

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Objek dan Waktu Penelitian

Objek penelitian dalam penelitian ini adalah sistem distribusi kurir dalam kegiatan pengiriman barang kepada pelanggan yang tersebar pada suatu wilayah tertentu. Sistem distribusi tersebut mencakup proses penyusunan rute pengiriman yang dilakukan oleh kurir dari depot menuju berbagai titik tujuan pelanggan. Penelitian ini tidak hanya berfokus pada aktivitas kurir sebagai pelaksana, tetapi lebih menitikberatkan pada pola rute distribusi yang terbentuk serta tingkat efisiensi yang dihasilkan dari rute tersebut. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi lokasi depot, lokasi pelanggan, serta jarak antar titik distribusi yang digunakan sebagai dasar dalam proses perhitungan. Dengan demikian, objek penelitian diarahkan pada analisis dan perbaikan sistem rute distribusi agar menjadi lebih efektif dan efisien.

Waktu penelitian dilaksanakan selama satu bulan yang mencakup seluruh tahapan penelitian dari awal hingga akhir. Pada tahap awal, kegiatan penelitian difokuskan pada proses pengumpulan data melalui observasi dan dokumentasi terhadap sistem distribusi yang berjalan. Selanjutnya dilakukan proses pengolahan data yang meliputi perhitungan jarak antar titik serta penerapan metode *Sweep Algorithm* untuk pembentukan rute awal. Tahap berikutnya adalah proses optimasi rute menggunakan algoritma *2-OPT* untuk memperoleh hasil rute yang lebih efisien. Seluruh rangkaian kegiatan penelitian ini dilakukan secara sistematis agar menghasilkan data yang valid dan dapat dianalisis dengan baik. Penelitian ini dilaksanakan secara bertahap dan terstruktur mulai dari pengumpulan hingga analisis data. Setiap tahapan dilakukan berdasarkan metode yang telah ditentukan agar hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Proses penelitian ini juga menekankan pada keakuratan data dan ketelitian dalam pengolahan rute distribusi.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran mengenai peningkatan efisiensi rute distribusi. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam perbaikan sistem distribusi kurir. Penelitian ini juga mempertimbangkan karakteristik wilayah distribusi yang dapat mempengaruhi pembentukan rute, seperti kepadatan lokasi pelanggan dan kondisi akses jalan. Variasi jarak antar pelanggan menjadi salah satu faktor penting dalam menentukan efisiensi rute distribusi. Selain itu, pola penyebaran pelanggan yang tidak merata dapat menyebabkan ketidakseimbangan beban kerja kurir. Oleh karena itu, analisis terhadap kondisi geografis wilayah menjadi bagian penting dalam penelitian ini. Dengan memahami karakteristik wilayah, solusi yang dihasilkan dapat lebih sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

Selain aspek teknis, penelitian ini juga memperhatikan aspek operasional dalam sistem distribusi kurir. Aspek tersebut meliputi waktu pengiriman, jumlah pelanggan yang dilayani, serta kemampuan kurir dalam menyelesaikan rute distribusi. Faktor-faktor ini dapat mempengaruhi efektivitas rute yang dihasilkan dari metode optimasi. Oleh karena itu, hasil penelitian tidak hanya dilihat dari jarak tempuh, tetapi juga dari kemudahan implementasinya. Dengan mempertimbangkan aspek operasional, hasil penelitian diharapkan lebih aplikatif.

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif dan studi kasus. Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian melibatkan proses pengolahan data numerik berupa koordinat pelanggan, perhitungan jarak tempuh, serta evaluasi efisiensi distribusi menggunakan metode *Sweep Algorithm* dan algoritma *2-OPT*. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi sistem distribusi aktual serta perubahan yang terjadi setelah penerapan metode optimasi. Sementara itu, pendekatan studi kasus diterapkan karena penelitian dilakukan pada satu objek penelitian, yaitu perusahaan jasa distribusi, sehingga analisis difokuskan pada kondisi nyata perusahaan tersebut.

Pemilihan objek penelitian didasarkan pada adanya permasalahan dalam penyusunan rute distribusi yang masih dilakukan tanpa pendekatan optimasi secara sistematis. Kondisi tersebut menyebabkan urutan kunjungan pelanggan belum sepenuhnya mempertimbangkan kedekatan lokasi dan efisiensi jarak tempuh. Oleh karena itu, objek penelitian dipilih untuk memperoleh alternatif pembentukan rute yang dapat dibandingkan dengan kondisi distribusi yang berjalan pada perusahaan. Data koordinat depot dan pelanggan menjadi dasar utama dalam penerapan metode karena kedua metode yang digunakan membutuhkan informasi posisi setiap titik distribusi dalam proses pembentukan dan perbaikan rute.

3.2 Identifikasi Variabel Penelitian

Identifikasi variabel dalam penelitian ini dilakukan untuk memahami hubungan antara metode yang digunakan dengan hasil yang diperoleh dalam proses optimasi rute distribusi kurir. Penelitian ini menerapkan *metode Sweep Algorithm* sebagai tahap awal dalam membentuk rute distribusi berdasarkan kedekatan geografis pelanggan. Rute yang telah terbentuk kemudian disempurnakan menggunakan algoritma *2-OPT* untuk memperoleh jalur distribusi yang lebih efisien. Penerapan kedua metode tersebut diharapkan dapat memberikan perubahan terhadap kinerja sistem distribusi, khususnya dalam hal total jarak tempuh pengiriman. Dengan demikian, metode yang digunakan dalam penelitian ini menjadi faktor utama dalam menghasilkan perbaikan rute distribusi.

