

**PERENCANAAN RUTE DAN JADWAL DISTRIBUSI PERIODIK
MULTI PRODUCT PADA PT. WICAKSANA OVERSEAS
INTERNATIONAL PONTIANAK MENGGUNAKAN METODE
*LARGE NEIGHBORHOOD SEARCH***

Anisa Nur Fadrijani, Mohamad Sofitra, Dedi Wijayanto

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, 78124
Email: anisafadjriani@student.untan.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perencanaan rute dan jadwal distribusi periodik *multi product* pada PT. Wicaksana Overseas International Pontianak menggunakan metode *Large Neighborhood Search* (LNS). Sampai saat ini perusahaan belum memiliki rute dan jadwal distribusi yang optimal. Permasalahan VRP yang ditemukan dalam perusahaan ini adalah keterbatasan kapasitas kendaraan. Penelitian ini dilakukan guna mencari solusi yang optimal dalam mengatur rute pengiriman dan jadwal distribusi yang efisien menggunakan metode solusi *Large Neighborhood Search*. Metode solusi LNS ini bekerja dengan cara mencari solusi yang lebih baik dengan mengeksplorasi berbagai kombinasi solusi yang dihancurkan dan diperbaiki. Analisis dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan empat solusi yaitu *initial solution*, *current solution repair 1*, *current solution repair 2*, dan *best solution*. Ongkos total distribusi digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi kualitas solusi. Hasil analisis menunjukkan bahwa *best solution* merupakan solusi terbaik dengan ongkos total distribusi sebesar Rp 8.538.976 yang lebih rendah dibandingkan dengan *initial solution* sebesar Rp 9.342.136 dan *current solution repair 1* sebesar Rp 9.853.200 dan *repair 2* sebesar Rp 10.177.520. Grafik perubahan ongkos total distribusi juga menunjukkan adanya penurunan secara bertahap seiring dengan iterasi LNS, dengan penurunan yang signifikan terjadi pada iterasi ke-65 yaitu sebesar Rp 803.160 dari hasil solusi awal (*initial solution*). Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa metode LNS efektif dalam mengoptimalkan perencanaan rute dan jadwal distribusi periodik *multi product*. Penggunaan metode ini dapat membantu PT. Wicaksana Overseas International Pontianak meningkatkan efisiensi distribusi, mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

Kata kunci: Perencanaan rute, jadwal distribusi, periodik *multi product*, *Large Neighborhood Search*, efisiensi distribusi.

PENDAHULUAN

Permasalahan terkait penentuan rute dan jadwal kendaraan dalam mendistribusikan barang (*Vehicle Routing Problem*) masih sering dialami oleh para pelaku bisnis. Kesalahan dalam perencanaan rute dan jadwal pengiriman akan membuat terjadinya penambahan biaya yang harus dikeluarkan pihak perusahaan akibat keterlambatan pengiriman produk. Fenomena permasalahan penentuan rute dan jadwal distribusi juga terjadi pada objek yang digunakan dalam penelitian ini. Objek penelitian ini adalah rute dan jadwal distribusi periodik *multi product* pada PT. Wicaksana Overseas International Pontianak atau dapat disingkat dengan PT.WOI.

Permasalahan yang kerap terjadi di PT.WOI ini adalah *over capacity* kendaraan. Hal ini terjadi karena *demand* pelanggan yang tinggi tidak mampu menampung kapasitas kendaraan yang ada sehingga menyebabkan pendistribusian produk telat sampai ke pelanggan karena harus ditunda dan dikirim hari esoknya. Perusahaan menghabiskan waktu selama 5 hari untuk mendistribusikan produk kepada pelanggan tetapnya sebanyak 147 pelanggan.

Perusahaan mendistribusikan produknya menggunakan mobil *box* yang berjumlah 5 kendaraan dengan kapasitas yang berbeda-beda setiap mobilnya yaitu 300 karton, 500 karton, 600 karton, dan 2 kendaraan dengan kapasitas 700 karton. Proses pengiriman yang dilakukan oleh perusahaan selalu dimulai dari depot/*distribution center*, kemudian dilanjut mendahului konsumen yang terdekat terlebih dahulu dan berakhir di depot. 5 kendaraan yang ada memiliki rute dan wilayah yang berbeda-beda. PT. WOI sendiri mempunyai 5 rute pendistribusian. Rute distribusi tersebut dapat dilihat pada tabel 1.1 berikut ini.

Tabel 1.1 Rute Distribusi Existing PT. Wicaksana Overseas International Pontianak

| Rute | Wilayah | Jalan |
|------|--------------------|--|
| 1 | Pontianak Tenggara | A. Yani 1, Tanjung Sari, Sepakat 1, Imam bonjol, Adisucipto, Sungai Raya Dalam dan Paris 2 |
| 2 | Pontianak Barat | Husein Hamzah, Tabrani Ahmad, Karet dan Tebu |
| 3 | Pontianak Selatan | Wonobaru, Prof. M. Yamin, H. Abbas, Siam, Gajah Mada, Karya Baru, Purnama dan Perdana |
| 4 | Pontianak Timur | Tanjung Raya 1, Tanjung Raya 2, Panglima Aim, Tekam dan Trisakti |
| 5 | Pontianak Kota | Merdeka, Rajawali, Teuku Umar, Aliyang, Putri Daranante, Candramidi dan Dara Hitam |

Adapun produk-produk yang didistribusikan memiliki sejumlah jenis produk atau *multi product*. Produk-produk tersebut dapat dilihat pada tabel 1.2 dibawah ini.

Tabel 1.2 Jenis Produk yang didistribusikan PT. Wicaksana Overseas International Pontianak

| Jenis Produk | Nama Produk |
|---|---|
| Produk Konsumsi (<i>fast-moving consumer goods</i>) | Snack French Fries 2000 dan selai coklat Ovaltine |
| Produk Perawatan Kesehatan (<i>healthcare</i>) | Suplemen makanan Brand's |
| Produk Kecantikan (<i>Beautycare</i>) | Cetaphil |
| Produk Makanan Hewan | Pro-Diet |

Masalah yang kompleks muncul dalam proses distribusi produk dari depot ke konsumen, terutama di Pontianak di mana banyak konsumen tersebar di berbagai daerah. Hal ini mengakibatkan rute yang lebih panjang dan waktu yang lebih lama, yang pada akhirnya menyebabkan pemborosan biaya distribusi. Hingga saat ini, PT. WOI belum berhasil menemukan rute dan jadwal distribusi yang optimal.

