PENERAPAN ALGORITMA KOLONI SEMUT DALAM MENENTUKAN RUTE TERPENDEK DISTRIBUSI LPG DI MALANG RAYA

SKRIPSI

OLEH:
HABIBA AMALIA AZ ZAHRA
NIM. 19610049

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023

PENERAPAN ALGORITMA KOLONI SEMUT DALAM MENENTUKAN RUTE TERPENDEK DISTRIBUSI LPG DI MALANG RAYA

SKRIPSI

Diajukan Kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat.)

Oleh
Habiba Amalia Az Zahra
NIM. 19610049

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2023

PENERAPAN ALGORITMA KOLONI SEMUT DALAM MENENTUKAN RUTE TERPENDEK DISTRIBUSI LPG DI MALANG RAYA

SKRIPSI

Oleh
Habiba Amalia Az Zahra
NIM. 19610049

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Malang, 19 Juni 2023

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Juhari, M.Si.	Ach. Nashichuddin, M.A.
NIDT. 19840209 20160801 1 055	NIP. 19730705 200003 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Elly Susanti, M.Sc.
NIP. 19741129 200012 2 005

PENERAPAN ALGORITMA KOLONI SEMUT DALAM MENENTUKAN RUTE TERPENDEK DISTRIBUSI LPG DI MALANG RAYA

SKRIPSI

Oleh
Habiba Amalia Az Zahra
NIM. 19610049

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat.)

Tanggal 23 Juni 2021

Ketua Penguji	: Prof. Dr. H. Turmudi, M.Si., Ph.D.	.....
Anggota Penguji 1	: Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.	.....
Anggota Penguji 2	: Juhari, M.Si.	.....
Anggota Penguji 3	: Ach. Nashichuddin, M.A.	.....

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Elly Susanti, M.Sc.
NIP. 19741129 200012 2 005

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Habiba Amalia Az Zahra
NIM	: 19610049
Program Studi	: Matematika
Fakultas	: Sains dan Teknologi
Judul Skripsi	: Penerapan Algoritma Koloni Semut dalam Menentukan Rute Terpendek Distribusi LPG di Malang Raya

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan dan pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada Daftar Pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 23 Juni 2023

Yang membuat pernyataan,

Habiba Amalia Az Zahra

NIM. 19610049

MOTO

“Mungkin saja ujian hidup yang tak kamu sukai akan mengantarkan dirimu kepada takdir indah yang tak pernah kamu bayangkan sebelumnya.”

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan mengucap syukur kepada Allah Swt. yang telah memberikan jalan dan kelapangan hati hingga saat ini, penulis mempersembahkan skripsi ini kepada.

Orang tua penulis, abi tercinta Agung Istiyadi dan ummi tercinta Maulida Listiana yang telah memberikan semangat dan dukungan moril maupun materil secara utuh kepada penulis. Kasih sayang dan perhatian yang selalu abi dan ummi berikan untuk keberlangsungan hidup di tempat yang sangat jauh dari rumah. Sekali lagi, penulis persembahkan kepada abi dan ummi tercinta sebagai bentuk terimakasih atas kehadiran sosok abi dan ummi yang tak pernah lepas dari hati penulis.

Kepada keempat adik penulis Asma Izzatuz Zahra, Muhammad Hanif Al-Falah, Ahmad Hafiy Al-Falah, dan Afifah Taqiyyatuz Zahra yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan kasih sayang kepada penulis. Terimakasih sudah menjadi adik adik yang baik bagi penulis dan memberikan motivasi kepada penulis agar senantiasa membentuk diri menjadi lebih baik dari hari kemarin.

Kepada Habiba Amalia Az Zahra yang telah banyak memberikan waktu, pikiran, dan tenaga demi menyelesaikan tugas akhir hingga tuntas. Apresiasi dan persembahan untuknya karena telah sedikit berlari lebih cepat dan tak enggan untuk kompromi.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur senantiasa peneliti ucapkan kepada Allah Swt. atas limpahan rahmat, taufik, serta karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan lancar. *Shalawat* dan salam tidak lupa senantiasa tercurahkan kepada baginda Nabi Agung Muhammad Saw. yang telah membawa kita dari zaman *jahiliyyah* ke zaman yang terang benderang yakni *addinul* Islam.

Terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari doa, bantuan, bimbingan, serta arahan dari berbagai pihak, karena itu peneliti mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. M. Zainuddin, M.A. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Dr. Sri Harini M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Dr. Elly Susanti, M.Sc. selaku ketua Program Studi Matematika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Juhari, M.Si. selaku dosen pembimbing I yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, dan ilmu kepada peneliti dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Ach. Nashichuddin, M.A. selaku dosen pembimbing II yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, dan ilmu kepada peneliti dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Prof. Dr. H. Turmudi, M.Si., Ph.D. selaku Ketua Penguji dalam ujian skripsi, yang telah memberikan arahan, kritik dan saran, serta ilmu yang bermanfaat kepada peneliti.
7. Bapak Mohammad Nafie Jauhari, M.Si. selaku Dosen Anggota Penguji I yang juga telah banyak memberikan arahan kritik dan saran, serta ilmu yang bermanfaat kepada peneliti.
8. Seluruh civitas academica Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang khususnya seluruh dosen yang memberikan banyak ilmu dan pengalaman berharga bagi para peneliti.
9. Teristimewa dari peneliti untuk Bapak Agung Istiyadi dan Maulida Listiana selaku orang tua peneliti dan keempat adik peneliti yaitu Asma, Hanif, Hafiy,

dan Afifah yang senantiasa memberikan dukungan kepada peneliti baik moril maupun materiil sehingga peneliti dapat menyusun dan menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik.