Untuk mendukung proses analisis, penelitian ini menggunakan data yang meliputi jumlah pelanggan, lokasi depot sebagai titik awal distribusi, serta lokasi pelanggan dalam bentuk koordinat atau alamat. Selain itu, jarak antar titik distribusi digunakan sebagai dasar dalam proses perhitungan rute yang dihasilkan. Data tersebut berperan penting dalam menentukan hasil pembentukan dan perbaikan rute distribusi yang dilakukan. Pengolahan data dilakukan secara sistematis agar menghasilkan rute yang terstruktur dan mudah

dianalisis. Dengan penggunaan data yang tepat, proses optimasi rute dapat dilakukan secara lebih akurat.

Hasil yang diperoleh dari penerapan metode kemudian dianalisis untuk melihat tingkat efisiensi rute distribusi dibandingkan dengan kondisi awal. Analisis dilakukan dengan membandingkan total jarak tempuh sebelum dan sesudah penerapan metode optimasi. Perubahan yang terjadi pada rute distribusi menunjukkan tingkat keberhasilan metode dalam meningkatkan efisiensi pengiriman. Proses evaluasi ini menjadi dasar dalam menentukan apakah rute yang dihasilkan lebih optimal atau tidak. Dengan demikian, seluruh komponen dalam penelitian ini saling berkaitan dalam mendukung pencapaian tujuan penelitian secara sistematis.

Variabel pendukung dalam penelitian ini meliputi jumlah pelanggan, kapasitas distribusi, serta kondisi jaringan jalan yang digunakan dalam proses pengiriman. Variabel-variabel ini tidak secara langsung mempengaruhi hasil, namun memiliki peran dalam menentukan kualitas rute yang dihasilkan. Kondisi jalan seperti kemacetan atau akses terbatas dapat mempengaruhi efisiensi distribusi. Selain itu, jumlah pelanggan yang banyak dapat meningkatkan kompleksitas perhitungan rute. Oleh karena itu, variabel pendukung tetap diperhatikan dalam proses analisis.

Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan variabel kontrol yang bertujuan untuk menjaga konsistensi hasil penelitian. Variabel kontrol meliputi titik depot yang tetap serta data pelanggan yang tidak berubah selama proses simulasi. Dengan adanya variabel kontrol, perbandingan antara kondisi sebelum dan sesudah optimasi dapat dilakukan secara lebih adil. Hal ini penting untuk memastikan bahwa perubahan yang terjadi benar-benar disebabkan oleh metode yang digunakan. Dengan demikian, hasil penelitian menjadi lebih valid dan dapat dipercaya.

Variabel penelitian merupakan segala sesuatu yang digunakan sebagai dasar dalam proses pengolahan data untuk mencapai tujuan penelitian. Pada penelitian ini, variabel yang digunakan terdiri atas variabel input, variabel proses, dan variabel output. Variabel input meliputi data koordinat depot,

koordinat pelanggan, jumlah pelanggan, serta data distribusi aktual yang diperoleh dari perusahaan. Variabel proses berupa penerapan *Sweep Algorithm* untuk membentuk rute awal berdasarkan sudut polar pelanggan dan algoritma *2-OPT* untuk melakukan optimasi terhadap rute yang telah terbentuk. Adapun variabel output meliputi rute distribusi hasil optimasi, total jarak tempuh, biaya operasional distribusi, serta tingkat efisiensi yang diperoleh setelah penerapan kedua metode tersebut dibandingkan dengan kondisi distribusi aktual.

Dalam penelitian ini, variabel penelitian dibedakan menjadi variabel metode, variabel input, dan variabel output. Variabel metode terdiri atas *Sweep Algorithm* dan algoritma *2-OPT* yang digunakan secara berurutan dalam proses pembentukan dan perbaikan rute. Variabel input meliputi koordinat depot, koordinat pelanggan, jumlah pelanggan, dan pembagian pelanggan yang digunakan sebagai dasar pembentukan rute. Variabel output berupa urutan rute distribusi, total jarak tempuh, dan biaya operasional yang dihasilkan dari penerapan metode. Pengelompokan variabel tersebut digunakan untuk memperjelas hubungan antara data yang digunakan, tahapan pengolahan, dan hasil yang diperoleh dalam penelitian.

Secara konseptual, *Sweep Algorithm* berfungsi sebagai metode pembentukan rute awal berdasarkan kedekatan geografis pelanggan terhadap depot melalui sudut polar. Rute awal yang dihasilkan kemudian menjadi input bagi algoritma *2-OPT*. Algoritma *2-OPT* selanjutnya melakukan perbaikan terhadap urutan kunjungan pada masing-masing rute melalui pertukaran pasangan sisi. Hasil dari proses tersebut dibandingkan dengan rute awal berdasarkan total jarak tempuh dan biaya operasional. Dengan demikian, hubungan antarvariabel dalam penelitian menunjukkan bahwa perubahan pada metode pengolahan rute dapat menghasilkan perubahan terhadap kualitas rute distribusi.

3.3 Skenario Pemodelan / Skenario Simulasi

Skenario pemodelan dalam penelitian ini disusun untuk menggambarkan proses pembentukan dan perbaikan rute distribusi secara berurutan. Permasalahan distribusi dimodelkan sebagai *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan depot sebagai titik awal dan akhir perjalanan serta pelanggan sebagai titik tujuan yang harus dilayani. Data koordinat pelanggan digunakan untuk menentukan posisi relatif setiap pelanggan terhadap depot dan menjadi dasar dalam pembentukan rute.

Tahap pertama dalam skenario pemodelan adalah pembentukan rute awal menggunakan *Sweep Algorithm*. Setiap pelanggan dihitung sudut polarnya terhadap depot, kemudian pelanggan diurutkan berdasarkan nilai sudut polar tersebut. Pelanggan selanjutnya dikelompokkan ke dalam rute berdasarkan pembagian pelanggan yang telah ditentukan sehingga diperoleh rute distribusi usulan pertama. Rute tersebut kemudian dihitung total jarak tempuhnya sebagai kondisi awal sebelum dilakukan perbaikan.

