

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Distribusi**

Distribusi adalah suatu kegiatan pemindahan barang dari tahap produsen kepada tahap konsumen didalam bagian *supply chain*. Distribusi terjadi pada setiap pasangan tahapan didalam *supply chain*. Bahan material dan komponen dipindahkan dari pemasok ke pabrik, sedangkan barang atau produk yang sudah jadi ditransportasikan dari produsen ke konsumen akhir (Zamah, 2019).

Menurut Padmantlyo dan Saputra (2017) Distribusi yang optimal akan menjadi kunci dari keberhasilan perusahaan dalam menjalankan bisnisnya, oleh karena itu perusahaan harus merancang sebaik mungkin tentang kegiatan distribusi yang ada bahkan sumber daya yang terlibat di dalam kegiatan distribusi tersebut pun harus memiliki ketelitian dan keterampilan dalam mendistribusikan barang hingga bisa sampai ke tangan konsumen atau pengguna akhir.

#### **2.2 Strategi Distribusi**

Menurut Pujawan dan Mahendrawati (2017), Secara umum ada tiga strategi distribusi produk dari pabrik ke pelanggan yaitu sebagai berikut:

1. Pengiriman langsung (*Direct shipment*)

Pengiriman suatu barang ini dilakukan secara langsung tanpa melalui perantara. Strategi ini biasa dipakai untuk barang yang umurnya pendek dan barang yang mudah rusak pada saat muat bongkar barang. Pengiriman ini juga mengalihfungsikan gudang sehingga menghemat biaya fasilitas yang ada di perusahaan. Kekurangan dari strategi

seperti ini adalah kurang kepastian permintaan sehingga sering terjadi ketidaksesuaian dalam produksi barang sehingga memberikan dampak terjadinya kelebihan stok (*overstocking*) produk jadi.



Gambar 2.1 Pengiriman langsung

Sumber: Pujawan dan Mahendrawati (2017)

## 2. Pengiriman melalui gudang (*warehouse*)

Dalam pengiriman ini produk akan terlebih dahulu dikirim ke gudang. Biasanya produk tersebut memiliki umur panjang dan tahan lama. Di dalam gudang barang sebelum dikirim ke pelanggan, di bongkar, muat dan handling. Fungsi tambahan dari gudang adalah sebagai tempat pengepakan ulang dan sering disebut dengan DC (*distribution center*). Kekurangan dari strategi pengiriman ini antara lain yaitu menambah biaya penyimpanan dan perawatan serta resiko kerusakan barang meningkat.



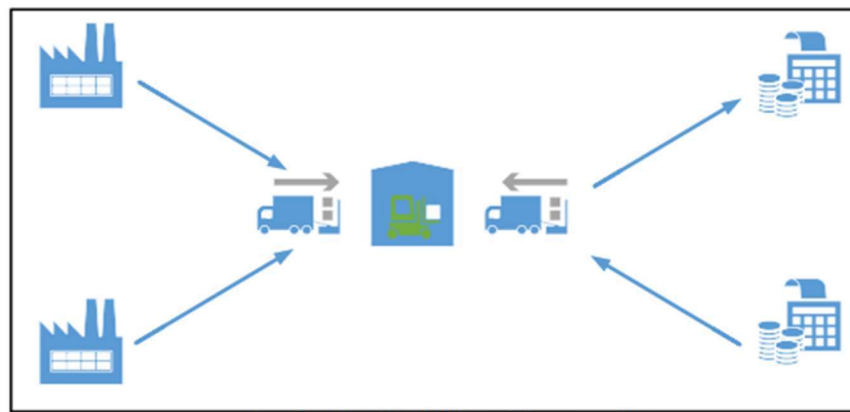
Gambar 2.2 Pengiriman tidak langsung (*warehouse*)

Sumber: Pujawan dan Mahendrawati (2017)

## 3. *Crossdocking*

Produk yang dikirim dalam strategi ini mengalami aliran yang panjang antara kendaraan penjemput, pabrik dan gudang. Penjemput dan pengirim akan bertemu

disaat aliran barang akan dikirim hal ini akan menyebabkan konsolidasi antara pelaku distribusi. sistem ini memiliki keuntungan dalam masalah perawatan gudang serta biaya penyimpanan tidak tinggi dibandingkan pengiriman melalui *warehouse*. Fasilitas penyimpanan akan dirancang tata ruangnya seperti untuk tempat penyimpanan produk dan untuk tempat *cross docking*. Produk yang melewati proses penyimpanan dan *cross docking* ini bisa menggunakan fasilitas *receiving* dan *loading* yang sama.



Gambar 2.3 *Crossdocking*

Sumber: Pujawan dan Mahendrawati (2017)

### 2.3 Saluran Distribusi

Saluran distribusi merupakan serangkaian partisipan organisasional yang melakukan semua fungsi yang dibutuhkan untuk menyampaikan produk/jasa dari penjual ke pembeli akhir. (Tjiptono, 2014)

Menurut Stanton (2012), bahwasanya atas dasar jenis dan segmen produk yang dipasarkan, jenis saluran distribusi dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Saluran distribusi barang konsumsi

Penjualan barang konsumsi ditujukan untuk pasar konsumen, dimana umumnya dijual melalui perantara. Hal ini dimaksudkan untuk menekan biaya pencapaian pasar

yang luas menyebar yang tidak mungkin dicapai produsen satu persatu. Dalam menyalurkan barang konsumsi ada lima jenis saluran yang dapat digunakan.

