

**PERANCANGAN APLIKASI PENENTUAN RUTE  
DAN BIAYA DISTRIBUSI LOGISTIK**

**TUGAS AKHIR**



**DISUSUN OLEH:**

**NI PUTU KIRAN RIZKYA PUTRI**

**2202016**

**POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI  
PROGRAM STUDI D-III MANAJEMEN LOGISTIK**

**2025**

**PERANCANGAN APLIKASI PENENTUAN RUTE  
DAN BIAYA DISTRIBUSI LOGISTIK**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Dalam Rangka Penyelesaian  
Program Studi Diploma III Manajemen Logistik  
Guna Memperoleh Sebutan Ahli Madya Logistik



**DISUSUN OLEH:**

**NI PUTU KIRAN RIZKYA PUTRI**

**2202016**

**POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI  
PROGRAM STUDI D-III MANAJEMEN LOGISTIK**

**2025**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**TUGAS AKHIR**

**PERANCANGAN APLIKASI PENENTUAN RUTE  
DAN BIAYA DISTRIBUSI LOGISTIK**

Disusun Oleh:

**NI PUTU KIRAN RIZKYA PUTRI**

**2202016**

Disetujui untuk diajukan pada

Sidang Tugas Akhir

Program Studi Diploma III Manajemen Logistik

Menyetujui

**DOSEN PEMBIMBING I**



Ahmad Soimun, S.T., M.T

NIP. 19900407 201902 1001

Tanggal : 12 Juni 2025

**DOSEN PEMBIMBING II**



Ni Luh Darmayanti, S.Kep., Ns., M.M

NIP. 19870513 201902 2001

Tanggal : 12 Juni 2025

Ditetapkan di : Tabanan

**HALAMAN PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**


**PERANCANGAN APLIKASI PENENTUAN RUTE  
DAN BIAYA DISTRIBUSI LOGISTIK**

Telah dipersiapkan dan disusun oleh:

**NI PUTU KIRAN RIZKYA PUTRI**

**2202016**

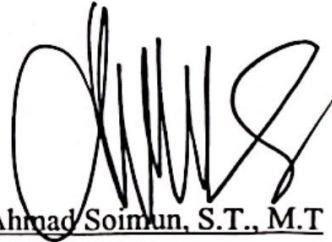
**TELAH DIPERTAHANKAN DI DEPAN DEWAN PENGUJI  
PADA TANGGAL 23 JUNI 2025  
DAN DINYATAKAN TELAH LULUS DAN MEMENUHI SYARAT**



**Putu Diva Ariesthana Sadri, ST., M.Sc.**

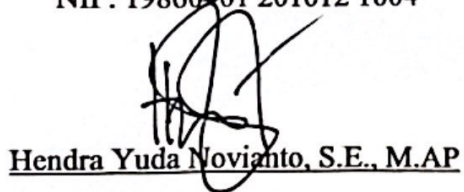
**NIP. 19860401 201012 1004**

**Tim Penguji**



**Ahmad Soimun, S.T., M.T**

**NIP. 19900407 201902 1001**



**Hendra Yuda Novianto, S.E., M.AP**

**NIP. 19771105 201012 1001**



**Ni Luh Darmayanti, S.Kep., Ns., M.M**

**NIP. 19870513 201902 2001**

Mengetahui,

**KETUA PROGRAM STUDI**



**Nengah Widiangga Gautama S.T, M.T**

**NIP. 19781209 200912 1002**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya, Ni Putu Kiran Rizkya Putri, Nomor Mahasiswa 2202016, menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“PERANCANGAN APLIKASI PENENTUAN RUTE DAN BIAYA DISTRIBUSI LOGISTIK”** merupakan karya asli. Seluruh ide yang ada dalam tugas akhir ini merupakan hasil penelitian yang saya susun sendiri dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini serta disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, tidak ada bagian Tugas Akhir ini yang telah digunakan sebelumnya untuk memperoleh gelar Ahli Madya atau keserjanaan maupun sertifikasi Akademik di suatu Perguruan Tinggi.

Jika pertanyaan diatas terbukti sebaliknya, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Transportasi Darat Bali.

Tabanan, 1 Juni 2025

Penulis,



Handwritten signature of Ni Putu Kiran Rizkya Putri.

Ni Putu Kiran Rizkya Putri

2202016

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Perancangan Aplikasi Penentuan Rute dan Biaya Distribusi Logistik”**. Tugas akhir ini disusun dalam rangka memperoleh gelar Ahli Madya pada Program Studi Diploma III Manajemen Logistik Politeknik Transportasi Darat Bali.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua yang selalu memberikan dukungan, doa dan semangat tanpa henti dalam menjalani setiap proses dalam pendidikan ini.
2. Ibu Firga Ariani, SE., M.M.Tr selaku direktur Politeknik Transportasi Darat Bali beserta staf dan jajarannya.
3. Bapak Nengah Widiangga Gautama S.T, M.T. selaku Kepala Program Studi Diploma III Manajemen Logistik beserta staf program studi.
4. Bapak Ahmad Soimun, S.T., M.T selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan dan waktunya kepada penulis.
5. Ibu Ni Luh Darmayanti, S.Kep., Ns., M.M selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan, bimbingan dan waktunya kepada penulis
6. Dosen Program studi Diploma III Manajemen Logistik yang telah memberikan bimbingan, ilmu dan dukungan selama pendidikan berlangsung.
7. Bapak Hadi Sota Prasetya selaku Kepala Bidang Keselamatan Dinas perhubungan Kabupaten Malang yang telah bersedia memberikan saran dan masukan yang sangat berguna dalam penyusunan penelitian ini.
8. Kak Ni Made Meida Puritasari, A.Md. Log yang telah memberikan izin kepada penulis untuk menggunakan data penelitiannya sebagai data sekunder dalam penelitian ini.
9. Rekan-rekan Mahasiswa/i Politeknik Transportasi Darat Bali Angkatan III, khususnya MLOG 3A atas kebersamaan dan kenangannya selama pendidikan.

10. Kakak tingkat yang telah memberikan referensi dan motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
11. Sahabat penulis yang senantiasa memberikan doa, dukungan dan semangat yang tak ternilai, sejak pendidikan dilaksanakan hingga mencapai akhir pendidikan.

Penulis menyadari Tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, dibutuhkan kritik dan saran yang bersifat membangun bagi perbaikan penulisan.

Denpasar, 2 Januari 2025

Penulis,



**NI PUTU KIRAN RIZKYA PUTRI**

NIM. 2202016

## DAFTAR ISI

SAMPUL LUAR .....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
INTISARI .....	xiv
<i>ABSTRACT</i> .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Penelitian .....	6
BAB II GAMBARAN UMUM .....	7
2.1 Wilayah Administratif.....	7
2.2 Kondisi Geografis .....	9
2.3 Kondisi Transportasi .....	10
BAB III TINJAUAN PUSTAKA .....	12

3.1 Distribusi Logistik.....	12
3.2 <i>Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)</i> .....	12
3.3 <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i> .....	16
3.4 Biaya Operasional Kendaraan PCI.....	20
3.5 Python dan Visual Studio Code.....	25
3.6 Penelitian Terdahulu .....	29
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
4.1 Sumber dan Teknik Pengumpulan Data.....	31
4.2 Metode Analisis Data .....	40
4.3 Bagan Alir Penelitian .....	51
4.4 Timeline Kegiatan .....	52
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>53</b>
5.1 Perancangan Sistem.....	53
5.2 Implementasi Aplikasi.....	66
5.3 Validasi Sistem.....	86
<b>BAB VI PENUTUP .....</b>	<b>91</b>
6.1 Kesimpulan.....	92
6.2 Saran.....	93
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>94</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>98</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Luas Wilayah Administratif Provinsi Bali.....	9
Tabel 2. 2 Jumlah Kendaraan Menurut Jenisnya di Provinsi Bali.....	11
Tabel 3.1 Penelitian Terdahulu .....	29
Tabel 4.1 Wilayah Distribusi .....	33
Tabel 4.2 Lokasi Distribusi dan Alamat .....	34
Tabel 4.3 Lokasi Distribusi dan Koordinat.....	35
Tabel 4.4 Data Kendaraan.....	36
Tabel 4.5 Data Permintaan.....	36
Tabel 4.6 Matriks Jarak.....	37
Tabel 4.7 Elemen dan Harga Operasional Kendaraan .....	38
Tabel 4.8 Rute Eksisting .....	39
Tabel 4.9 Elemen Biaya Distribusi .....	39
Tabel 4.10 Timeline Kegiatan.....	52
Tabel 5. 1 Hasil <i>Black Box Testing</i> .....	60
Tabel 5. 2 Hasil <i>Black Box Testing</i> BOK PCI .....	65
Tabel 5. 3 Perbandingan Hasil Rute .....	87
Tabel 5. 4 Hasil Validasi Aplikasi BOK PCI .....	89