Tahap kedua adalah penerapan algoritma *2-OPT* terhadap masing-masing rute hasil *Sweep Algorithm*. Proses ini dilakukan dengan memilih dua sisi pada rute, kemudian melakukan pertukaran hubungan antar titik untuk membentuk urutan kunjungan baru. Jarak rute baru dihitung dan dibandingkan dengan jarak rute sebelumnya. Apabila pertukaran menghasilkan jarak yang lebih pendek, rute baru diterima sebagai solusi sementara; apabila tidak menghasilkan perbaikan, rute sebelumnya dipertahankan.

Proses perbaikan dilakukan secara berulang pada setiap rute sampai tidak ditemukan lagi pertukaran pasangan sisi yang menghasilkan penurunan total jarak tempuh. Dengan demikian, hasil akhir dari skenario pemodelan berupa rute distribusi yang telah melalui dua tahap, yaitu pembentukan rute awal menggunakan *Sweep Algorithm* dan penyempurnaan urutan kunjungan menggunakan algoritma *2-OPT*. Hasil akhir tersebut selanjutnya dibandingkan dengan rute awal berdasarkan total jarak tempuh dan biaya operasional.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam proses analisis optimasi rute distribusi kurir. Data yang dikumpulkan harus relevan dan sesuai dengan kebutuhan penelitian agar hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Proses pengumpulan data dilakukan secara sistematis dengan memperhatikan keakuratan dan kelengkapan data. Data yang digunakan meliputi informasi mengenai lokasi pelanggan, lokasi depot, serta kondisi rute distribusi yang berjalan. Dengan pengumpulan data yang tepat, penelitian ini dapat menghasilkan analisis yang lebih akurat dan terpercaya.

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi observasi langsung terhadap proses distribusi yang dilakukan oleh kurir. Observasi dilakukan untuk mengetahui pola rute yang digunakan serta kondisi nyata di lapangan selama kegiatan pengiriman berlangsung. Melalui observasi ini, peneliti dapat mengidentifikasi permasalahan yang terjadi dalam penyusunan rute distribusi. Data hasil observasi kemudian dicatat sebagai bahan analisis dalam penelitian. Dengan demikian, observasi memberikan gambaran nyata mengenai sistem distribusi yang berjalan.

Selain observasi, dilakukan juga wawancara dengan pihak terkait untuk memperoleh informasi yang lebih mendalam mengenai sistem distribusi. Wawancara dilakukan kepada kurir atau pihak pengelola distribusi yang memahami proses pengiriman secara langsung. Informasi yang diperoleh meliputi kendala yang dihadapi, pola rute yang digunakan, serta cara penentuan rute distribusi. Data dari wawancara digunakan untuk melengkapi informasi yang tidak dapat diperoleh melalui observasi. Dengan demikian, wawancara membantu memperkuat validitas data dalam penelitian.

Teknik dokumentasi juga digunakan dalam pengumpulan data penelitian ini. Dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data berupa daftar pelanggan, alamat atau koordinat lokasi, serta catatan rute distribusi yang digunakan sebelumnya. Data tersebut menjadi dasar utama dalam proses pengolahan dan perhitungan rute distribusi. Selain itu, dokumentasi juga

membantu dalam menyimpan data secara sistematis agar mudah diolah. Dengan adanya dokumentasi yang lengkap, proses analisis dapat dilakukan dengan lebih terstruktur.

Seluruh proses pengumpulan data dilakukan secara teliti dan bertahap untuk memastikan data yang diperoleh sesuai dengan kebutuhan penelitian. Data yang telah dikumpulkan kemudian diperiksa kembali untuk menghindari kesalahan atau ketidaksesuaian informasi. Keakuratan data menjadi hal yang sangat penting karena akan mempengaruhi hasil analisis dan kesimpulan penelitian. Oleh karena itu, setiap data yang digunakan harus memiliki tingkat validitas yang baik. Dengan demikian, data yang diperoleh dapat digunakan secara optimal dalam mendukung proses optimasi rute distribusi kurir.

Proses pengumpulan data juga dilakukan dengan memperhatikan etika penelitian agar tidak mengganggu aktivitas operasional distribusi. Peneliti memastikan bahwa seluruh kegiatan observasi dan wawancara dilakukan dengan izin dari pihak terkait. Selain itu, data yang diperoleh dijaga kerahasiaannya dan hanya digunakan untuk kepentingan penelitian. Hal ini penting untuk menjaga kepercayaan pihak yang terlibat dalam penelitian. Dengan contohnya etika penelitian, proses pengumpulan data dapat berjalan dengan lancar.

Selain itu, dilakukan proses validasi data untuk memastikan bahwa data yang digunakan benar dan sesuai dengan kondisi lapangan. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan data dari berbagai sumber, seperti hasil observasi dan dokumentasi. Jika ditemukan perbedaan data, maka dilakukan pengecekan ulang untuk mendapatkan data yang paling akurat. Proses ini penting untuk menghindari kesalahan dalam analisis. Dengan data yang tervalidasi, hasil penelitian menjadi lebih akurat.

3.5 Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Teknik pengolahan dan analisis data dalam penelitian ini dilakukan untuk mengubah data yang telah dikumpulkan menjadi informasi yang dapat digunakan dalam proses optimasi rute distribusi kurir. Data yang diperoleh

terlebih dahulu disusun secara sistematis agar mudah dipahami dan diolah. Proses ini mencakup pengelompokan data lokasi pelanggan, lokasi depot, serta informasi jarak antar titik distribusi. Data yang telah tersusun kemudian diperiksa kembali untuk memastikan tidak terdapat kesalahan atau ketidaksesuaian. Dengan persiapan data yang baik, proses pengolahan dapat berjalan secara lebih efektif dan menghasilkan hasil yang akurat.