a. Produsen - Konsumen

Bentuk saluran distribusi yang paling pendek dan yang paling sederhana adalah saluran distribusi dari produsen ke konsumen, tanpa menggunakan perantara. Oleh karena itu saluran ini disebut saluran distribusi langsung.

b. Produsen - Pengecer - Konsumen

Seperti halnya dengan jenis saluran yang pertama (Produsen - Konsumen), saluran ini juga disebut sebagai saluran distribusi langsung. Disini, pengecer besar langsung melakukan pembelian kepada produsen. Adapula beberapa produsen yang mendirikan toko pengecer sehingga dapat secara langsung melayani konsumen.

c. Produsen - Pedagang Besar - Pengecer - Konsumen

Saluran distribusi semacam ini banyak digunakan oleh produsen, dan dinamakan sebagai saluran distribusi tradisional. Disini, produsen hanya melayani penjualan dalam jumlah besar, kepada pedagang besar saja, tidak menjual kepada pengecer. Pembelian oleh pengecer dilayani pedagang besar, dan pembelian oleh konsumen dilayani pengecer saja.

d. Produsen - Agen - Pengecer - Konsumen

Disini, produsen memilih agen sebagai penyalurnya. Ia menjalankan kegiatan perdagangan besar, dalam saluran distribusi yang ada. Sasaran penjualannya terutama ditujukan kepada para pengecer besar.

- e. Produsen - Agen - Pedagang Besar - Pengecer - Konsumen

Dalam saluran distribusi, sering menggunakan agen sebagai perantara untuk menyalurkan barangnya kepedagang besar yang kemudian menjualnya kepada toko-toko kecil.

## 2. Saluran distribusi barang industri

Saluran distribusi barang industri juga mempunyai kesempatan yang sama bagi setiap produsen untuk menggunakan kantor/cabang penjualan. Kantor/cabang ini digunakan untuk mencapai lembaga distribusi berikutnya. Ada empat macam saluran yang dapat digunakan untuk mencapai pemakai industri.

- a. Produsen - Pemakai Industri

Saluran distribusi dari produsen ke pemakai industri ini merupakan saluran yang paling pendek, dan disebut sebagai saluran distribusi langsung. Biasanya saluran distribusi ini dipakai oleh produsen bilamana transaksi penjualan kepada pemakai industri relatif cukup besar.

- b. Produsen - Distributor Industri - Pemakai Industri

Produsen barang-barang jenis perlengkapan operasi dan aksesoris, dapat menggunakan distributor industri untuk mencapai pasarnya. Produsen lain yang dapat menggunakan distributor industri sebagai penyalurnya antara lain: produsen barang bangunan, produsen alat-alat untuk bangunan, dan sebagainya.

- c. Produsen - Agen - Pemakai Industri

Biasanya saluran distribusi semacam ini dipakai oleh produsen yang tidak memiliki departemen pemasaran. Juga perusahaan yang ingin memperkenalkan

barang baru atau ingin memasuki daerah pemasaran baru lebih suka menggunakan agen.

d. Produsen - Agen - Distributor Industri - Pemakai Industri

Saluran distribusi ini dapat digunakan oleh perusahaan dengan pertimbangan bahwa unit penjualannya terlalu kecil untuk dijual secara langsung. Selain itu faktor penyimpanan pada saluran perlu dipertimbangkan pula. Dalam hal ini agen penunjang seperti agen penyimpanan sangat penting peranannya.

3. Saluran distribusi untuk jasa

Untuk jenis saluran distribusi jasa ada dua macam yaitu:

a. Produsen - konsumen

Karena jasa merupakan barang tidak berwujud maka proses produksi dan aktivitas penjualannya membutuhkan kontak langsung antara produsen dan konsumen. Tipe saluran langsung ini banyak dipergunakan oleh jasa-jasa profesional, seperti akuntan, konsultan.

b. Produsen - Agen - konsumen

Penjualan jasa juga sering menggunakan agen sebagai penghubung antara produsen dan konsumen, seperti jasa angkutan, *travel* dan sebagainya.

## 2.4 Fungsi Saluran Distribusi

Swastha (2012) menyatakan bahwa Pada pokoknya fungsi-fungsi pemasaran dilaksanakan yaitu saluran distribusi dapat dikelompokkan menjadi tiga fungsi.

1. Fungsi pertukaran

Pada fungsi pertukaran dibedakan menjadi 3 macam, yaitu pembelian, penjualan, pengembalian resiko.

a. Pembelian

Fungsi pembelian meliputi usaha memilih barang – barang yang dibeli untuk dijual kembali atau untuk digunakan sendiri dengan harga, pelayanan dari penjual dan kualitas tertentu.

b. Penjualan

Fungsi penjualan dilakukan oleh pedagang besar sebagai alat pemasaran bagi produsennya. Fungsi ini sangat penting karena bertujuan menjual barang atau jasa yang diperlukan sebagai sumber pendapatan untuk menutup semua biaya untuk memperoleh laba.

c. Pengambilan resiko

Fungsi pengambilan resiko merupakan fungsi menghindari dan mengurangi resiko terhadap semua masalah dalam pemasaran, sehingga akan melibatkan beberapa fungsi yang lain. Dalam penyaluran barang – barang biasanya pedagang besar memberikan jaminan tertentu baik kepada pengecer maupun produsennya.

2. Fungsi penyediaan fisik

Ada empat macam fungsi yang termasuk dalam penyediaan fisik diantaranya:

a. Pengumpulan

Sebagai alat penyaluran perantara melakukan fungsi pengumpulan barang dari beberapa sumber atau beberapa macam barang dari sumber yang sama.

b. Penyimpanan

Fungsi ini merupakan faedah waktu karena melakukan penyimpanan serta penyesuaian antara penawaran dengan permintaannya.

c. Pemilihan

Fungsi ini dilakukan oleh penyalur dengan cara mengkategorikan, memeriksa, dan menentukan jenis barang yang disalurkan.

d. Pengangkutan

Fungsi ini, merupakan fungsi pemindahan barang dari tempat barang dihasilkan ke tempat barang di konsumsi.