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Administrasi Provinsi Bali .....	7
Gambar 2. Contoh kasus CVRP .....	14
Gambar 3. Contoh solusi dari CVRP .....	14
Gambar 4. Prinsip ACO .....	17
Gambar 5. <i>Use Case Diagram</i> ACO .....	17
Gambar 6. Halaman Utama Mengunduh Python .....	26
Gambar 7. Instalasi Python .....	27
Gambar 8. Python <i>Extension</i> untuk Visual Studio Code .....	28
Gambar 9. Diagram alir CVRP .....	41
Gambar 10. Diagram alir ACO .....	46
Gambar 11. Diagram Alir Biaya Operasional Kendaraan .....	50
Gambar 12. Bagan Alir Penelitian .....	51
Gambar 13. <i>Use Case Diagram</i> .....	54
Gambar 14. Desain Tampilan Aplikasi .....	58
Gambar 15. Implementasi ACO Pada Sistem Rute .....	59
Gambar 16. <i>Use Case Diagram</i> .....	61
Gambar 17. Desain Tampilan Aplikasi BOK PCI .....	63
Gambar 18. Implementasi BOK PCI Pada Sistem .....	65
Gambar 19. <i>Activity Diagram</i> .....	67
Gambar 20. Tampilan Awal Aplikasi .....	68
Gambar 21. Fitur Input Lokasi .....	68
Gambar 22. Input Lokasi Gudang .....	69
Gambar 23. Input Destinasi Pengiriman .....	69
Gambar 24. Lokasi Gudang Berhasil Disimpan .....	70
Gambar 25. Lokasi Destinasi Berhasil Disimpan .....	70
Gambar 26. Input Parameter Optimasi .....	72
Gambar 27. Menyimpan Parameter .....	73
Gambar 28. Matriks Jarak dan Hitung Rute .....	74
Gambar 29. Hitung Rute .....	74

Gambar 30. Fitur <i>Export</i> ke Excel .....	75
Gambar 31. Data Berhasil Diekspor .....	75
Gambar 32. Hasil Ekspor ke Excel .....	76
Gambar 33. Hasil Ekspor ke Excel .....	77
Gambar 34. Hasil Ekspor ke Excel .....	77
Gambar 35. Tautan Google Maps .....	78
Gambar 36. <i>Activity Diagram</i> .....	79
Gambar 37. Tampilan Awal Aplikasi BOK PCI .....	80
Gambar 38. Input Data Kendaraan .....	81
Gambar 39. Golongan Kendaraan.....	81
Gambar 40. Hitung BOK .....	82
Gambar 41. Hasil Hitung BOK.....	83
Gambar 42. Simpan ke Excel.....	83
Gambar 43. Menyimpan Hasil Perhitungan.....	84
Gambar 44. Data dan Grafik Berhasil Disimpan .....	84
Gambar 45. Tampilan Hasil pada Excel .....	85
Gambar 46. Hapus Data .....	86
Gambar 47. Hasil BOK PCI pada Aplikasi.....	90
Gambar 48. Perbandingan Biaya Distribusi.....	91

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Matriks Jarak Microsoft Excel .....	98
Lampiran 2 <i>Saving</i> Matriks Microsoft Excel .....	99
Lampiran 3 Hasil Perhitungan Rute dengan Microsoft Excel .....	100
Lampiran 4 Matriks Jarak pada Aplikasi CVRP .....	101
Lampiran 5 Hasil Rute dari Aplikasi CVRP .....	102
Lampiran 6 Hasil BOK pada Microsoft Excel .....	104
Lampiran 7 <i>Manual Book</i> Aplikasi CVRP dan BOK PCI .....	106
Lampiran 8 Lembar Asistensi Bimbingan Tugas Akhir .....	107



## INTISARI

### Perancangan Aplikasi Penentuan Rute dan Distribusi Logistik

Oleh

NI PUTU KIRAN RIZKYA PUTRI

2202016

Ketidakefektifan rute distribusi dapat meningkatkan biaya operasional akibat jarak tempuh yang panjang, konsumsi bahan bakar yang tinggi, dan pemanfaatan kapasitas kendaraan yang tidak optimal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang aplikasi penentuan rute distribusi logistik dengan menggabungkan algoritma *Ant Colony Optimization* dan metode *Capacitated Vehicle Routing Problem*, serta aplikasi perhitungan Biaya Operasional Kendaraan *Pacific Consultant International*. Aplikasi yang dikembangkan bertujuan untuk mengurangi biaya operasional, mengoptimalkan pemanfaatan kendaraan, serta memanfaatkan teknologi secara efektif dalam industri logistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biaya distribusi menggunakan Microsoft Excel adalah Rp 962.882, sedangkan dengan aplikasi berbasis CVRP dan BOK PCI, biaya distribusi berkurang menjadi Rp 868.295, memberikan penghematan sebesar Rp 94.587. Aplikasi ini berhasil menghemat jarak tempuh sebesar 128,03 km, dengan pengurangan biaya sebesar 39,08% dibandingkan dengan kondisi eksisting. Jarak pada kondisi eksisting adalah 327,6 km, sedangkan jarak pada aplikasi berbasis CVRP dan BOK PCI hanya 199,57 km. Penelitian ini membuktikan bahwa pemanfaatan teknologi dalam logistik dapat mengatasi tantangan operasional, seperti kapasitas kendaraan yang terbatas dan pemilihan rute yang lebih efisien.

**Kata Kunci :** *Ant Colony Optimization, Capacitated Vehicle Routing Problem, Pacific Consultant International*

## **ABSTRACT**

### ***Route Determination and Logistics Distribution Application Design***

Oleh

NI PUTU KIRAN RIZKYA PUTRI

2202016

*Ineffectiveness of distribution routes can increase operational costs due to long travel distances, high fuel consumption, and vehicle capacity utilization. Long distances, high fuel consumption, and suboptimal utilization of vehicle capacity. Capacity utilization is not optimal. This research aims to design an application for determining logistics distribution route determination application by combining the Ant Colony Optimization algorithm and Capacitated Vehicle Routing Problem method, as well as the application of Pacific Consultant Vehicle Operating Cost calculation International. The developed application aims to reduce operational costs, optimize operational costs, optimize vehicle utilization, and utilize technology effectively in the logistics industry. The results showed that the distribution cost using Microsoft Excel is Rp 962.882, while with the CVRP and BOK PCI-based application based on CVRP and BOK PCI, the distribution cost is reduced to Rp. 868,295, providing a savings of Rp 94,587. This application successfully saved a distance of 128.03 km, with a cost reduction of 39.08% compared to the existing conditions. The distance in the existing condition is 327.6 km, while the distance in the CVRP and BOK PCI-based application is only 199.57 km. This research also proves that using technology in logistics can overcome operational challenges, such as limited vehicle capacity and capacity and more efficient route selection.*

**Keywords:** *Ant Colony Optimization, Capacitated Vehicle Routing Problem, Pacific Consultan International*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam era globalisasi dan persaingan bisnis yang semakin ketat, efisiensi operasional menjadi kunci utama untuk memenangkan pasar. Salah satu aspek kritis dalam hal ini adalah distribusi logistik, di mana proses pengantaran barang dari pusat distribusi ke pelanggan harus dirancang secara optimal untuk menghemat biaya dan waktu (Moudya dkk., 2023). Distribusi yang efisien bukan hanya berperan dalam menekan biaya operasional, tetapi juga menjadi faktor penting dalam memastikan kepuasan pelanggan, yang pada akhirnya meningkatkan daya saing perusahaan di pasar global (Wulandari, 2020). Hal ini mendapat dukungan dari pemerintah guna mendorong pertumbuhan ekonomi dengan menargetkan, turunnya biaya logistik dari 14.29% menjadi 8% dari Produk Domestik Bruto (PDB) (Biro Komunikasi dan Informasi Publik, 2024).

Manajemen logistik yang baik akan memodifikasi panjangnya rantai pasok sehingga menjadi lebih efisien meliputi kelancaran aliran barang, informasi, dan sumber daya dari produsen hingga konsumen akhir. Aktivitas logistik mencakup berbagai proses seperti pengangkutan, pergudangan, pengendalian inventori, dan pengelolaan distribusi (Maryani, 2023.). Efisiensi dalam pelaksanaan logistik menjadi aspek yang sangat penting, karena tidak hanya berkontribusi pada pengurangan biaya operasional, tetapi juga mendukung peningkatan kualitas layanan kepada pelanggan (Moudya dkk., 2023). Dengan semakin kompleksnya kebutuhan dan tantangan di dunia logistik, efisiensi biaya distribusi menjadi perhatian penting bagi sektor industri.

Dalam kaitannya dengan logistik, distribusi memegang peranan strategis sebagai penghubung utama antara produsen dan konsumen (Ahadi dkk., 2022). Proses distribusi melibatkan perencanaan dan pelaksanaan pengiriman barang

dengan mempertimbangkan berbagai faktor, seperti rute, waktu, dan biaya. Adanya kenaikan harga Bahan Bakar Minyak (BBM) per 1 Januari 2025 sebesar 3% hingga 5.9% yang menimbulkan tingginya biaya pengiriman, sehingga menjadi urgensi untuk dapat mengoptimalkan pemilihan rute distribusi oleh sektor industri (Annisa, 2025) dimana, biaya distribusi mempengaruhi sekitar 10-20% dari biaya total produk (Kristina dkk., 2022.). Penentuan rute yang optimal memiliki peran strategis dalam meningkatkan efisiensi operasional perusahaan, terutama dalam proses distribusi. Dengan rute pengiriman yang dirancang secara tepat, perusahaan dapat mengurangi jarak tempuh kendaraan, menghemat bahan bakar, dan meminimalkan waktu pengiriman.

