

**PENGEMBANGAN ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION* (ACO)
UNTUK MENGOPTIMALKAN RUTE DISTRIBUSI PADA *GREEN*
CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM (GCVRP)**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta
Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T.)



Oleh :
Lukman Adhitama
16660014

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2020

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2163/Un.02/DST/PP.00.9/09/2020

Tugas Akhir dengan judul : Pengembangan Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) untuk Mengoptimalkan Rute Distribusi pada Green Capacitated Vehicle Routing Problem (GCVRP).

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : LUKMAN ADHITAMA
Nomor Induk Mahasiswa : 16660014
Telah diujikan pada : Jumat, 28 Agustus 2020
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Dwi Agustina Kurniawati, S.T., M.Eng., Ph.D.
SIGNED



Penguji I
Ira Setyaningsih, S.T. M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 5f5ef67f01881



Penguji II
Trio Yonathan Teja Kusuma, S.T., M.T.
SIGNED

Valid ID: 5f6183674b48c



Yogyakarta, 28 Agustus 2020
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 5f61b8710e60c

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI

Hal : Surat Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga

Di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr wb

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengorkesi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi saudara:

Nama : Lukman Adhitama

NIM : 16660014

Judul Skripsi : Pengembangan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) Untuk Mengoptimalkan Rute Distribusi Pada *Green Capacitated Vehicle Routing Problem* (GCVRP)

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Teknik Industri.

Dengan ini kami mengharapkan agar skripsi/tugas akhir saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqosyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr wb

Yogyakarta, 24 Agustus 2020

Pembimbing,



Dwi Agustina Kurniawati, Ph.D

NIP. 19790806 200604 2 001

SURAT KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Lukman Adhitama

NIM : 16660014

Program Studi : Teknik Industri

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya bahwa skripsi saya yang berjudul “**Pengembangan Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) untuk Mengoptimalkan Rute Distribusi pada Green Capacitated Vehicle Routing Problem (GCVRP)**” adalah dari penelitian saya sendiri dan bukan plagiasi hasil karya orang lain, kecuali bagian tertentu yang saya ambil untuk dijadikan bahan acuan. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, maka hal tersebut sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 24 Agustus 2020

Yang menyatakan

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Lukman Adhitama

NIM.16660014

HALAMAN MOTTO

Jangan kamu berputus asa dari rahmat Allah.

Sesungguhnya yang berputus asa dari rahmat Allah, hanyalah orang-orang yang kafir.

(QS Yusuf : 87)

Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.

(QS Al Insyirah : 5)

Sebaik-baik manusia adalah yang bermanfaat bagi manusia lain.

(HR. Ahmad, Ath Thabrani dan Ad Daruqutni)



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

Kedua orang tua dan kedua kakak saya yang telah ikut andil dalam berbagai hal penting dalam hidup saya serta keluarga besar Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. yang telah menganugerahkan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Penelitian Tugas Akhir dengan judul “Pengembangan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk Mengoptimalkan Rute Distribusi pada *Green Capacitated Vehicle Routing Problem* (GCVRP)” ini dengan baik sehingga mampu memenuhi syarat untuk meraih gelar sarjana teknik industri di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta. Sholawat dan salam juga tak lupa penulis ucapkan kepada Nabi Muhammad SAW. yang telah membawa umat manusia dari jaman jahiliah ke jaman yang terang benderang.

Dalam penyusunan Laporan Penelitian Tugas Akhir ini tentunya tak luput dari bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis juga tak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga yang selalu memberikan dukungan dan motivasi dalam belajar.
2. Ibu Dwi Agustina K., S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing dan Ketua Program Studi Teknik Industri yang telah memberikan masukan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Industri Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu tanpa pamrih selama masa perkuliahan.

4. Rizka Febri Suryani dan Aprilia Dewi Ardiyanti selaku teman yang menjadi contoh dan panutan dalam bersemangat menjalani proses perkuliahan.

5. Keluarga besar teknik industri angkatan 2016 (Inspirasi) yang telah memberi semangat dan doa.

6. Para penulis referensi dalam tugas akhir ini atas hasil publikasinya yang membantu penulis dalam melakukan penelitian ini.

Tentunya dalam penulisan tugas akhir ini juga memiliki kekurangan karena kesempurnaan adalah milik Allah SWT. Oleh karena itu, penulis juga mohon maaf atas kesalahan atau kekurangan dalam laporan penelitian tugas akhir ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu teknik industri di masa yang akan datang. Aamiin.

Yogyakarta, 18 Agustus 2020

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Penulis,



Lukman Adhitama

16660014

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iii
SURAT KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
HALAMAN MOTTO.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
ABSTRAK.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	6
1.4. Manfaat Penelitian.....	6
1.5. Batasan Masalah.....	7
1.6. Asumsi Penelitian.....	8
1.7. Sistematika Penulisan.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1. Posisi Penelitian	10

2.2.	Emisi.....	17
2.3.	Konsep Distribusi dan <i>Vehicle Routing Problem</i>	17
2.4.	<i>Green Vehicle Routing Problem</i>	21
2.5.	Metode Penyelesaian <i>Vehicle Routing Problem</i>	25
2.6.	<i>Nearest Neighbour</i>	27
2.7.	<i>Ant Colony Optimization</i>	28
2.8.	<i>Variable Neighbourhood Search</i>	32
2.9.	Matlab.....	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		39
3.1.	Gambaran Umum Penelitian	39
3.2.	Data yang Digunakan	39
3.3.	Metode Pengolahan Data.....	40
3.4.	Proses Komputasi	42
3.5.	Diagram Alir Penelitian.....	43
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		44
4.1.	Pengembangan Model Matematika	44
4.1.1.	Penentuan Faktor Emisi	44
4.1.2.	<i>Green Capacitated Vehicle Routing Problem (GCVRP)</i>	45
4.1.3.	Formulasi Lengkap	50
4.2.	Pengembangan Algoritma <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	51
4.2.1.	Fase <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	51
4.2.2.	Diagram Alir <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	52
4.3.	Implementasi Algoritma <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	55
4.3.1.	Deskripsi Masalah.....	55
4.3.2.	Pengumpulan Data	56

4.3.3. Hasil Pengolahan	62
4.3.4. Analisis dan Pembahasan.....	118
4.4. Perbaiki Solusi dengan <i>Variable Neighbourhood Search</i>	123
4.4.1. Hasil Pengolahan	123
4.4.2. Analisis dan Pembahasan.....	132
BAB V PENUTUP.....	139
5.1. Kesimpulan.....	139
5.2. Saran	140
DAFTAR PUSTAKA.....	141
LAMPIRAN.....	146



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi Algoritma VRP.....	25
Gambar 2.2	Perkembangan Algoritma Metaheuristik.....	26
Gambar 2.3	Ilustrasi <i>Ant Colony Optimization</i>	29
Gambar 2.4	Pseudocode <i>Ant Colony Optimization</i>	31
Gambar 2.5	Ilustrasi <i>Variable Neighbourhood Search</i>	34
Gambar 2.6	Tampilan <i>Software MATLAB</i>	38
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	43
Gambar 4.1	Diagram Alir <i>Ant Colony Optimization</i>	54
Gambar 4.2	Alur Pengolahan Data Penelitian.....	61
Gambar 4.3	Perbandingan Solusi NN- ACO Antar Parameter	119
Gambar 4.4	Perbandingan Solusi SM- ACO Antar Parameter	120
Gambar 4.5	Perbandingan Solusi SI- ACO Antar Parameter	121
Gambar 4.6	Perbandingan Solusi Antar Metode.....	122
Gambar 4.7	Perbandingan Solusi NN-ACO-VNS Antar Strategi.....	132
Gambar 4.8	Perbandingan Solusi SM-ACO-VNS Antar Strategi.....	133
Gambar 4.9	Perbandingan Solusi SI-ACO-VNS Antar Strategi.....	134
Gambar 4.10	Perubahan Jumlah Emisi 1	135
Gambar 4.11	Perubahan Jumlah Emisi 2	136
Gambar 4.12	Perubahan Jumlah Emisi 3	137

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian Terdahulu	16
Tabel 4.1	Faktor Emisi CO ₂	44
Tabel 4.2	Faktor Emisi CH ₄	45
Tabel 4.3	Faktor Emisi N ₂ O	45
Tabel 4.4	Parameter <i>Ant Colony Optimization</i>	51
Tabel 4.5	Data <i>Customer</i> PDAM Tirta Binangun.....	56
Tabel 4.6	Penentuan Rute oleh Perusahaan.....	60
Tabel 4.7	Hasil <i>Clustering</i>	62
Tabel 4.8	Rute Distribusi NN-ACO Parameter 1	66
Tabel 4.9	Rute Distribusi NN-ACO Parameter 2	69
Tabel 4.10	Rute Distribusi NN-ACO Parameter 3	73
Tabel 4.11	Rute Distribusi NN-ACO Parameter 4	77
Tabel 4.12	Rute Distribusi NN-ACO Parameter 5	81
Tabel 4.13	Rute Distribusi SM-ACO Parameter 1	84
Tabel 4.14	Rute Distribusi SM-ACO Parameter 2	88
Tabel 4.15	Rute Distribusi SM-ACO Parameter 3	92
Tabel 4.16	Rute Distribusi SM-ACO Parameter 4	95
Tabel 4.17	Rute Distribusi SM-ACO Parameter 5	99
Tabel 4.18	Rute Distribusi SI-ACO Parameter 1	103
Tabel 4.19	Rute Distribusi SI-ACO Parameter 2	106
Tabel 4.20	Rute Distribusi SI-ACO Parameter 3	110
Tabel 4.21	Rute Distribusi SI-ACO Parameter 4	114

Tabel 4.22 Rute Distribusi SI-ACO Parameter 5	117
Tabel 4.23 Skor Parameter ACO.....	122
Tabel 4.24 Rute Distribusi NN-ACO-Swap.....	123
Tabel 4.25 Rute Distribusi NN-ACO-Reverse.....	124
Tabel 4.26 Rute Distribusi NN-ACO-Insert.....	125
Tabel 4.27 Rute Distribusi SM-ACO-Swap.....	126
Tabel 4.28 Rute Distribusi SM-ACO-Reverse.....	127
Tabel 4.29 Rute Distribusi SM-ACO-Insert.....	128
Tabel 4.30 Rute Distribusi SI-ACO-Swap.....	129
Tabel 4.31 Rute Distribusi SI-ACO-Reverse.....	130
Tabel 4.32 Rute Distribusi SI-ACO-Insert.....	131
Tabel 4.33 Penentuan Strategi Terbaik	134
Tabel 4.34 Perbandingan Antar Peneliti.....	138

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Matriks Jarak Keseluruhan	146
Lampiran 2 Perhitungan <i>Clustering Nearest Neighbour</i>	147
Lampiran 3 Matriks Jarak <i>Nearest Neighbour</i>	148
Lampiran 4 Matriks Jarak <i>Saving Matrix</i>	150
Lampiran 5 Matriks Jarak <i>Sequential Insertion</i>	152
Lampiran 6 <i>Syntax</i> Program Matlab <i>Ant Colony Optimization</i>	154
Lampiran 7 Perhitungan Iterasi Maksimal <i>Variable Neighbourhood Search</i>	156
Lampiran 8 Perhitungan <i>Variable Neighbourhood Search</i> (NN - ACO)	157
Lampiran 9 Perhitungan <i>Variable Neighbourhood Search</i> (SM - ACO)	163
Lampiran 10 Perhitungan <i>Variable Neighbourhood Search</i> (SI - ACO).....	169



**PENGEMBANGAN ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION (ACO)
UNTUK MENGOPTIMALKAN RUTE DISTRIBUSI PADA GREEN
CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM (GCVRP)**

Lukman Adhitama

16660014

Program Studi Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

ABSTRAK

Tingginya permintaan customer terhadap suatu produk akan memicu meningkatnya aktivitas kendaraan distribusi sehingga menyebabkan banyaknya gas emisi yang mencemari udara. Penelitian ini mengembangkan algoritma Ant Colony Optimization (ACO) untuk menyelesaikan permasalahan rute distribusi dengan kapasitas kendaraan distribusi yang terbatas dan bertujuan meminimalkan emisi yang dikeluarkan atau disebut juga dengan Green Capacitated Vehicle Routing Problem (GCVRP). Penelitian ini memberikan hasil terbaik dengan hasil rute distribusi yang memiliki nilai emisi sebesar 19.124.028 untuk gas CO_2 , 6.899 untuk gas CH_4 dan 2.207,68 untuk gas N_2O . Hasil tersebut mampu dioptimalkan lagi dengan metode Variable Neighbourhood Search sehingga nilai emisi yang dihasilkan menjadi sebesar 17.173.233 untuk gas CO_2 , 6.195,25 untuk gas CH_4 dan 1982,48 untuk gas N_2O .