3. Fungsi penunjang

Fungsi ini terbagi menjadi empat macam, yaitu pelayanan sesudah pembelian, pembelian, penyebaran informasi, dan koordinasi saluran.

a. Pelayanan sesudah pembelian

Memberikan jaminan terhadap kenyamanan penggunaan barang tersebut setelah dibeli oleh konsumen.

b. Pembelian

Kedua belah pihak baik konsumen maupun produsen memerlukan sumber pembelian yang bisa di dapat dari penjual, penyedia dengan cara membayar kredit.

c. Penyebaran informasi

Berbagai macam informasi diperlukan dalam penyaluran barang karena dapat membantu untuk menentukan sumbernya.

d. Koordinasi saluran

Fungsi ini sangat berkaitan dengan fungsi penyebaran informasi dan apabila terjadi komunikasi yang baik antar elemen maka akan sangat memudahkan di dalam pelaksanaan penyaluran.



## 2.5 Manajemen Distribusi

Manajemen distribusi mengacu pada proses pengawasan pergerakan barang dari pemasok atau produsen ke titik penjualan. Manajemen distribusi merupakan istilah menyeluruh yang mengacu pada berbagai aktivitas dan proses seperti pengemasan, *inventory*, pergudangan, rantai pasokan, dan logistik. Manajemen distribusi merupakan bagian penting dari siklus bisnis untuk distributor dan grosir. Manajemen distribusi sangat penting bagi kemampuan perusahaan untuk berhasil menarik pelanggan dan beroperasi secara menguntungkan (Hayes, 2020)

Fungsi dasar manajemen distribusi menurut Pujawan dan Mahendrawati (2017) adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pembagian atau pengelompokan dan memastikan sasaran *service level* perusahaan tercapai.
2. Menentukan alat transportasi yang akan dipakai.
3. Melakukan pengukuhan informasi dan pengiriman.
4. Melakukan penjadwalan dan menentukan rute pengiriman.
5. Memberikan pelayanan nilai tambah. Beberapa nilai tambah yang bisa dilakukan oleh distributor ialah pengepakan, pelabelan harga, pemberian *barcode*, dan lainnya
6. Menyimpan persediaan. Hubungan distribusi pasti melibatkan proses penyimpanan produk.
7. Menangani pengembalian (*return*). Manajemen distribusi juga mempunyai tanggungjawab untuk melakukan kegiatan pengembalian barang atau produk dari hilir ke hulu.

## **2.6 Penentuan Rute dan Jadwal Distribusi**

Salah satu keputusan terpenting dalam manajemen distribusi adalah penentuan jadwal serta rute pengiriman dari satu lokasi ke lokasi beberapa lokasi tujuan. Keputusan seperti ini sangat penting bagi mereka yang mengirimkan barangnya dari satu lokasi (misalnya gudang regional) ke berbagai toko yang tersebar di sebuah kota. Keputusan jadwal pengiriman serta rute yang akan ditempuh oleh setiap tipe kendaraan akan sangat berpengaruh terhadap biaya-biaya pengiriman. Namun demikian, biaya bukanlah satu-satunya faktor yang perlu dipertimbangkan dalam proses pengiriman. Disamping itu, jadwal dan rute sering kali juga harus mempertimbangkan kendala lain seperti kapasitas kendaraan atau armada pengangkutan.

Secara umum permasalahan penjadwalan dan penentuan rute pengiriman bisa memiliki beberapa tujuan yang ingin dicapai seperti tujuan untuk meminimumkan biaya pengiriman, meminimumkan waktu atau meminimumkan jarak tempuh. Dalam bahasa program matematis, salah satu dari tujuan tersebut bisa menjadi fungsi tujuan (*objective function*) dan yang lainnya menjadi kendala (*constraint*). Dalam permasalahan yang disebutkan diatas, salah satu area utama yang mendapat banyak perhatian selama bertahun-tahun yang berkaitan dengan *Operation Research* yaitu *Vehicle Routing Problem* (VRP) (Ibrahim dkk., 2019).

### **2.6.1 Vehicle Routing Problem**

Menurut Wibisono (2018) *Vehicle Routing Problem* yang selanjutnya disebut VRP merupakan masalah penentuan rute distribusi bagi suatu sumber daya tertentu terhadap titik-titik layanan tertentu, dimana sumber daya tersebut berawal dari suatu

depot kemudian melakukan kunjungan sebanyak satu kali menuju titik layanan dengan memperhatikan kendala dan batasan operasional yang ada. VRP bertujuan untuk menentukan serangkaian rute distribusi yang optimal untuk kendaraan dalam mengunjungi sejumlah lokasi pelanggan di mana setiap rute berasal dan berakhir di depot yang sama (Hanafi dkk., 2020). Permasalahan ini pertama kali diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramser dalam tulisannya yaitu *the truck dispatching problem* yang membahas masalah optimasi rute kapal tanker minyak antara Atlanta dengan stasiun gas bawahannya (Zhang dkk., 2022).

