

OPTIMASI PENGIRIMAN LAST MILE OLEH KURIR MITRA MENGUNAKAN K-MEANS DAN ANT COLONY OPTIMIZATION

NURISTYO DAMARSASI



PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan tesis dengan judul "Optimasi Pengiriman *Last Mile* Oleh Kurir Mitra Menggunakan *K-Means* dan *Ant Colony Optimization*" adalah karya saya dengan arahan dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Nuristyo Damarsasi
M0503241041



RINGKASAN

NURISTYO DAMARSASI. Optimasi Pengiriman *Last Mile* Oleh Kurir Mitra Menggunakan *K-Means* dan *Ant Colony Optimization*. Dibimbing oleh ANNISA dan KARLISA PRIANDANA.

Pertumbuhan pesat *e-commerce* setelah pandemi meningkatkan kebutuhan layanan logistik yang cepat, efisien, dan berbiaya rendah. Salah satu tahapan paling rumit dan mahal adalah *last-mile delivery*, yaitu pengiriman paket dari pusat distribusi akhir ke pelanggan. Kompleksitasnya dipengaruhi oleh banyaknya tujuan pengiriman, variasi jarak tempuh, serta keterbatasan jumlah kurir dan kendaraan.

Untuk meningkatkan efisiensi operasional, perusahaan logistik menerapkan model kemitraan dengan kurir independen yang dibayar berdasarkan jumlah paket yang berhasil dikirimkan. Namun, model ini berpotensi menimbulkan ketimpangan pendapatan apabila pembagian paket dan area kerja tidak dilakukan secara adil. Pada salah satu perusahaan logistik di Cilebut, Kabupaten Bogor, terdapat 41 kurir mitra dengan rata-rata 822 paket per kurir, tetapi jumlah paket berkisar antara 96 hingga 1.215 paket, yang menunjukkan ketimpangan beban kerja yang tinggi.

Penelitian ini membahas *Task Allocation Problem*, yaitu pendistribusian tugas secara efisien sesuai sumber daya yang tersedia. Dalam *last-mile delivery*, tugas tersebut berupa pembagian area dan paket kepada setiap kurir. Berbagai penelitian umumnya menggunakan strategi *cluster first and route second* melalui metode klasterisasi berbasis jarak, seperti *K-Means* dan *Clustering-Based Routing Heuristic* (CRH), yang dipadukan dengan optimasi rute menggunakan *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) dan *Ant Colony Optimization* (ACO).

Penelitian ini memperkenalkan pendekatan *fairness-aware spatial task allocation* yang menjadikan pemerataan beban kerja kurir sebagai *hard constraint*. Kontribusi utama penelitian terletak pada formulasi optimasi yang menyeimbangkan efisiensi melalui minimasi total jarak tempuh dan *fairness* melalui minimasi ketimpangan jumlah paket antar kurir. Konflik antara kedua tujuan tersebut diatasi menggunakan *Capacity Constrained Voronoi Diagram* (CCVD), yang menjamin seluruh paket teralokasi, setiap paket hanya ditangani satu kurir, dan setiap area pengiriman tetap terkoneksi. Setelah area seimbang terbentuk, ACO digunakan untuk mengoptimalkan rute pengiriman pada setiap area.

Tahapan penelitian meliputi pengumpulan dan pra-pemrosesan data, pengembangan model optimasi area dan rute menggunakan *K-Means*, CCVD, dan ACO, serta implementasi dan evaluasi hasil optimasi. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan jumlah paket dan total jarak tempuh setiap kurir sebelum dan sesudah optimasi. Penelitian ini diharapkan menjadi rekomendasi bagi perusahaan logistik dalam membangun model *last-mile delivery* berbasis kemitraan yang mendukung pemerataan beban kerja kurir mitra sekaligus menjaga efisiensi operasional perusahaan.