Dalam penelitian ini jenis *Vehicle Routing Problem* / VRP yang digunakan adalah *Periodic Vehicle Routing Problem with Multiple Products* / PVRP-M. PVRP-M sendiri merupakan variasi dari masalah VRP yang melibatkan pengiriman produk yang berbeda dengan jadwal pengiriman yang berulang [1]. Masalah ini mempertimbangkan pengiriman produk dari depot ke pelanggan dalam jadwal pengiriman berkala, di mana setiap produk memiliki jumlah yang berbeda untuk dikirimkan ke setiap pelanggan [1]. Penyelesaian masalah untuk perencanaan rute dan jadwal distribusi periodik *multi product* ini menggunakan metode solusi algoritma *Large Neighborhood Search* (LNS).

a) Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan yang telah disampaikan di latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah *over capacity* pada mobil angkut PT. Wicaksana Overseas International. Hal ini terjadi karena *demand* konsumen yang tinggi seakan tidak seimbang dengan kapasitas mobil angkut yang tersedia. Hal ini menyebabkan pendistribusian di perusahaan telat sampai ke pelanggan karena harus ditunda pengirimannya di-esok hari. Permasalahan ini menimbulkan pertanyaan apakah memang kapasitas kendaraan saat ini memang sudah tidak memadai ataukah hal ini terjadi karena penjadwalan distribusi yang buruk?

b) Tujuan penelitian

Berdasarkan pemaparan yang telah disampaikan di latar belakang, maka tujuan penelitian ini adalah

memperoleh perencanaan rute dan jadwal distribusi dengan ongkos terendah secara periodik pada PT. Wicaksana Overseas International Pontianak, mengingat kerap terjadinya *over capacity* pada kendaraan karena tingginya *demand* pelanggan menggunakan metode solusi *Large Neighborhood Search*.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Distribusi dan Transportasi

Distribusi adalah proses perjalanan barang dari produsen atau penjual hingga mencapai pengguna akhir [2]. Menurut Tandjung, saluran distribusi adalah jalur atau rute yang dilalui oleh produk mulai dari produsen hingga pelanggan akhir [3]. Distribusi melibatkan pengiriman barang atau produk dari produsen ke konsumen. Proses distribusi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti sistem distribusi, rute distribusi, dan transportasi distribusi. Dalam proses distribusi, seringkali terdapat hambatan, salah satunya adalah rute yang kurang optimal, yang mengakibatkan keluhan dari konsumen mengenai keterlambatan pengiriman barang.

Transportasi adalah proses pemindahan barang atau manusia dari titik awal atau depot ke tempat tujuan atau pelanggan [4]. Dalam teori transportasi, terdapat lima unsur yang mempengaruhi kinerja transportasi, yaitu muatan, kendaraan, jalur atau rute, lokasi awal dan tujuan, serta manajemen [5]. Proses transportasi melibatkan pergerakan dari tempat asal, di mana kegiatan angkutan dimulai, hingga tempat tujuan, di mana kegiatan tersebut berakhir [4]. Tempat asal dapat berupa rumah, gudang, atau tempat produksi yang siap diangkut atau dipindahkan ke tempat tujuan atau konsumen. Transportasi merupakan komponen penting dalam manajemen logistik perusahaan. Pengoperasian transportasi dalam hubungannya dengan pengiriman barang merupakan masalah yang kompleks, dikarenakan wilayah yang luas, biaya transportasi, dan waktu yang dibutuhkan untuk pengangkutan.

2. Vehicle Routing Problem (VRP)

Vehicle Routing Problem (VRP) pertama kali diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1959, dan sejak itu telah menjadi subjek studi yang luas [6]. Fisher mendefinisikan VRP sebagai metode untuk mencari penggunaan yang efisien dan efektif dari sejumlah kendaraan yang harus melakukan perjalanan untuk mengunjungi beberapa tempat atau konsumen guna mengantarkan atau menjemput orang atau barang [6]. Istilah "konsumen" merujuk pada titik pemberhentian kendaraan untuk mengantarkan atau menjemput orang atau barang. Setiap konsumen harus dilayani oleh satu kendaraan saja. Penentuan pasangan kendaraan-konsumen ini mempertimbangkan kapasitas kendaraan dalam satu kali perjalanan, dengan tujuan meminimalkan biaya yang diperlukan.

VRP sebenarnya merupakan pengembangan atau perluasan dari *Travelling Salesman Problem* (TSP) [6]. TSP dapat dijelaskan sebagai model masalah di mana

seorang salesperson harus berangkat dari depot atau gudang untuk mengunjungi n node atau kota, kemudian kembali ke depot awal dengan memilih tur yang memungkinkan dengan jarak terpendek. Tujuan dari TSP adalah mencari tur dengan biaya minimum dari semua node atau kota, sehingga mendapatkan rute dengan jarak terpendek atau meminimalkan biaya. Hal ini bertujuan untuk merancang rute perjalanan terpendek di mana setiap node atau kota harus dikunjungi oleh seorang *salesman* [6].

3. Jenis-Jenis Vehicle Routing Problem (VRP)

Pengklasifikasian *Vehicle Routing Problem* bergantung terhadap tujuan pembatas yang digunakan. Tujuan dari *Vehicle Routing Problem* adalah meminimasi biaya, waktu dan jarak, sedangkan pembatas yang digunakan adalah waktu dan jarak. Pengklasifikasian *Vehicle Routing Problem* [7] adalah sebagai berikut :