Pengolahan data selanjutnya melibatkan perhitungan jarak antar titik distribusi yang menjadi dasar dalam pembentukan rute. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan koordinat lokasi pelanggan dan depot yang telah diperoleh sebelumnya. Hasil perhitungan jarak digunakan untuk mengetahui tingkat kedekatan antar lokasi dalam sistem distribusi. Informasi tersebut kemudian disusun dalam bentuk tabel atau matriks jarak agar lebih mudah dianalisis. Dengan adanya data jarak yang terstruktur, proses penentuan rute dapat dilakukan dengan lebih sistematis.

Pembentukan rute distribusi dilakukan menggunakan *Sweep Algorithm* yang dipilih karena memiliki kemampuan dalam mengelompokkan pelanggan berdasarkan kedekatan geografis melalui perhitungan sudut polar terhadap depot. Metode ini memiliki proses yang sederhana, mudah diterapkan, serta mampu menghasilkan pembagian wilayah distribusi yang lebih terstruktur sebagai dasar pembentukan rute awal. Hasil pembentukan rute awal tersebut memberikan gambaran urutan kunjungan pelanggan berdasarkan kedekatan lokasi. Namun, rute awal yang dihasilkan belum tentu merupakan rute dengan jarak tempuh minimum sehingga masih diperlukan proses optimasi lanjutan untuk memperoleh rute distribusi yang lebih efisien.

Proses optimasi selanjutnya dilakukan menggunakan algoritma *2-OPT* sebagai metode perbaikan rute. Algoritma ini dipilih karena mampu menyempurnakan rute awal melalui proses pertukaran lintasan (*edge exchange*) yang menghasilkan total jarak tempuh lebih pendek. Setiap perubahan urutan kunjungan akan dievaluasi dengan membandingkan total jarak sebelum dan sesudah pertukaran. Proses optimasi dilakukan secara berulang hingga tidak ditemukan lagi pertukaran lintasan yang mampu

memberikan pengurangan jarak tempuh. Dengan demikian, kombinasi *Sweep Algorithm* dan algoritma *2-OPT* diharapkan mampu menghasilkan rute distribusi yang lebih efisien dibandingkan kondisi awal maupun rute awal yang telah terbentuk.

Hasil yang diperoleh dari proses pengolahan data kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat efisiensi rute distribusi. Analisis dilakukan dengan membandingkan total jarak tempuh antara kondisi awal, rute hasil pembentukan, dan rute hasil optimasi. Perbandingan ini memberikan gambaran mengenai sejauh mana metode yang digunakan mampu meningkatkan kinerja distribusi. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan perhitungan persentase agar lebih mudah dipahami. Dengan demikian, dapat disimpulkan efektivitas metode dalam menghasilkan rute distribusi yang lebih efisien.

Dalam proses pengolahan data, digunakan bantuan perangkat lunak untuk mempermudah perhitungan dan analisis rute distribusi. Penggunaan perangkat lunak memungkinkan perhitungan jarak dan optimasi dilakukan secara lebih cepat dan akurat. Selain itu, visualisasi rute juga dapat ditampilkan untuk mempermudah pemahaman hasil penelitian. Hal ini sangat membantu dalam proses evaluasi dan penyajian data. Dengan dukungan teknologi, proses penelitian menjadi lebih efisien.

Selanjutnya, hasil analisis juga dievaluasi menggunakan indikator kinerja untuk mengukur tingkat keberhasilan optimasi rute. Indikator yang digunakan meliputi pengurangan jarak tempuh dan peningkatan efisiensi distribusi. Hasil evaluasi ini kemudian dijadikan dasar dalam penarikan kesimpulan penelitian. Selain itu, dilakukan interpretasi terhadap hasil yang diperoleh agar lebih mudah dipahami. Dengan adanya indikator yang jelas, hasil penelitian menjadi lebih terukur.

Untuk mendukung proses analisis yang lebih sistematis, penelitian ini menggunakan pendekatan matematis dalam memodelkan permasalahan distribusi. Pendekatan yang digunakan didasarkan pada konsep *Vehicle Routing Problem* sebagai dasar dalam pembentukan rute distribusi. Model tersebut digunakan untuk menggambarkan hubungan antara depot, pelanggan,

dan jalur distribusi yang akan dianalisis. Selanjutnya, proses penyelesaian dilakukan menggunakan *Sweep Algorithm* dan algoritma *2-OPT* sebagai metode optimasi. Penjelasan lebih rinci mengenai pendekatan dan tahapan perhitungan tersebut disajikan pada subbab berikutnya.

Evaluasi hasil penelitian dilakukan dengan membandingkan kondisi distribusi aktual dengan hasil pembentukan rute menggunakan *Sweep Algorithm* serta hasil optimasi menggunakan algoritma *2-OPT*. Perbandingan dilakukan berdasarkan beberapa indikator kinerja, yaitu total jarak tempuh, biaya operasional distribusi, dan tingkat efisiensi yang dihasilkan. Hasil optimasi dinilai lebih baik apabila mampu menghasilkan penurunan total jarak tempuh dan biaya operasional dibandingkan dengan kondisi distribusi aktual. Selanjutnya, tingkat efisiensi dihitung berdasarkan persentase pengurangan jarak tempuh dan biaya operasional sehingga dapat diketahui efektivitas penerapan kombinasi *Sweep Algorithm* dan algoritma *2-OPT* dalam meningkatkan kinerja distribusi kurir.

Validasi hasil penelitian dilakukan untuk memastikan bahwa proses pengolahan data dan hasil optimasi telah dilakukan secara benar dan konsisten. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan kondisi distribusi aktual dengan hasil penerapan *Sweep Algorithm* dan algoritma *2-OPT*, serta memeriksa kembali setiap tahapan perhitungan mulai dari perhitungan jarak, pembentukan rute awal, hingga proses optimasi rute. Selain itu, hasil optimasi dievaluasi berdasarkan indikator total jarak tempuh, biaya operasional, dan tingkat efisiensi distribusi. Dengan menggunakan data aktual perusahaan sebagai dasar pengolahan, hasil yang diperoleh diharapkan mampu merepresentasikan kondisi distribusi yang sebenarnya sehingga dapat digunakan sebagai alternatif dalam penyusunan rute distribusi yang lebih efisien.