Kata Kunci : Rute Distribusi, Emisi, Ant Colony Optimization.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang masuk kategori lima besar penduduk terbanyak di dunia. Hal ini tidak mengejutkan lagi dikarenakan sebagaimana dimuat dalam Kompas (08/01) yang merupakan lansiran dari Badan Pusat Statistik diketahui bahwa jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2020 diproyeksikan mencapai 271.066.000 jiwa. Bertambahnya jumlah penduduk mengakibatkan kebutuhan akan barang pokok berupa makanan dan minuman juga meningkat. Hasil perhitungan BPS yang dimuat di *website* Kementerian Perindustrian (Kemenperin) menyatakan bahwa pada triwulan-II tahun 2019 pertumbuhan industri makanan dan minuman mencapai 7,99%. Jumlah ini memang kalah tinggi dibandingkan dengan sektor tekstil namun dengan bertambahnya jumlah penduduk akan mempengaruhi juga pada permintaan yang masuk ke industri makanan dan minuman nantinya. Bahkan Asosiasi Industri Minuman Ringan (ASRIM) Triyono Prijosesilo memprediksi permintaan minuman di tahun 2020 akan meningkat 3% hingga 4% dibandingkan dengan tahun 2019. Keperluan untuk menggunakan atau mengkonsumsi barang tersebut memang sudah tidak dapat dielakkan lagi karena menyangkut dengan kelangsungan hidup manusia. Oleh karena itu, perusahaan penyedia kebutuhan pokok manusia harus mampu beradaptasi

dengan terjadinya fenomena ini. Untuk dapat memenuhi permintaan yang selalu meningkat tentunya diperlukan penyesuaian pada berbagai lini perusahaan terutama di produksi dan distribusi.

Salah satu kegiatan penting di industri yang berada di bawah produksi adalah distribusi. Hal ini dikarenakan setelah suatu produk diproduksi maka tahapan selanjutnya yaitu disalurkan ke konsumen agar nilai gunanya mampu dimanfaatkan. Distribusi dalam rantai pasok suatu produk juga termasuk dalam kategori *primary activities* sehingga sudah tidak dapat diragukan lagi bahwa peranan yang dipegang sangatlah penting (Indrajit dan Djokopranoto, 2002). Oleh karena itu kegiatan pengoptimalan industri tidak hanya dilakukan pada proses produksi saja namun juga perlu diterapkan di level distribusi.

Salah satu masalah yang timbul dalam kegiatan distribusi adalah penentuan rute distribusi kendaraan atau biasa disebut *vehicle routing problem* (VRP). Singh dan Vijay (2014) menjelaskan bahwa *vehicle routing problem* merupakan masalah pencarian rute optimal yang dilalui kendaraan untuk melayani sejumlah *customer* yang memiliki lokasi tersebar secara geografis. Masalah ini timbul karena adanya batasan-batasan sehingga perlu memahami karakter sistem untuk menemukan solusi optimal atau mendekati optimal. Kendala dalam masalah distribusi ini contohnya adalah kapasitas muat kendaraan sehingga perlu adanya pengoptimalan rute. Apabila dalam satu kali rute tidak mampu melayani semua *customer* maka harus kembali lagi ke depot sehingga jarak tempuh makin panjang.

Masalah jumlah *customer* dan permintaan yang selalu naik ternyata

tidak hanya berkaitan dengan biaya yang diperlukan perusahaan untuk menjalankan proses produksi dan distribusi. Masalah lain yang juga timbul adalah meningkatnya polusi udara akibat dari penggunaan kendaraan untuk kegiatan distribusi yang meningkat untuk memenuhi permintaan *customer* yang jumlahnya juga mengalami kenaikan. Dengan adanya hal tersebut kemudian diperlukan sistem yang mampu menangani kegiatan distribusi khususnya penentuan rute dengan meminimalkan jarak tempuh kendaraan namun juga mempertimbangkan aspek lingkungan. Kedua hal tersebut sebenarnya berkaitan dimana dengan jarak tempuh yang minimal maka akan berpotensi mengurangi polusi udara atau tingkat emisi gas kendaraan yang dihasilkan. Dengan mempertimbangkan dua tujuan tersebut maka akan memberikan kontribusi baik bagi perusahaan yaitu dengan berkurangnya biaya distribusi serta dampak pencemaran lingkungan yang ditimbulkan pun juga mampu diminimalisir.

Masalah penentuan rute distribusi dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan serta berupaya meminimalkan jarak agar emisi gas kendaraan yang dihasilkan juga berkurang ini tergolong pada permasalahan *Green Capacitated Vehicle Routing Problem* (GCVRP). GCVRP ini tergolong dalam *Green Vehicle Routing Problem* (GVRP). GVRP sendiri sudah dikenal sejak tahun 1999 namun baru ramai dipertimbangkan dalam topik penelitian rute distribusi sejak 2006 hingga saat ini. Dalam tujuan meminimalkan emisi gas kendaraan sendiri masalah ini dikategorikan dalam klaster *Pollution Routing Problem* (PRP) (Li et al., 2013). Masalah GCVRP yang tergolong baru ini

memiliki banyak peluang untuk dikembangkan dalam penelitian karena merupakan hal yang perlu diantisipasi oleh perusahaan-perusahaan pada masa yang akan datang agar tidak menimbulkan dampak penurunan kualitas lingkungan yang signifikan.

Pada berbagai kasus rute distribusi sendiri telah banyak berbagai metode yang digunakan. Pada kasus dengan jumlah *customer* yang cukup banyak dan terus meningkat setiap periodenya cocok apabila diselesaikan dengan metode metaheuristik. Metode metaheuristik tergolong pada jenis metode pendekatan (*approximation methods*) dimana mampu menghasilkan solusi mendekati optimal dengan waktu komputasi yang tidak terlalu lama (Blum dan Roli, 2003). Salah satu metode yang dinilai cukup efektif yaitu *Ant Colony Optimization* (ACO). Implementasi ACO sebagai metode optimisasi diilhami dari perilaku serangga di alam. ACO meniru perilaku koloni semut dalam mencari sumber makanan bermula dan kembali ke sarangnya yang ternyata secara alami merupakan proses pencarian rute terpendek (Santosa dan Ai, 2017). Metode ACO ini dibandingkan dengan metode metaheuristik lain telah banyak terbukti mampu menyelesaikan kasus dengan hasil paling mendekati optimal sehingga dapat juga diterapkan perusahaan untuk mengoptimalkan proses distribusi produk pada era ini.

Dengan didasarkan pada masalah distribusi yang terus berkembang seiring dengan meningkatnya permintaan, isu lingkungan yang perlu diperhatikan oleh semua perusahaan serta metode *Ant Colony Optimization* yang banyak menyelesaikan kasus rute distribusi secara optimal maka penulis

melakukan penelitian dengan judul “Pengembangan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk Mengoptimalkan Rute Distribusi pada *Green Capacitated Vehicle Routing Problem* (GCVRP)”. Penelitian ini berusaha mengembangkan sebuah model Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dengan tujuan menentukan rute terpendek agar emisi bahan bakar yang dihasilkan serta biaya distribusi yang dikeluarkan minimal. Dalam penelitian ini, model akan dikembangkan dengan menggunakan *software* Matlab. Pengembangan algoritma ACO dengan *software* ini diharapkan mampu menjadi alat bantu untuk menyelesaikan masalah di pendistribusian produk di suatu perusahaan secara terus-menerus.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengembangan algoritma *Ant Colony Optimization* untuk menyelesaikan permasalahan rute distribusi sehingga mampu meminimalkan emisi kendaraan?
2. Bagaimana parameter terbaik yang dapat diterapkan dalam algoritma *Ant Colony Optimization* sehingga mampu diterapkan pada *green capacitated vehicle routing problem*?
3. Bagaimanakah hasil rute distribusi yang diperoleh dari pengolahan studi kasus dengan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization*?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dari penelitian yang dilakukan ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan algoritma *Ant Colony Optimization* untuk menghasilkan rute distribusi dengan tingkat emisi atau polusi udara yang minimal.
2. Mengetahui parameter terbaik algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) berdasarkan uji coba berbagai level pada proses penentuan rute kendaraan.
3. Menghasilkan solusi rute distribusi yang memiliki nilai emisi minimal dari studi kasus yang diolah.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang hendak diperoleh dengan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Algoritma yang dikembangkan dapat sebagai alat bantu pengambil keputusan untuk merencanakan proses distribusi suatu produk secara optimal.
2. Algoritma *Ant Colony Optimization* yang dikembangkan mampu dijadikan sebagai bahan referensi terkait permasalahan penentuan rute distribusi atau *vehicle routing problem* (VRP) khususnya pada *Green Capacitated Vehicle Routing Problem* (GCVRP).

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Algoritma yang dikembangkan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan model permintaan yang bersifat deterministik atau pasti jumlahnya.
2. Isu lingkungan yang diangkat dalam penelitian ini adalah berkaitan dengan emisi gas kendaraan yang dihasilkan.
3. Hasil penelitian merupakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) yang mampu digunakan untuk menyelesaikan berbagai kasus penentuan rute distribusi kendaraan.
4. Data yang digunakan dalam studi kasus pada penelitian ini berasal dari penelitian milik Yusuf (2020).
5. Studi kasus yang ditampilkan dalam penelitian ini digunakan untuk memvalidasi algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) yang telah dikembangkan.
6. Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) hanya digunakan untuk menentukan rute (*routing*) sedangkan pembagian *cluster* dilakukan dengan mengambil hasil dari penelitian Yusuf (2020) dan metode *nearest neighbour*.

1.6. Asumsi Penelitian

Adapun asumsi masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kendaraan yang digunakan untuk mendistribusikan barang memiliki performansi yang baik.
2. Perusahaan selalu memiliki kapasitas yang cukup dalam memenuhi jumlah permintaan *customer*.
3. Rute distribusi tidak mempertimbangkan waktu tempuh kendaraan.
4. Lalu lintas dianggap lancar atau tidak terjadi kemacetan.
5. Lokasi *customer* bersifat akurat dan tidak mengalami perpindahan.

1.7. Sistematika Penulisan

Adapun penulisan dari penelitian ini menggunakan sistematika atau susunan sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini dipaparkan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai, manfaat yang akan diperoleh, serta batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab tinjauan pustaka ini akan membahas terkait penelitian-penelitian terdahulu baik dalam jurnal nasional maupun internasional. Selain itu bahasan yang lain adalah meliputi konsep

vehicle routing problem, *green capacitated vehicle routing problem*, metode penyelesaian kasus *vehicle routing problem*, algoritma *ant colony optimization*, dan Matlab yang merupakan alat bantu untuk menyelesaikan kasus atau masalah dalam penelitian yang dilakukan penulis.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini disajikan gambaran umum penelitian, metode pengumpulan data, metode pengolahan data serta diagram alir atau tahapan proses dilakukannya penelitian ini.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini menjelaskan tentang model matematika dari *green capacitated vehicle routing problem*, penentuan rute distribusi yang diawali dengan proses *intial solution*, pengolahan algoritma *ant colony optimization* serta hasil pengolahan. Hasil pengolahan tersebut kemudian dianalisis dari hasil rute yang diperoleh, jarak tempuh yang didapat, serta jumlah emisi gas yang dikeluarkan.