1. *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP)
CVRP atau *Capacitated Vehicle Routing Problem* merupakan salah satu jenis dari VRP di mana terdapat sejumlah kendaraan atau alat angkut dengan kapasitas yang telah ditentukan yang harus melayani sejumlah permintaan konsumen yang diketahui, dengan mempertimbangkan hanya satu jenis komoditas, dan tujuan utama adalah mencapai biaya transit minimum dari sebuah gudang. Dengan demikian, CVRP dapat dianggap sebagai variasi dari VRP dengan tambahan faktor bahwa setiap kendaraan memiliki kapasitas yang terbatas untuk mengangkut satu jenis komoditas [8].
2. *Periodic Vehicle Routing Problem with Multiple Products* (PVRP-M)
PVRP-M (*Periodic Vehicle Routing Problem with Multiple Products*) adalah variasi dari masalah VRP yang melibatkan pengiriman produk yang berbeda dengan jadwal pengiriman yang berulang. Masalah ini mempertimbangkan pengiriman produk dari depot ke pelanggan dalam jadwal pengiriman berkala, di mana setiap produk memiliki jumlah yang berbeda untuk dikirimkan ke setiap pelanggan [1]. Dalam PVRP-M, kendaraan harus ditugaskan dengan mempertimbangkan jadwal pengiriman yang berulang, dengan tujuan meminimalkan biaya pengiriman dan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pengiriman semua produk ke semua pelanggan. Tantangan dalam PVRP-M adalah bagaimana merencanakan rute kendaraan yang efisien dengan mempertimbangkan permintaan produk yang berbeda dari setiap pelanggan, serta mempertimbangkan batasan-batasan seperti kapasitas kendaraan dan waktu pengiriman [1].
3. *Deterministic Vehicle Routing Problem*
Deterministic vehicle routing problem adalah karakteristik jenis VRP yang permintaan

pelanggannya pasti. VRP jenis ini tidak memiliki variabel random dalam inputnya, dimana gejala-gejala dapat diukur dengan derajat kepastian yang cukup tinggi.

4. *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem (HFVRP)*

Tujuan dari varian VRP yang mempertimbangkan Heterogeneous Fleet adalah untuk meminimalkan biaya tetap kendaraan dan biaya variabel rute yang ditempuh [9]. Dengan mengikutsertakan faktor kendaraan yang heterogen, tujuannya adalah untuk menentukan penggunaan kendaraan yang tepat sesuai dengan rute dan permintaan pelanggan, sehingga dapat mencapai biaya yang minimal dan menghindari pemborosan sumber daya kendaraan yang dimiliki [10]. Dalam hal ini, perbedaan kapasitas kendaraan yang berbeda dipertimbangkan, mengingat setiap perusahaan umumnya memiliki kendaraan dengan kapasitas yang berbeda-beda.

5. *Vehicle Routing Problem with Time Window (VRPTW)*

Konsumen memiliki batasan waktu operasional toko, di mana layanan harus dilakukan selama jam kerja toko tersebut. Vehicle Routing Problem with Time Window (VRPTW) mirip dengan VRP pada umumnya, namun memiliki batasan tambahan yang berhubungan dengan waktu. Setiap konsumen memiliki jendela waktu yang ditetapkan, yang menentukan jangka waktu di mana konsumen tersebut harus dilayani, dan juga terdapat interval waktu di gudang yang menjadi batasan dalam penjadwalan [11]. Dengan adanya batasan waktu ini, tujuan VRPTW adalah untuk merencanakan rute pengiriman yang memenuhi jendela waktu setiap konsumen, sehingga memastikan bahwa barang dikirim dan tiba tepat waktu sesuai dengan kebutuhan konsumen [11].

6. *Vehicle Routing Problem Split Delivery*

Dalam beberapa kasus, ketika permintaan konsumen melebihi kapasitas angkut kendaraan tunggal, konsumen dapat dilayani oleh lebih dari satu kendaraan. Hal ini terjadi ketika permintaan konsumen secara kolektif melebihi kapasitas total kendaraan yang tersedia. Dalam situasi seperti itu, rute pengiriman akan dirancang sedemikian rupa sehingga beberapa kendaraan dapat bekerja bersama untuk memenuhi permintaan konsumen secara efisien.

7. *Vehicle Routing Problem with Multiple Trips*

Dalam VRPMT, kendaraan dapat melakukan beberapa perjalanan untuk melayani berbagai rute. Ini berarti setelah menyelesaikan satu rute, kendaraan tersebut dapat kembali ke depot atau gudang, dan kemudian diberangkatkan kembali untuk melanjutkan rute lainnya. Hal ini memungkinkan penggunaan yang lebih efisien dari kendaraan yang tersedia, karena kendaraan

tidak perlu kembali ke depot setelah menyelesaikan setiap rute.

4. **Permasalahan Vehicle Routing Problem (VRP)**

Model matematika VRP dapat didefinisikan sebagai grafik campuran $G = (V, E)$, dimana V merupakan himpunan node $(0, \dots, n)$, dan E yaitu tepi (*edges*). Node 0 melambangkan gudang di mana kendaraan pengiriman (M) ditempatkan. Sementara itu tiap konsumen node i , memiliki sebuah *demand non negatif* q_i , dan setiap *edge* $[i, j]$ memiliki biaya *non negatif* $c_{ij}=c_{ji}$ [12].

Contoh model pemrograman bilangan bulat sederhana (*simple integer programming*) digunakan untuk memodelkan permasalahan VRP. Beberapa parameter yang digunakan termasuk Q sebagai kapasitas maksimum kendaraan pengiriman, N sebagai jumlah klien atau konsumen, d_i yang menunjukkan jumlah permintaan untuk konsumen i , dan C_{ij} yang mengindikasikan jarak antara konsumen i dan konsumen j . i dan konsumen j [12].

Selain itu, contoh model pemrograman bilangan bulat campuran (*mixed integer programming*) juga digunakan untuk memodelkan permasalahan VRP dengan indikasi bahwa $i, j=1, \dots, N$ dan $k=1, \dots, K$. Beberapa parameter yang digunakan termasuk K yang mewakili jumlah kendaraan pengiriman, N yang menunjukkan jumlah konsumen (0 sebagai gudang), C_i yang mewakili konsumen i , C_0 yang mewakili gudang, dan Q_{ij} yang mewakili total permintaan kendaraan k untuk mencapai konsumen i [12].

5. **Algoritma Large Neighborhood Search**

Algoritma *Large Neighborhood Search* (LNS) pertama kali diperkenalkan oleh Shaw pada tahun 1998 [13]. Algoritma ini merupakan metode pencarian solusi terbaik yang menggunakan pendekatan *local search*, di mana solusi awal dijelajahi dalam lingkungan tertentu [13].