3.5.1 Pendekatan *Vehicle Routing Problem*

Dalam penelitian ini, permasalahan distribusi kurir dianalisis menggunakan pendekatan *Vehicle Routing Problem*. Pendekatan ini dipilih karena permasalahan yang diteliti berkaitan dengan proses pendistribusian barang dari satu titik asal menuju beberapa titik tujuan. Dalam sistem distribusi tersebut, depot berfungsi sebagai pusat keberangkatan dan pusat kembali kendaraan setelah proses pengiriman selesai. Sementara itu, pelanggan menjadi titik tujuan yang harus dilayani sesuai rute yang telah ditentukan. Dengan karakteristik tersebut, pendekatan VRP dinilai sesuai untuk memodelkan sistem distribusi dalam penelitian ini.

VRP merupakan salah satu model optimasi yang banyak digunakan dalam bidang distribusi, logistik, dan transportasi. Model ini berfokus pada penentuan rute terbaik yang dapat dilalui kendaraan dalam melayani seluruh pelanggan secara efisien. Setiap kendaraan harus mengunjungi seluruh titik pelanggan sesuai urutan rute yang telah dibentuk. Proses distribusi dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi jarak tempuh agar biaya operasional dapat diminimalkan. Oleh karena itu, VRP digunakan sebagai dasar pemodelan untuk menganalisis permasalahan distribusi kurir.

Permasalahan distribusi pada objek penelitian menunjukkan bahwa rute pengiriman masih dilakukan berdasarkan pengalaman atau kebiasaan kurir. Penentuan rute yang dilakukan secara manual sering kali tidak memperhatikan jarak terpendek antar lokasi pelanggan. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya lintasan yang berulang atau jalur yang kurang efisien. Akibatnya, proses distribusi memerlukan waktu yang lebih lama dan biaya operasional menjadi lebih besar. Dengan menggunakan pendekatan VRP, permasalahan tersebut dapat dianalisis secara sistematis untuk memperoleh alternatif rute yang lebih baik.

Penerapan pendekatan VRP dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan data primer yang diperoleh dari hasil observasi

lapangan. Data yang digunakan meliputi lokasi depot, lokasi pelanggan, serta urutan distribusi yang diterapkan saat ini. Data tersebut kemudian diubah ke dalam bentuk koordinat geografis untuk mempermudah proses pengolahan. Koordinat digunakan untuk menggambarkan posisi masing-masing titik distribusi dalam sistem penelitian. Melalui data tersebut, hubungan antar titik dapat dianalisis secara kuantitatif melalui perhitungan jarak.

Secara matematis, tujuan utama dari pendekatan VRP adalah meminimalkan total jarak tempuh distribusi. Total jarak tersebut diperoleh dari penjumlahan seluruh lintasan yang dilalui kendaraan dalam satu siklus distribusi. Semakin kecil total jarak yang dihasilkan, maka semakin baik kinerja sistem distribusi. Fungsi tujuan ini menjadi dasar dalam mengevaluasi hasil pembentukan rute pada penelitian. Persamaan fungsi tujuan dinyatakan sebagai berikut:

$$\min Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij}$$

Keterangan :

Z = total jarak tempuh distribusi

c_{ij} = jarak dari titik i ke titik j

x_{ij} = variabel keputusan

n = jumlah pelanggan yang dilayani

Dalam penelitian ini, penyelesaian VRP tidak dilakukan menggunakan metode eksak, tetapi menggunakan pendekatan heuristik. Metode heuristik dipilih karena mampu memberikan solusi dengan proses perhitungan yang lebih sederhana dan cepat. Hal ini sesuai dengan karakteristik data penelitian yang melibatkan beberapa titik distribusi dengan kondisi aktual di lapangan. Pendekatan heuristik yang digunakan adalah *Sweep Algorithm* untuk membentuk rute awal dan *2-OPT* untuk memperbaiki rute tersebut. Dengan kombinasi kedua metode tersebut,

diharapkan sistem distribusi dapat menghasilkan rute yang lebih efisien dibandingkan kondisi eksisting.

3.5.2 Tahapan Perhitungan *Sweep Algorithm* dan Algoritma 2-OPT

Tahapan perhitungan dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh solusi rute distribusi yang lebih efisien berdasarkan data lokasi yang tersedia. Proses perhitungan dilakukan secara bertahap mulai dari pengolahan data koordinat, perhitungan jarak dan sudut polar, pembentukan rute awal menggunakan *Sweep Algorithm*, hingga perbaikan rute menggunakan algoritma 2-OPT. Kedua metode tersebut digunakan secara berurutan karena memiliki fungsi yang saling melengkapi, yaitu *Sweep Algorithm* digunakan untuk membentuk rute awal berdasarkan pengelompokan pelanggan secara geografis, sedangkan algoritma 2-OPT digunakan untuk memperbaiki urutan kunjungan pada rute yang telah terbentuk. Tahapan perhitungan dirancang agar proses pembentukan dan perbaikan rute dapat dilakukan secara sistematis serta menghasilkan dasar perbandingan antara rute sebelum dan sesudah optimasi. Dengan demikian, hasil penelitian dapat dianalisis secara kuantitatif berdasarkan perubahan total jarak tempuh dan biaya operasional.