Rute yang efisien membantu perusahaan mengoptimalkan penggunaan armada kendaraan dan sumber daya manusia, sehingga mengurangi biaya operasional secara keseluruhan (Saputro dkk., 2024). Tidak hanya berdampak pada penghematan biaya, penentuan rute yang baik juga meningkatkan keandalan pengiriman, yang pada gilirannya memperbaiki tingkat kepuasan pelanggan. Dalam skala yang lebih besar, efisiensi ini juga mendukung keberlanjutan operasional perusahaan melalui pengurangan emisi karbon, sejalan dengan kebutuhan untuk menjalankan praktik bisnis yang lebih ramah lingkungan (Moudya dkk., 2023). Ketidakefektifan dalam menentukan rute pengiriman dapat memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap operasional perusahaan, khususnya dalam sektor logistik dan distribusi.

Salah satu dampak ketidakefektifan rute adalah meningkatnya biaya operasional akibat jarak tempuh yang lebih panjang dan konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi, ketidakmaksimalan dalam pemanfaatan kapasitas kendaraan juga menjadi masalah yang sering terjadi, sehingga meningkatkan risiko pemborosan operasional. Kondisi ini tidak hanya menyebabkan pemborosan sumber daya, tetapi juga menurunkan efisiensi waktu pengiriman, sehingga dapat berakibat pada keterlambatan pengantaran barang ke pelanggan (Ahadi dkk., 2022). Hal tersebut, pada akhirnya, berpotensi menurunkan tingkat kepuasan pelanggan dan

melemahkan reputasi perusahaan. Oleh karena itu, perencanaan dan penentuan rute yang efektif merupakan aspek penting yang harus dioptimalkan untuk mendukung keberlanjutan dan efisiensi operasional perusahaan.

Secara tradisional, pemecahan masalah rute distribusi dilakukan dengan metode heuristik atau bahkan secara manual. Metode ini mengandalkan pendekatan berbasis pengalaman, estimasi, atau aturan praktis yang bisa memberikan solusi cukup baik meskipun tidak selalu optimal terutama pada skala besar dengan banyak titik tujuan yang harus dipertimbangkan. Seiring dengan semakin terintegrasinya wilayah dan meningkatnya kebutuhan untuk solusi otomatis yang cepat dan akurat, terutama di sektor logistik dan transportasi, pendekatan berbasis algoritma komputer menjadi sangat diperlukan. Strategi pengembangan logistik di tahun 2024-2025 melibatkan beberapa aspek utama yakni transformasi digital layanan logistik yang berkaitan dengan usaha mencapai turunnya biaya logistik sebesar 6.29% (Biro Komunikasi dan Informasi Publik, 2024). Salah satu transformasi digital yang dapat dilakukan dengan merancang sebuah sistem penentuan rute berbasis aplikasi (Huddiniah dkk., 2018).

Penelitian terdahulu mengenai perancangan sistem penentuan rute telah dilakukan oleh (Muhayyaroh dkk., 2023). Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui perancangan aplikasi yang dapat mempermudah penentuan rute tercepat dengan biaya distribusi yang optimal. Dalam pemecahan permasalahan tersebut, menggunakan metode *Saving Matrix* dan *Nearest Insertion* berbasis *Visual Basic for Application*. Hasil penelitian tersebut ialah rancangan sistem penentuan rute distribusi dengan optimal dan dapat menghitung total waktu tempuh kendaraan (Muhayyaroh dkk., 2023). Dari penelitian tersebut terdapat kelemahan berupa penggunaan VBA Excel tidak optimal untuk menangani data dalam jumlah besar atau permasalahan yang lebih kompleks, mengingat keterbatasan Excel dalam memproses perhitungan yang membutuhkan waktu komputasi tinggi.

Adapun hal yang dapat dikembangkan dari penelitian terdahulu yakni dengan mengkolaborasikan metode penentuan rute *Capacitated Vehicle Routing*

*Problem* (CVRP) dengan *Ant Colony Optimization* (ACO) berbasis Python. Dengan CVRP, setiap kendaraan diatur untuk tidak melebihi kapasitas angkutannya, yang memastikan efisiensi operasional dan menghindari pemborosan (Nurlathifah dkk., 2020). Dalam kolaborasi ini, ACO membangun solusi dengan semut virtual yang secara iteratif memilih rute berdasarkan probabilitas yang dipengaruhi oleh intensitas feromon dan daya tarik heuristik, seperti jarak (Adjie dkk., 2021). Maka, kolaborasi CVRP dan ACO dapat memberikan pendekatan yang fleksibel, efisien, dan cocok untuk masalah optimasi logistik skala besar.

Berdasarkan uraian permasalahan dan urgensi penelitian ini, penulis tertarik untuk membahas sebuah judul penelitian yaitu **PERANCANGAN APLIKASI PENENTUAN RUTE DAN BIAYA DISTRIBUSI LOGISTIK**. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan kapasitas kendaraan serta menemukan rute terpendek yang memungkinkan kendaraan untuk melayani beberapa titik secara bersamaan. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat mengurangi biaya operasional, meminimalkan jarak dan waktu tempuh, serta memanfaatkan teknologi secara efektif dalam industri logistik.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan penjelasan permasalahan pada latar belakang, maka rumusan masalah yang dapat disusun adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara merancang aplikasi penentuan rute dan biaya distribusi dengan menggunakan algoritma ACO pada CVRP dan BOK PCI?
2. Bagaimana aplikasi dapat diimplementasikan untuk meningkatkan efisiensi dalam manajemen distribusi logistik?
3. Bagaimana hasil validasi aplikasi penentuan rute dan biaya operasional kendaraan yang dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dan data asli, untuk memastikan tingkat keandalan hasil yang diperoleh?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, terdapat tujuan penelitian untuk menjawab rumusan masalah tersebut, yaitu:

1. Mengetahui perancangan aplikasi penentuan rute dan biaya distribusi logistik dengan menggunakan algoritma ACO pada metode CVRP dan BOK PCI.
2. Mengimplementasikan algoritma ACO dan persamaan BOK PCI dalam perangkat lunak untuk penentuan rute dan biaya pada distribusi logistik.
3. Memvalidasi aplikasi penentuan rute dan biaya operasional kendaraan dengan membandingkan hasil simulasi dan data asli untuk memastikan keandalan hasil.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diberikan setelah melakukan penelitian ini, yaitu:

1. Bagi Mahasiswa  
Mahasiswa dapat mengimplementasikan dan mengembangkan kemampuan terkait pengembangan aplikasi berbasis algoritma pada salah satu metode penentuan rute seperti CVRP yang berkaitan dengan Mata Kuliah Komputasi Logistik dan Survei dan Analisis Penentuan Rute.
2. Bagi Perusahaan  
Penelitian ini dapat memberi dasar bagi perusahaan untuk mengambil keputusan logistik yang lebih akurat dan berbasis pada data sehingga dapat mengoptimalkan kapasitas kendaraan, jarak tempuh, biaya operasional kendaraan dan sumber daya.
3. Bagi Program Studi D-III Manajemen Logistik  
Hasil penelitian ini mendorong pengintegrasian algoritma optimasi, seperti ACO ke dalam kurikulum untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa tentang teknologi yang relevan dengan industri logistik.
4. Bagi Politeknik Transportasi Darat Bali

Penelitian ini dapat memperkuat reputasi Politeknik Transportasi Darat Bali sebagai institusi yang berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang logistik.

### 1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada batasan-batasan yang telah ditentukan sebelumnya, sehingga hasil yang diperoleh tetap sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Batasan masalah dalam penelitian ini, dijabarkan sebagai berikut:

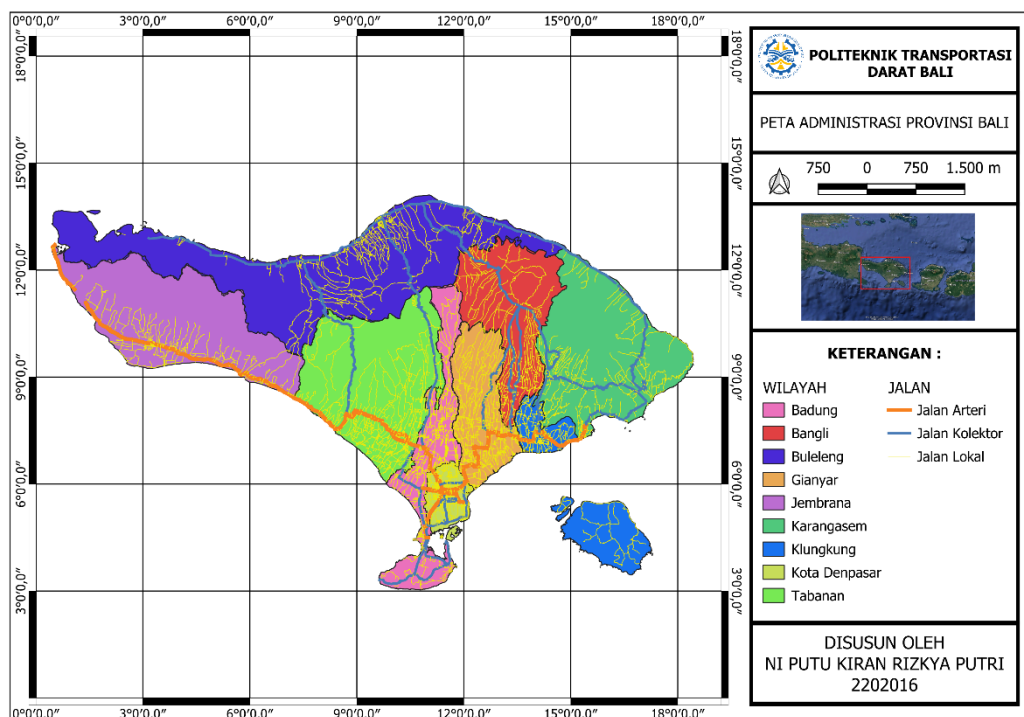
1. Penelitian ini dilakukan di Politeknik Transportasi Darat Bali, dengan ruang lingkup studi yang berfokus pada wilayah Provinsi Bali.
2. Penelitian ini menggunakan algoritma ACO sebagai pendekatan utama dalam menyelesaikan permasalahan CVRP dengan kategori angkutan barang kecil pada jalan perkotaan.
3. Sistem dirancang dan diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan dukungan *platform* pengembangan Visual Studio Code untuk efisiensi dan fleksibilitas pengembangan.
4. Biaya operasional kendaraan dihitung berdasarkan PCI (*Pacific Consultants International*) Non Jalan Tol, dengan menggunakan asumsi atau standar yang relevan di wilayah penelitian.
5. Faktor-faktor seperti kecelakaan atau perubahan kondisi cuaca tidak dimasukkan dalam analisis, sehingga hasil penelitian fokus pada skenario statis.
6. Laporan Tugas Akhir Ni Made Meida Puritasari, A.Md. Log yang berjudul “Optimalisasi *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dan Biaya Distribusi di Perumda Air Minum Tirta Sanjiwani Kabupaten Gianyar Bali” digunakan untuk menguji aplikasi. Data yang digunakan meliputi lokasi gudang, lokasi pengiriman, kendaraan distribusi, serta permintaan masing-masing lokasi pengiriman.

## BAB II

### GAMBARAN UMUM

#### 2.1 Wilayah Administratif

Secara administratif, Provinsi Bali terdiri dari delapan kabupaten dan satu kota, dengan Denpasar sebagai ibu kota sekaligus pusat pemerintahan, perdagangan, dan budaya (LPPD Provinsi Bali, 2022). Denpasar memiliki peran penting sebagai hub utama dalam mendukung kegiatan distribusi dan logistik, yang melayani pergerakan barang dan jasa antarwilayah di Bali maupun ke luar pulau. Infrastruktur modern seperti Bandara Internasional Ngurah Rai yang terletak di Kabupaten Badung menjadi pintu gerbang utama Bali, mendukung arus wisatawan, barang, dan bahan kebutuhan untuk sektor pariwisata dan ekonomi lokal. Gambar 1 menunjukkan peta administrasi Provinsi Bali.



**Gambar 1.** Peta Administrasi Provinsi Bali  
(Sumber: Penulis, 2025)

Setiap kabupaten di Bali memiliki peran strategis dalam mendukung kegiatan distribusi dan logistik. Kabupaten Badung, yang mencakup kawasan wisata utama seperti Kuta, Nusa Dua, dan Jimbaran, menjadi pusat ekonomi dengan fasilitas logistik modern dan aksesibilitas yang baik. Gianyar, selain dikenal sebagai pusat seni dan budaya dengan Ubud sebagai ikon, juga berkontribusi pada sektor ekonomi kreatif yang membutuhkan rantai pasok bahan seni dan kerajinan. Tabanan, dengan kawasan pertaniannya seperti Jatiluwih yang diakui UNESCO, menjadi pusat distribusi hasil agrikultur untuk kebutuhan lokal maupun pariwisata.

Di bagian timur Bali, Kabupaten Klungkung, termasuk Kepulauan Nusa seperti Nusa Penida, menghadapi tantangan logistik karena lokasinya yang terpisah, tetapi tetap penting sebagai pusat ekowisata. Karangasem mendukung distribusi hasil pertanian dan perikanan, serta menyediakan akses bagi wisatawan yang tertarik pada atraksi seperti Gunung Agung dan lokasi menyelam di Tulamben. Di bagian utara, Kabupaten Buleleng dengan garis pantai terpanjang berperan penting dalam distribusi produk kelautan dan agrikultur, sedangkan Bangli, meski tanpa pesisir, memanfaatkan akses ke kawasan strategis seperti Danau Batur untuk mendukung sektor pariwisata.

Wilayah Bali bagian barat, terutama Kabupaten Jembrana dengan Pelabuhan Gilimanuk sebagai pintu gerbang utama Bali dari Jawa, menjadi simpul penting dalam rantai distribusi barang (Yundari dkk., 2022). Dengan dukungan infrastruktur seperti jalan lintas barat dan Taman Nasional Bali Barat yang menjadi daya tarik wisata, kabupaten ini menyeimbangkan kebutuhan logistik dan konservasi. Keragaman dan keunikan tiap wilayah administratif Bali tidak hanya memperkuat daya saing pariwisata, tetapi juga menciptakan potensi besar bagi pengembangan sistem distribusi dan logistik yang lebih efisien di seluruh pulau.

Tabel 2.1 menyajikan luas wilayah administratif Provinsi Bali, yang menggambarkan distribusi wilayah per kabupaten/kota:

**Tabel 2. 1** Luas Wilayah Administratif Provinsi Bali

Kabupaten/Kota	Ibu Kota Wilayah	Luas Wilayah (km <sup>2</sup> )	Persentase Terhadap Luas Wilayah
Jembrana	Negara	841.80	14.56
Tabanan	Tabanan	1.013.88	17.54
Badung	Mangupura	418.62	7.24
Gianyar	Gianyar	368.00	6.37
Klungkung	Semarapura	315.00	5.45
Bangli	Bangli	490.71	8.49
Karang Asem	Amlapura	839.54	14.52
Buleleng	Singaraja	1.364.73	23.61
Kota Denpasar	Denpasar	127.78	2.21

(Sumber: BPS Provinsi Bali Tahun 2023)

## 2.2 Kondisi Geografis

Provinsi Bali terletak di bagian tengah kepulauan nusantara, mencakup Pulau Bali dan beberapa pulau kecil seperti Nusa Penida, Nusa Lembongan, dan Nusa Ceningan. Dengan luas sekitar 5.780,06 km<sup>2</sup> (LPPD Provinsi Bali, 2022). Bali memiliki posisi strategis yang menghubungkan Pulau Jawa di barat dan Pulau Lombok di timur, dikelilingi oleh Selat Bali, Selat Lombok, Laut Bali, dan Samudra Hindia. Posisi ini menjadikan Bali sebagai pusat logistik penting untuk kawasan Indonesia Tengah dan Timur, didukung oleh pelabuhan utama seperti Gilimanuk dan Padang Bai yang menjadi jalur vital distribusi barang.

Topografi Bali yang bervariasi, mulai dari pegunungan hingga dataran rendah, memberikan tantangan dan peluang bagi sektor logistik. Pegunungan seperti Gunung Agung dan Gunung Batur membatasi pembangunan infrastruktur

di wilayah tengah, sementara dataran rendah di selatan, seperti Denpasar, Badung, dan Tabanan, menjadi pusat logistik dengan infrastruktur yang memadai. Kawasan ini mendukung aktivitas perdagangan lokal dan internasional melalui gudang, pusat distribusi, dan pasar besar, memperkuat konektivitas logistik di seluruh pulau.

Selain itu, wilayah pesisir Bali memainkan peran penting dalam logistik pariwisata dan distribusi barang. Pantai-pantai populer seperti Kuta, Sanur, dan Nusa Dua menjadi pusat pariwisata yang membutuhkan rantai pasok efisien untuk memenuhi kebutuhan hotel dan restoran. Pelabuhan kecil di utara dan timur, seperti Celukan Bawang dan Amed, mendukung pengiriman barang lokal dan ekspor hasil laut. Keunikan geografis Bali, termasuk sistem Subak untuk pertanian dan hasil laut dari pesisir, menuntut perencanaan logistik yang matang guna mendukung sektor-sektor utama seperti pariwisata, pertanian, dan perikanan (Kurniawan dkk., 2024).

### **2.3 Kondisi Transportasi**

Transportasi angkutan barang di Bali melibatkan berbagai jenis moda yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan logistik yang beragam, baik untuk pengiriman lokal maupun antar pulau. Angkutan darat memainkan peran penting dalam mendukung distribusi barang, dengan truk digunakan untuk pengiriman barang dalam jumlah besar, *pick-up* untuk barang dengan jumlah sedang atau jarak dekat, dan motor untuk pengiriman kecil atau cepat. Di sisi lain, angkutan laut, seperti kapal ferry dan kapal kargo, mendukung pengangkutan barang antar pulau, dengan ferry melayani pengiriman skala sedang, sementara kapal kargo menangani muatan besar dalam kontainer. Angkutan udara, melalui pesawat kargo, menjadi solusi bagi pengiriman barang yang mendesak atau bernilai tinggi.