Berdasarkan Toth dan Vigo (2002), secara umum tujuan yang dipertimbangkan pada permasalahan perutean kendaraan yaitu:

1. Meminimalkan biaya transportasi secara global (yang bergantung pada jarak dan waktu tempuh) serta biaya tetap transportasi.
2. Meminimalkan jumlah kendaraan dan tenaga kerja supir dalam melayani pelanggan.
3. Keseimbangan rute, untuk waktu tempuh dan muatan kendaraan.
4. Meminimalkan penalti yang berkaitan dengan pelayanan pelanggan.

Menurut Zhang dkk (2022) faktor yang secara umum berkaitan dengan VRP antara lain yaitu:

1. Jalan: biasanya digambarkan dalam bentuk jaringan yang merepresentasikan rute mulai dari depot melewati titik pelanggan dan akhirnya kembali ke depot.
2. Titik pelanggan: merupakan titik lokasi obyek yang dilayani.
3. Depot: titik awal ataupun akhir bagi kendaraan dalam aktivitas distribusi.
4. Kendaraan: menjalankan aktivitas distribusi dari depot ke titik pelanggan.

5. Persyaratan operasional: penentuan rute kendaraan seringkali bergantung pada karakteristik barang yang dikirim, pelanggan, kendaraan dan kualitas serevis.

### 2.6.2 Formulasi Model Matematika VRP

Mengacu pada Aziz (2019), fungsi tujuan bentuk VRP dasar dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{j \neq i, k=1}^K c_{ij} x_{ijk} \dots\dots\dots (2.1)$$

Persamaan 2.1 yaitu untuk meminimalkan total jarak tempuh keseluruhan kendaraan.

Dengan fungsi kendala yaitu sebagai berikut:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq K, \forall i = 0 \dots\dots\dots (2.2)$$

Persamaan 2.2 untuk memastikan jumlah perjalanan tidak melebihi jumlah kendaraan tersedia.

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} = 1, \forall i = 0 \text{ and } k \in \{1, \dots, K\} \dots\dots\dots (2.3)$$

Persamaan 2.3 untuk memastikan ada tepat satu busur (*vertex*) yang keluar dari depot untuk tiap kendaraan tersedia.

$$\sum_{j=1}^n x_{jik} = 1, \forall i = 0 \text{ and } k \in \{1, \dots, K\} \dots\dots\dots (2.4)$$

Persamaan 2.4 pula memastikan bahwa ada tepat satu busur (*vertex*) yang masuk ke simpul (*nodes*) sehubungan dengan depot ( $i=0$ ) untuk setiap kendaraan.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0, j \neq 1}^n x_{ijk} = 1, \forall i \in \{1, \dots, n\} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0, i \neq 1}^n x_{ijk} = 1, \forall j \in \{1, \dots, n\} \dots\dots\dots (2.6)$$

Persamaan 2.5 dan 2.6 untuk memastikan tiap kendaraan untuk melakukan kunjungan ke tiap simpul sebanyak satu kali.

$$\sum_{i=1}^K m_i \sum_{j=0, j \neq 1}^n x_{ijk} \leq q_k, \forall k \in \{1, \dots, K\} \dots\dots\dots (2.7)$$

Persamaan 2.7 untuk memastikan muatan yang diangkut oleh kendaraan tertentu tidak melebihi kapasitas kendaraan tersebut

Keterangan:

$x_{ijk} \in \{0,1\}$ , 1 jika kendaraan  $k$  dari  $i$  menuju ke  $j$

$i \neq j; i, j \in \{0,1,2, \dots, n\}$

$K$  = jumlah kendaraan

$n$  = jumlah pelanggan

$c_{ij}$  = biaya yang diperlukan dari  $i$  ke  $j$

$q_i$  = permintaan pada depot  $i$

$g_k$  = kapasitas kendaraan  $k$

### 2.6.3 Klasifikasi *Vehicle Routing Problem*

Berdasarkan bentuk VRP dasar, secara umum VRP telah menghasilkan perluasan dan variasi dalam praktiknya. Antara lain yaitu:

1. *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*, didasarkan pada VRP dasar dengan penambahan kendala kapasitas kendaraan. Terdapat 2 (dua) jenis CVRP yaitu *homogeneous/uniform fleet* dan *heterogeneous/mixed fleet*.
2. *Vehicle Routing Problem with Time Window (VRPTW)*, yaitu masalah penentuan rute dengan batasan rentang waktu awal dan akhir layanan ditetapkan dan kendaraan harus melayani pelanggan pada rentang waktu tersebut.
3. *Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)*, didasarkan pada kendala tidak dapat dilakukan pendistribusian dalam satu kendaraan dan satu layanan. Maka dilakukan pembagian dalam membawa permintaan dari depot ke titik pelanggan sehingga pendistribusian dapat dilakukan dengan satu atau lebih kendaraan.
4. *Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP)*, dalam aktivitas logistik aktual dimungkinkan adanya faktor-faktor dinamis, seperti permintaan pelanggan, kondisi lalu lintas, cuaca, sumber daya, dll. Dengan ini perlu dilakukan perutean distribusi secara dinamis dengan melihat informasi yang terus diperbarui secara *real time*.
5. *Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand (VRPSD)*, dengan adanya serangkaian pelanggan dengan sejumlah permintaan acak serta kendala tertentu, maka perlu dilakukan perencanaan perutean distribusi untuk kendaraan dapat memenuhi permintaan pelanggan dengan tertib.