Tahap pertama adalah menyiapkan data koordinat lokasi depot dan pelanggan. Data koordinat diperoleh dari hasil pengamatan langsung terhadap titik distribusi yang menjadi objek penelitian. Setiap titik dinyatakan dalam bentuk koordinat X dan Y untuk merepresentasikan posisi depot dan pelanggan dalam sistem distribusi. Data tersebut kemudian disusun dalam bentuk tabel yang memuat identitas pelanggan serta koordinat masing-masing titik. Data koordinat menjadi input utama dalam proses perhitungan jarak dan sudut polar yang digunakan pada tahapan pembentukan rute.

Tahap kedua adalah menghitung jarak antar titik distribusi. Perhitungan jarak dilakukan antara depot dengan pelanggan serta

antarpelanggan yang digunakan dalam penyusunan rute. Metode yang digunakan adalah *Euclidean Distance* karena data lokasi yang digunakan berbentuk koordinat dua dimensi. Perhitungan jarak digunakan untuk mengetahui panjang lintasan dari satu titik menuju titik lainnya dan menjadi dasar dalam menghitung total jarak setiap rute. Hasil perhitungan jarak selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi rute awal dan rute hasil perbaikan. Rumus *Euclidean Distance* yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

Keterangan:

d_{ij} = Jarak antar koordinat i dan j

$x_i - x_i$ = Koordinat titik asal

$y_j - y_j$ = Koordinat titik tujuan

Tahap ketiga adalah pembentukan rute awal menggunakan *Sweep Algorithm*. Metode ini dipilih karena dapat digunakan untuk mengelompokkan pelanggan berdasarkan posisi geografis terhadap depot sebelum dilakukan penyusunan urutan kunjungan. Tahap ini diawali dengan menghitung selisih koordinat pelanggan terhadap koordinat depot, yaitu ΔX dan ΔY . Selanjutnya, sudut polar setiap pelanggan terhadap depot dihitung dan digunakan untuk mengurutkan pelanggan berdasarkan posisi sudutnya. Pelanggan kemudian dikelompokkan sesuai dengan pembagian rute yang telah ditentukan sehingga diperoleh rute distribusi awal. Dengan demikian, *Sweep Algorithm* berfungsi sebagai tahap pembentukan struktur rute sebelum dilakukan proses perbaikan menggunakan algoritma *2-OPT*. Perhitungan sudut polar dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{y_i - y_0}{x_i - x_0} \right)$$

Keterangan:

θ_i = Teta i (Sudut polar pelanggan ke-i

$\tan^{-1}$ = Tangen invers

$y_i - y_0$ = Selisih koordinat Y pelanggan dengan depot

$x_i - x_0$ = Selisih koordinat X pelanggan dengan depot

Setelah pelanggan diurutkan berdasarkan sudut polar, urutan tersebut digunakan untuk membentuk rute awal yang dimulai dari depot, dilanjutkan dengan pelanggan sesuai kelompoknya, dan diakhiri dengan kembali ke depot. Total jarak setiap rute kemudian dihitung sebagai nilai awal yang akan digunakan sebagai pembanding pada proses optimasi berikutnya.

Tahap keempat adalah optimasi rute menggunakan algoritma 2-*OPT*. Algoritma ini dipilih karena dapat digunakan untuk memperbaiki urutan kunjungan pada rute yang telah terbentuk melalui *Sweep Algorithm*. Proses 2-*OPT* dilakukan dengan memilih dua sisi atau jalur pada suatu rute, kemudian melakukan pertukaran terhadap bagian rute di antara kedua sisi tersebut untuk membentuk urutan kunjungan baru. Rute baru yang terbentuk kemudian dihitung total jaraknya dan dibandingkan dengan total jarak rute sebelumnya.

Apabila total jarak rute baru lebih kecil dibandingkan total jarak rute sebelumnya, maka rute baru diterima sebagai solusi yang lebih baik. Sebaliknya, apabila pertukaran tidak menghasilkan pengurangan total jarak, maka rute sebelumnya dipertahankan dan proses dilanjutkan dengan pasangan sisi lainnya. Proses tersebut dilakukan secara berulang pada setiap rute yang terbentuk dari *Sweep Algorithm*. Kondisi penerimaan rute hasil pertukaran dinyatakan sebagai berikut:

$$D_{baru} < D_{lama}$$

Proses optimasi dihentikan apabila seluruh pasangan sisi yang memungkinkan telah diperiksa dan tidak ditemukan lagi pertukaran yang menghasilkan total jarak yang lebih pendek. Kondisi tersebut digunakan sebagai kriteria berhenti dalam penelitian ini. Dengan demikian, rute yang diperoleh setelah tidak terdapat lagi pertukaran yang memberikan pengurangan jarak ditetapkan sebagai rute hasil optimasi *2-OPT*. Kriteria berhenti tersebut diperlukan agar proses iterasi tidak dilakukan secara terus-menerus ketika tidak terdapat lagi perbaikan terhadap total jarak rute.

Tahap terakhir adalah evaluasi hasil optimasi. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan total jarak tempuh rute awal hasil *Sweep Algorithm* dengan total jarak tempuh rute setelah dilakukan perbaikan menggunakan algoritma *2-OPT*. Perbandingan tersebut digunakan untuk mengetahui perubahan jarak tempuh yang dihasilkan dari proses optimasi. Selain total jarak tempuh, hasil perhitungan juga digunakan untuk membandingkan biaya operasional sebelum dan sesudah optimasi. Nilai penghematan atau peningkatan efisiensi dihitung dalam bentuk persentase agar perubahan hasil dapat dianalisis secara lebih jelas. Rumus efisiensi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Efisiensi = \frac{Jarak\ Awal - Jarak\ Optimasi}{Jarak\ Awal} \times 100\%$$

Hasil evaluasi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pembahasan untuk mengetahui pengaruh penerapan *Sweep Algorithm* dan algoritma *2-OPT* terhadap rute distribusi. Hasil perbandingan antara rute awal dan rute hasil optimasi juga digunakan untuk menilai perubahan total jarak tempuh dan biaya operasional distribusi. Selanjutnya, hasil tersebut menjadi dasar dalam penarikan kesimpulan penelitian.