Dalam algoritma *Large Neighborhood Search* (LNS), terdapat tiga tahapan utama dalam penyelesaian masalah VRP [13].

1. Pembentukan *initial solution* (solusi awal): Tahap ini melibatkan pembentukan solusi awal untuk permasalahan VRP. Solusi awal dapat dibentuk secara acak atau menggunakan algoritma heuristik yang telah ada. Tujuannya adalah untuk memiliki solusi awal yang memenuhi kriteria kendaraan pengiriman dan meminimalkan biaya.
2. Pembentukan *current solution* (solusi sementara): Tahap ini terdiri dari dua metode, yaitu metode *destroy* (penghapusan) dan metode *repair* (perbaikan). Metode *destroy* digunakan untuk merusak atau mengubah solusi yang telah ada dengan menghilangkan beberapa komponen solusi, seperti rute atau pengiriman. Setelah itu, metode *repair* digunakan untuk membangun kembali solusi yang telah diubah oleh metode *destroy* dengan cara menambahkan atau mengatur

ulang komponen solusi yang sesuai. Proses *destroy* dan *repair* ini bertujuan untuk memperkenalkan variasi baru dalam pencarian solusi.

3. Penghitungan nilai fungsi evaluasi: Tahap ini melibatkan penghitungan nilai fungsi evaluasi untuk membandingkan solusi awal dan solusi sementara yang telah dihasilkan. Fungsi evaluasi dapat berupa fungsi tujuan, seperti biaya total atau jarak total, yang ingin diminimalkan. Dengan membandingkan solusi awal dan solusi sementara, dapat ditemukan solusi yang lebih baik. Proses ini dilakukan secara iteratif hingga mencapai solusi terbaik (*best solution*).

Dengan tiga tahapan ini, algoritma LNS dapat melakukan eksplorasi ruang pencarian dengan memanfaatkan variasi solusi dan memperbaiki solusi yang telah diubah. Hal ini membantu dalam menemukan solusi yang lebih optimal atau mendekati solusi optimal dalam masalah VRP.

Metode heuristik LNS memiliki beberapa operator *destroy* dan operator *repair*. Operator *destroy* tersebut yaitu *random removal*, *sequential removal*, *cluster removal*, *partial destruction*, *related node removal*, *not related node removal* dan *satellite removal*. Sedangkan operator *repair* terdiri dari *reconstruction* menggunakan heuristik, konstruksi berbasis aturan dan penyelesaian dalam dua fase [14].

5. Python

Python adalah sebuah bahasa yang berorientasi pada objek yang dikembangkan di akhir 1980 sebagai bahasa pemrograman. Nama Python diadaptasi dari nama serial televisi Britania Raya, berjudul *Monty Python's Flying Circus*. Meskipun Python kurang populer dalam lingkungan teknik dibandingkan dengan Bahasa pemrograman lainnya, namun Python memiliki reputasi yang berkembang dalam komunitas pemrograman [15].

Program Python dijalankan oleh *interpreter* yang keuntungannya adalah menguji dan mendeteksi *error* dapat dilakukan relatif lebih cepat yang mendorong pengguna untuk lebih fokus pada konsep atau prinsip yang dibangun menggunakan Python. Program Python dapat dikembangkan dalam waktu yang relatif lebih pendek dibandingkan dengan Bahasa yang setara yaitu *Fortran* dan *C*. Disisi lain, program Python hanya dapat dijalankan oleh komputer yang sudah terinstall *interpreter* Python [15].

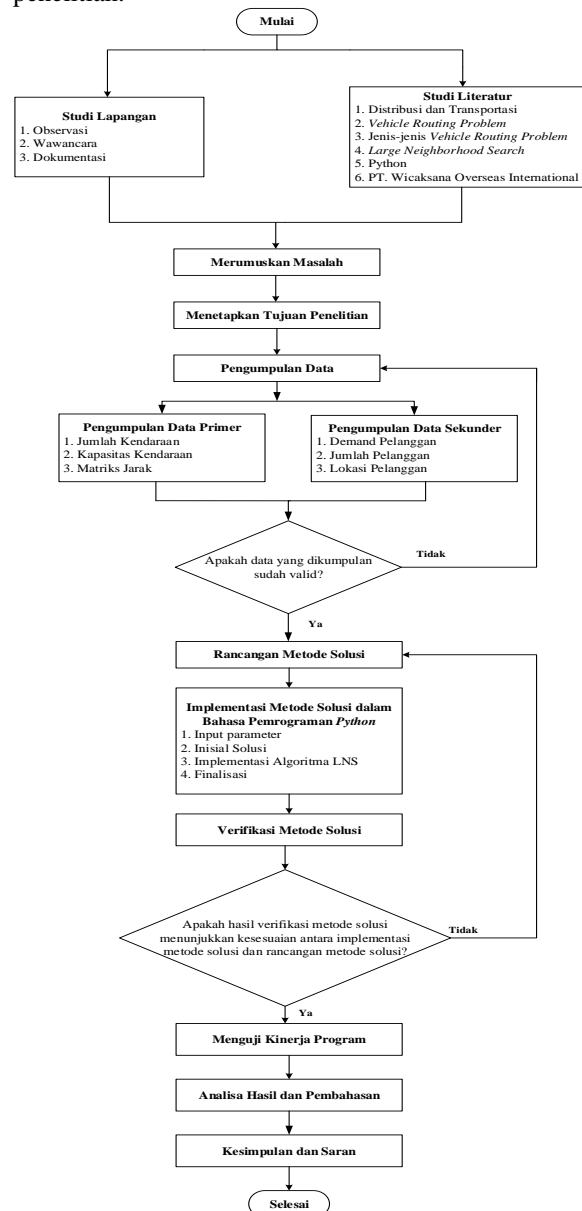
Berdasarkan [15], Python memiliki keuntungan dibandingkan dengan Bahasa pemrograman lain yaitu :

1. Python adalah perangkat lunak *open-source*, yang berarti Python gratis dan dapat diakses oleh siapa pun.
2. Python tersedia untuk semua sistem operasi (*Linux*, *Windows*, *MacOS*, *Unix*, dan lain-lain). Program yang ditulis pada suatu sistem operasi tidak memerlukan modifikasi untuk dapat berjalan pada sistem operasi lain.