Efisiensi transportasi barang di Bali dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jarak tempuh, jenis dan volume barang, serta waktu pengiriman. Untuk barang yang mudah rusak atau bernilai tinggi, kendaraan dengan pendingin atau sistem keamanan khusus diperlukan, sementara pengiriman yang membutuhkan kecepatan dapat mengandalkan pesawat kargo. Namun, beberapa tantangan seperti

kondisi infrastruktur jalan yang belum merata, kemacetan di kawasan wisata, dan tingginya biaya transportasi dibandingkan dengan daerah lain di Indonesia masih menghambat operasional transportasi di Bali.

Untuk mengatasi kendala-kendala tersebut, beberapa solusi dapat diterapkan, termasuk peningkatan infrastruktur jalan, terutama di daerah pegunungan, penerapan teknologi seperti sistem pelacakan kendaraan untuk meningkatkan efisiensi logistik, serta pengembangan transportasi publik guna mengurangi kemacetan. Dalam memilih jasa angkutan barang di Bali, penting untuk mempertimbangkan harga, reputasi perusahaan, keberadaan asuransi barang, dan memilih jenis kendaraan yang sesuai dengan kebutuhan logistik. Adapun penjabaran mengenai jumlah kendaraan menurut jenisnya di Provinsi Bali pada tahun 2023 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Jumlah Kendaraan Menurut Jenisnya di Provinsi Bali

Jenis Kendaraan	Banyaknya Kendaraan Menurut Jenisnya di Provinsi Bali (Unit)
	2023
Bus	11.584
Truk	176.882
Sepeda Motor	4.303.266
Mobil Penumpang	524.619
<b>Jumlah</b>	<b>5.016.351</b>

(Sumber: BPS Provinsi Bali, 2023)

Tabel 2.2 menunjukkan bahwa sepeda motor mendominasi jumlah kendaraan di Bali, mencerminkan preferensi penduduk terhadap moda transportasi ini untuk mobilitas sehari-hari. Selain itu, tercatat sebanyak 176.882 truk yang beroperasi di Provinsi Bali pada 2023, yang menandakan bahwa kegiatan angkutan barang di Bali cukup signifikan.

## **BAB III**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **3.1 Distribusi Logistik**

Distribusi merupakan bagian penting dalam rantai pasok yang melibatkan pemindahan barang dari pemasok atau produsen ke pengecer hingga sampai ke konsumen akhir (Patmawati dan Nugroho. 2022). Distribusi memegang peranan kunci dalam pendapatan perusahaan karena berhubungan langsung dengan biaya operasional perusahaan. Jaringan distribusi yang efektif dapat membantu mencapai tujuan rantai pasok, mulai dari pengurangan biaya hingga peningkatan respon terhadap permintaan. Adapun peran distribusi dalam rantai pasok seperti distribusi berfungsi sebagai penghubung antara produsen dan konsumen akhir atau pengecer, memastikan produk sampai ke pasar tepat waktu dan dalam kondisi baik. Selain itu, distribusi juga mencakup penyimpanan dan pengelolaan persediaan, yang memungkinkan produk disimpan dengan baik di gudang dan dipindahkan sesuai kebutuhan pasar tanpa terjadinya kelebihan atau kekurangan stok.

Distribusi yang efektif dan efisien juga berperan dalam optimalisasi rantai pasok dengan mengurangi biaya transportasi dan waktu pengiriman, serta meningkatkan respon terhadap permintaan pasar. Dengan distribusi yang terorganisir, konsumen dapat menerima produk sesuai dengan kualitas, kuantitas, dan waktu yang diinginkan, yang berkontribusi pada peningkatan kepuasan pelanggan dan loyalitas. Distribusi yang fleksibel memberikan kemampuan kepada perusahaan untuk merespons perubahan permintaan atau situasi tertentu, seperti perubahan musim atau tren, sehingga pengiriman produk dapat disesuaikan dengan kebutuhan pasar yang dinamis (Sekarningtyas dkk., 2023).

#### **3.2 *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)***

CVRP adalah salah satu variasi yang paling umum dari *Vehicle Routing Problem* (VRP). Dalam CVRP, terdapat tambahan kendala mengenai kapasitas

kendaraan yang homogen atau identik yang digunakan untuk mengunjungi berbagai agen sesuai dengan permintaan masing-masing. Pada permasalahan CVRP, terdapat beberapa aspek penting yang harus dipenuhi yaitu setiap kendaraan memiliki kapasitas terbatas, dan jumlah permintaan barang dari agen dalam satu rute tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan yang melayani rute tersebut. Dengan demikian, setiap kendaraan hanya dapat membawa sejumlah barang yang sesuai dengan kapasitasnya selama perjalanan (Patmawati dan Nugroho, 2022).

Setiap agen hanya dapat dikunjungi sekali oleh satu kendaraan, yang berarti setiap agen dalam rute perjalanan hanya menerima barang dari satu kendaraan dan hanya sekali sepanjang perjalanan. Semua rute perjalanan dimulai dan berakhir di depot, yang berfungsi sebagai titik pusat atau lokasi awal untuk semua kendaraan. Depot ini juga merupakan tempat pengambilan barang yang akan didistribusikan ke agen-agen. Tujuan utama dari CVRP adalah untuk meminimalkan total jarak tempuh yang diperlukan oleh kendaraan dalam mendistribusikan barang dari depot ke agen-agen. Oleh karena itu, rute perjalanan yang dipilih harus memperhatikan efisiensi dalam hal jarak dan kapasitas kendaraan, guna meminimalkan biaya transportasi (Suheri, 2022).

Adapun pemodelan untuk CVRP memiliki parameter-parameter sebagai berikut :

$n$  adalah jumlah agen,

$q$  menunjukkan kapasitas setiap kendaraan,

$d_i$  menunjukkan permintaan agen, dan

$C_{ij}$  adalah jarak tempuh perjalanan dari agen ke agen

Semua parameter dianggap nilai integer tidak negatif. Sejumlah kendaraan homogennya dengan kapasitas  $q$  dan sebuah depot utama, dengan indeks 0, melakukan pengiriman ke agen, dengan indeks 1 sampai  $n$ . Adapun contoh ilustrasi dari kasus CVRP disajikan pada Gambar 2 (Suheri, 2022).



termasuk dalam kategori masalah *NP-hard*. Oleh karena itu, dibutuhkan metode khusus untuk menyelesaikannya. Beberapa pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah CVRP meliputi pendekatan eksak, heuristik, dan metaheuristik (Suheri, 2022).

Selain himpunan, parameter, dan variabel keputusan dalam penelitian ini, kendala-kendala pada model CVRP didefinisikan sebagai berikut (Patmawati dan Nugroho, 2022):

1. Setiap konsumen hanya dapat dikunjungi tepat satu kali oleh satu armada. Kendala ini didefinisikan sebagai berikut:

$$\sum_{k \in K}^n y_i^k = 1, \forall i \in V \quad (3.1)$$

2. Rute setiap kendaraan dimulai dari depot yang sama, yang berarti jumlah kendaraan yang meninggalkan depot harus sama dengan jumlah kendaraan yang tersedia. Kendala ini didefinisikan sebagai berikut:

$$\sum_{k \in K}^n y_i^k = |K|, \forall i \in V \quad (3.2)$$

3. Setiap kendaraan akan mengunjungi satu konsumen, kemudian meninggalkan konsumen tersebut untuk melanjutkan perjalanan ke konsumen berikutnya, dan akhirnya kembali ke depot. Ini berarti kendaraan yang menuju konsumen I akan meninggalkan konsumen I. Kendala ini didefinisikan sebagai berikut:

$$\sum_{j \in V}^n X_{ij}^k = v_{ij}^k = \forall i, l \in V \cup D, \forall k \in K \quad (3.3)$$

4. Setiap kendaraan memiliki batas kapasitas sebesar  $C_k$ . Oleh karena itu, total permintaan konsumen yang harus dipenuhi dalam satu rute oleh setiap kendaraan tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan tersebut. Kendala ini didefinisikan sebagai berikut:

$$\sum_{i \in V}^n d_i y_i^k \leq C_{k,i} \forall k \in K \quad (3.4)$$

5. Rute setiap kendaraan harus terhubung. Misalkan S adalah himpunan bagian

dari  $V$  dan  $|S|$  adalah jumlah anggota dalam  $S$ . Jika suatu kendaraan mengunjungi  $i \in S$  dan ada rute menuju  $j \in S$ , maka jumlah rute yang dilalui oleh kendaraan tersebut di  $S$  tidak boleh lebih dari  $|S| - 1$ . Kendala ini didefinisikan sebagai berikut:

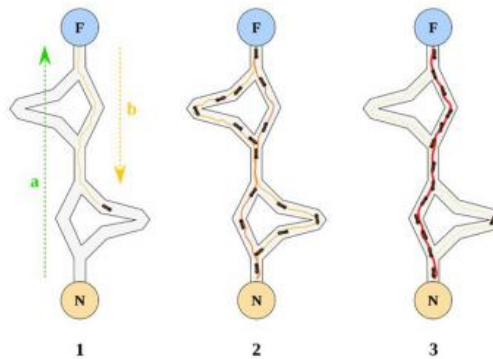
$$\sum_{i \in S} X_{ij}^k \leq |S| - 1, \forall S \subseteq V, |S| \geq 2, \forall k \in K \quad (3.5)$$

6. Fungsi tujuan dari model CVRP adalah meminimumkan jarak tempuh perjalanan bagi semua kendaraan di  $K$ . Fungsi tujuan tersebut dituliskan sebagai berikut:

$$z = \sum_{k \in K} \sum_{i \in K} \sum_{j \in K} C_{ij} X_{ij}^k \quad (3.6)$$

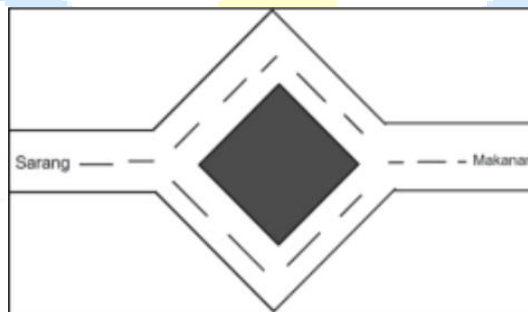
### 3.3 Ant Colony Optimization (ACO)

ACO adalah algoritma metaheuristik yang terinspirasi oleh perilaku semut dalam mencari jalur terpendek antara sarang dan sumber makanan. Algoritma ini diperkenalkan oleh Marco Dorigo pada awal 1990-an untuk menyelesaikan berbagai masalah optimasi kombinatorial, seperti *Travelling Salesman Problem* (TSP) dan VRP. Secara sederhana, ACO beroperasi dengan cara berikut. Setiap semut memulai perjalanannya dari sebuah titik yang dipilih secara acak, dengan setiap semut memiliki titik awal yang berbeda. Selama perjalanan, semut-semut ini mengunjungi berbagai titik satu per satu dengan tujuan membentuk sebuah rute lengkap (Ihsan dkk., 2023). Pemilihan titik berikutnya dilakukan berdasarkan fungsi probabilitas, yang dikenal sebagai aturan transisi, dengan mempertimbangkan visibilitas dan jumlah feromon yang ada pada jalur tersebut. ACO memiliki prinsip dasar seperti pada Gambar 4 (Ihsan dkk., 2023).



**Gambar 4.** Prinsip ACO  
 (Sumber: Ihsan dkk, 2023)

Salah satu elemen kunci dalam algoritma ACO adalah kadar feromon. Feromon berperan sebagai sinyal yang memengaruhi pilihan semut saat menentukan jalur yang bercabang. Jumlah feromon pada suatu jalur berubah secara dinamis tergantung pada seberapa sering jalur tersebut dilalui selama proses pencarian. Feromon ini berfungsi sebagai petunjuk bagi semut lain. Jalur yang lebih pendek cenderung meninggalkan sinyal feromon yang lebih kuat. Ketika semut berikutnya memilih jalur, semua biasanya akan condong pada rute dengan sinyal terkuat, yang pada akhirnya mengarah ke jalur terpendek karena lebih banyak semut memilih jalur tersebut (Husna dkk., 2023).



**Gambar 5.** Use Case Diagram ACO  
 (Sumber: Krisantoro, 2021)

Secara matematis, rumus ACO dapat dituliskan sebagai berikut Adjie dkk., 2021):

$$P_{ij} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [n_{ij}]^\beta}{\sum_{\tau_{ij}} [\tau_{ij}]^\alpha [n_{ij}]^\beta} \quad (3.7)$$

Probabilitas terpilihnya jalur menuju, merupakan jejak feromon pada jalur menuju, dan merupakan invers  $1/d_{ij}$  dari jarak yang dilalui antar *node*. dan merupakan variabel yang digunakan untuk mempengaruhi beban relatif dari feromon dan visibilitas. Pergerakan semut akan mempengaruhi perjalanan terhadap feromon, yaitu mengubah jejak feromon yang ditinggalkan selama perjalanan melalui evaporasi feromon, yang akan dituliskan sebagai berikut (Adjie dkk., 2021).

$$\tau_{ij} = (1-p)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (3.8)$$

Dimana nilai merupakan konstanta evaporasi, adalah nilai perubahan jejak feromon pada titik oleh semut, adalah banyak feromon yang ditinggalkan oleh semut, dan merupakan jarak tempuh yang dilalui oleh Semut. Dalam proses pencarian rute terdekat ini, diawali dengan penentuan lokasi *node* (lokasi toko) berdasarkan titik koordinat lokasinya berupa garis lintang dan garis bujur. Setelah itu akan dilakukan penghitungan jarak antar *node* (*edge*) akan dilakukan menggunakan Haversine Formula. Haversine Formula merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengukur jarak kedua titik pada permukaan bumi berdasarkan garis bujur dan garis lintang kedua titik. Haversine Formula dapat digambarkan sebagai berikut (Adjie dkk., 2021) :

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (3.9)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (3.10)$$

$$d = R \cdot c \quad (3.11)$$

Adapun langkah langkah dalam perhitungan ACO sebagai berikut (Ihsan dkk., 2024):

1. Inisialisasi harga parameter-parameter algoritma:
  - a. Intensitas jejak semut antar *node* dan perubahannya ( $\tau_{ij}$ ).
  - b. Jarak antar *node*  $d_{ij}$
  - c. *Node* berangkat dan *node* tujuan.
  - d. Tetapan pengendali intensitas jejak semut ( $\alpha$ ), nilai  $\alpha \geq 0$ .
  - e. Tetapan pengendali intensitas visibilitas ( $\beta$ ), nilai  $\beta \geq 0$ .
  - f. Visibilitas antar *node*  $= 1/d_{ij}(n_{ij})$
2. Tentukan jarak antar *node*
3. Tentukan parameter Alfa ( $\alpha$ ), Beta ( $\beta$ ), awal, jarak antar *node*.
4. Tentukan Visibilitas antar *node* dengan menggunakan rumus:

$$(n_{ij}) = 1/d_{ij} \quad (3.12)$$

5. Tentukan penjumlahan dari visibilitas antar *node* yang telah dihitung dengan rumus:

$$\sum [\tau_{ik^1}]^\alpha \cdot [n_{ik^1}]^\beta \quad (3.13)$$

6. Tentukan probabilitas dari *node* asal ke *node* berikutnya dapat dihitung dengan rumus:

$$p_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [n_{ij}]^\beta}{\sum [\tau_{ik^1}]^\alpha \cdot [n_{ik^1}]^\beta} \quad (3.14)$$

7. Nilai probabilitas yang tertinggi merupakan jalur terdekat

Algoritma ACO memiliki beberapa keunggulan, yaitu (Ihsan dkk., 2023):

1. ACO memanfaatkan metode *backtracking* yang efektif, sehingga mampu mencapai solusi optimal.
2. Algoritma ini memiliki sistem kolaborasi yang baik, yang tercermin dari

- efektivitas kerja sama antar koloni semut dalam menemukan solusi terbaik.
3. ACO menggunakan struktur yang fleksibel, sehingga mempermudah dalam menemukan solusi yang layak selama proses penelitian.
  4. Algoritma ini dapat diterapkan secara konsisten pada berbagai jenis masalah optimasi kombinatorial.
  5. ACO juga dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi kompleks lainnya, seperti *Quadratic Assignment Problem* (QAP) dan *Job Shop Scheduling Problem* (JSP), tanpa memerlukan banyak modifikasi.

Namun, algoritma ini memiliki kelemahan, yaitu tingkat kompleksitas yang cukup tinggi dan waktu eksekusi yang relatif lama.

### **3.4 Biaya Operasional Kendaraan PCI**

Biaya Operasional Kendaraan (BOK) merujuk pada biaya yang timbul akibat penggunaan kendaraan dalam kondisi normal untuk tujuan tertentu. BOK terbagi menjadi biaya tetap dan biaya tidak tetap, yang dijelaskan sebagai berikut (Setiawan dkk., 2024):

1. Biaya tetap yaitu pengeluaran rutin yang harus dilakukan selama periode tertentu dan tidak terpengaruh oleh aktivitas operasional kendaraan. Biaya tetap mencakup:
  - a. Biaya penyusutan (depresiasi);
  - b. Biaya bunga dari modal (*interest cost*);
  - c. Biaya asuransi; dan
  - d. Biaya *overhead*.
2. Biaya tidak tetap yaitu biaya yang dikeluarkan berdasarkan jarak yang ditempuh dan tergantung pada penggunaan kendaraan, sehingga pengeluaran ini dapat dirasakan secara langsung. Biaya tetap mencakup:
  - a. Biaya untuk bahan bakar;
  - b. Biaya untuk oli;
  - c. Biaya untuk ban;

- d. Biaya pemeliharaan; dan
- e. Biaya untuk awak kendaraan.