3.5.3 Parameter Penelitian

Parameter penelitian merupakan data dan ukuran yang digunakan sebagai dasar dalam proses pembentukan, perbaikan, dan evaluasi rute distribusi. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan tahapan *Sweep Algorithm* dan algoritma *2-OPT* serta tujuan penelitian untuk memperoleh rute distribusi yang lebih efisien. Parameter tersebut meliputi koordinat depot, koordinat pelanggan, sudut polar, jarak antartitik, jumlah pelanggan dalam setiap rute, total jarak tempuh, dan biaya operasional. Setiap parameter memiliki fungsi yang berbeda dan digunakan pada tahapan pengolahan data yang saling berkaitan.

Tabel 3.1 Parameter Penelitian

No	Parameter	Satuan	Keterangan
1	Koordinat depot (X, Y)	Satuan Koordinat	Menunjukkan posisi depot sebagai titik awal dan akhir rute distribusi
2	Koordinat pelanggan (X, Y)	Satuan Koordinat	Menunjukkan posisi masing-masing pelanggan yang menjadi titik tujuan distribusi.
3	ΔX dan ΔY	Satuan Koordinat	Menunjukkan selisih koordinat pelanggan terhadap koordinat depot yang digunakan dalam perhitungan sudut polar.
4	Sudut Polar	Derajat ($^{\circ}$)	Menunjukkan posisi relatif pelanggan terhadap depot dan digunakan untuk mengurutkan pelanggan pada <i>Sweep Algorithm</i>
5	Jarak antartitik	Satuan jarak	Menunjukkan jarak antara depot dengan pelanggan maupun antarpelanggan berdasarkan <i>Euclidean Distance</i> .
6	Jumlah pelanggan per rute	Pelanggan	Menunjukkan jumlah pelanggan yang dikelompokkan dalam setiap rute distribusi.
7	Total jarak tempuh	Satuan jarak	Menunjukkan jumlah keseluruhan jarak yang ditempuh kendaraan atau kurir dalam satu rute.
8	Pertukaran sisi (<i>2-OPT</i>)	-	Menunjukkan perubahan pasangan sisi pada rute yang digunakan untuk memperoleh urutan kunjungan yang lebih pendek.
9	Biaya operasional	Rupiah (Rp)	Menunjukkan biaya yang dikeluarkan berdasarkan total jarak tempuh dan biaya operasional yang digunakan dalam penelitian.
10	Persentase efisiensi	Persen (%)	Menunjukkan perubahan atau penghematan yang diperoleh dari perbandingan rute sebelum dan sesudah optimasi.

Sumber: Hasil pengumpulan data (2026)

Berdasarkan Tabel 3.1, koordinat depot dan pelanggan digunakan sebagai data awal dalam proses pengolahan rute. Selanjutnya, nilai ΔX dan ΔY digunakan untuk memperoleh sudut polar setiap pelanggan terhadap depot. Nilai sudut polar kemudian digunakan dalam *Sweep Algorithm* untuk mengurutkan dan mengelompokkan pelanggan sehingga terbentuk rute awal. Setelah rute awal terbentuk, jarak antartitik digunakan untuk menghitung total jarak tempuh yang menjadi dasar dalam proses perbaikan menggunakan algoritma 2-*OPT*.

Pada tahap 2-*OPT*, parameter utama yang digunakan adalah pasangan sisi yang dipertukarkan dan total jarak rute setelah pertukaran. Setiap rute baru dibandingkan dengan rute sebelumnya, kemudian rute dengan total jarak yang lebih pendek diterima sebagai solusi yang lebih baik. Proses tersebut dilakukan sampai tidak ditemukan lagi pertukaran yang menghasilkan pengurangan total jarak. Selanjutnya, total jarak dan biaya operasional sebelum dan sesudah optimasi dibandingkan untuk mengetahui perubahan efisiensi yang dihasilkan dari penerapan kedua metode.

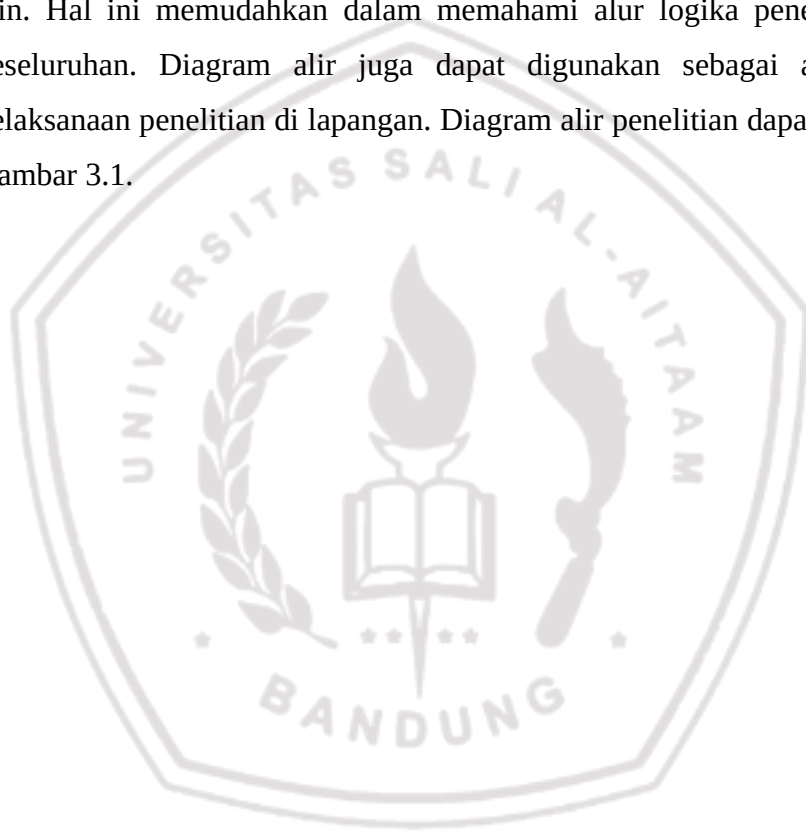
Dengan demikian, parameter penelitian menunjukkan hubungan antara data masukan, proses pengolahan, dan hasil penelitian. Koordinat pelanggan menjadi dasar pembentukan rute melalui *Sweep Algorithm*, sedangkan jarak tempuh dan pertukaran sisi menjadi dasar proses optimasi menggunakan algoritma 2-*OPT*. Hasil akhir berupa total jarak tempuh, biaya operasional, dan persentase efisiensi digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi kinerja rute distribusi yang dihasilkan.