Kata Kunci: *Ant Colony Optimization* (ACO), *Capacity Constrained Voronoi Diagram*, *Clustering-Based Routing Heuristic* (CRH), *Cluster First and Route Second*, Kurir Mitra, *K-Means*, *Last-Mile Delivery*, *Task Allocation*, *Vehicle Route Problem Time Window* (VRPTW).

SUMMARY

NURISTYO DAMARSASI. Optimization of Last-Mile Delivery by Partner Couriers Using K-Means and Ant Colony Optimization. Supervised by ANNISA and KARLISA PRIANDANA.

The rapid growth of e-commerce after the COVID-19 pandemic has increased the demand for fast, efficient, and cost-effective logistics services. One of the most complex and expensive stages is last-mile delivery, which involves delivering parcels from the final distribution center to customers. This stage is challenging because of the large number of delivery destinations, varying travel distances, and limited courier and vehicle resources.

To improve operational efficiency, many logistics companies employ independent partner couriers who are paid based on the number of parcels successfully delivered. However, this payment model may create income inequality when delivery areas and workloads are not distributed fairly. Data from a logistics company in Cilebut, Bogor Regency, involving 41 partner couriers, revealed a significant workload imbalance, with an average of 822 parcels per courier and workloads ranging from 96 to 1,215 parcels.

This study addresses the Task Allocation Problem, which focuses on efficiently assigning delivery areas and parcels according to available resources. Existing last-mile delivery approaches commonly adopt a cluster-first, route-second strategy using distance-based clustering methods such as K-Means and the Clustering-Based Routing Heuristic (CRH), followed by route optimization using the Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) and Ant Colony Optimization (ACO).

This research proposes a fairness-aware spatial task allocation model that treats workload balancing as a hard constraint rather than a secondary objective. Instead of emphasizing a new algorithm combination, the main contribution is an optimization formulation that simultaneously minimizes total travel distance and workload disparity among couriers. Because K-Means can reduce travel distance while increasing workload imbalance, the proposed approach first applies the Capacity Constrained Voronoi Diagram (CCVD) to ensure that all parcels are assigned, each parcel is handled by only one courier, and every delivery area remains spatially connected. Ant Colony Optimization (ACO) is then used to optimize delivery routes within each balanced area.

The research methodology includes data collection, data preprocessing, optimization of delivery areas and routes using K-Means, CCVD, and ACO, followed by implementation and evaluation. Performance is evaluated by comparing parcel distribution and the total travel distance of each courier before and after optimization. The proposed model is expected to provide practical recommendations for logistics companies in developing partnership-based last-mile delivery systems that promote fair workload distribution while maintaining operational efficiency.

Keywords: Ant Colony Optimization (ACO), Capacity Constrained Voronoi Diagram (CCVD), Clustering-Based Routing Heuristic (CRH), Cluster-First Route-Second, K-Means, Last-Mile Delivery, Partner Couriers, Task Allocation, Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW).

OPTIMASI PENGIRIMAN LAST MILE OLEH KURIR MITRA MENGUNAKAN K-MEANS DAN ANT COLONY OPTIMIZATION

NURISTYO DAMARSASI

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada
Program Studi Ilmu Komputer

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis :

Dr. Toto Haryanto S.Kom., M.Si.



Judul Tesis : Optimasi Pengiriman *Last Mile* Oleh Kurir Mitra
Menggunakan *K-Means* dan *Ant Colony Optimization*
Nama : Nuristyo Damarsasi
NIM : M0503241041

Disetujui oleh

Pembimbing 1 :

Dr. Eng. Annisa S.Kom., M.Kom.

Pembimbing 2 :

Dr. Karlisa Priandana S.T., M.Eng.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi :

Irman Hermadi S.Kom., M.S., Ph.D.

NIP 197503112006041009

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika

Prof. Dr. Ir. Agus Buono M.Si., M.Kom.