6. *Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery Pickup (VRPSDP)*, didasarkan dengan adanya permasalahan kebutuhan barang oleh pelanggan yang dikirim dari depot menuju lokasi pelanggan serta adanya pengambilan barang yang dilakukan di lokasi pelanggan menuju ke depot. Karena itu perlu dilakukan perencanaan rute distribusi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.
7. *Open Vehicle Routing Problem (OVRP)*, yaitu permasalahan perutean kendaraan dimana tidak memerlukan kendaraan tersebut harus kembali ke depot setelah menyelesaikan layanan distribusi.
8. *Green Vehicle Routing Problem (GVRP)*, didasarkan pada tujuan penghematan penggunaan energi dan pengurangan emisi, maka perlu tata letak dan perencanaan perutean yang dapat mewujudkan aktivitas transportasi hijau/bersih.
9. *Multi Trip Vehicle Routing Problem (MTVRP)*, yaitu permasalahan perutean kendaraan dimana suatu kendaraan dapat melayani lebih dari satu rute dalam satu periode perencanaan distribusi (Zhang dkk., 2022).

#### **2.6.4 Green Vehicle Routing Problem (GVRP)**

Green Vehicle Routing Problem (GVRP) termasuk dalam domain green logistics, yang mengacu pada masalah rute kendaraan dimana pengurangan emisi CO<sub>2</sub> menjadi pertimbangan. Secara umum aliran penelitian GVRP dapat dibagi menjadi dua bidang, satu mempertimbangkan untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar dan yang lainnya mempertimbangkan penggunaan kendaraan bahan bakar alternatif dan stasiun bahan bakar alternatif (Normasari et al., 2019).

GVRP memasukkan aspek lingkungan ke dalam VRP, yang merupakan salah satu masalah paling menarik di bidang logistik dan transportasi. Tujuan dari masalah ini adalah untuk mendapatkan keuntungan ekonomi, dengan tetap mempertimbangkan masalah lingkungan. Keterbatasan utama dari algoritma yang diusulkan dalam penyelesaian GVRP adalah satu metode heuristik dan metaheuristik tertentu tidak menjamin dapat menyelesaikan variasi permasalahan GVRP lainnya. Metodologi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan GVRP yaitu *Exact method*, *Heuristic method*, *Metaheuristic method* dan *Hybrid metaheuristic method* (Sabet & Farooq, 2022).

## **2.7 Emisi Gas Rumah Kaca CO<sub>2</sub>**

Menurut Ismail (2020), emisi Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan polutan yang menjadi salah satu faktor kerusakan lingkungan karena peningkatan suhu bumi atau pemanasan global. Apabila gas tersebut semakin meningkat di atmosfer dan berlangsung secara terus menerus, maka akan berakibat pada pemanasan bumi atau biasa disebut *global warming*. Gas yang berperan secara signifikan adalah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang memicu terjadinya *global warming* dengan penyumbang sekitar 9 – 26% jumlah keseluruhan yang bersirkulasi kurang lebih sekitar 75 tahun karena gas tersebut merupakan salah satu gas yang mempunyai ketahanan paling lama berada dalam atmosfer (Rahmawati dkk., 2012). *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) menjelaskan terdapat 6 (enam) jenis gas yang digolongkan sebagai gas rumah kaca, yaitu karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), metana (CH<sub>4</sub>), sulfur heksaflorida (SF<sub>6</sub>), perflorokarbon (PFC) dan hidroflorokarbon (HFC).



Kendaraan bermotor merupakan faktor penyumbang polusi udara yang berperan tinggi. Salah satu polutan yang dihasilkan kendaraan bermotor adalah CO<sub>2</sub>, sehingga peningkatan kendaraan bermotor akan mendorong banyaknya potensi emisi CO<sub>2</sub> dan mencemari udara (Sudarti dkk., 2022). Pada tahun 2019 sektor transportasi menjadi penyumbang emisi terbesar kedua di Indonesia yaitu sebesar 157.326 Gg CO<sub>2</sub>e atau setara 24,46% dari keseluruhan emisi gas rumah kaca 638.452 Gg CO<sub>2</sub>e (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020).

## 2.8 Penghitungan Emisi CO<sub>2</sub>

Berdasarkan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2020), Secara umum, persamaan untuk menghitung emisi GRK yaitu:

$$Emisi CO_2 = Data aktivitas \times Faktor emisi \dots\dots\dots (2.8)$$

Data aktivitas yang dimaksud pada penghitungan diatas mencakup konsumsi bahan bakar yang secara sengaja digunakan dalam keperluan energi serta spesifikasi bahan bakar yang digunakan.

$$DA_{BBM} = F_{BBM} \times \rho \times NCV \times 10^{-6} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

$DA_{BBM}$  = Data aktivitas (TJ)

$F_{BBM}$  = Konsumsi bahan bakar (Kiloliter)

$\rho$  = Berat jenis bahan bakar (Kg/m<sup>3</sup>)

$NCV$  = Nilai kalor bersih bahan bakar (TJ/Gg)

Berat jenis bahan bakar nasional ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Berat jenis bahan bakar nasional

Jenis Bahan Bakar	Densitas (Kg/m <sup>3</sup> )
Minyak solar (HSD, ADO)	837,5
Minyak diesel (IDO)	910,0
Minyak bakar (MFO, HFO)	991,0

Sumber: Hasil Studi Puslitbang Teknologi Migas (Lemigas) KESDM tentang

Faktor Emisi BBM dan BBG (2011)

Nilai kalor bersih bahan bakar nasional ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.2 Nilai kalor bersih bahan bakar nasional

Jenis Bahan Bakar	NCV (TJ/Gg)
Minyak Solar (HSD, ADO)	42,66
Minyak Diesel (IDO)	42,12
Minyak Bakar (MFO, HFO)	41,31
Gas Alam	45,2
LNG	47,1

Sumber: Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian

ESDM & Energi (2018)

### 2.8.1 Tingkat Ketelitian Penghitungan Emisi CO<sub>2</sub> (*Tier*)

Dalam IPCC (2006) dijelaskan bahwa Sistem *Tier* menggambarkan tingkatan dan kompleksitas metode penghitungan emisi GRK. Dalam setiap tingkatan Tier terdapat perbedaan kualitas, keakuratan, dan ketidakpastian data. Semakin tinggi Tier yang digunakan, semakin akurat hasil penghitungan emisi GRK, tetapi memerlukan data yang lebih detail.