3. Python lebih mudah dipelajari dan menghasilkan kode yang mudah dibaca.
4. *Extension* yang tersedia pada Python mudah untuk *install* pada perangkat komputer.

METODOLOGI PENELITIAN

Objek dalam penelitian ini adalah rute dan jadwal distribusi periodik *multi product* pada PT. Wicaksana Overseas International Pontianak menggunakan Metode *Large Neighborhood Search* yang berlokasi di Kota Pontianak. Pengambilan data dilakukan selama 1 bulan mulai dari 20 Juli 2022 hingga 21 Agustus 2022. Adapun data yang diperoleh berupa data primer seperti jumlah kendaraan, kapasitas kendaraan, matriks jarak dan data sekunder seperti *demand* pelanggan, jumlah pelanggan, dan lokasi pelanggan. Berikut ini gambar 1.1 diagram alir yang berisi alur dan langkah penelitian.



Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian

1. Deskripsi Permasalahan

Pendistribusian barang dari depot ke konsumen-konsumen yang ada merupakan suatu permasalahan yang kompleks, tanpa penjadwalan yang baik operasi pendistribusian akan menghasilkan rute yang lebih panjang dan waktu yang lebih lama membuat pemborosan pada biaya distribusi. Sampai saat ini PT. WOI belum memiliki jadwal dan rute distribusi yang optimal. Adapun permasalahan yang kerap terjadi di perusahaan ini adalah *over capacity* pada mobil angkut. Hal ini terjadi karena *demand* konsumen yang tinggi seakan tidak seimbang dengan kapasitas mobil angkut yang tersedia. Hal ini menyebabkan pendistribusian di perusahaan telat sampai ke konsumen karena harus ditunda pengirimannya di-esok hari. permasalahan ini menimbulkan pertanyaan apakah memang kapasitas kendaraan saat ini memang sudah tidak memadai atukah hal ini terjadi karena penjadwalan distribusi yang buruk? Selama ini perusahaan menghabiskan waktu selama 5 hari untuk mendistribusikan barang kepada pelanggan tepatnya yang berjumlah 147 pelanggan.

2. Perancangan Metode Solusi

Berdasarkan deskripsi permasalahan yang telah dijelaskan, jika permasalahan ini diselesaikan secara manual untuk memperoleh solusi yang optimal tentunya akan memerlukan waktu yang relatif lama. Oleh karena itu, peneliti mengembangkan sebuah solusi yang dapat meminimasi waktu pencarian solusi tersebut. Berikut metode solusi yang dirancang dalam penelitian ini.

1. Jenis metode solusi heuristik yaitu solusi *feasible sub optimal* atau yang berkualitas baik. Metode tersebut adalah *Large Neighborhood Search* (LNS).
2. Metode LNS terdiri dari *initial solution* (solusi awal), *current solution* (solusi sementara) dan *best solution* (solusi terbaik).
3. *Initial solution* atau solusi awal adalah solusi yang digunakan sebagai titik awal dalam proses pencarian. *Initial solution* dalam penelitian ini menggunakan teknik heuristik konstruktif sederhana.
4. *Current solution* atau solusi sementara adalah solusi yang sedang dievaluasi atau diperbaiki saat ini dalam proses pencarian. *Current solution* bekerja dengan dua jenis operator perubah solusi, yaitu operator *destroy* (perusak) dan operator *repair* (perbaikan). Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan 1 operator *destroy* yaitu *random route removal* dan 2 fase operator *repair*. Fase pertama yaitu operator *repair 1* adalah *random route repair* dan fase kedua yaitu operator *repair 2* adalah *formation route repair*.
5. Operator *destroy* akan mengambil sejumlah anggota solusi, sedangkan operator *repair 1* akan menyisipkan kembali anggota yang diambil tersebut kedalam solusi yang telah hancur, dan

repair 2 akan mengacak hasil dari solusi *repair 1* secara iteratif.

6. *Random route removal* adalah operator *destroy* dari metode LNS yang bekerja dengan cara memilih rute secara acak, kemudian sejumlah konsumen dalam rute tersebut diambil untuk di *destroy* dan dimasukkan ke penyimpanan *destroy*. Operator *destroy* ini bertanggung jawab untuk menghapus sebagian komponen solusi awal untuk menciptakan keragaman dan memperluas ruang pencarian.
7. *Random route repair* adalah operator *repair 1* dari metode LNS yang bekerja secara menyisipkan konsumen secara acak satu per satu ke dalam posisi perwakilan solusi yang meminimalkan biaya distribusi pada setiap rutenya. Operator *repair 1* ini dilakukan guna memberikan variasi pada solusi awal dan membuka peluang untuk eksplorasi ruang pencarian yang lebih luas.
8. *Formation route repair* adalah operator *repair 2* dari metode LNS yang bekerja secara iteratif mengacak solusi yang dihasilkan dari *random route repair*. Operator *repair 2* ini dilakukan guna dapat menjelajahi kemungkinan kombinasi komponen solusi yang berbeda dan meningkatkan peluang ditemukannya solusi yang lebih optimal atau lebih baik.
9. *Best Solution* atau solusi terbaik adalah solusi sementara yang diperbarui Ketika ditemukannya solusi yang lebih baik selama iterasi pencarian.

3. Pseudocode Metode Solusi

Pseudocode metode solusi digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi pada penelitian ini dapat dilihat pada *Pseudocode 1.1* berikut ini.