NIP 196607021993011001

Tanggal Ujian :

21 Juli 2026

Tanggal Lulus :

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2025 sampai bulan Juli 2026 ini ialah Optimasi Pengiriman *Last Mile* Oleh Kurir Mitra Menggunakan *K-Means* dan *Ant Colony Optimization*.

Keberhasilan penelitian ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk, dan saran dari berbagai pihak. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Muhari dan Alm.Ibu Noer Muslikah selaku kedua orang tua, yang membentuk diri penulis menjadi seorang yang tangguh dengan memberikan dukungan moril, materiil, serta melimpahkan doa dan kasih sayang yang tulus kepada penulis.
2. Dewi Anggraini Wardiningsih, S.Agr. selaku istri yang memberikan dukungan tidak henti hentinya baik doa dan kasih sayang yang tulus.
3. Dr. Eng. Annisa S.Kom., M.Kom. dan Dr. Karlisa Priandana S.T., M.Eng. yang telah membimbing dan banyak memberi saran dalam menyelesaikan penelitian ini.
4. Dr. Toto Haryanto S.Kom., M.Si. selaku dosen penguji pada sidang akhir tesis yang telah memberikan masukan berharga.
5. Seluruh dosen beserta staf Departemen Ilmu Komputer IPB atas ilmu, bantuan, dan kerjasamanya selama perkuliahan.
6. Teman-teman seperjuangan di Program Studi Ilmu Komputer IPB serta semua pihak yang telah banyak membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
7. Terakhir penulis ucapkan kepada diri sendiri yang telah berhasil melalui proses panjang perkuliahan, penelitian, dan menyelesaikan program magister ini dengan sebaik-baiknya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Nuristyo Damarsasi

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	8
DAFTAR TABEL	11
DAFTAR GAMBAR	13
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	7
1.3 Tujuan penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	8
II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 <i>K-Means</i>	8
2.2 <i>Voronoi Diagram</i>	10
2.3 <i>Weighted Centroidal Voronoi Tessellation (WCVT)</i>	11
2.4 <i>Capacity Constrained Voronoi Diagram</i>	12
2.5 <i>Jarak Haversine</i>	13
2.6 <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	13
2.7 <i>K-Means, ACO and Voronoi for Task Allocation</i>	17
2.8 <i>Jain Fairness Index</i>	17
2.9 <i>Last Miles Delivery</i>	18
2.10 <i>Breadth-first Search</i>	19
III METODE PENELITIAN	19
3.1 Data Penelitian	19
3.2 Lingkungan Pengembangan	19
3.3 Tahapan Penelitian	20
3.4 Pemilihan Metode dan Algoritma Penelitian	21
3.5 Pembuatan <i>K-Means Clustering</i>	22
3.6 Pembentukan area kirim Modifikasi <i>Capacity Constrained Voronoi Diagram</i>	24
3.7 Optimasi Rute Pengiriman dengan <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	28
3.7.1 Inisiasi Nilai Feromon dan Parameter ACO	30
3.7.2 Hitung Jarak Pengiriman Intra <i>Cluster</i>	31
3.7.3 Simulasi Perilaku Semut	31



3.8	Metode Evaluasi	34
IV HASIL DAN PEMBASAN		34
4.1	Pengumpulan Data	34
4.2	Praproses Data	34
4.3	<i>K-Means Clustering</i>	36
4.4	<i>Capacity Contrained Voronoi Diagram</i>	40
4.4.1	Pembentukan Area Voronoi Tanpa <i>Load balancing</i>	40
4.4.2	Penyeimbangan Jumlah Paket Berdasarkan Nilai CLF	50
4.5	<i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	62
4.6	Skenario Percobaan Ketangguhan Metode	68
4.6.1	Variasi Jumlah Titik Pengantaran	68
4.6.2	Variasi Jumlah Kurir	69
4.6.3	Distribusi Titik Pengiriman Terkonsentrasi Di Salah Satu Wilayah	70
V KESIMPULAN DAN SARAN		73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	74
DAFTAR PUSTAKA		75