, 101236.
9. Gunawan, Indra Maryati, dan Henry Kurniawan W, “Optimasi Penentuan Rute Kendaraan Pada Sistem Distribusi Barang dengan Ant Colony Optimization,” *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan*, Surabaya : Sekolah Tinggi Teknik Surabaya, 2012.
10. Ginting, Rosani, 2007, Sistem Produksi, Graha Ilmu, Yogyakarta.
11. Garside, A. K. (2017). *Manajemen Logistik*. UMMPress.
12. Hanafi, R., Rusman, M., Mardin, F., Parenreng, S. M., & Azzazli, A. (2020, June). Distribution Route Optimization of a Capacitated Vehicle Routing Problem by Sweep Algorithm. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 875, No. 1, p. 012066). IOP Publishing.
13. Hertrich, C., Hungerländer, P., & Truden, C. (2019). Sweep Algorithms for the Capacitated Vehicle Routing Problem with Structured Time Windows. In *Operations Research Proceedings 2018* (pp. 127-133). Springer, Cham.
14. Kurnia, G., Kurniawan, A. C., Nawadir, M., Yasmin, M. S., & Hibatullah, M. (2020). Route Optimization of Oil Country Tubular Goods Distribution Using Sweep and Savings Algorithm. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, (5), 28-33.
15. Kusrini., Luthfi, Emha Taufik. 2009. Algoritma Data Mining. Yogyakarta: Penerbit Andi.
16. Martono, R. (2015). Manajemen Logistik Terintegrasi, Cetakan I. *Jakarta: Penerbit PPM Manajemen*.
17. Morlok, E. K. 1978. Introduction to Transportation Engineering and Planning. Mc. Graw-Hill Kogakuha.
18. Miro, F. (2005). Perencanaan Transportasi untuk Mahasiswa, Perencana dan Praktisi.
19. Nasution, 2015, Manajemen Transportasi, Ed. 4, Ghalia Indonesia, Bogor
20. Nugroho, Y. A., & Yatmoko, R. A. (2021). Penerapan Algoritma Sweep Dalam Perencanaan Pendistribusian Produk Roti di Wilayah Kota Yogyakarta. *Jurnal Rekayasa Industri (JRI)*, *3*(1), 1-11.
21. Pujawan dan Mahendra, 2010, Manajemen Transportasi dan Distribusi Ed. 2, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
22. Prana, R. (2007). Aplikasi kombinatorial pada vehicle routing problem. *Jurnal Teknik Informatika ITB*.
23. Pop, P. C., Zelina, I., Lupşe, V., Sitar, C. P., & Chira, C. (2011). Heuristic algorithms for solving the generalized vehicle routing problem. *International Journal of Computers Communications & Control*, *6*(1), 158-165.
24. Pramudyo, C. S., & Ramadhani, S. D. R. (2020). Optimasi Rute Distribusi Beras Bantuan Pangan Non Tunai di Perum Bulog Gudang Bantul. IENACO (Industrial Engineering National Conference) 8 2020.
25. Rozalina, A., Uslianti, S., & Anggela, P. OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI DENGAN PENYELESAIAN VEHICLE ROUTING PROBLEM MENGGUNAKAN ALGORITMA SWEEP PADA PD. XYZ DI PONTIANAK. *Jurnal TIN Universitas Tanjungpura*, *4*(1).
26. Siarry, P. (2016). Simulated Annealing. In *Metaheuristics* (pp. 19-50). Springer, Cham.
27. Salim ,H .Abbas.Manajemen Transportasi.(Jakarta : PT. RajaGrafindo Persada ,2000). P .1
28. Saraswati, R., Sutopo, W., & Hisjam, M. (2017). Penyelesaian Capacitated Vechile Routing Problem Dengan Menggunakan Algoritma Sweep Untuk Penentuan Rute Distribusi Koran: Studi Kasus. *Jurnal Manajemen Pemasaran*, *11*(2), 41-44.
29. TAPTAJANI, D. S. D. (2020). *ANALISIS OPTIMASI KEBIJAKAN PENENTUAN RUTE PENGANGKUTAN SAMPAH DI KOTA GARUT* (Doctoral dissertation, PERPUSTAKAAN PASCASARJANA).
30. Toth, Paolo dan Daniel Vigo, 2001, *The Vehicle Routing Problem*, Philadelphia : Society for Industrial and Applied Mathematics
31. Widiarsana, I. G. (2011). Metode Klasifikasi K-Nearest Neighbor (KNN). *Fakultas Teknik, Universitas Udayana*