Pseudocode 4.1 Algoritma *Large Neighborhood Search*

```

1. input initial solution = x
2. xb = x
3. for xt = r(d(x)):
4.     if accept(xt, x):
5.         x = xt:
6.     end if
7.     if c(xt) < c(xb):
8.         xb = xt:
9.     end if
10. ulangi hingga kriteria berhenti
    terpenuhi
11. return xb

```

Keterangan:

x = *initial solution* (solusi saat ini)

xb = *best solution* (solusi terbaik)

xt = *current solution* (solusi baru yang bersifat sementara)

d = operator *destroy* (metode penghancuran)

r = operator *repair* (metode perbaikan)

c = nilai tujuan (ongkos distribusi)

Berikut penjelasan *pseudocode* algoritma *Large Neighborhood Search* tersebut:

1. Langkah ini merupakan langkah awal algoritma, di mana solusi awal (*initial solution*) diberikan sebagai *input*.
2. Variabel xb digunakan untuk menyimpan solusi terbaik yang ditemukan sejauh ini, awalnya diatur sama dengan solusi awal x .
3. *Loop* dilakukan untuk setiap xt dalam himpunan solusi yang dihasilkan dari operator *repair* (r) yang diterapkan pada solusi yang dihancurkan ($d(x)$).
4. Pada langkah ini, kondisi $accept(xt, x)$ diperiksa. Jika xt diterima sebagai solusi baru, maka langkah 5-6 akan dieksekusi.
5. Solusi saat ini (x) diperbarui menjadi xt .
6. Akhir *if*.
7. Pada langkah ini, $c(xt)$ (nilai tujuan dari solusi xt) dibandingkan dengan $c(xb)$ (nilai tujuan dari solusi terbaik xb yang saat ini ditemukan).
8. Jika $c(xt)$ lebih rendah dari $c(xb)$, berarti xt memiliki nilai tujuan yang lebih baik, maka xt dijadikan sebagai solusi terbaik xb yang baru.
9. Akhir *if*.
10. Langkah-langkah 3-9 diulang hingga kriteria berhenti terpenuhi. Kriteria berhenti dapat berupa mencapai jumlah iterasi tertentu, mencapai batas waktu tertentu, atau kondisi berhenti lainnya yang ditentukan.
11. Setelah kriteria berhenti terpenuhi, solusi terbaik xb dikembalikan sebagai *output* algoritma.

Dalam algoritma ini, operator *destroy* (d) digunakan untuk menghancurkan sebagian solusi awal, sedangkan operator *repair* (r) digunakan untuk memperbaiki solusi yang dihancurkan menjadi solusi yang valid. Fungsi $c(x)$ menghitung nilai tujuan dari suatu solusi x , yang dapat berupa biaya distribusi atau ukuran lainnya yang ingin dioptimalkan. Algoritma LNS berusaha untuk mencari solusi yang lebih baik dengan mengeksplorasi berbagai kombinasi solusi yang dihancurkan dan diperbaiki.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perencanaan Jadwal dan Rute Distribusi *Initial Solution*

Rute awal merupakan hasil dari proses *initial solution* dalam metode LNS. Rute awal ini sifatnya sementara dan akan dapat tergantikan jika didapat rute yang lebih baik. *Initial solution* diperoleh melalui metode heuristik atau pendekatan konstruktif yang sederhana, dan hasilnya bisa tidak optimal atau tidak layak secara keseluruhan. Hasil dari *initial solution* ini digunakan sebagai titik awal untuk memulai proses pencarian dan perbaikan solusi menggunakan metode LNS. Sehingga diperoleh total biaya distribusi pada proses *initial solution* selama 5 hari tersebut sebesar Rp. 9.342.136.

2. Perencanaan Jadwal dan Rute Distribusi *Current Solution*

Rute sementara merupakan hasil dari *current solution* yang sedang dievaluasi atau dimodifikasi selama iterasi LNS menggunakan operator *destroy* dan *repair*, guna mencapai solusi yang lebih baik. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan 1 operator *destroy* dan 2 fase operator *repair*.

a. Operator *Destroy*

Operator ini bertanggung jawab untuk menghapus atau mengubah sebagian komponen solusi saat ini untuk menciptakan keragaman dan memperluas ruang pencarian. Operator *destroy* bekerja dengan menghilangkan atau menonaktifkan sebagian komponen *initial solution*. Tujuannya adalah mengganggu struktur solusi yang ada dan memperkenalkan variasi baru. Dengan cara ini, operator *destroy* membantu menghindari jebakan minimum lokal dan membuka peluang untuk menemukan solusi yang lebih baik. Pada penelitian ini operator *destroy* diterapkan menggunakan *random removal* dengan cara memilih komponen-komponen acak dari solusi saat ini dan menghapusnya.

b. Operator *Repair 1*

Operator *repair 1* merupakan fase pertama dilakukannya perbaikan, dimana dalam penelitian ini menggunakan *random tour repair* yang bekerja dengan merekonstruksi solusi yang rusak dengan membangun tur acak dari komponen yang tersisa. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa solusi yang dihasilkan tetap memenuhi batasan permasalahan. Sehingga didapatkan total biaya distribusi pada proses *current solution repair 1* selama 5 hari tersebut sebesar Rp. 9.853.200.

c. Operator *Repair 2*

Operator *repair 2* merupakan fase kedua dilakukannya perbaikan, dimana dalam penelitian ini menggunakan *formation tour repair* yang bekerja dengan mengambil hasil dari fase pertama, yaitu tur acak yang telah direkonstruksi, dan mengubahnya dengan menshuffle urutan komponen dalam tur tersebut. Hal ini bertujuan untuk menjelajahi kemungkinan kombinasi komponen solusi yang berbeda dan meningkatkan peluang menemukan solusi yang lebih optimal secara iteratif. Sehingga didapatkan total biaya distribusi pada proses *current solution repair 2* selama 5 hari tersebut sebesar Rp. 10.177.520.

3. Perencanaan Jadwal dan Rute Distribusi *Best Solution*

Rute terbaik merupakan hasil dari *current solution* yang lebih kecil dari hasil *initial solution* sehingga hasil tersebut disebut *best solution*. *Best Solution* adalah solusi yang memenuhi kendala dan memberikan nilai optimal dari fungsi tujuan yang ditentukan. Selama iterasi LNS, *Best Solution* diperbarui setiap kali ditemukan solusi yang lebih baik dari yang sebelumnya. Tujuan utama LNS adalah untuk mendapatkan solusi terbaik yang mungkin mendekati atau mencapai solusi optimal dari

permasalahan yang sedang diselesaikan. Sehingga didapatlah total biaya distribusi pada *best solution* selama 5 hari tersebut sebesar Rp. 8.538.976.