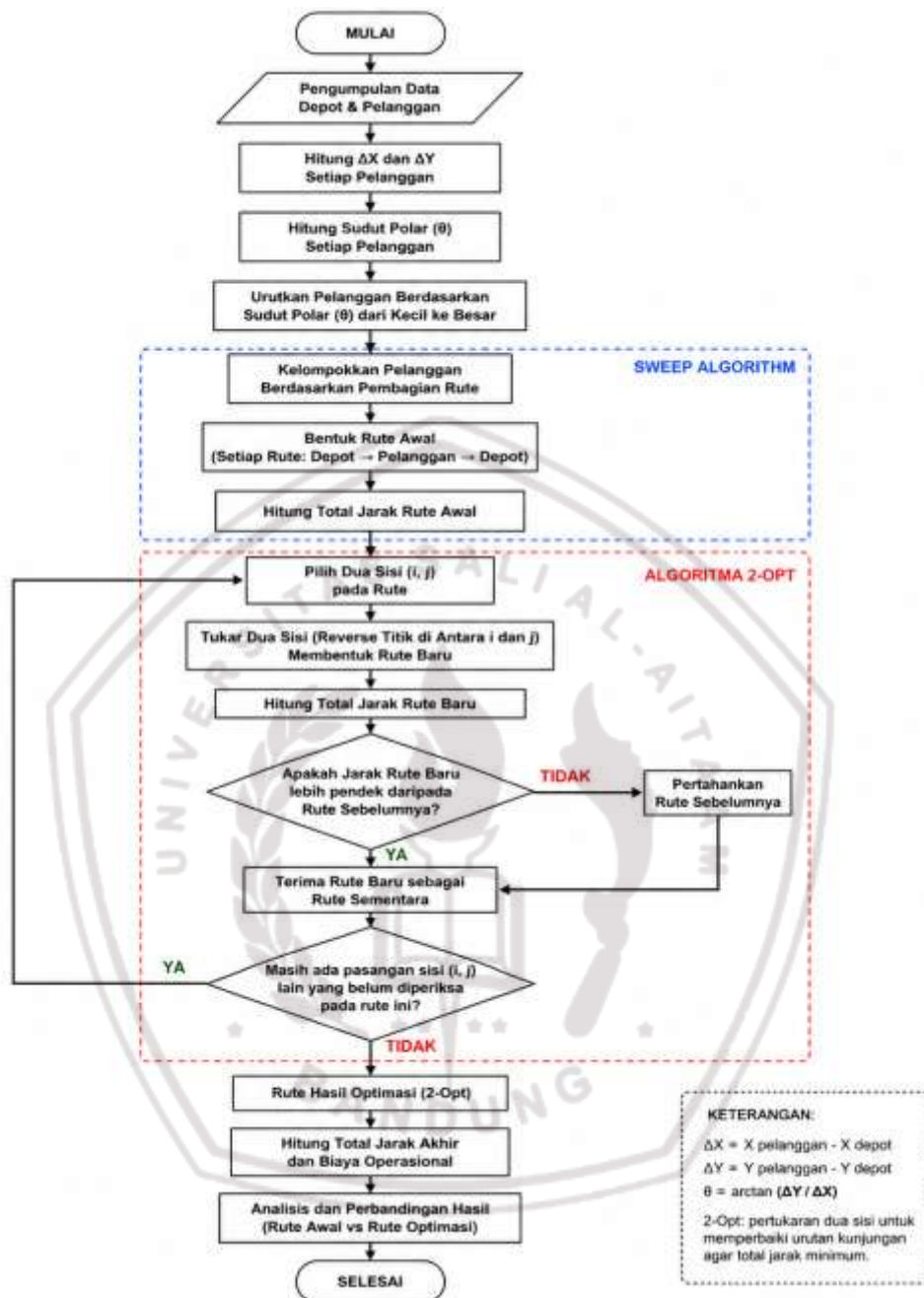
3.6 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian digunakan untuk menggambarkan tahapan pelaksanaan penelitian secara sistematis mulai dari identifikasi masalah hingga proses optimasi rute distribusi menggunakan metode *Sweep Algorithm* dan algoritma 2-*Opt*. Diagram ini bertujuan untuk mempermudah pemahaman terhadap alur penelitian yang dilakukan. Selain itu, diagram alir juga

memberikan gambaran yang jelas mengenai hubungan antar proses dalam penelitian. Dengan adanya diagram ini, setiap tahapan penelitian dapat dilakukan secara terstruktur dan terarah. Dengan demikian, diagram alir berperan penting dalam mendukung kejelasan alur penelitian.

Selain sebagai alat visual, diagram alir juga membantu dalam mengidentifikasi hubungan antar tahapan penelitian. Setiap proses yang ditampilkan dalam diagram memiliki peran yang saling berkaitan satu sama lain. Hal ini memudahkan dalam memahami alur logika penelitian secara keseluruhan. Diagram alir juga dapat digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian di lapangan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian
 Sumber: Disusun oleh peneliti (2026)