5. BAB V PENUTUP

Dalam bab ini disajikan kesimpulan akhir dari penelitian yang dilakukan serta saran apabila akan dilakukan pengembangan pada penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dapat digunakan untuk menemukan solusi optimal dari kasus *Green Capacitated Vehicle Routing Problem* sehingga menghasilkan rute distribusi yang memiliki nilai emisi minimal.
2. Parameter terbaik algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) yang mampu memberi solusi paling optimal pada penelitian ini adalah parameter 5 dengan nilai $\alpha = 0,7$, $\beta = 5$, $\rho = 0,5$, jumlah semut = 200 dan jumlah iterasi = 50.
3. Perhitungan dengan metode *Variable Neighbourhood Search* mampu memperbaiki solusi yang sebelumnya telah dihasilkan dengan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO).
4. Hasil dari studi kasus penelitian ini adalah rute distribusi yang memiliki nilai emisi sebesar 19.124.028 untuk gas CO₂, 6.899 untuk gas CH₄ dan 2.207,68 untuk gas N₂O. Hasil tersebut mampu dioptimalkan lagi dengan metode *Variable Neighbourhood Search* sehingga menjadi sebesar 17.173.233 untuk gas CO₂, 6.195,25 untuk gas CH₄ dan 1.982,48 untuk gas N₂O.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perusahaan dapat menerapkan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam proses penentuan rute distribusi karena mampu memberikan hasil dengan rute dan total emisi yang minimal.
2. Perhitungan dengan metode *Variable Neighbourhood Search* dapat dibuat dengan komputasi agar mampu diterapkan dengan baik oleh perusahaan sehingga tidak membutuhkan waktu lama dalam proses penentuan rute distribusi.
3. Pada penelitian selanjutnya, dapat dilakukan dengan menggunakan metode metaheuristik lainnya sehingga mampu dibandingkan mana yang lebih memberi solusi yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiba, El Bouzekri El Idrissi, Messaoud Elhassania, El Hilali Alaoui Ahemd. 2013. A Hybrid Ant Colony System For Green Capacitated Vehicle Routing Problem In Sustainable Transport. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology* Vol. 54 No.2.
- Aditya, Ivan. 2019. Kualitas Udara di Kulon Progo Di Bawah Ambang Batas. <https://www.krjogja.com/berita-lokal/diy/kulonprogo/kualitas-udara-di-kulonprogo-dibawah-ambang-batas/> (diakses tanggal 4 September 2020)
- Aisyah, Aletia Nurul 2019. Pengembangan Model Improve Balance Halal Supply Chain (IBHSC) Untuk Mengoptimalkan Distribusi Produk Halal. Skripsi Teknik Industri Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Berlianty, Intan, dan Miftahol Arifin. 2010. *Teknik-teknik Optimasi Heuristik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Blum, Christian dan Andrea Roli. 2003. Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. *ACM Computing Surveys*, Vol. 35, No. 3, September 2003, pp. 268–308.
- Chapman dan Hall. 2007. *Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics*. London : Taylor & Francis Group.
- Dorigo, Marco dan Giani Di Caro. 1999. Ant Colony Optimization : A New Meta-Heuristic. *Proceedings Evolutionary Computation*.
- Dorigo, Marco dan Thomas Stutzle. 2000. The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications, and Advances. *Technical Report*

IRIDIA-2000-32.

Dorigo, Marco dan Thomas Stutzle. 2004. *Ant Colony Optimization*. Cambridge : MIT Press.

Gischa, Serafica. 2020. Jumlah Penduduk Indonesia 2020. <https://www.kompas.com/skola/read/2020/01/08/060000069/jumlah-penduduk-indonesia-2020?page=all> (diakses tanggal 17 Januari 2020)

Gunawan, Indra Maryati, Henry Kurniawan Wibowo. 2012. Optimasi Penentuan Rute Kendaraan Pada Sistem Distribusi Barang Dengan Ant Colony Optimization. *Proceeding Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan*.

Handoko, Asfin. 2019. Pengembangan Algoritma Tabu Search Pada Capacitated Vehicle Routing Problem For Halal Non Halal Product Distribution (TS-CVRP-HNPD) Untuk Optimisasi Distribusi Produk Halal Dan Non Halal. Skripsi Teknik Industri Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Indrajit, Richardus Eko dan Richardus Djokopranoto. 2002. *Konsep Manajemen Supply Chain*. Jakarta : Grasindo.

Iswari, Titi. 2017. Pengembangan Algoritma Hybrid Restart Simulated Annealing with Variable Neighborhood Search(HRSA-VNS) untuk penyelesaian kasus Vehicle Routing Problem with Time Windows(VRPTW). *Jurnal Rekayasa Sistem Industri Volume 6*.

Jabir, E, Vinay V. Panicker, R. Sridharan. 2017. Design And Development Of A Hybrid Ant Colony-Variable Neighbourhood Search Algorithm For A

- Multi-Depot Green Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Part D* 422–457.
- Jaramillo, Juan R. 2011. The Green Vehicle Routing Problem. *Proceedings, informs annual meeting*, October 5-7, Myrtle Beach, South Carolina, USA.
- Kemenperin. 2019. Tumbuh Positif, Industri Masih Kontributor Terbesar Ekonomi Hingga 19 Persen. <https://kemenperin.go.id/artikel/20908/Tumbuh-Positif,-Industri-Masih-Kontributor-Terbesar-Ekonomi-Hingga-19-Persen> (diakses tanggal 17 Januari 2020)
- Kizilates, Gozde dan Fidan Nuriyeva. 2013. On the Nearest Neighbour Algorithm for the Traveling Salesman Problem. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, hlm. 111-118.
- Li, Yongbo, Hamed Soleimani, Mostafa Zohal. 2019. An Improved Ant Colony Optimization Algorithm For The Multi-Depot Green Vehicle Routing Problem With Multiple Objectives. *Journal of Cleaner Production* 1161-1172.
- Lin, Changhong, K.L. Choy, G.T.S. Ho, S.H. Chung, H.Y. Lam. 2013. Survey of Green Vehicle Routing Problem: Past and Future Trends. *Expert System with Application an International Journal* 1118-1138.
- Mario, Tommi Poltak. 2006. Implementasi Perbandingan Algoritma Ant Colony System Dengan Algoritma Subset Dynamic Programming Pada Kasus Travelling Salesman Problem. *Proceeding Seminar Nasional Aplikasi*

Teknologi Informasi.

Martua, Paulus Bangun. 2011. Perancangan Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) untuk Penyelesaian Vehicle Routing Problem (VRP). Skripsi Teknik Industri Universitas Indonesia.

Messac, Achille. 2015. *Optimization in Practice with MATLAB for Engineering Students and Professionals*. New York: Cambridge University Press.

Purnomo, Hindriyanto Dwi. 2014. *Cara Mudah Belajar Metode Optimisasi Metaheuristik Menggunakan Matlab*. Yogyakarta : Gava Media.

Rahmat, Basuki. 2011. Perbandingan Genetic Algorithm, Multiple Ant Colony System dan Tabu Search untuk Penyelesaian Vehicle Routing Problem With Time Windows (VRPTW). *Jurnal Scan Vol. II, No. 3*.

Rosdiahti, R. 2018. *Permodelan Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) untuk mengoptimalkan rute distribusi produk halal dan non halal*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Santosa, Budi dan The Jin Ai. 2017. *Pengantar Metaheuristik Implementasi dengan Matlab*. Surabaya : ITS Tekno Sains.

Saptono, Fajar, I'ing Mutakhirah, Taufiq Hidayat, Amy Fauzijah. 2007. Perbandingan Performansi Algoritma Genetika Dan Algoritma Semut Untuk Penyelesaian Shortest Path Problem. *Proceeding Seminar Nasional Sistem dan Informatika*.

Seidlová, R,dan J. Poživil. 2005. Implementation Of Ant Colony Algorithms In Matlab. *Publication Institute of Chemical Technology, Department of Computing and Control Engineering Technická 5*.

- Sicilia, Juan Antonio, Carlos Quemada, Beatriz Royo, David Escuín. 2015. An Optimization Algorithm For Solving The Rich Vehicle Routing Problem Based On Variable Neighbourhood Search And Tabu Search Metaheuristics. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, hlm. 377-427.
- Singh, Er Gurpreet dan Vijay, Dr. Dir. 2014. Open Vehicle Routing Problem by Ant Colony Optimization. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 5, No. 3.
- Sorensen, Kenneth, Marc Seaux, Fred Glover. 2016. In Martí, R, P. Pardalos, M. Resende. *Handbook of Heuristics*. Cham : Springer.
- Suyanto. 2017. *Swarm Intelligence Komputasi Modern untuk Optimasi dan Big Data Mining*. Bandung : Informatika Bandung.
- Tim Penyusun Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*. Jakarta : Kementerian Lingkungan Hidup.
- Yusuf, Rif'an. 2020. *Penentuan Rute Distribusi Produk AMDK Airku Kemasan Cup 240ml dengan Menggunakan Metode Saving Matrix dan Sequential Insertion*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Zulian, Muhammad. 2019. ASRIM Proyeksikan Volume Permintaan Minuman Ringan Bisa Tumbuh 3-4%. <https://industri.kontan.co.id/news/asrim-proyeksikan-volume-permintaan-minuman-ringan-bisa-tumbuh-3-4>
(diakses tanggal 17 Januari 2020)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Matriks Jarak Keseluruhan

	Gud	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
Gud	0																													
A	5,5	0																												
B	5,3	0,21	0																											
C	15,3	9,9	10,1	0																										
D	14,9	9,5	9,6	0,45	0																									
E	14,7	15,5	15,3	25,4	24,9	0																								
F	29,9	30,6	30,4	40,5	40	15,1	0																							
G	2,3	3,5	3,3	13,4	12,9	12	27,1	0																						
H	11,2	12,4	12,6	22,3	21,9	9,2	23,3	9,9	0																					
I	5,3	0,3	0,5	10,3	9,8	15,3	30,4	3,3	12,1	0																				
J	9,7	4,2	4,3	7,2	6,7	19,7	34,8	7,7	16,4	4,5	0																			
K	28,1	29	28,8	38,8	38,4	13,5	3,5	25,5	22,7	28,8	33,2	0																		
L	23,3	24,2	24	34	33,6	8,7	12	20,7	17,9	24	28,4	10,4	0																	
M	9,5	4,4	4,6	7,7	7,3	19,5	34,6	7,5	15,8	4,1	0,6	33	28,2	0																
N	8,3	3,7	3,9	8,6	8,1	18,3	33,4	6,3	15	3,4	1,4	31,8	27	1,2	0															
O	6,1	1,4	1,2	11,2	10,8	16,1	31,1	3,6	13,5	1,7	5,5	29,5	24,8	5,6	4,9	0														
P	10,1	7,7	8	17,7	17,2	15,6	30,7	7,8	6,4	7,4	11,8	29	24,2	11,2	10,4	8,8	0													
Q	4	2,2	1,9	12	11,6	14	29,1	2	11,9	2,5	6,9	27,5	22,7	6,4	5,5	2	8,6	0												
R	8,2	5,7	5,9	15,6	15,2	18,5	33,6	5,9	9,3	5,4	8	31,9	27,1	7,8	8,3	6,8	4,7	6,7	0											
S	5,8	0,5	0,55	9,6	9,2	15,9	31	3,9	12,8	0,8	3,9	29,3	24,5	4,5	4,2	1,8	8,2	2,5	6,1	0										
T	5,7	2,7	2,9	12,6	12,2	18,9	34,1	3,4	9,7	2,4	6,8	32,4	27,6	6,1	5,4	3,9	5,1	4,1	3	3,2	0									
U	5,2	0,8	0,95	10,7	10,3	20,8	30,3	3,2	11,6	0,5	4,9	28,7	27,4	4,2	3,5	1,9	7	2,4	4,9	1,3	1,9	0								
V	17	11,6	11,7	7,3	7,7	27	42,1	15	24	11,9	10,6	40,5	35,7	11,2	12	12,9	19,4	13,7	17,3	11,3	14,3	12,4	0							
W	3,4	2,7	2,5	12,4	0,45	13	28,1	1,1	11,6	2,4	6,8	26,5	21,7	6,1	5,4	2,7	6,9	1,7	5	2,9	2,5	2,3	14,2	0						
X	19,9	15,1	15,3	22,4	21,9	26,5	41,6	17,6	17,3	14,8	12,3	40	35,2	12,1	11,4	16,3	12,5	17	12,5	15,6	15	14,8	26,7	16,7	0					
Y	12	9,4	9,2	9,6	9,2	22,1	37,2	10,1	21,7	9,7	9,9	35,6	30,7	10,5	11,3	9,6	17,1	10,2	15	9,4	12,1	10,1	11,7	11,2	22,2	0				
Z	5,3	1,1	0,85	10,9	10,5	15,4	30,5	2,6	13,1	1,4	5,2	28,9	24,1	5,3	4,6	1,1	8,5	1	6,4	1,4	3,5	1,5	12,6	1,7	15,9	10,1	0			
AA	20,5	25,4	24,7	35,6	30,7	5,8	9,3	17,8	15	21,1	25,5	7,7	2,9	24,8	24,1	21,9	21,4	19,8	24,3	21,7	20,3	21	32,8	18,8	32,3	27,9	21,2	0		
AB	5,4	0,85	0,65	11,2	10,3	14,6	29,7	2,6	12,2	0,7	5,1	28,1	23,3	4,4	3,7	1,3	7,6	1,8	5,6	1,2	2,6	0,65	12,4	1,7	16,1	9,9	0,95	20,4	0	
AC	8	2,5	2,7	7,4	7	17,9	33	6	14,9	2,8	3,2	31,4	26,6	3,8	4,6	3,8	10,3	4,6	8,2	2,2	5,2	3,3	9,1	5	15,5	8,3	3,5	23,7	3,3	0