Dalam penelitian ini, perhitungan BOK dilakukan dengan menerapkan metode perhitungan model PCI yang dirancang untuk jalan non-tol. Model PCI ini menghitung biaya operasional kendaraan sebagai gabungan dari biaya variabel (*variable cost*) dan biaya tetap (*standing cost*). Kedua jenis biaya tersebut dipengaruhi oleh kecepatan serta jenis kendaraan yang digunakan.

Adapun persamaan-persamaan dalam model PCI yang digunakan untuk perhitungan BOK melalui jalan non tol adalah sebagai berikut (Setiawan dkk., 2024):

1. Konsumsi Bahan Bakar Minyak

Persamaan konsumsi bahan bakar minyak dengan metode PCI ialah sebagai berikut:

Dimana ,

Y = konsumsi bahan bakar (liter/1000 km)

S = kecepatan (km/jam)

a. Golongan I

$$Y = 0.05693 \times S^2 - 6.42593 \times S + 269.18567 \quad (3.15)$$

b. Golongan IIA

$$Y = 0.21692 \times S^2 - 24.1549 \times S + 954.78824 \quad (3.16)$$

c. Golongan IIB

$$Y = 0.21557 \times S^2 - 24.17699 \times S + 947.80882 \quad (3.17)$$

2. Konsumsi Oli

Persamaan konsumsi oli dengan metode PCI ialah sebagai berikut:

Y = konsumsi oli mesin liter/1000 km

a. Golongan I

$$Y = 0.00037 \times S^2 - 0.04070 \times S + 2.20405 \quad (3.18)$$

b. Golongan IIA

$$Y = 0.00209 \times S^2 - 0.24413 \times S + 13.29445 \quad (3.19)$$

c. Golongan IIB

$$Y = 0.00186 \times S^2 - 0.22035 \times S + 12.06486 \quad (3.20)$$

3. Konsumsi Pemakaian Ban

Persamaan konsumsi pemakaian ban dengan metode PCI ialah sebagai berikut:

Y = pemakaian ban/1000 km

a. Golongan I

$$Y = 0.0008848 \times S - 0.0045333 \quad (3.21)$$

b. Golongan IIA

$$Y = 0.0012356 \times S - 0.0065667 \quad (3.22)$$

c. Golongan IIB

$$Y = 0.0015553 \times S - 0.005933 \quad (3.23)$$

4. Biaya pemeliharaan suku cadang

Persamaan pemeliharaan untuk suku cadang dengan metode PCI ialah sebagai berikut:

Y = biaya suku cadang dikalikan dengan harga kendaraan yang terdepresiasi/1000 km.

a. Golongan I

$$Y = 0.0000064 \times S + 0.0005567 \quad (3.24)$$

b. Golongan IIA

$$Y = 0.0000332 \times S + 0.00020891 \quad (3.25)$$

c. Golongan IIB

$$Y = 0.0000191 \times S + 0.0015400 \quad (3.26)$$

5. Biaya pemeliharaan mekanik

Persamaan biaya mekanik dengan metode PCI ialah sebagai berikut:

Y = jam kerja mekanik dikalikan dengan Upah/jam/1000 km.

a. Golongan I

$$Y = 0.00362 \times S + 0.36267 \quad (3.27)$$

b. Golongan IIA

$$Y = 0.02311 \times S + 1.97733 \quad (3.28)$$

c. Golongan IIB

$$Y = 0.01511 \times S + 1.21200 \quad (3.29)$$

6. Biaya penyusutan

Persamaan biaya penyusutan dengan metode PCI ialah sebagai berikut:

Y = depresiasi dikalikan dengan setengah dari harga kendaraan terdepresiasi/1000 km

a. Golongan I

$$Y = 1/(2.5 \times S + 100) \quad (3.30)$$

b. Golongan IIA

$$Y = 1/(9 \times S + 315) \quad (3.31)$$

c. Golongan IIB

$$Y = 1/(6 \times S + 210) \quad (3.32)$$

7. Biaya suku bunga

Persamaan suku bunga dengan metode PCI ialah sebagai berikut:

Y = biaya suku bunga dikalikan dengan setengah dari harga kendaraan terdepresiasi/1000 km

a. Golongan I

$$Y = 150 / (500 \times S) \quad (3.33)$$

b. Golongan IIA

$$Y = 150 / (2571.42857 \times S) \quad (3.34)$$

c. Golongan IIB

$$Y = 150 / (1714.28571 \times S) \quad (3.35)$$

8. Biaya asuransi

Persamaan asuransi dengan metode PCI ialah sebagai berikut:

Y = asuransi dikalikan dengan harga kendaraan baru /1000 km

a. Golongan I

$$Y = 38 / (500 \times S) \quad (3.36)$$

b. Golongan IIA

$$Y = 60 / (2571.42857 \times S) \quad (3.37)$$

c. Golongan IIB

$$Y = 61 / (1714.28571 \times S) \quad (3.38)$$

9. Biaya waktu perjalanan

Persamaan biaya waktu perjalanan dengan metode PCI ialah sebagai berikut:

Y = jam perjalanan dikalikan dengan upah/jam/1000 km

Rata – rata jumlah awak kendaraan.

Gol I (mobil) = sopir 1

Gol IIA (bus) = sopir 1 ; kondektur 1,7

Gol IIB (truk) = sopir 1 ; kernet 1

a. Golongan I

$$Y = -$$

b. Golongan IIA

$$Y = 1000/S \quad (3.39)$$

c. Golongan IIB

$$Y = 1000/S \quad (3.40)$$

10. *Overhead* atau biaya tak terduga

Persamaan biaya tak terduga dengan metode PCI ialah sebagai berikut:

a. Golongan I

$$Y = -$$

b. Golongan IIA

$$Y = 10\% \text{ dari subtotal} \quad (3.41)$$

c. Golongan IIB

$$Y = 10\% \text{ dari subtotal} \quad (3.42)$$

### 3.5 Python dan Visual Studio Code

Python adalah salah satu bahasa pemrograman yang semakin populer saat ini untuk mengembangkan berbagai jenis aplikasi, baik berbasis *desktop*, *web*, maupun *mobile*. Python dirancang oleh Guido van Rossum di Belanda pada tahun 1990, dengan nama yang terinspirasi dari acara televisi favoritnya, *Monty Python's Flying Circus* (Romzi dan Kurniawan, 2020). Awalnya dikembangkan sebagai proyek hobi, Python kemudian berkembang menjadi salah satu bahasa pemrograman yang banyak digunakan dalam industri dan pendidikan, berkat kesederhanaannya, sintaksis yang intuitif, struktur yang ringkas, serta koleksi pustaka yang luas. Python secara umum mendukung paradigma pemrograman berorientasi objek, pemrograman imperatif, dan pemrograman fungsional. Berikut adalah fitur serta kelebihan Python (Romzi dan Kurniawan, 2020):

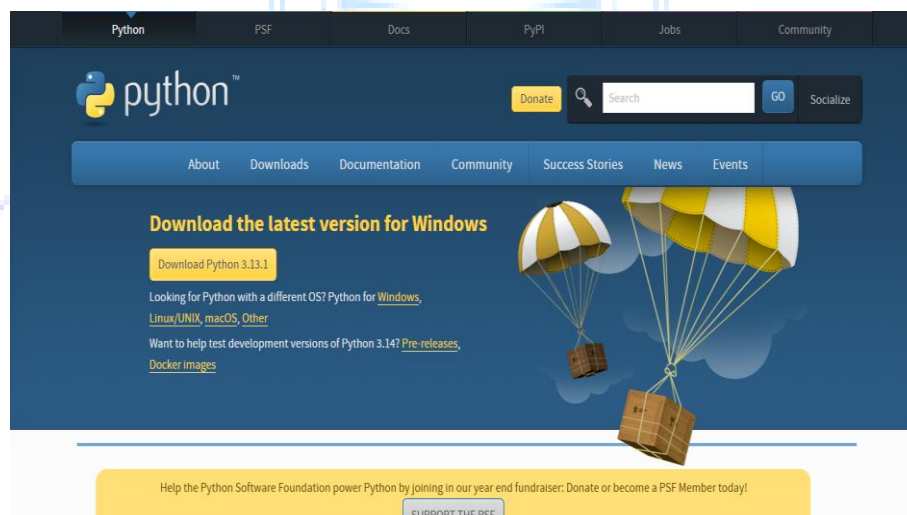
1. Memiliki koleksi pustaka yang luas, dengan modul-modul bawaan yang siap digunakan untuk berbagai kebutuhan.
2. Struktur bahasanya jelas, sederhana, dan mudah dipelajari.
3. Berorientasi objek.
4. Dilengkapi dengan sistem pengelolaan memori otomatis.
5. Bersifat modular, memungkinkan pengembangan kode yang lebih terorganisir.