1. Tier 1, Estimasi berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi default IPCC.
2. Tier 2, Estimasi berdasarkan data aktivitas yang lebih akurat dan faktor emisi default IPCC atau faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (*country specific/plant specific*).

3. Tier 3, Estimasi berdasarkan metode spesifik suatu negara dengan data aktivitas yang lebih akurat (pengukuran langsung) dan faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (*country specific/plant specific*). (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020).

### 2.8.2 Faktor Emisi Bahan bakar

Dalam Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM & Energi (2018) dijelaskan bahwa faktor emisi merupakan besaran emisi gas rumah kaca yang dilepaskan ke atmosfer per satuan aktivitas tertentu.

Adapun data faktor emisi dapat merujuk pada *default* IPCC (2006) maupun faktor emisi spesifik/nasional sesuai dengan tingkat ketelitian (*tier*) yang ingin dicapai. Faktor emisi gas CO<sub>2</sub> untuk setiap jenis bahan bakar yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.3 Faktor emisi bahan bakar

Jenis Bahan Bakar	Tier 1 (kg CO <sub>2</sub> /TJ)	Tier 2/Nasional (kg CO <sub>2</sub> /TJ)
Bensin RON 92	69300	72600
Bensin RON 88	69300	72967
Avtur	71500	73333
Minyak Tanah	71900	73700
<i>Automotive Diesel Oil</i> (ADO)	74100	74433
<i>Industrial Diesel Oil</i> (IDO)	74100	74067
<i>Residual Fuel Oil</i> (RFO)	77400	75167
Batubara	96100	99718
Gas Alam	56100	57600

Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2020)

## 2.9 Algoritma Sweep

Saraswati dkk., (2017) mengemukakan bahwa algoritma sweep menggunakan metode dua fase yang terdiri dari fase pertama berupa pengelompokan (*clustering*) pelanggan berdasarkan wilayahnya dan fase dua berupa pembentukan rute untuk tiap

kelompok/cluster. Algoritma *sweep* mampu menyelesaikan kasus VRP dengan ukuran data yang besar dengan proses penyelesaian yang sederhana (Kurnia dkk., 2020).

1. Tahap pengelompokan (*clustering*):

- a. Menetapkan lokasi depot menjadi pusat koordinat kartesius, kemudian menentukan tiap lokasi pelanggan dalam koordinat kartesius.
- b. Menetapkan seluruh koordinat polar berdasarkan koordinat kartesius tiap pelanggan dengan depot.

$$r = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\theta = \text{arc tan} \frac{y}{x} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

- c. Membentuk kelompok/cluster di mulai dari pelanggan dengan sudut polar terkecil hingga terbesar dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan yang tersedia

2. Tahap pembentukan rute:

Tahap pembentukan rute distribusi, dari tiap cluster akan diselesaikan dengan metode *Nearest Neighbour* sehingga didapatkan diperoleh rute perjalanan dari tiap cluster. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Inisiasi
  - Menentukan depot perusahaan sebagai titik awal perjalanan.
  - Menentukan himpunan titik C yang akan dikunjungi.
  - Menentukan urutan rute distribusi sementara.
- b. Pemilihan titik kunjungan selanjutnya

Jika  $n_1$  adalah titik di urutan terakhir dari rute R maka titik berikutnya yang memiliki jarak paling minimum dengan  $n_1$ , dimana  $n_2$  ialah anggota dari C.

c. Menambahkan titik terpilih untuk urutan rute selanjutnya

Menambahkan titik  $n_1$  pada urutan akhir rute sementara dan mengeluarkan titik yang terpilih dari daftar titik yang belum dikunjungi.

d. Penutupan rute dengan menambahkan titik inisiasi/awal di akhir rute

Apabila semua titik telah dilewati selanjutnya dilakukan penutupan rute dengan menambahkan titik inisiasi atau titik awal perjalanan di akhir rute.

## 2.10 Algoritma Clarke dan Wright *Saving*

Zamah S. H., (2019) mengemukakan bahwa Algoritma Clarke and Wright Savings merupakan suatu langkah penghematan yang ditemukan pada tahun 1964 oleh Clarke dan Wright. Algoritma clarke and wright *savings* melakukan penghitungan untuk penghematan dari seberapa banyak yang dapat di minimumkan, yaitu jarak tempuh atau waktu atau ongkos yang digunakan serta mengaitkan node-node untuk menghasilkan sebuah rute/jalur terbaik berdasarkan nilai penghematan terbesar yaitu, jarak yang ditempuh antara titik awal sampai titik akhir tujuan.