Lampiran 2 Perhitungan *Clustering Nearest Neighbour*

Node	Demand	Kumulatif	Jarak	Kumulatif	Cluster
G	10	10	2,3	2,3	1
W	20	30	1,1	3,4	
D	70	100	0,45	3,85	
J	40	140	6,7	10,55	
AC	9	149	3,2	13,75	
Gud	0	149	8	21,75	
Q	60	60	4	4	2
Z	8	68	1	5	
B	70	138	0,85	5,85	
S	10	148	0,55	6,4	
Gud	0	148	5,8	12,2	
U	70	0	5,2	5,2	3
I	30	100	0,5	5,7	
AB	15	115	0,7	6,4	
T	20	135	2,6	9	
N	15	150	5,4	14,4	
Gud	0	150	8,3	22,7	
A	70	70	5,5	5,5	4
O	43	113	1,4	6,9	
M	20	133	5,6	12,5	
Y	7	140	10,5	23	
H	10	150	21,7	44,7	
Gud	0	150	11,2	55,9	
R	20	20	8,2	8,2	5
P	20	40	4,7	12,9	
E	7	47	15,6	28,5	
AA	25	72	5,8	34,3	
L	30	102	2,9	37,2	
X	35	137	35,2	72,4	
Gud	0	137	19,9	92,3	
C	70	70	15,3	15,3	6
V	70	140	7,3	22,6	
Gud	0	140	17	39,6	
K	50	50	28,1	28,1	7
F	50	100	3,5	31,6	
Gud	0	100	29,9	61,5	
Total	974	974	305,95	305,95	

Lampiran 3 Matriks Jarak *Nearest Neighbour*

Cluster 1

1	GUD	D	G	J	W	AC
GUD	0	14,9	2,3	9,7	3,4	8
D	14,9	0	12,9	6,7	0,45	7
G	2,3	12,9	0	7,7	1,1	6
J	9,7	6,7	7,7	0	6,8	3,2
W	3,4	0,45	1,1	6,8	0	5
AC	8	7	6	3,2	5	0

Cluster 2

2	Gud	B	Q	S	Z
GUD	0	5,3	4	5,8	5,3
B	5,3	0	1,9	0,55	0,85
Q	4	1,9	0	2,5	1
S	5,8	0,55	2,5	0	1,4
Z	5,3	0,85	1	1,4	0

Cluster 3

3	GUD	I	N	T	U	AB
GUD	0	5,3	8,3	5,7	5,2	5,4
I	5,3	0	3,4	2,4	0,5	0,7
N	8,3	3,4	0	5,4	3,5	3,7
T	5,7	2,4	5,4	0	1,9	2,6
U	5,2	0,5	3,5	1,9	0	0,65
AB	5,4	0,7	3,7	2,6	0,65	0

Cluster 4

4	GUD	A	H	M	O	Y
GUD	0	5,5	11,2	9,5	6,1	12
A	5,5	0	12,4	4,4	1,4	9,4
H	11,2	12,4	0	15,8	13,5	21,7
M	9,5	4,4	15,8	0	5,6	10,5
O	6,1	1,4	13,5	5,6	0	9,6
Y	12	9,4	21,7	10,5	9,6	0

Cluster 5

5	GUD	E	L	P	R	X	AA
GUD	0	14,7	23,3	10,1	8,2	19,9	20,5
E	14,7	0	8,7	15,6	18,5	26,5	5,8
L	23,3	8,7	0	24,2	27,1	35,2	2,9
P	10,1	15,6	24,2	0	4,7	12,5	21,4
R	8,2	18,5	27,1	4,7	0	12,5	24,3
X	19,9	26,5	35,2	12,5	12,5	0	32,3
AA	20,5	5,8	2,9	21,4	24,3	32,3	0

Cluster 6

6	GUD	C	V
GUD	0	15,3	17
C	15,3	0	7,3
V	17	7,3	0

Cluster 7

7	GUD	F	K
GUD	0	29,9	28,1
F	29,9	0	3,5
K	28,1	3,5	0

Lampiran 4 Matriks Jarak *Saving Matrix*

Cluster 1

1	GUD	E	F	H	K	L
GUD	0	14,7	29,9	11,2	28,1	23,3
E	14,7	0	15,1	9,2	13,5	8,7
F	29,9	15,1	0	23,3	3,5	12
H	11,2	9,2	23,3	0	22,7	17,9
K	28,1	13,5	3,5	22,7	0	10,4
L	23,3	8,7	12	17,9	10,4	0

Cluster 2

2	GUD	J	M	P	X	AA	AC
GUD	0	9,7	9,5	10,1	19,9	20,5	8
J	9,7	0	0,6	11,8	12,3	25,5	3,2
M	9,5	0,6	0	11,2	12,1	24,8	3,8
P	10,1	11,8	11,2	0	12,5	21,4	10,3
X	19,9	12,3	12,1	12,5	0	32,3	15,5
AA	20,5	25,5	24,8	21,4	32,3	0	23,7
AC	8	3,2	3,8	10,3	15,5	23,7	0

Cluster 3

3	GUD	C	D	Y
GUD	0	15,3	14,9	12
C	15,3	0	0,45	9,6
D	14,9	0,45	0	9,2
Y	12	9,6	9,2	0

Cluster 4

4	GUD	N	R	S	T	V	AB
GUD	0	8,3	8,2	5,8	5,7	17	5,4
N	8,3	0	8,3	4,2	5,4	12	3,7
R	8,2	8,3	0	6,1	3	17,3	5,6
S	5,8	4,2	6,1	0	3,2	11,3	1,2
T	5,7	5,4	3	3,2	0	14,3	2,6
V	17	12	17,3	11,3	14,3	0	12,4
AB	5,4	3,7	5,6	1,2	2,6	12,4	0

Cluster 5

5	GUD	A	B	Z
GUD	0	5,5	5,3	5,3
A	5,5	0	0,21	1,1
B	5,3	0,21	0	0,85
Z	5,3	1,1	0,85	0

Cluster 6

6	GUD	I	O	U
GUD	0	5,3	6,1	5,2
I	5,3	0	1,7	0,5
O	6,1	1,7	0	1,9
U	5,2	0,5	1,9	0

Cluster 7

7	GUD	G	Q	W
GUD	0	2,3	4	3,4
G	2,3	0	2	1,1
Q	4	2	0	1,7
W	3,4	1,1	1,7	0

Lampiran 5 Matriks Jarak *Sequential Insertion*

Cluster 1

1	GUD	E	F	H	K	Z	AA
GUD	0	14,7	29,9	11,2	28,1	5,3	20,5
E	14,7	0	15,1	9,2	13,5	15,4	5,8
F	29,9	15,1	0	23,3	3,5	30,5	9,3
H	11,2	9,2	23,3	0	22,7	13,1	15
K	28,1	13,5	3,5	22,7	0	28,9	7,7
Z	5,3	15,4	30,5	13,1	28,9	0	21,2
AA	20,5	5,8	9,3	15	7,7	21,2	0

Cluster 2

2	GUD	D	G	L	S	W	AC
GUD	0	14,9	2,3	23,3	5,8	3,4	8
D	14,9	0	12,9	33,6	9,2	0,45	7
G	2,3	12,9	0	20,7	3,9	1,1	6
L	23,3	33,6	20,7	0	24,5	21,7	26,6
S	5,8	9,2	3,9	24,5	0	2,9	2,2
W	3,4	0,45	1,1	21,7	2,9	0	5
AC	8	7	6	26,6	2,2	5	0

Cluster 3

3	GUD	I	J	M	N	X	Y
GUD	0	5,3	9,7	9,5	8,3	19,9	12
I	5,3	0	4,5	3,4	1,7	14,8	9,7
J	9,7	4,5	0	1,4	5,5	12,3	9,9
M	9,5	3,4	1,4	0	1,2	12,1	10,5
N	8,3	1,7	5,5	1,2	0	11,4	11,3
X	19,9	14,8	12,3	12,1	11,4	0	22,2
Y	12	9,7	9,9	10,5	11,3	22,2	0

Cluster 4

4	GUD	C	V
GUD	0	15,3	17
C	15,3	0	7,3
V	17	7,3	0

Cluster 5

5	GUD	P	R	T	U	AB
GUD	0	10,1	8,2	5,7	5,2	5,4
P	10,1	0	4,7	5,1	7	7,6
R	8,2	4,7	0	4,1	2,4	5,6
T	5,7	5,1	4,1	0	1,9	2,6
U	5,2	7	2,4	1,9	0	0,65
AB	5,4	7,6	5,6	2,6	0,65	0

Cluster 6

6	GUD	B	O
GUD	0	5,3	6,1
B	5,3	0	1,2
O	6,1	1,2	0

Cluster 7

7	GUD	A	Q
GUD	0	5,5	4
A	5,5	0	2,2
Q	4	2,2	0

Lampiran 6 Syntax Program Matlab Ant Colony Optimization

```
function
[besttour,tourdistance,emissionco,emissionch,emissionno]=ant
colony_greencvrp(d,alpha,betha,rho,iter,n_ants,n_co,n_ch,n_n
o);
m=n_ants;%200;%number of ants.
n=length(d);%jumlah kota.
e=rho;%evaporation coefficient.
emico=n_co; %emission factor co2
emich=n_ch; %emission factor ch4
emino=n_no; %emission factor n2o
for i=1:n%generating sight matrix.
    for j=1:n
        if d(i,j)==0
            h(i,j)=0;
        else
            h(i,j)=1/d(i,j);%inverse distance
        end
    end
end
thoinit=.1*ones(n);%initial tho.
%el=.96;%coefficient of common cost elimination.
for i=1:iter
    for i=1:m
        %ants initial placing.
        rute(i,1)=1;%ants start from city 1
    end
    %ant tour
    for i=1:m %for all ants
        mh=h;%invers distance matrix
        for j=1:n%next node
            c=rute(i,j);%choose next city to visit
            mh(:,c)=0;%for column c,inv distance=0
        end
        tho=(thoinit(c,:).^betha).*(mh(c,:).^alpha);%update
        pheromone
        s=(sum(tho));%jumlah tho
        p=(1/s).*tho;%probability
        % p
        r=rand;
        s=0;
        for k=1:n %number of city
            s=s+p(k);%use roulette wheel
            if r<=s
                rute(i,j+1)=k;%penempatan semut i di
                simpul berikutnya
                break
            end
        end
    end
end
```

```

        end
    end
    %%% resulting tour/route
    rute_c=horzcat(rute,rute(:,1));%add first city to the
tour/route
    % compute total distance of path traverse by each ant
    for i=1:m %number of ant
        s=0;
        for j=1:n-1
            s=s+d(rute_c(i,j),rute_c(i,j+1));
        end
        f(i)=s;
    end
    jaraktot=f;
    [minf,idk]=min(f);
    ter=rute_c(idk,:);
    %f=f-el*min(f);%elimination of common cost.
    %update edge belonging to Lbest
    thoinit=(1-e)*thoinit;
    for i=1:m % for all ant
        % for i=idk;
        for j=1:n-1 % for all cities
            dt=1/f(i);%inverse total distance, delta
pheromone
            %update pheromone
            thoinit(rute_c(i,j),rute_c(i,j+1))=thoinit(rute_c(i,j),rute_
c(i,j+1))+dt;%updating traces.
        end
    end
end
besttour=ter;
tourdistance=jartsp(besttour,d);
emissionco=tourdistance*emico;
emissionch=tourdistance*emich;
emissionno=tourdistance*emino;

function jarak=jartsp(x1,dx)
[r,c]=size(x1);
k=c-1;%jumlah kota dalam rute tsp
s=0; %jarak/posisi awal di kota pertama
for j=1:k
    s=s+dx(x1(j),x1(j+1)); %peng akumulasian jarak rute tsp
end
jarak=s;

```

Lampiran 7 Perhitungan Iterasi Maksimal Variable Neighbourhood Search

1. *Swap*

$$\text{Jumlah iterasi (N iter)} = \frac{1}{2}((n-2)^2 + 3(n-2) + 2) \text{ dimana } n \geq 3$$

$$\text{Jumlah node (n) = 3} \Rightarrow N \text{ iter} = \frac{1}{2}((3-2)^2 + 3(3-2) + 2) = 3$$

$$\text{Jumlah node (n) = 4} \Rightarrow N \text{ iter} = \frac{1}{2}((4-2)^2 + 3(4-2) + 2) = 6$$

$$\text{Jumlah node (n) = 5} \Rightarrow N \text{ iter} = \frac{1}{2}((5-2)^2 + 3(5-2) + 2) = 10$$

$$\text{Jumlah node (n) = 6} \Rightarrow N \text{ iter} = \frac{1}{2}((6-2)^2 + 3(6-2) + 2) = 15$$

