

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penerapan algoritma *Nearest Neighbor* pada *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) terbukti mampu menghasilkan rute pengiriman barang yang optimal bagi PT XYZ. Pada tahap pertama, *Nearest Neighbor Clustering* mengelompokkan pelanggan secara geografis menggunakan formula *Haversine* dari titik depot secara *greedy*, memilih pelanggan terdekat yang belum dikunjungi pada setiap langkah hingga batasan kapasitas rute terpenuhi. Pendekatan ini secara otomatis membentuk kelompok pengiriman yang logis secara spasial dan meminimalkan perjalanan antar wilayah yang tidak perlu. Pada tahap kedua, setiap kluster diselesaikan oleh VRPTW menggunakan *Google OR-Tools* dengan mempertimbangkan empat komponen secara simultan: matriks waktu tempuh aktual dari *Google Distance Matrix API*, waktu operasional setiap pelanggan dari *Google Places API*, dan waktu pelayanan setiap lokasi pengiriman. Hasil pengujian pada tiga sampel *cluster* pengiriman nyata PT XYZ mengkonfirmasi kemampuan optimasi algoritma.

Hasil optimasi rute yang dihasilkan algoritma VRPTW terbukti meningkatkan kecepatan pengiriman barang di PT XYZ secara terukur dan konsisten pada seluruh cluster yang diuji. Dari sisi pengurangan waktu tempuh, *Cluster A1* mengalami penurunan waktu pengiriman dari rentang 130–230 menit menjadi 110–200 menit, lebih cepat 15–30 menit per sesi. *Cluster H* mengalami penurunan dari 60–120 menit menjadi 55–110 menit, lebih cepat 5–10 menit. *Cluster J* menunjukkan penghematan waktu terbesar, yaitu dari rentang 170–340 menit menjadi 120–250 menit, lebih cepat 50–90. Penghematan waktu ini merupakan dampak langsung dari eliminasi pola perjalanan bolak-balik (*backtracking*) yang menjadi sumber inefisiensi utama rute manual. Algoritma *Nearest Neighbor* menyusun urutan kunjungan yang membentuk *loop* geografis mulai dari depot hingga kembali ke depot dengan menghindari situasi kendaraan kembali ke area yang sudah dilewati untuk melayani pelanggan yang terlewat dalam perencanaan manual.

5.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan yang ditemukan selama pengembangan dan pengujian penelitian, berikut saran yang diajukan untuk pengembangan lanjutan sistem maupun untuk penelitian berikutnya.

1. Model VRPTW yang diimplementasikan belum memperhitungkan kapasitas fisik kendaraan (berat atau volume muatan). Pengembangan selanjutnya disarankan menambahkan dimensi kapasitas sebagai *constraint* tambahan sehingga rute yang dihasilkan tidak hanya optimal secara waktu dan jarak, tetapi juga memperhatikan batas muatan armada distribusi PT XYZ.

2. Model saat ini bersifat statis, yang berarti rute dihitung sekali dan tidak berubah selama pengiriman. Penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi *Dynamic Vehicle Routing Problem* (DVRP) yang mampu melakukan optimasi rute secara adaptif saat terjadi kemacetan tidak terduga atau perubahan kondisi lapangan selama pengiriman berlangsung.