4. Analisa Hasil Jadwal dan Rute Distribusi

Hasil implementasi rancangan solusi menggunakan algoritma *Large Neighborhood Search* yang dilakukan dengan bahasa pemrograman Python pada PT. Wicaksana Overseas International dalam periode distribusi 5 hari kerja, durasi kerja 360 menit/hari untuk 147 pelanggan tetapnya menghasilkan jadwal dan rute distribusi *initial solution*, *current solution repair 1* dan *2*, serta *best solution*. Hasil perencanaan rute dan jadwal distribusi dari ke-empat solusi ini berhasil melayani seluruh pelanggannya sesuai dengan jumlah pelanggan pada *cluster* dan kendaraan yang ada. Kendaraan melayani semua pelanggan sesuai pembagian *cluster* dan kendaraannya. Hanya saja pada status solusi terdapat status yang *infeasible* (tidak layak). Dalam penelitian ini, akan diperbolehkan untuk menerima suatu solusi tak layak (*infeasible solution*) tetapi dengan syarat, harus menambahkan biaya tambahan berupa ongkos penalti. Sehingga solusi tersebut tetap dianggap *feasible* dan memenuhi kriteria batasan yang ditetapkan dalam permasalahan. Status solusi *infeasible* terjadi dikarenakan dua keadaan, yaitu:

1. Dikarenakan keterbatasan kapasitas kendaraan dan panjang durasi kerja dalam satu periode yang ditetapkan oleh perusahaan maka, solusi permasalahan ini tidak akan selalu selalu ditemukan solusi yang layak (*feasible solution*). Karena akan selalu ada permintaan pelanggan terhadap jenis produk tertentu yang tidak bisa dipenuhi oleh kendaraan. Sehingga, solusi yang ditemukan tersebut adalah *infeasible*, tetapi dengan adanya biaya tambahan berupa ongkos penalti guna mengatasi ketidakmungkinan memenuhi semua permintaan produk yang ada maka, solusi tersebut tetap dianggap *feasible*.
2. Dikarenakan adanya tambahan tur lebih dari 1, sehingga menyebabkan penalti dan dianggap sebagai bagian dari kriteria utama yang harus dipenuhi. Dalam penelitian ini solusi yang memerlukan penalti dinyatakan *infeasible* dalam konteks *feasible* untuk memastikan bahwa solusi yang ideal adalah yang tidak memerlukan penalti apa pun.

5. Analisa Hasil Ongkos Penalti dan Ongkos Distribusi dari seluruh Solusi

Ongkos penalti dan ongkos distribusi dalam permasalahan PVRP-M penelitian ini memiliki keterkaitan yang sangat erat. Keterkaitan antara ongkos penalti dan ongkos distribusi terjadi ketika pelanggaran kendala menghasilkan biaya tambahan yang terkait dengan pengiriman. Ongkos penalti merupakan biaya tambahan yang timbul akibat pelanggan yang belum terjadwal atau belum terlayani dalam rute-rute yang sudah ada. Pelanggan tersebut memerlukan rute

tambahan atau realokasi untuk melayaninya. Sehingga diperlukannya penggunaan kendaraan tambahan untuk melayani pelanggan tersebut. Dimana, dalam penelitian ini besarnya ongkos penalti untuk 1 kali penggunaan kendaraan tambahan adalah sebesar Rp 50.000.

Secara keseluruhan, *best solution* adalah solusi terbaik yang telah ditemukan karena memiliki kombinasi ongkos distribusi yang lebih rendah dan ongkos penalti yang lebih rendah dibandingkan dengan *initial solution* dan *current solution repair 1* dan *2*. Dalam upaya meningkatkan solusi dalam metode *Large Neighborhood Search*, Langkah-langkah *destroy* dan *repair* akan terus dilakukan guna meningkatkan *initial solution* menuju *best solution*.

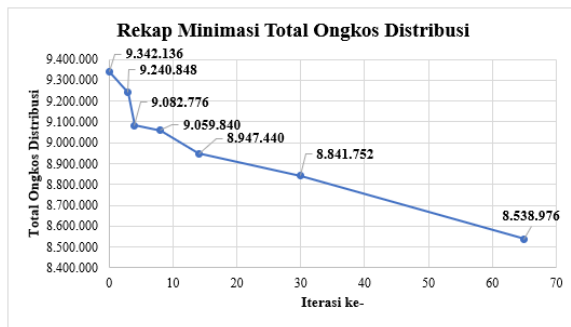
6. Analisa Hasil Total Ongkos Distribusi dari seluruh solusi

Total ongkos distribusi keseluruhan kendaraan pada *initial solution* adalah sebesar Rp. 9.342.136/5 hari. Total ongkos distribusi pada *initial solution* ini masih cukup tinggi, sehingga potensi untuk meningkatkan efisiensi masih besar.

Total ongkos distribusi keseluruhan kendaraan pada *current solution repair 1* adalah sebesar Rp. 9.853.200/5 hari. Total ongkos distribusi meningkat dibandingkan dengan *initial solution*. Hal ini menunjukkan bahwa solusi ini belum optimal dan belum bisa menggantikan *initial solution* menjadi *best solution*.

Total ongkos distribusi keseluruhan kendaraan pada *current solution repair 2* adalah sebesar Rp. 10.177.520 /5 hari. Total ongkos distribusi semakin meningkat pada *current solution repair 2* ini. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan yang belum optimal dalam solusi ini dan pastinya belum bisa menggantikan *initial solution* menjadi *best solution*.

Total ongkos distribusi keseluruhan kendaraan pada *best solution* adalah sebesar Rp. 8.538.976/5 hari. Total ongkos distribusi terendah terlihat pada hasil *best solution*. Hal ini menunjukkan bahwa solusi ini lebih optimal dibandingkan solusi lainnya dan dapat menggantikan *initial solution* menjadi *best solution*. Selain itu, hasil total ongkos distribusi *best solution* yang lebih rendah dibandingkan dengan solusi lainnya ini menunjukkan bahwa *best solution* memiliki kualitas yang lebih baik dalam efisiensi pengiriman dan pengolahan biaya. Perubahan alokasi ongkos distribusi pada kendaraan-kendaraan juga menunjukkan adanya upaya LNS untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan kendaraan dan mengurangi biaya operasional. Oleh karena itu, *best solution* dapat dianggap sebagai solusi yang lebih optimal dalam pengurangan ongkos distribusi. Berikut grafik 1. Rekap penurunan total ongkos distribusi.