2. *Reverse*

$$\text{Jumlah iterasi (N iter)} = 2 + 3(n-5) + \frac{1}{2}(n-5)(n-6) \text{ dimana } n \geq 5$$

$$\text{Jumlah node (n) = 5} \Rightarrow N \text{ iter} = 2 + 3(5-5) + \frac{1}{2}(5-5)(5-6) = 2$$

$$\text{Jumlah node (n) = 6} \Rightarrow N \text{ iter} = 2 + 3(6-5) + \frac{1}{2}(6-5)(6-6) = 5$$

3. *Insert*

$$\text{Jumlah iterasi (N iter)} = (n-2)(n-1) \text{ dimana } n \geq 3$$

$$\text{Jumlah node (n) = 3} \Rightarrow N \text{ iter} = (3-2)(3-1) = 2$$

$$\text{Jumlah node (n) = 4} \Rightarrow N \text{ iter} = (4-2)(4-1) = 6$$

$$\text{Jumlah node (n) = 5} \Rightarrow N \text{ iter} = (5-2)(5-1) = 12$$

$$\text{Jumlah node (n) = 6} \Rightarrow N \text{ iter} = (6-2)(6-1) = 20$$

Lampiran 8 Perhitungan Variable Neighbourhood Search (NN - ACO)

CLUSTER 1					
SWAP (Jumlah Node = 5; Jumlah iterasi = 10)					
Iter	Pembentukan rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→G→W→D→J→AC→GUD	21,75	1.507.275	543,75	174,0
1	GUD→W→G→D→J→AC→GUD	35,30	2.446.290	882,50	282,4
2	GUD→D→W→G→J→AC→GUD	52,70	3.652.110	1.317,50	421,6
3	GUD→J→W→D→G→AC→GUD	35,50	2.460.150	887,50	284,0
4	GUD→AC→W→D→J→G→GUD	30,15	2.089.395	753,75	241,2
5	GUD→G→D→W→J→AC→GUD	33,65	2.331.945	841,25	269,2
6	GUD→G→J→D→W→AC→GUD	30,15	2.089.395	753,75	241,2
7	GUD→G→AC→D→J→W→GUD	32,20	2.231.460	805,00	257,6
8	GUD→G→W→J→D→AC→GUD	31,90	2.210.670	797,50	255,2
9	GUD→G→W→AC→J→D→GUD	33,20	2.300.760	830,00	265,6
10	GUD→G→W→D→AC→J→GUD	28,30	1.961.190	707,50	226,4
REVERSE (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 2)					
Iter	Pembentukan rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→G→W→D→J→AC→GUD	21,75	1.507.275	543,75	174,0
1	GUD→J→D→W→G→AC→GUD	31,95	2.214.135	798,75	255,6
2	GUD→G→AC→J→D→W→GUD	52,65	3.648.645	1.316,25	421,2
INSERT (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 12)					
Iter	Pembentukan rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→G→W→D→J→AC→GUD	21,75	1.507.275	543,75	174,0
1	GUD→AC→G→W→D→J→GUD	31,95	2.214.135	798,75	255,6
2	GUD→G→AC→W→D→J→GUD	30,15	2.089.395	753,75	241,2
3	GUD→G→W→AC→D→J→GUD	32,55	2.255.715	813,75	260,4
4	GUD→J→G→W→D→AC→GUD	33,95	2.352.735	848,75	271,6
5	GUD→G→J→W→D→AC→GUD	32,25	2.234.925	806,25	258,0
6	GUD→D→G→W→J→AC→GUD	47,80	3.312.540	1.195,00	382,4
7	GUD→G→W→J→AC→D→GUD	28,40	1.968.120	710,00	227,2
8	GUD→G→D→J→W→AC→GUD	41,70	2.889.810	1.042,50	333,6
9	GUD→G→D→J→AC→W→GUD	33,50	2.321.550	837,50	268,0
10	GUD→W→D→G→J→AC→GUD	35,65	2.470.545	891,25	285,2
11	GUD→W→D→J→G→AC→GUD	32,25	2.234.925	806,25	258,0
12	GUD→W→D→J→AC→G→GUD	22,05	1.528.065	551,25	176,4
CLUSTER 2					
SWAP (Jumlah Node = 4; Jumlah Iterasi = 6)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Q→Z→B→S→GUD	12,20	845.460	305,00	97,6
1	GUD→Z→Q→B→S→GUD	14,55	1.008.315	363,75	116,4
SWAP SWAP (Jumlah Node = 4; Jumlah Iterasi = 6)					

Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
2	GUD→B→Z→Q→S→GUD	15,45	1.070.685	386,25	123,6
3	GUD→S→Z→B→Q→GUD	13,95	966.735	348,75	111,6
4	GUD→Q→B→Z→S→GUD	13,95	966.735	348,75	111,6
5	GUD→Q→S→B→Z→GUD	13,2	914.760	330,00	105,6
6	GUD→Q→Z→B→S→GUD	12,25	848.925	306,25	98,0
REVERSE (Jumlah Node = 4; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Q→Z→B→S→GUD	12,20	845.460	305,00	97,6
1	Jumlah node < kriteria minimal				
INSERT (Jumlah Node = 4; Jumlah Iterasi = 6)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Q→Z→B→S→GUD	12,20	845.460	305,00	97,6
1	GUD→Q→S→Z→B→GUD	14,05	973.665	351,25	112,4
2	GUD→S→Q→Z→B→GUD	15,45	1.070.685	386,25	123,6
3	GUD→B→Q→Z→S→GUD	15,4	1.067.220	385,00	123,2
4	GUD→Q→B→S→Z→GUD	13,95	966.735	348,75	111,6
5	GUD→Z→B→Q→S→GUD	16,35	1.133.055	408,75	130,8
6	GUD→Z→B→S→Q→GUD	13,2	914.760	330,00	105,6
CLUSTER 3					
SWAP (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 10)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→U→AB→I→T→N→GUD	22,65	1.569.645	566,25	181,2
1	GUD→AB→U→I→T→N→GUD	22,85	1.583.505	571,25	182,8
2	GUD→I→AB→U→T→N→GUD	23,25	1.611.225	581,25	186,0
3	GUD→T→AB→I→U→N→GUD	21,3	1.476.090	532,50	170,4
4	GUD→N→AB→I→T→U→GUD	22,2	1.538.460	555,00	177,6
5	GUD→U→I→AB→T→N→GUD	22,7	1.573.110	567,50	181,6
6	GUD→U→T→I→AB→N→GUD	22,2	1.538.460	555,00	177,6
7	GUD→U→N→I→T→AB→GUD	22,5	1.559.250	562,50	180,0
8	GUD→U→AB→T→I→N→GUD	22,65	1.569.645	566,25	181,2
9	GUD→U→AB→N→T→I→GUD	22,6	1.566.180	565,00	180,8
10	GUD→U→AB→I→N→T→GUD	21,05	1.458.765	526,25	168,4
REVERSE (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 2)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→U→AB→I→T→N→GUD	22,65	1.569.645	566,25	181,2
1	GUD→T→I→AB→U→N→GUD	21,25	1.472.625	531,25	170,0
2	GUD→U→N→I→T→AB→GUD	22,60	1.566.180	565,00	180,8

INSERT (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 12)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→U→AB→I→T→N→GUD	22,65	1.569.645	566,25	181,2
1	GUD→U→AB→N→I→T→GUD	21,05	1.458.765	526,25	168,4
2	GUD→U→N→AB→I→T→GUD	21,20	1.469.160	530,00	169,6
3	GUD→N→U→AB→I→T→GUD	21,25	1.472.625	531,25	170,0
4	GUD→U→T→AB→I→N→GUD	22,10	1.531.530	552,50	176,8
5	GUD→T→U→AB→I→N→GUD	20,65	1.431.045	516,25	165,2
6	GUD→I→U→AB→T→N→GUD	22,30	1.545.390	557,50	178,4
7	GUD→U→AB→T→N→I→GUD	22,55	1.562.715	563,75	180,4
8	GUD→U→I→T→AB→N→GUD	22,70	1.573.110	567,50	181,6
9	GUD→U→I→T→N→AB→GUD	22,60	1.566.180	565,00	180,8
10	GUD→AB→I→U→T→N→GUD	22,20	1.538.460	555,00	177,6
11	GUD→AB→I→T→U→N→GUD	22,20	1.538.460	555,00	177,6
12	GUD→AB→I→T→N→U→GUD	22,60	1.566.180	565,00	180,8
CLUSTER 4					
SWAP (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 10)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→O→A→M→Y→H→GUD	55,3	3.832.290	1.382,50	442,4
1	GUD→A→O→M→Y→H→GUD	54,7	3.790.710	1.367,50	437,6
2	GUD→M→A→O→Y→H→GUD	57,8	4.005.540	1.445,00	462,4
3	GUD→Y→A→M→O→H→GUD	56,1	3.887.730	1.402,50	448,8
4	GUD→H→A→M→Y→O→GUD	54,2	3.756.060	1.355,00	433,6
5	GUD→O→M→A→Y→H→GUD	58,4	4.047.120	1.460,00	467,2
6	GUD→O→Y→M→A→H→GUD	54,2	3.756.060	1.355,00	433,6
7	GUD→O→H→M→Y→A→GUD	60,8	4.213.440	1.520,00	486,4
8	GUD→O→A→Y→M→H→GUD	54,4	3.769.920	1.360,00	435,2
9	GUD→O→A→H→Y→M→GUD	61,5	4.261.950	1.537,50	492,0
10	GUD→O→A→M→H→Y→GUD	61,4	4.255.020	1.535,00	491,2
REVERSE (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 2)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→O→A→M→Y→H→GUD	55,3	3.832.290	1.382,50	442,4
1	GUD→Y→M→A→O→H→GUD	53,00	3.672.900	1.325,00	424,0
2	GUD→O→H→M→A→Y→GUD	61,70	4.275.810	1.542,50	493,6
INSERT (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 12)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→O→A→M→Y→H→GUD	55,3	3.832.290	1.382,50	442,4
1	GUD→O→A→H→M→Y→GUD	58,20	4.033.260	1.455,00	465,6
2	GUD→O→H→A→M→Y→GUD	58,90	4.081.770	1.472,50	471,2
3	GUD→H→O→A→M→Y→GUD	53,00	3.672.900	1.325,00	424,0
INSERT (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 12)					

Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
4	GUD→O→Y→A→M→H→GUD	56,50	3.915.450	1.412,50	452,0
5	GUD→Y→O→A→M→H→GUD	54,40	3.769.920	1.360,00	435,2
6	GUD→M→O→A→Y→H→GUD	58,80	4.074.840	1.470,00	470,4
7	GUD→O→A→Y→M→H→GUD	54,40	3.769.920	1.360,00	435,2
8	GUD→O→M→Y→A→H→GUD	55,20	3.825.360	1.380,00	441,6
9	GUD→O→M→Y→H→A→GUD	61,80	4.282.740	1.545,00	494,4
10	GUD→A→M→O→Y→H→GUD	58,00	4.019.400	1.450,00	464,0
11	GUD→A→M→Y→O→H→GUD	54,70	3.790.710	1.367,50	437,6
12	GUD→A→M→Y→H→O→GUD	61,70	4.275.810	1.542,50	493,6
CLUSTER 5					
SWAP (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 15)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→R→P→X→E→AA→L→GUD	83,9	5.814.270	2.097,50	671,2
1	GUD→P→R→X→E→AA→L→GUD	85,8	5.945.940	2.145,00	686,4
2	GUD→X→P→R→E→AA→L→GUD	87,6	6.070.680	2.190,00	700,8
3	GUD→E→P→X→R→AA→L→GUD	91,8	6.361.740	2.295,00	734,4
4	GUD→AA→P→X→E→R→L→GUD	149,5	10.360.350	3.737,50	1.196,0
5	GUD→L→P→X→E→AA→R→GUD	124,8	8.648.640	3.120,00	998,4
6	GUD→R→X→P→E→AA→L→GUD	80,8	5.599.440	2.020,00	646,4
7	GUD→R→E→X→P→AA→L→GUD	113,3	7.851.690	2.832,50	906,4
8	GUD→R→AA→X→E→P→L→GUD	154,4	10.699.920	3.860,00	1.235,2
9	GUD→R→L→X→E→AA→P→GUD	134,3	9.306.990	3.357,50	1.074,4
10	GUD→R→P→E→X→AA→L→GUD	113,5	7.865.550	2.837,50	908,0
11	GUD→R→P→AA→E→X→L→GUD	125,1	8.669.430	3.127,50	1.000,8
12	GUD→R→P→L→E→AA→X→GUD	103,8	7.193.340	2.595,00	830,4
13	GUD→R→P→X→AA→E→L→GUD	95,5	6.618.150	2.387,50	764,0
14	GUD→R→P→X→L→AA→E→GUD	84	5.821.200	2.100,00	672,0
15	GUD→R→P→X→E→L→AA→GUD	84	5.821.200	2.100,00	672,0
REVERSE (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 5)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→R→P→X→E→AA→L→GUD	83,9	5.814.270	2.097,50	671,2
1	GUD→E→X→P→R→AA→L→GUD	108,9	7.546.770	2.722,50	871,2
2	GUD→AA→E→X→P→R→L→GUD	120,4	8.343.720	3.010,00	963,2
3	GUD→R→AA→E→X→P→L→GUD	124,8	8.648.640	3.120,00	998,4
4	GUD→R→L→AA→E→X→P→GUD	93,1	6.451.830	2.327,50	744,8
5	GUD→R→P→L→AA→E→X→GUD	92,2	6.389.460	2.305,00	737,6
INSERT (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 20)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→R→P→X→E→AA→L→GUD	83,9	5.814.270	2.097,50	671,2
INSERT (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 20)					

Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
1	GUD→R→P→X→AA→E→L→GUD	95,5	6.618.150	2.387,50	764,0
2	GUD→R→P→AA→X→E→L→GUD	125,1	8.669.430	3.127,50	1.000,8
3	GUD→R→AA→P→X→E→L→GUD	124,95	8.659.035	3.123,75	999,6
4	GUD→AA→R→P→X→E→L→GUD	120,5	8.350.650	3.012,50	964,0
5	GUD→R→P→AA→X→E→L→GUD	125,1	8.669.430	3.127,50	1.000,8
6	GUD→R→AA→P→X→E→L→GUD	124,9	8.655.570	3.122,50	999,2
7	GUD→AA→R→P→X→E→L→GUD	108,7	7.532.910	2.717,50	869,6
8	GUD→R→E→P→X→AA→L→GUD	113,3	7.851.690	2.832,50	906,4
9	GUD→E→R→P→X→AA→L→GUD	108,9	7.546.770	2.722,50	871,2
10	GUD→R→P→X→AA→L→E→GUD	84	5.821.200	2.100,00	672,0
11	GUD→X→R→P→E→AA→L→GUD	84,7	5.869.710	2.117,50	677,6
12	GUD→R→P→E→AA→X→L→GUD	113,5	7.865.550	2.837,50	908,0
13	GUD→R→P→E→AA→L→X→GUD	92,3	6.396.390	2.307,50	738,4
14	GUD→R→X→E→P→AA→L→GUD	110,4	7.650.720	2.760,00	883,2
15	GUD→R→X→E→AA→P→L→GUD	121,9	8.447.670	3.047,50	975,2
16	GUD→R→X→E→AA→L→P→GUD	90,2	6.250.860	2.255,00	721,6
17	GUD→P→X→R→E→AA→L→GUD	85,6	5.932.080	2.140,00	684,8
18	GUD→P→X→E→R→AA→L→GUD	118,1	8.184.330	2.952,50	944,8
19	GUD→P→X→E→AA→R→L→GUD	129,6	8.981.280	3.240,00	1.036,8
20	GUD→P→X→E→AA→L→R→GUD	93,1	6.451.830	2.327,50	744,8
CLUSTER 6					
SWAP (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→C→V→GUD	39,60	2.744.280	990,00	316,8
1	Jumlah node < kriteria minimal				
REVERSE (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→C→V→GUD	39,60	2.744.280	990,00	316,8
1	Jumlah node < kriteria minimal				
INSERT (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→C→V→GUD	39,60	2.744.280	990,00	316,8
1	Jumlah node < kriteria minimal				
CLUSTER 7					
SWAP (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→F→K→GUD	61,50	4.261.950	1.537,50	492,0
1	Jumlah node < kriteria minimal				

REVERSE (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→F→K→GUD	61,50	4.261.950	1.537,50	492,0
1	Jumlah node < kriteria minimal				
INSERT (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→F→K→GUD	61,50	4.261.950	1.537,50	492,0
1	Jumlah node < kriteria minimal				



Lampiran 9 Perhitungan Variable Neighbourhood Search (SM - ACO)

CLUSTER 1					
SWAP (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 10)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→H→E→L→K→F→GUD	72,90	5.051.970	1.822,50	583,2
1	GUD→E→H→L→K→F→GUD	85,60	5.932.080	2.140,00	684,8
2	GUD→L→E→H→K→F→GUD	97,30	6.742.890	2.432,50	778,4
3	GUD→K→E→L→H→F→GUD	121,40	8.413.020	3.035,00	971,2
4	GUD→F→E→L→K→H→GUD	98,00	6.791.400	2.450,00	784,0
5	GUD→H→L→E→K→F→GUD	84,70	5.869.710	2.117,50	677,6
6	GUD→H→K→L→E→F→GUD	98,00	6.791.400	2.450,00	784,0
7	GUD→H→F→L→K→E→GUD	85,10	5.897.430	2.127,50	680,8
8	GUD→H→E→K→L→F→GUD	86,20	5.973.660	2.155,00	689,6
9	GUD→H→E→F→K→L→GUD	72,70	5.038.110	1.817,50	581,6
10	GUD→H→E→L→F→K→GUD	72,70	5.038.110	1.817,50	581,6
REVERSE (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 2)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→H→E→L→K→F→GUD	72,90	5.051.970	1.822,50	583,2
1	GUD→K→L→E→H→F→GUD	109,60	7.595.280	2.740,00	876,8
2	GUD→H→F→K→L→E→GUD	81,80	5.668.740	2.045,00	654,4
INSERT (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 12)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→H→E→L→K→F→GUD	72,90	5.051.970	1.822,50	583,2
1	GUD→H→E→F→L→K→GUD	86,00	5.959.800	2.150,00	688,0
2	GUD→H→F→E→L→K→GUD	96,80	6.708.240	2.420,00	774,4
3	GUD→F→H→E→L→K→GUD	109,60	7.595.280	2.740,00	876,8
4	GUD→H→K→E→L→F→GUD	98,00	6.791.400	2.450,00	784,0
5	GUD→K→H→E→L→F→GUD	110,60	7.664.580	2.765,00	884,8
6	GUD→L→H→E→K→F→GUD	97,30	6.742.890	2.432,50	778,4
7	GUD→H→E→K→F→L→GUD	72,70	5.038.110	1.817,50	581,6
8	GUD→H→L→K→E→F→GUD	84,70	5.869.710	2.117,50	677,6
9	GUD→H→L→K→F→E→GUD	72,80	5.045.040	1.820,00	582,4
10	GUD→E→L→H→K→F→GUD	97,40	6.749.820	2.435,00	779,2
11	GUD→E→L→K→H→F→GUD	109,70	7.602.210	2.742,50	877,6
12	GUD→E→L→K→F→H→GUD	71,80	4.975.740	1.795,00	574,4
CLUSTER 2					
SWAP (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 15)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→AC→J→M→X→P→AA→GUD	78,30	5.426.190	1.957,50	626,4

SWAP (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 15)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
1	GUD→J→AC→M→X→P→AA→GUD	88,00	6.098.400	2.200,00	704,0
2	GUD→M→J→AC→X→P→AA→GUD	59,60	4.130.280	1.490,00	476,8
3	GUD→X→J→M→AC→P→AA→GUD	88,80	6.153.840	2.220,00	710,4
4	GUD→P→J→M→X→AC→AA→GUD	94,30	6.534.990	2.357,50	754,4
5	GUD→AA→J→M→X→P→AC→GUD	89,50	6.202.350	2.237,50	716,0
6	GUD→AC→M→J→X→P→AA→GUD	55,50	3.846.150	1.387,50	444,0
7	GUD→AC→X→M→J→P→AA→GUD	89,90	6.230.070	2.247,50	719,2
8	GUD→AC→P→M→X→J→AA→GUD	65,10	4.511.430	1.627,50	520,8
9	GUD→AC→AA→M→X→P→J→GUD	102,60	7.110.180	2.565,00	820,8
10	GUD→AC→J→X→M→P→AA→GUD	88,70	6.146.910	2.217,50	709,6
11	GUD→AC→J→P→X→M→AA→GUD	127,30	8.821.890	3.182,50	1.018,4
12	GUD→AC→J→AA→X→P→M→GUD	102,20	7.082.460	2.555,00	817,6
13	GUD→AC→J→M→P→X→AA→GUD	88,30	6.119.190	2.207,50	706,4
14	GUD→AC→J→M→AA→P→X→GUD	90,40	6.264.720	2.260,00	723,2
15	GUD→AC→J→M→X→AA→P→GUD	87,70	6.077.610	2.192,50	701,6
REVERSE (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 5)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→AC→J→M→X→P→AA→GUD	78,30	5.426.190	1.957,50	626,4
1	GUD→X→M→J→AC→P→AA→GUD	88,00	6.098.400	2.200,00	704,0
2	GUD→P→X→M→J→AC→AA→GUD	82,70	5.731.110	2.067,50	661,6
3	GUD→AC→P→X→M→J→AA→GUD	89,50	6.202.350	2.237,50	716,0
4	GUD→AC→AA→P→X→M→J→GUD	88,00	6.098.400	2.200,00	704,0
5	GUD→AC→J→AA→P→X→M→GUD	92,20	6.389.460	2.305,00	737,6
INSERT (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 20)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→AC→J→M→X→P→AA→GUD	78,30	5.426.190	1.957,50	626,4
1	GUD→AC→J→M→AA→X→P→GUD	91,50	6.340.950	2.287,50	732,0
2	GUD→AC→J→AA→M→X→P→GUD	96,20	6.666.660	2.405,00	769,6
3	GUD→AC→AA→J→M→X→P→GUD	92,50	6.410.250	2.312,50	740,0
4	GUD→AA→AC→J→M→X→P→GUD	82,70	5.731.110	2.067,50	661,6
5	GUD→AC→J→P→M→X→AA→GUD	99,10	6.867.630	2.477,50	792,8
6	GUD→AC→P→J→M→X→AA→GUD	95,60	6.625.080	2.390,00	764,8
7	GUD→P→AC→J→M→X→AA→GUD	89,10	6.174.630	2.227,50	712,8
8	GUD→AC→X→J→M→P→AA→GUD	89,50	6.202.350	2.237,50	716,0
9	GUD→X→AC→J→M→P→AA→GUD	92,30	6.396.390	2.307,50	738,4
10	GUD→AC→J→M→P→AA→X→GUD	96,60	6.694.380	2.415,00	772,8
11	GUD→M→AC→J→X→P→AA→GUD	83,20	5.765.760	2.080,00	665,6

INSERT (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 20)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
12	GUD→AC→J→X→P→AA→M→GUD	91,70	6.354.810	2.292,50	733,6
13	GUD→AC→M→X→J→P→AA→GUD	89,90	6.230.070	2.247,50	719,2
14	GUD→AC→M→X→P→J→AA→GUD	94,20	6.528.060	2.355,00	753,6
15	GUD→AC→M→X→P→AA→J→GUD	93,00	6.444.900	2.325,00	744,0
16	GUD→J→M→AC→X→P→AA→GUD	84,00	5.821.200	2.100,00	672,0
17	GUD→J→M→X→AC→P→AA→GUD	90,10	6.243.930	2.252,50	720,8
18	GUD→J→M→X→P→AC→AA→GUD	89,40	6.195.420	2.235,00	715,2
19	GUD→J→M→X→P→AA→AC→GUD	88,00	6.098.400	2.200,00	704,0
20	GUD→AC→J→X→P→M→AA→GUD	92,50	6.410.250	2.312,50	740,0
CLUSTER 3					
SWAP (Jumlah Node = 3; Jumlah Iterasi = 3)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Y→D→C→GUD	36,95	2.560.635	923,75	295,6
1	GUD→D→Y→C→GUD	49,00	3.395.700	1.225,00	392,0
2	GUD→C→D→Y→GUD	36,95	2.560.635	923,75	295,6
3	GUD→Y→C→D→GUD	36,95	2.560.635	923,75	295,6
REVERSE (Jumlah Node = 3; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Y→D→C→GUD	36,95	2.560.635	923,75	295,6
1	Jumlah node < kriteria minimal				
INSERT (Jumlah Node = 3; Jumlah Iterasi = 2)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Y→D→C→GUD	36,95	2.560.635	923,75	295,6
1	GUD→C→Y→D→GUD	49,00	3.395.700	1.225,00	392,0
2	GUD→D→C→Y→GUD	36,95	2.560.635	923,75	295,6
CLUSTER 4					
SWAP (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 15)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→S→AB→N→R→T→V→GUD	53,30	3.693.690	1.332,50	426,4
1	GUD→AB→S→N→R→T→V→GUD	53,40	3.700.620	1.335,00	427,2
2	GUD→N→AB→S→R→T→V→GUD	53,60	3.714.480	1.340,00	428,8
3	GUD→R→AB→N→S→T→V→GUD	56,20	3.894.660	1.405,00	449,6
4	GUD→T→AB→N→R→S→V→GUD	54,70	3.790.710	1.367,50	437,6
5	GUD→V→AB→N→R→T→S→GUD	53,40	3.700.620	1.335,00	427,2
6	GUD→S→N→AB→R→T→V→GUD	53,60	3.714.480	1.340,00	428,8
7	GUD→S→R→N→AB→T→V→GUD	53,40	3.700.620	1.335,00	427,2
8	GUD→S→T→N→R→AB→V→GUD	57,70	3.998.610	1.442,50	461,6