Akhir-akhir ini, Python menjadi bahasa pemrograman yang mulai banyak dipelajari oleh mahasiswa (Ananda dkk., 2024). Pemrograman adalah aktivitas menulis kode menggunakan bahasa pemrograman tertentu. Untuk menyelesaikan sebuah program, pemahaman tentang algoritma sangat diperlukan, karena program komputer pada dasarnya merupakan implementasi dari algoritma, sedangkan algoritma adalah serangkaian langkah-langkah terperinci yang dirancang untuk membantu komputer menyelesaikan suatu masalah. Algoritma disusun pada tahap perancangan program dan berperan penting dalam menghubungkan antara hasil yang diinginkan dengan data masukan yang tersedia.

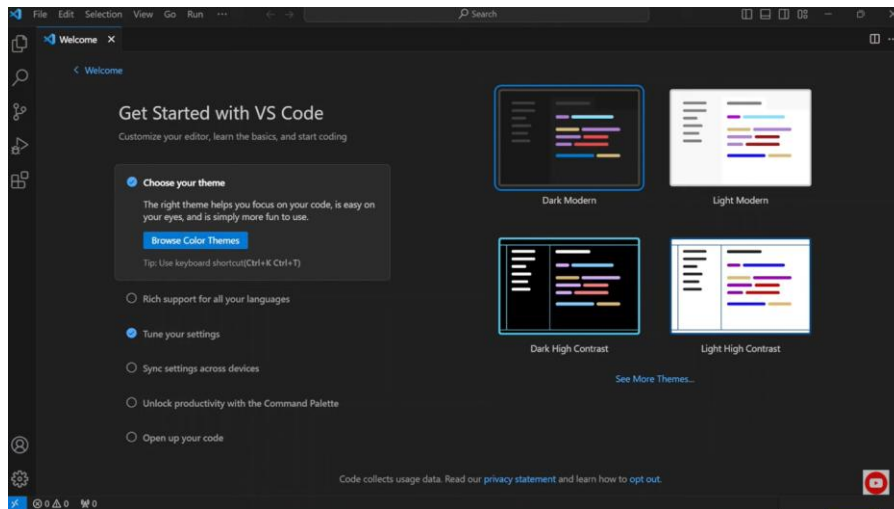
Pembelajaran pemrograman dapat dilakukan dengan lebih mudah melalui

pemahaman tiga struktur dasar pemrograman, yaitu runtunan, percabangan, dan perulangan. Penulisan program dilakukan menggunakan IDE (*Integrated Development Environment*). Salah satu IDE yang dapat digunakan untuk pemrograman Python adalah VSCode (Visual Studio Code), yang kompatibel dengan sistem operasi Windows, Linux, dan Mac. Visual Studio Code adalah editor kode sumber yang ringan tetapi kuat, dirancang untuk digunakan di desktop dan tersedia di platform Windows, macOS, serta Linux. Editor ini menyediakan dukungan bawaan untuk JavaScript, TypeScript, dan *Node.js*, serta memiliki ekosistem ekstensi yang luas untuk berbagai bahasa lain seperti C++, C#, Java, Python, PHP, dan Go, termasuk runtime (Romzi dan Kurniawan, 2020).

Adapun tahap instalasi Python pada Windows, dapat diakses pada web [www.python.org](http://www.python.org). Pada halaman utama, klik menu *downloads*, dan pilih versi Python terbaru yang sesuai dengan sistem operasi Windows yang digunakan, seperti tampilan yang tertera pada Gambar 6.



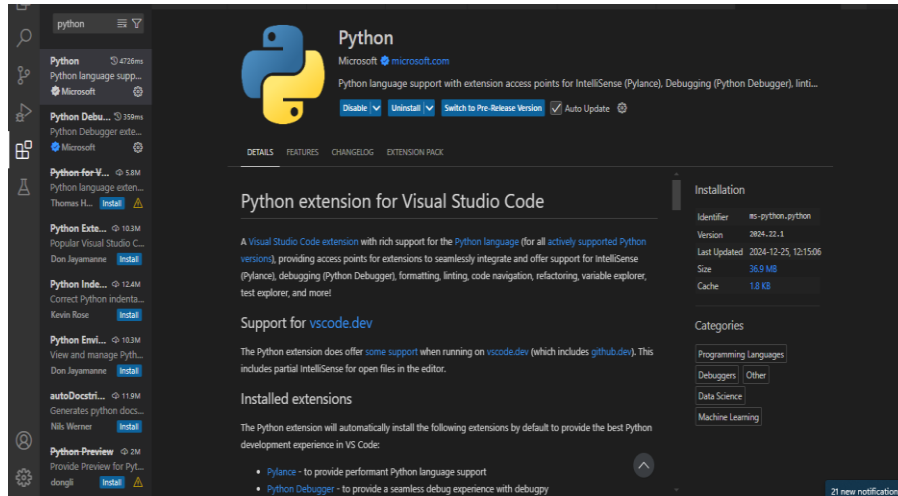
**Gambar 6.** Halaman Utama Mengunduh Python  
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025)



**Gambar 7.** Instalasi Python  
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025)

Gambar 7 merupakan lanjutan setelah melakukan instalasi Python pada Windows yaitu instalasi Visual Studio Code melalui tautan berikut ini: <https://code.visualstudio.com/docs/?dv=win>. Setelah menginstal Visual Studio Code, langkah berikutnya adalah memasang ekstensi Python agar Visual Studio Code dapat menjalankan kode Python. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Klik tab *Extensions* di sisi kiri jendela Visual Studio Code.
2. Ketik Python di kolom pencarian di bagian atas jendela Extensions.
3. Dari hasil pencarian, pilih ekstensi Python yang diterbitkan oleh Microsoft, yang umumnya berada di urutan teratas dan memiliki jumlah unduhan serta rating tinggi.
4. Klik tombol *Install* untuk memulai proses instalasi ekstensi tersebut.



**Gambar 8.** Python Extension Untuk Visual Studio Code  
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025)

Gambar 8 menunjukkan bahwa pengguna telah menginstal ekstensi Python di VS Code dan sedang melihat dokumentasi serta fitur-fitur yang tersedia dari ekstensi tersebut. Ekstensi ini merupakan salah satu yang paling penting untuk pengembangan Python di Visual Studio Code.

### 3.6 Penelitian Terdahulu

Terdapat penelitian terdahulu yang dapat menjadi landasan pengembangan dan penelitian dalam Tugas Akhir, yang dijabarkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Penelitian Terdahulu

Penulis/ Komponen	Penulis			
	Yohanes Krisantoro (2021)	Nuning Muhayyaroh (2023)	Erzi Hidayat (2024)	Meida Puritasari (2024)
Judul Penelitian	Rancang Bangun Aplikasi Pengiriman Barang dengan Rute Terpendek menggunakan Metode <i>Ant Colony Optimization</i> pada PT Saka Mitra Usaha	Perancangan Sistem Penentuan Rute dan Optimasi Biaya Pendistribusian Barang dengan Metode <i>Saving Matrix</i> dan <i>Nearest Insertion</i> Berbasis VBA Excel	Rancang Bangun Sistem Informasi Penentuan Rute terbaik menggunakan Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> dan AHP	Optimalisasi <i>Capacitated Vehicle Routing Problem</i> dan Biaya Distribusi di Perumda Air Minum Tirta Sanjiwani Kabupaten Gianyar Bali
Metode Perancangan Sistem	Metode Waterfall	<i>Visual Basic for Application</i>	Bahasa Pemrograman PHP	Tidak melakukan perancangan sistem
Hasil Penelitian	Aplikasi berhasil mengoptimalkan rute pengiriman barang, sehingga dapat	Perancangan sistem aplikasi yang dapat mempermudah pengguna untuk	Sistem dapat menampilkan hasil rute alternatif yang dapat dilalui oleh	Metode <i>saving matrix</i> terpilih menjadi metode rekomendasi bagi perusahaan, dari

Penulis/ Komponen	Penulis			
	Yohanes Krisantoro (2021)	Nuning Muhayyaroh (2023)	Erzi Hidayat (2024)	Meida Puritasari (2024)
	mengurangi waktu dan biaya operasional serta implementasi metode ACO terbukti efektif dalam menentukan rute pengiriman yang optimal.	menentukan rute pendistribusian barang dengan optimal dan dapat menghitung akumulasi jarak tempuh, waktu tempuh, dan biaya operasional	wisatawan, memberikan informasi jarak alternatif rute terbaik, serta prakiraan estimasi waktu menuju lokasi wisata berdasarkan alternatif yang tersedia.	segi waktu pengiriman dapat menghemat menjadi 2 hari kerja.
<b>Perbedaan dengan penelitian yang dilaksanakan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metode yang digunakan ialah <i>Travelling Salesmen Problem</i>.</li> <li>- Tidak mempertimbangkan kapasitas kendaraan, jumlah kendaraan jumlah permintaan setiap tujuan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metode yang digunakan yakni <i>Saving Matrix</i> dan <i>Nearest Insertion</i> berbasis VBA Excel.</li> <li>- Biaya operasional hanya memperhitungkan biaya distribusi dan biaya perjalanan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bahasa pemrograman PHP.</li> <li>- Program yang dihasilkan hanya untuk lokasi wisata.</li> <li>- Tidak mempertimbangkan kapasitas kendaraan dan biaya operasional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan metode <i>savings matriks</i>, <i>nearest insertion</i> dan <i>nearest neighbour</i></li> </ul>

(Sumber: Penulis, 2025)