Langkah-langkah pada metode ini yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan jumlah kapasitas maksimal kendaraan yang ada dan alokasi kendaraan yang dipakai untuk pengiriman barang ke konsumen.
2. Membuat matriks jarak, yaitu matriks jarak dari depot dengan node serta antar node. Pengukuran jarak dari node  $i$  ke  $j$  sama dengan jarak dari  $j$  ke  $i$ . Misalkan ada dua lokasi masing-masing dengan koordinat  $(x_1, y_1)$  dan  $(x_2, y_2)$ , maka jarak antara dua lokasi itu ialah:

$$d_{(1,2)} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Bentuk umum matriks jarak:

Tabel 2.4 Matrik jarak

	$v_0$	...	$v_i$	...	$v_j$	...	$v_n$
$v_0$	0						
...		0					
$v_i$	$C_{0i}$		0				
...							
$v_j$	$C_{0j}$		$C_{ij}$		0		
...						0	
$v_n$	$C_{0n}$		$C_{in}$		$C_{jn}$		0

Sumber: Zamah S. H., (2019)

Menghitung nilai penghematan ( $S_{ij}$ ) berupa jarak tempuh dari dua kendaraan yang menggantikan menjadi Satu kendaraan untuk melayani node i dan j.

$$S_{ij} = C_{oi} + C_{oj} - C_{ij} \dots\dots\dots (2.12)$$

3. Membuat matriks penghematan, bentuk umum dari matriks penghematan yang telah dikembangkan oleh Clarke and Wright:

Bentuk umum matriks penghematan:

Tabel 2.5 Matrik penghematan

	$v_1$	...	$v_i$	...	$v_j$	...	$v_n$
$v_1$	-						
...		-					
$v_i$	$S_{1i}$		-				
...				-			
$v_j$	$S_{1j}$		$S_{ij}$		-		
...						-	
$v_n$	$S_{1n}$		$S_{in}$		$S_{jn}$		-

Sumber: Zamah S. H., (2019)

4. Memilih sebuah jalur lintasan dimana 2 rute yang bisa digabungkan menjadi satu jalur atau rute tunggal. Nilai penghematan tertinggi yang diambil, lalu memilih jarak yang terdekat dengan jalur sebelumnya. Iterasi sudah selesai ketika semua entri pada kolom serta baris sudah terpilih.
5. Pengurutan rute berdasarkan pengalokasian yang telah dilakukan. Pengurutan rute distribusi dapat dilakukan dengan beberapa metode sebagai berikut:
  - a. *Nearest Insert*, Metode ini menentukan urutan kunjungan dengan mengutamakan titik lokasi yang apabila dimasukkan ke dalam rute yang sudah ada menghasilkan jarak yang terdekat.
  - b. *Nearest Neighbor*, Metode ini menentukan urutan kunjungan dengan memilih titik lokasi yang memiliki jarak paling dekat dengan titik lokasi yang dikunjungi terakhir.

- c. *Farthest Insert*, Metode ini menentukan urutan kunjungan dengan mengutamakan titik lokasi yang apabila dimasukkan ke dalam rute yang sudah ada menghasilkan jarak yang terjauh.

## 2.11 Penelitian Terdahulu

Permasalahan penentuan rute distribusi (*vehicle routing problem*) dalam penelitian ini memiliki kesamaan permasalahan, landasan teori dan metode penyelesaian dengan penelitian terdahulu yang disebutkan dibawah ini:

1. Zamah S. H. (2019) dalam penelitiannya dengan judul “USULAN RUTE DISTRIBUSI PRODUK DENGAN MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA CLARKE AND WRIGHT *SAVINGS* UNTUK MEMINIMUMKAN BIAYA DISTRIBUSI PADA IKM NUGRAHA DI KECAMATAN CIHAURBEUTI”.

Permasalahan dalam penelitian ini yaitu IKM NUGRAHA menerapkan model distribusi secara langsung dengan konsep satu mobil untuk satu toko, kirim satu hari setelah order. Rute distribusi tidak dikelola karena satu mobil hanya mengunjungi satu toko atau tidak terjadi penggabungan kedalam satu rute. Konsep yang diterapkan dinilai kurang efisien, sehingga biaya distribusi produk cukup besar. Usulan rute distribusi yang ditentukan oleh penulis yaitu menggunakan Algoritma Clarke And Wright *Saving*.

Berdasarkan hasil penelitian, didapat perbandingan biaya distribusi selama satu bulan antara rute distribusi eksisting yang menghasilkan jarak tempuh 6.328 Km, dengan konsumsi BBM sebanyak 734 liter, atau senilai Rp. 4.602.787. Usulan rute



distribusi oleh penulis menghasilkan jarak tempuh 4.011 Km, dengan konsumsi BBM 538,69 liter, atau senilai Rp. 2.974.378,55. Penghematan yang dihasilkan oleh rute distribusi usulan adalah jarak tempuh 2.317 Km, konsumsi BBM 195,31 liter, atau senilai Rp.1.628.408,45. Hasil tersebut menunjukkan bahwa usulan rute distribusi produk dengan menggunakan metode Algoritma Clarke And Wright *Saving* mampu meminimumkan biaya distribusi produk IKM NUGRAHA.

2. Pulansari dkk. (2021) dalam penelitiannya dengan judul “*Determining the Shortest Route of Distribution to Reduce Environmental Emissions Using Saving Matrix and Nearest Neighbor Methods*”.

Permasalahan dalam penelitian ini yaitu T. XYZ belum memiliki rute distribusi yang belum optimal sehingga terjadi keterlambatan dalam proses pengiriman. Permasalahan lain muncul terkait dengan meningkatnya konsumsi energi, bahan bakar, dan kendaraan bermotor maka menimbulkan emisi CO<sub>2</sub> berlebih yang berdampak pada penurunan kualitas lingkungan. Berdasarkan permasalahan tersebut, untuk meminimalkan jarak distribusi guna mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi lingkungan, penelitian ini berfokus pada optimalisasi rute kendaraan dengan metode *Saving Matrix* dan *Nearest Neighbor*.