SWAP (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 15)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
9	GUD→S→V→N→R→T→AB→GUD	48,40	3.354.120	1.210,00	387,2
10	GUD→S→AB→R→N→T→V→GUD	57,60	3.991.680	1.440,00	460,8
11	GUD→S→AB→T→R→N→V→GUD	49,90	3.458.070	1.247,50	399,2
12	GUD→S→AB→V→R→T→N→GUD	53,40	3.700.620	1.335,00	427,2
13	GUD→S→AB→N→T→R→V→GUD	53,40	3.700.620	1.335,00	427,2
14	GUD→S→AB→N→V→T→R→GUD	48,20	3.340.260	1.205,00	385,6
15	GUD→S→AB→N→R→V→T→GUD	56,30	3.901.590	1.407,50	450,4
REVERSE (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 5)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→S→AB→N→R→T→V→GUD	53,30	3.693.690	1.332,50	426,4
1	GUD→R→N→AB→S→T→V→GUD	55,90	3.873.870	1.397,50	447,2
2	GUD→T→R→N→AB→S→V→GUD	50,20	3.478.860	1.255,00	401,6
3	GUD→S→T→R→N→AB→V→GUD	53,40	3.700.620	1.335,00	427,2
4	GUD→S→V→T→R→N→AB→GUD	51,80	3.589.740	1.295,00	414,4
5	GUD→S→AB→V→T→R→N→GUD	53,30	3.693.690	1.332,50	426,4
INSERT (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 20)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→S→AB→N→R→T→V→GUD	53,30	3.693.690	1.332,50	426,4
1	GUD→S→AB→N→V→R→T→GUD	48,70	3.374.910	1.217,50	389,6
2	GUD→S→AB→V→N→R→T→GUD	48,40	3.354.120	1.210,00	387,2
3	GUD→S→V→AB→N→R→T→GUD	50,20	3.478.860	1.255,00	401,6
4	GUD→V→S→AB→N→R→T→GUD	50,20	3.478.860	1.255,00	401,6
5	GUD→S→AB→T→N→R→V→GUD	57,60	3.991.680	1.440,00	460,8
6	GUD→S→T→AB→N→R→V→GUD	57,90	4.012.470	1.447,50	463,2
7	GUD→T→S→AB→N→R→V→GUD	56,40	3.908.520	1.410,00	451,2
8	GUD→S→R→AB→N→T→V→GUD	57,90	4.012.470	1.447,50	463,2
9	GUD→R→S→AB→N→T→V→GUD	55,90	3.873.870	1.397,50	447,2
10	GUD→S→AB→N→T→V→R→GUD	55,90	3.873.870	1.397,50	447,2
11	GUD→N→S→AB→R→T→V→GUD	60,00	4.158.000	1.500,00	480,0
12	GUD→S→AB→T→N→R→V→GUD	53,40	3.700.620	1.335,00	427,2
13	GUD→S→AB→R→T→V→N→GUD	50,20	3.478.860	1.255,00	401,6
14	GUD→S→N→R→AB→T→V→GUD	57,80	4.005.540	1.445,00	462,4
15	GUD→S→N→R→T→AB→V→GUD	53,30	3.693.690	1.332,50	426,4
16	GUD→S→N→R→T→V→AB→GUD	53,40	3.700.620	1.335,00	427,2
17	GUD→AB→N→S→R→T→V→GUD	53,80	3.728.340	1.345,00	430,4
18	GUD→AB→N→R→S→T→V→GUD	58,00	4.019.400	1.450,00	464,0
19	GUD→AB→N→R→T→S→V→GUD	51,90	3.596.670	1.297,50	415,2

INSERT (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 20)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
20	GUD→AB→N→R→T→V→S→GUD	55,00	3.811.500	1.375,00	440,0
CLUSTER 5					
SWAP (Jumlah Node = 3; Jumlah Iterasi = 2)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Z→A→B→GUD	11,91	825.363	297,75	95,3
1	GUD→A→Z→B→GUD	12,75	883.575	318,75	102,0
2	GUD→Z→B→A→GUD	11,86	821.898	296,50	94,9
REVERSE (Jumlah Node = 3; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Z→A→B→GUD	11,91	825.363	297,75	95,3
1	Jumlah node < kriteria minimal				
INSERT (Jumlah Node = 3; Jumlah Iterasi = 2)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Z→A→B→GUD	11,91	825.363	297,75	95,3
1	GUD→B→Z→A→GUD	12,75	883.575	318,75	102,0
2	GUD→A→B→Z→GUD	11,86	821.898	296,50	94,9
CLUSTER 6					
SWAP (Jumlah Node = 3; Jumlah Iterasi = 2)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→U→I→O→GUD	13,50	935.550	337,50	108,0
1	GUD→I→U→O→GUD	13,80	956.340	345,00	110,4
2	GUD→U→O→I→GUD	14,10	977.130	352,50	112,8
REVERSE (Jumlah Node = 3; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→U→I→O→GUD	13,50	935.550	337,50	108,0
1	Jumlah node < kriteria minimal				
INSERT (Jumlah Node = 3; Jumlah Iterasi = 2)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→U→I→O→GUD	13,50	935.550	337,50	108,0
1	GUD→O→U→I→GUD	13,80	956.340	345,00	110,4
2	GUD→I→O→U→GUD	14,10	977.130	352,50	112,8
CLUSTER 7					
SWAP (Jumlah Node = 3; Jumlah Iterasi = 2)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→G→W→Q→GUD	9,10	630.630	227,50	72,8
1	GUD→W→G→Q→GUD	10,50	727.650	262,50	84,0
2	GUD→G→Q→W→GUD	9,40	651.420	235,00	75,2

REVERSE (Jumlah Node = 3; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→G→W→Q→GUD	9,10	630.630	227,50	72,8
1	Jumlah node < kriteria minimal				
INSERT (Jumlah Node = 3; Jumlah Iterasi = 2)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→G→W→Q→GUD	9,10	630.630	227,50	72,8
1	GUD→Q→G→W→GUD	10,50	727.650	262,50	84,0
2	GUD→W→Q→G→GUD	9,40	651.420	235,00	75,2



Lampiran 10 Perhitungan Variable Neighbourhood Search (SI - ACO)

CLUSTER 1					
SWAP (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 15)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Z→H→E→F→K→AA→GUD	74,40	5.155.920	1.860,00	595,2
1	GUD→H→Z→E→F→K→AA→GUD	86,50	5.994.450	2.162,50	692,0
2	GUD→E→H→Z→F→K→AA→GUD	99,20	6.874.560	2.480,00	793,6
3	GUD→F→H→E→Z→K→AA→GUD	134,90	9.348.570	3.372,50	1.079,2
4	GUD→K→H→E→F→Z→AA→GUD	147,30	10.207.890	3.682,50	1.178,4
5	GUD→AA→H→E→F→K→Z→GUD	97,50	6.756.750	2.437,50	780,0
6	GUD→Z→E→H→F→K→AA→GUD	84,90	5.883.570	2.122,50	679,2
7	GUD→Z→F→E→H→K→AA→GUD	111,00	7.692.300	2.775,00	888,0
8	GUD→Z→K→E→F→H→AA→GUD	121,60	8.426.880	3.040,00	972,8
9	GUD→Z→AA→E→F→K→H→GUD	84,80	5.876.640	2.120,00	678,4
10	GUD→Z→H→F→E→K→AA→GUD	98,50	6.826.050	2.462,50	788,0
11	GUD→Z→H→K→F→E→AA→GUD	74,00	5.128.200	1.850,00	592,0
12	GUD→Z→H→AA→F→K→E→GUD	74,40	5.155.920	1.860,00	595,2
13	GUD→Z→H→E→K→F→AA→GUD	74,40	5.155.920	1.860,00	595,2
14	GUD→Z→H→E→AA→K→F→GUD	74,50	5.162.850	1.862,50	596,0
15	GUD→Z→H→E→F→AA→K→GUD	87,80	6.084.540	2.195,00	702,4
REVERSE (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 5)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Z→H→E→F→K→AA→GUD	74,40	5.155.920	1.860,00	595,2
1	GUD→F→E→H→Z→K→AA→GUD	124,4	8.620.920	3.110,00	995,2
2	GUD→K→F→E→H→Z→AA→GUD	110,7	7.671.510	2.767,50	885,6
3	GUD→Z→K→F→E→H→AA→GUD	97,5	6.756.750	2.437,50	780,0
4	GUD→Z→AA→K→F→E→H→GUD	73,2	5.072.760	1.830,00	585,6
5	GUD→Z→H→AA→K→F→E→GUD	74,4	5.155.920	1.860,00	595,2
INSERT (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 20)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Z→H→E→F→K→AA→GUD	74,40	5.155.920	1.860,00	595,2
1	GUD→Z→H→E→AA→F→K→GUD	74,3	5.148.990	1.857,50	594,4
2	GUD→Z→H→AA→E→F→K→GUD	96	6.652.800	2.400,00	768,0
3	GUD→Z→AA→H→E→F→K→GUD	97,4	6.749.820	2.435,00	779,2
4	GUD→AA→Z→H→E→F→K→GUD	110,7	7.671.510	2.767,50	885,6
5	GUD→Z→H→K→E→F→AA→GUD	99,5	6.895.350	2.487,50	796,0
6	GUD→Z→K→H→E→F→AA→GUD	111	7.692.300	2.775,00	888,0
7	GUD→K→Z→H→E→F→AA→GUD	124,2	8.607.060	3.105,00	993,6
8	GUD→Z→F→H→E→K→AA→GUD	110	7.623.000	2.750,00	880,0
9	GUD→F→Z→H→E→K→AA→GUD	124,4	8.620.920	3.110,00	995,2
10	GUD→Z→H→E→K→AA→F→GUD	88	6.098.400	2.200,00	704,0

INSERT (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 20)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
11	GUD→E→Z→H→F→K→AA→GUD	98,2	6.805.260	2.455,00	785,6
12	GUD→Z→H→F→K→E→AA→GUD	98,5	6.826.050	2.462,50	788,0
13	GUD→Z→H→F→K→AA→E→GUD	73,4	5.086.620	1.835,00	587,2
14	GUD→Z→E→F→H→K→AA→GUD	110	7.623.000	2.750,00	880,0
15	GUD→Z→E→F→K→H→AA→GUD	97,5	6.756.750	2.437,50	780,0
16	GUD→Z→E→F→K→AA→H→GUD	73,2	5.072.760	1.830,00	585,6
17	GUD→H→E→Z→F→K→AA→GUD	123,1	8.530.830	3.077,50	984,8
18	GUD→H→E→F→Z→K→AA→GUD	114,6	7.941.780	2.865,00	916,8
19	GUD→H→E→F→K→Z→AA→GUD	109,6	7.595.280	2.740,00	876,8
20	GUD→H→E→F→K→AA→Z→GUD	73,2	5.072.760	1.830,00	585,6
CLUSTER 2					
SWAP (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 15)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→G→W→D→AC→S→L→GUD	60,85	4.216.905	1.521,25	486,8
1	GUD→W→G→D→AC→S→L→GUD	74,4	5.155.920	1.860,00	595,2
2	GUD→D→W→G→AC→S→L→GUD	72,45	5.020.785	1.811,25	579,6
3	GUD→AC→W→D→G→S→L→GUD	78,05	5.408.865	1.951,25	624,4
4	GUD→S→W→D→AC→G→L→GUD	66,15	4.584.195	1.653,75	529,2
5	GUD→L→W→D→AC→S→G→GUD	60,85	4.216.905	1.521,25	486,8
6	GUD→G→D→W→AC→S→L→GUD	70,65	4.896.045	1.766,25	565,2
7	GUD→G→AC→D→W→S→L→GUD	66,45	4.604.985	1.661,25	531,6
8	GUD→G→S→D→AC→W→L→GUD	72,4	5.017.320	1.810,00	579,2
9	GUD→G→L→D→AC→S→W→GUD	72,1	4.996.530	1.802,50	576,8
10	GUD→G→W→AC→D→S→L→GUD	72,4	5.017.320	1.810,00	579,2
11	GUD→G→W→S→AC→D→L→GUD	72,4	5.017.320	1.810,00	579,2
12	GUD→G→W→L→AC→S→D→GUD	78	5.405.400	1.950,00	624,0
13	GUD→G→W→D→S→AC→L→GUD	65,15	4.514.895	1.628,75	521,2
14	GUD→G→W→D→L→S→AC→GUD	72,15	4.999.995	1.803,75	577,2
15	GUD→G→W→D→AC→L→S→GUD	67,75	4.695.075	1.693,75	542,0
REVERSE (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 5)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→G→W→D→AC→S→L→GUD	60,85	4.216.905	1.521,25	486,8
1	GUD→AC→D→W→G→S→L→GUD	68,25	4.729.725	1.706,25	546,0
2	GUD→S→AC→D→W→G→L→GUD	70,35	4.875.255	1.758,75	562,8
3	GUD→G→S→AC→D→W→L→GUD	60,85	4.216.905	1.521,25	486,8
4	GUD→G→L→S→AC→D→W→GUD	60,55	4.196.115	1.513,75	484,4
5	GUD→G→W→L→S→AC→D→GUD	73,7	5.107.410	1.842,50	589,6