Grafik 1. Rekap Minimasi Total Ongkos Distribusi
KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan menggunakan metode solusi *Large Neighborhood Search* (LNS), maka kesimpulan yang dapat diambil adalah kapasitas kendaraan perusahaan nyatanya masih memadai, tetapi penjadwalan distribusinya saja yang masih buruk. Hal ini terjadi karena terdapat penurunan ongkos total distribusi sebanyak 6 kali, dari Rp 9.342.136 menjadi Rp 8.538.976 pada iterasi ke-65. Sehingga hasil pada iterasi ke-65 ini merupakan hasil terbaik atau *best solution* dalam permasalahan PVRP-M penelitian ini. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa LNS efektif dalam mengoptimalkan kapasitas kendaraan dan mengurangi biaya operasional sehingga memberikan manfaat ekonomi yang signifikan. *Best solution* ini merupakan solusi terbaik yang telah ditemukan karena memiliki rute dan jadwal distribusi dengan total ongkos distribusi yang lebih rendah dibandingkan dengan *initial solution* dan solusi-solusi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa *best solution* memiliki kualitas yang lebih baik dalam efisiensi pengiriman dan pengolahan biaya.

REFRENSI

- [1] K. Kamsopa, K. Sethanan, T. Jamrus, dan L. Czwajda, "Hybrid Genetic Algorithm for Multi-Period Vehicle Routing Problem with Mixed Pickup and Delivery with Time Window, Heterogeneous Fleet, Duration Time and Rest Area," *Eng. J.*, vol. 25, no. 10, pp. 71–86, Oct. 2021, doi: 10.4186/ej.2021.25.10.71.
- [2] Angipora, Marius P., *Dasar-Dasar Pemasaran*, PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta. Hal 295. 2002.
- [3] Tandjung, *Marketing Management: Pendekatan Pada Nilai-Nilai Pelanggan*, Edisi Kedua. Penerbit Bayumedia, Malang. 2004.
- [4] Ikfan, Neor dan Ilyas, Masulidin. "Penentuan Rute Transportasi Terpendek Untuk Meminimalkan Biaya Menggunakan Metode Saving Matriks". *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, Vol 12, No.2 pp 165-178. Des 2013 ISSN 1412-6869.
- [5] Nasution, M. Nur. *Manajemen Transportasi*, Ghalia Indonesia. Bogor, 2008. Halaman 3.

- [6] Christine. *Studi Tentang Travelling Salesman dan Vehicle Routing Problem Dengan Time Windows*. 2003.
- [7] Arinalhaq, F., Imran, A., Fitria, L., "Penentuan Rute Kendaraan Pengangkutan Sampah dengan Menggunakan Metode Nearest Neighbour". *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional* Vol.1 : 22-32. 2013.
- [8] Laporte, G. "The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms". *European journal of operational research*, 59(3), 345-358. 1992.
- [9] Belfiore, P., dan Yoshizaki, "Scatter Search for a Real-Life Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Deliveries" in Brazil, *European Journal of Operational Research*, 2009, pp. 750–758.
- [10] Subramanian, A., dan Huachi P., A, "Hybrid Algorithm for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem", *European Journal of Operational Research*, 2012, pp. 285-295.
- [11] Kolen, A. W. J., Rinnooy, A. H. G. dan Trienekens, H. W. J. M. "Vehicle routing with time windows". *Operations Research*, p.266-273. 1987.
- [12] Prana, R. A. *Aplikasi Kombinatorial pada Vehicle Routing Problem*. 2007.
- [13] D. Pisinger dan S. Ropke, "Large Neighborhood Search" in *Handbook of Metaheuristics*, M. Gendreau and J.-Y. Potvin, Eds., in International Series in Operations Research & Management Science, vol. 272. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 99–127. doi: 10.1007/978331991086.
- [14] V. C. Hemmelmayr, J.-F. Cordeau, dan T. G. Crainic, "An adaptive large neighborhood search heuristic for Two-Echelon Vehicle Routing Problems arising in city logistics" *Comput. Oper. Res.*, vol. 39, no. 12, pp. 3215–3228, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.cor.2012.04.007.
- [15] E. Matthes, *Python crash course: a hands-on, project-based introduction to programming*. San Francisco: No Starch Press, 2016.

Biografi

Anisa Nur Fadjriani, Lahir di Sanggau, pada tanggal 7 Juni 2000. Peneliti merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan suami istri Bapak Sukri dan Ibu Mahdia. Bertempat tinggal di Jalan Karya Baru. Gang Karya 9, Perumahan Purnama Palma No. A34, Kota Pontianak. Pendidikan yang telah ditempuh peneliti yaitu SD MIN Teladan Sanggau lulus pada tahun 2012, SMP Negeri 1 Sanggau lulus pada tahun 2015, SMA Negeri 2 Sanggau lulus pada tahun 2018 kemudian sejak 2018 peneliti telah menjadi

mahasiswa Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura dan berhasil menyelesaikan pendidikannya serta menerima gelar Sarjana Teknik (S.T) dari Universitas Tanjungpura pada tahun 2023.

Mohamad Sofitra, lahir di Jakarta, 16 Juni 1974. Beliau memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) dari Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta pada tahun 1997 dengan bidang keahlian Teknik Industri. Kemudian melanjutkan studi di Institut Teknologi Bandung dan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada tahun 2002 dengan bidang keahlian Sistem Manufaktur. Kemudian beliau memperoleh gelar Doctor of Engineering (Dr.Eng.) dari Hiroshima University pada tahun 2015 di bidang manajemen rantai pasok. Sejak tahun 1999 hingga saat ini beliau mengajar di Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak.

Dedi Wijayanto, lahir di Pontianak, pada 08 Agustus 1979. Mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) di Universitas Islam Indonesia (UII) dengan bidang keahlian Teknik Kimia tahun 1998. Mendapatkan gelar Magister Teknik (M.T) di Universitas Gadjah Mada (UGM) dengan bidang keahlian Teknologi Informasi tahun 2005. Mendapatkan Magister Teknik (M.T) di Institut Teknologi Bandung (ITB) dengan bidang keahlian Teknik Manajemen Industri pada tahun 2009. Mulai dari tahun 2008 sampai sekarang menjadi salah satu dosen tetap di Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.