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan perbandingan antara rute eksisting PT XYZ yang menghasilkan jarak tempuh 1143,8 Km, Konsumsi bahan bakar 22876 liter/tahun dan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 61024,01 Kg CO<sub>2</sub>/tahun. Usulan rute distribusi oleh penulis menggunakan metode *Saving Matrix* dan *Nearest Neighbor* menghasilkan jarak tempuh 781,9 Km, Konsumsi bahan bakar 15638 liter/tahun dan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 41715,9 Kg CO<sub>2</sub>/tahun. Dapat disimpulkan metode usulan dapat memberikan

penghematan berupa total jarak tempuh, konsumsi bahan bakar serta emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan.

3. Hanafi dkk. (2020) dalam penelitiannya dengan judul “*Distribution Route Optimization of a Capacitated Vehicle Routing Problem by Sweep Algorithm*”.

Objek kajian dan observasi dalam penelitian ini adalah PT Eastern Pearl Flour Mills (EPFM). PT EPFM adalah pabrik Interflour terbesar, terletak di Makassar di pantai barat pulau Sulawesi di bagian Timur Indonesia. Kondisi saat ini, armada kendaraan dialihdayakan untuk mendistribusikan sejumlah produk ke sekumpulan pelanggan sesuai dengan kebutuhan mereka. Pengiriman dilakukan setiap hari langsung ke dealer atau ke konsumen akhir. Pada penelitian ini menerapkan Algoritma *Sweep* sebagai metode solusi untuk menemukan rangkaian rute paling optimal yang meminimalkan jumlah kendaraan yang dibutuhkan dan total jarak tempuh semua kendaraan untuk melayani pelanggan.

Berdasarkan hasil penelitian, ditunjukkan bahwa total permintaan dapat dipenuhi oleh sembilan klaster yang sama dengan jumlah kendaraan. Total jarak yang ditempuh setiap hari dapat dikurangi dari 255,84 km menjadi 142,8 km. Jumlah armada kendaraan juga berkurang dari 14 kendaraan menjadi 9 kendaraan. Rute kendaraan yang diperoleh dengan Algoritma *Sweep* dibandingkan dengan rute distribusi harian perusahaan yang ada menunjukkan bahwa, biaya harian terkait biaya transportasi dapat dikurangi karena ada pengurangan yang signifikan dalam total jarak tempuh dan jumlah kendaraan yang digunakan untuk pengiriman harian dari perusahaan.

4. Chandra & Naro (2020) dalam penelitiannya dengan judul “*A Comparative Study of Capacitated Vehicle Routing Problem Heuristic Model*”.

Pada studi kasus dalam penelitian ini akan dilakukan studi perbandingan untuk tiga metode heuristik CVRP: Algoritma Clarke and Wright – ICW yang disempurnakan, Algoritma Karagul Tokat Aydemir – KTA, dan Algoritma *Sweeping* – Algoritma *Cluster First Route Second* untuk menentukan jarak minimum untuk pengiriman barang dari pusat distribusi ke semua outlet secara rutin di Jakarta Barat.

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan total jarak tempuh untuk ICW, KTA dan *Sweep Algorithm* berturut-turut yaitu 54 Km, 70 Km dan 36,8 Km. Algoritma *Sweeping* memiliki jarak total terpendek dibandingkan dengan dua algoritma lainnya. Semakin pendek jaraknya, maka secara teori semakin hemat bahan bakar yang digunakan dengan mengabaikan faktor kemacetan. Total jarak yang dihasilkan oleh algoritma *Sweeping* lebih pendek 48,57% dari KTA serta 33,33% lebih pendek dari ICW.

5. Kurnia dkk. (2020) dalam penelitiannya dengan judul “*Route Optimization of Oil Country Tubular Goods Distribution Using Sweep and Savings Algorithm*”.

PT XYZ merupakan industri yang bergerak di bidang migas, secara rutin mendistribusikan *Oil Country Tubular Goods* (OCTG) dari suatu lokasi untuk memasok ladang minyaknya. Ladang minyak ini tersebar di seluruh Indonesia, antara lain di Pulau Sumatera, Jawa, dan Kalimantan. Berdasarkan observasi awal, kondisi pasokan eksisting PT XYZ dianggap tidak efisien. Perusahaan tidak memiliki *Distribution Center* (DC) di dekat lokasi ladangnya, sehingga setiap kali OCTG dibutuhkan di suatu ladang minyak tertentu, akan disalurkan dari ladang minyak lain yang memiliki kelebihan pasokan. Pola jalur distribusi ini menyebabkan naiknya biaya transportasi bagi PT XYZ. Untuk mendapatkan rute terbaik, diimplementasikan *Sweep Algorithm* dan *Savings Algorithm*. Hasil yang diharapkan dari perhitungan tersebut

adalah rute distribusi yang diminimalkan, dan rute terbaik dengan biaya yang minimal untuk mendistribusikan OCTG.

Berdasarkan hasil penelitian, didapat bahwasanya *Sweep Algorithm* dan *Savings Algorithm* sama-sama menghasilkan 2 rute dengan total jarak tempuh yang sama yaitu 2298 Km namun dengan total biaya transportasi yang berbeda. diketahui bahwa *Sweep Algorithm* menghasilkan dua rute dengan total biaya transportasi terendah yaitu Rp. 18.890.875.000 per tahun, sedangkan *Saving Algorithm* menghasilkan Rp. 24.743.475 per tahun. Jika dibandingkan dengan *Savings Algorithm*, hasil yang dihasilkan dari *Sweep Algorithm* dapat menyebabkan perusahaan membayar 24% lebih sedikit dari total biaya transportasi dalam setahun untuk mendistribusikan OCTG.