INSERT (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 20)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→G→W→D→AC→S→L→GUD	60,85	4.216.905	1.521,25	486,8
1	GUD→G→W→D→L→AC→S→GUD	72,05	4.993.065	1.801,25	576,4
2	GUD→G→W→L→D→AC→S→GUD	73,4	5.086.620	1.835,00	587,2
3	GUD→G→L→W→D→AC→S→GUD	60,15	4.168.395	1.503,75	481,2
4	GUD→L→G→W→D→AC→S→GUD	60,55	4.196.115	1.513,75	484,4
5	GUD→G→W→S→D→AC→L→GUD	72,4	5.017.320	1.810,00	579,2
6	GUD→G→S→W→D→AC→L→GUD	66,45	4.604.985	1.661,25	531,6
7	GUD→S→G→W→D→AC→L→GUD	68,15	4.722.795	1.703,75	545,2
8	GUD→G→AC→W→D→S→L→GUD	70,75	4.902.975	1.768,75	566,0
9	GUD→AC→G→W→D→S→L→GUD	72,55	5.027.715	1.813,75	580,4
10	GUD→G→W→D→S→L→AC→GUD	72,15	4.999.995	1.803,75	577,2
11	GUD→D→G→W→AC→S→L→GUD	83,9	5.814.270	2.097,50	671,2
12	GUD→G→W→AC→S→D→L→GUD	72,4	5.017.320	1.810,00	579,2
13	GUD→G→W→AC→S→L→D→GUD	93,6	6.486.480	2.340,00	748,8
14	GUD→G→D→AC→W→S→L→GUD	77,9	5.398.470	1.947,50	623,2
15	GUD→G→D→AC→S→W→L→GUD	72,3	5.010.390	1.807,50	578,4
16	GUD→G→D→AC→S→L→W→GUD	74	5.128.200	1.850,00	592,0
17	GUD→W→D→G→AC→S→L→GUD	72,75	5.041.575	1.818,75	582,0
18	GUD→W→D→AC→G→S→L→GUD	68,55	4.750.515	1.713,75	548,4
19	GUD→W→D→AC→S→G→L→GUD	60,95	4.223.835	1.523,75	487,6
20	GUD→W→D→AC→S→L→G→GUD	60,55	4.196.115	1.513,75	484,4
CLUSTER 3					
SWAP (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 15)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→I→N→M→Y→J→X→GUD	61,6	4.268.880	1.540,00	492,8
1	GUD→N→I→M→J→Y→X→GUD	66,8	4.629.240	1.670,00	534,4
2	GUD→M→N→I→J→Y→X→GUD	68,9	4.774.770	1.722,50	551,2
3	GUD→J→N→M→I→Y→X→GUD	71,6	4.961.880	1.790,00	572,8
4	GUD→Y→N→M→J→I→X→GUD	65,1	4.511.430	1.627,50	520,8
5	GUD→X→N→M→J→Y→I→GUD	58,8	4.074.840	1.470,00	470,4
6	GUD→I→M→N→J→Y→X→GUD	67,4	4.670.820	1.685,00	539,2
7	GUD→I→J→M→N→Y→X→GUD	65,8	4.559.940	1.645,00	526,4
8	GUD→I→Y→M→J→N→X→GUD	63,7	4.414.410	1.592,50	509,6
9	GUD→I→X→M→J→Y→N→GUD	63,1	4.372.830	1.577,50	504,8
10	GUD→I→N→J→M→Y→X→GUD	66,5	4.608.450	1.662,50	532,0
11	GUD→I→N→Y→J→M→X→GUD	61,6	4.268.880	1.540,00	492,8
12	GUD→I→N→X→J→Y→M→GUD	60,6	4.199.580	1.515,00	484,8
13	GUD→I→N→M→Y→J→X→GUD	60,8	4.213.440	1.520,00	486,4

SWAP (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 15)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
14	GUD→I→N→M→X→Y→J→GUD	62,1	4.303.530	1.552,50	496,8
15	GUD→I→N→M→J→X→Y→GUD	56,1	3.887.730	1.402,50	448,8
REVERSE (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 5)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→I→N→M→Y→J→X→GUD	61,6	4.268.880	1.540,00	492,8
1	GUD→J→M→N→I→Y→X→GUD	65,8	4.559.940	1.645,00	526,4
2	GUD→Y→J→M→N→I→X→GUD	60,9	4.220.370	1.522,50	487,2
3	GUD→I→Y→J→M→N→X→GUD	58,8	4.074.840	1.470,00	470,4
4	GUD→I→X→Y→J→M→N→GUD	63,1	4.372.830	1.577,50	504,8
5	GUD→I→N→X→Y→J→M→GUD	61,4	4.255.020	1.535,00	491,2
INSERT (Jumlah Node = 6; Jumlah Iterasi = 20)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→I→N→M→Y→J→X→GUD	61,6	4.268.880	1.540,00	492,8
1	GUD→I→N→M→X→J→Y→GUD	54,5	3.776.850	1.362,50	436,0
2	GUD→I→X→N→M→J→Y→GUD	53,8	3.728.340	1.345,00	430,4
3	GUD→I→N→X→M→J→Y→GUD	56	3.880.800	1.400,00	448,0
4	GUD→X→I→N→M→J→Y→GUD	60,9	4.220.370	1.522,50	487,2
5	GUD→I→N→Y→M→J→X→GUD	62,4	4.324.320	1.560,00	499,2
6	GUD→I→Y→N→M→J→X→GUD	61,1	4.234.230	1.527,50	488,8
7	GUD→Y→I→N→M→J→X→GUD	58,2	4.033.260	1.455,00	465,6
8	GUD→I→J→N→M→Y→X→GUD	69,1	4.788.630	1.727,50	552,8
9	GUD→J→I→N→M→Y→X→GUD	69,7	4.830.210	1.742,50	557,6
10	GUD→I→N→M→Y→X→J→GUD	62,9	4.358.970	1.572,50	503,2
11	GUD→M→I→N→J→Y→X→GUD	72,1	4.996.530	1.802,50	576,8
12	GUD→I→N→J→Y→M→X→GUD	64,9	4.497.570	1.622,50	519,2
13	GUD→I→N→J→Y→X→M→GUD	66,2	4.587.660	1.655,00	529,6
14	GUD→I→M→J→N→Y→X→GUD	69	4.781.700	1.725,00	552,0
15	GUD→I→M→J→Y→N→X→GUD	62,6	4.338.180	1.565,00	500,8
16	GUD→I→M→J→Y→X→N→GUD	62,5	4.331.250	1.562,50	500,0
17	GUD→N→M→I→J→Y→X→GUD	69,4	4.809.420	1.735,00	555,2
18	GUD→N→M→J→I→Y→X→GUD	67,2	4.656.960	1.680,00	537,6
19	GUD→N→M→J→Y→I→X→GUD	65,2	4.518.360	1.630,00	521,6
20	GUD→N→M→J→Y→X→I→GUD	63,1	4.372.830	1.577,50	504,8
CLUSTER 4					
SWAP (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→C→V→GUD	39,6	2.744.280	990,00	316,8
1	Jumlah node < kriteria minimal				

REVERSE (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→C→V→GUD	39,6	2.744.280	990,00	316,8
1	Jumlah node < kriteria minimal				
INSERT (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→C→V→GUD	39,6	2.744.280	990,00	316,8
1	Jumlah node < kriteria minimal				
CLUSTER 5					
SWAP (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 10)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→T→P→R→U→AB→GUD	23,95	1.659.735	598,75	191,6
1	GUD→P→T→R→U→AB→GUD	23,95	1.659.735	598,75	191,6
2	GUD→R→P→T→U→AB→GUD	25,95	1.798.335	648,75	207,6
3	GUD→U→P→R→T→AB→GUD	29	2.009.700	725,00	232,0
4	GUD→AB→P→R→U→T→GUD	32,3	2.238.390	807,50	258,4
5	GUD→T→R→P→U→AB→GUD	27,55	1.909.215	688,75	220,4
6	GUD→T→U→R→P→AB→GUD	27,7	1.919.610	692,50	221,6
7	GUD→T→AB→R→U→P→GUD	33,4	2.314.620	835,00	267,2
8	GUD→T→P→U→R→AB→GUD	31,2	2.162.160	780,00	249,6
9	GUD→T→P→AB→U→R→GUD	29,65	2.054.745	741,25	237,2
10	GUD→T→P→R→AB→U→GUD	26,95	1.867.635	673,75	215,6
REVERSE (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 2)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→T→P→R→U→AB→GUD	23,95	1.659.735	598,75	191,6
1	GUD→U→R→P→T→AB→GUD	25,4	1.760.220	635,00	203,2
2	GUD→T→AB→U→R→P→GUD	26,15	1.812.195	653,75	209,2
INSERT (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 12)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→T→P→R→U→AB→GUD	23,95	1.659.735	598,75	191,6
1	GUD→T→P→AB→R→U→GUD	31,6	2.189.880	790,00	252,8
2	GUD→T→AB→P→R→U→GUD	28,2	1.954.260	705,00	225,6
3	GUD→AB→T→P→R→U→GUD	25,4	1.760.220	635,00	203,2
4	GUD→T→U→P→R→AB→GUD	30,3	2.099.790	757,50	242,4
5	GUD→U→T→P→R→AB→GUD	27,9	1.933.470	697,50	223,2
6	GUD→R→T→P→U→AB→GUD	30,45	2.110.185	761,25	243,6
7	GUD→T→P→U→AB→R→GUD	32,25	2.234.925	806,25	258,0
8	GUD→T→R→U→P→AB→GUD	32,2	2.231.460	805,00	257,6
9	GUD→T→R→U→AB→P→GUD	30,55	2.117.115	763,75	244,4
10	GUD→P→R→T→U→AB→GUD	26,85	1.860.705	671,25	214,8

INSERT (Jumlah Node = 5; Jumlah Iterasi = 12)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
11	GUD→P→R→U→T→AB→GUD	27,1	1.878.030	677,50	216,8
12	GUD→P→R→U→AB→T→GUD	26,15	1.812.195	653,75	209,2
CLUSTER 6					
SWAP (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→B→O→GUD	12,6	873.180	315,00	100,8
1	Jumlah node < kriteria minimal				
REVERSE (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→B→O→GUD	12,6	873.180	315,00	100,8
1	Jumlah node < kriteria minimal				
INSERT (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→B→O→GUD	12,6	873.180	315,00	100,8
1	Jumlah node < kriteria minimal				
CLUSTER 7					
SWAP (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Q→A→GUD	11,7	810.810	292,50	93,6
1	Jumlah node < kriteria minimal				
REVERSE (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Q→A→GUD	11,7	810.810	292,50	93,6
1	Jumlah node < kriteria minimal				
INSERT (Jumlah Node = 2; Jumlah Iterasi = 0)					
Iter	Pembentukan Rute	Jarak Total	Emisi CO2	Emisi CH4	Emisi N2O
0	GUD→Q→A→GUD	11,7	810.810	292,50	93,6
1	Jumlah node < kriteria minimal				

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

CURRICULUM VITAE



Data Diri

Nama : Lukman Adhitama
Tempat, Tanggal Lahir : Purworejo, 10 Oktober 1996
Agama : Islam
Alamat Asal : Seboenggalan 03/09 Purworejo, Kec. Purworejo
Kab. Purworejo, Prov. Jawa Tengah
No. HP : 08972959614
Email : loekmanadhitama@gmail.com

Latar Belakang Pendidikan

TK Pertiwi Purworejo (2002-2003)

SD Negeri Seboenggalan (2003-2009)

SMP Negeri 2 Purworejo (2009-2012)

SMA Negeri 1 Purworejo (2012-2015)

Teknik Industri – UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta (2016-2020)