10. Teman teman terbaik peneliti terutama KKM DR~Vacation dan Donny Setya Pratama yang selalu ada dan bersedia menemani, membantu, dan mendukung peneliti baik secara langsung maupun tidak langsung.
11. Penghuni “Rumah Kami” yakni Alisa, Dinda, Alfi, Ni’mah, dan Maya yang selalu mendukung dan memberi saran yang membangun.
12. Seluruh teman teman seperjuangan SOULMATH ’19.
13. Teman teman kepanitiaan dan keorganisasian baik di lingkungan kampus maupun luar kampus yang telah memberikan banyak pembelajaran yang luar biasa sehingga peneliti mendapatkan motivasi untuk terus berkembang dan belajar.
14. Himpunan Mahasiswa Jurusan Matematika (HMJ “Integral” Matematika) yang telah memberikan kesempatan kepada peneliti untuk belajar memimpin dan dipimpin, belajar atas kewajiban dan keharusan, belajar atas kesetiaan dan kesediaan, dan hal hal lain yang tidak bisa dijabarkan satu persatu.
15. Kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu menyelesaikan skripsi baik moril maupun materiil.

Malang, 23 Juni 2023

Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
HALAMAN PENGAJUAN ..... **ii**
HALAMAN PERSETUJUAN ..... **iii**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **iv**
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN ..... **v**
MOTO ..... **vi**
PERSEMBAHAN ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
DAFTAR SIMBOL ..... **xvi**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xvii**
ABSTRAK ..... **xviii**
ABSTRACT ..... **xix**
مستخلص البحث ..... **xx**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Masalah 5
BAB II KAJIAN TEORI **6**
2.1 Definisi Graf 6
2.2 Lintasan Terpendek 8
2.3 Algoritma Koloni Semut 9
2.4 LPG Tertentu 13
2.4.1 Definisi LPG Tertentu 13
2.4.2 Distribusi Tertutup LPG Tertentu 13
2.5 Semut dalam Al-Qur'an 16
2.6 Kajian Topik dengan Teori Pendukung 19
BAB III METODE PENELITIAN **21**
3.1 Jenis Penelitian 21
3.2 Data dan Sumber Data 21
3.3 Tahapan Penelitian 22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN **24**
4.1 Algoritma Koloni Semut 24
4.1.1 Algoritma Koloni Semut dalam Menentukan Rute Terpendek 24
4.1.2 Optimasi dalam Pandangan Islam 28
4.2 Implementasi Algoritma Koloni Semut dalam Mencari Rute Terpendek 30
4.2.1 Deskripsi dan Olah Data 30
4.2.2 Inisialisasi Nilai Parameter 32
4.2.3 Perhitungan Lintasan Terpendek 32
4.2.4 Penentuan Rute Terpendek 105

BAB V PENUTUP 109
5.1 Kesimpulan 109
5.2 Saran 109
DAFTAR PUSTAKA 110
LAMPIRAN 112
RIWAYAT HIDUP 117

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Klasifikasi Data Berdasarkan Jarak 30
Tabel 4.2 Data Jarak Antar Titik Kasus 1 33
Tabel 4.3 Tabel Visibilitas 36
Tabel 4.4 Visibilitas Semut ke-1 Antara Titik $V1$ ke Titik Lainnya 37
Tabel 4.5 Probabilitas Semut ke-1 Antara Titik $V1$ ke Titik Lainnya 38
Tabel 4.6 Visibilitas Semut ke-1 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 38
Tabel 4.7 Probabilitas Semut ke-1 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 39
Tabel 4.8 Visibilitas Semut ke-1 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 40
Tabel 4.9 Probabilitas Semut ke-1 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 40
Tabel 4.10 Visibilitas Semut ke-1 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 41
Tabel 4.11 Probabilitas Semut ke-1 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 42
Tabel 4.12 Visibilitas Semut ke-1 Antara Titik $V2$ ke Titik Lainnya 42
Tabel 4.13 Probabilitas Semut ke-1 Antara Titik $V2$ ke Titik Lainnya 43
Tabel 4.14 Visibilitas Semut ke-1 Antara Titik $V5$ ke Titik Lainnya 43
Tabel 4.15 Probabilitas Semut ke-1 Antara Titik $V5$ ke Titik Lainnya 44
Tabel 4.16 Visibilitas Semut ke-2 Antara Titik $V2$ ke Titik Lainnya 44
Tabel 4.17 Probabilitas Semut ke-2 Antara Titik $V2$ ke Titik Lainnya 45
Tabel 4.18 Visibilitas Semut ke-2 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 45
Tabel 4.19 Probabilitas Semut ke-2 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 46
Tabel 4.20 Visibilitas Semut ke-2 Antara Titik $V5$ ke Titik Lainnya 47
Tabel 4.21 Probabilitas Semut ke-2 Antara Titik $V5$ ke Titik Lainnya 47
Tabel 4.22 Visibilitas Semut ke-2 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 48
Tabel 4.23 Probabilitas Semut ke-2 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 49
Tabel 4.24 Visibilitas Semut ke-2 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 49
Tabel 4.25 Probabilitas Semut ke-2 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 50
Tabel 4.26 Visibilitas Semut ke-2 Antara Titik $V7$ ke Titik Lainnya 50
Tabel 4.27 Probabilitas Semut ke-2 Antara Titik $V7$ke Titik Lainnya 51
Tabel 4.28 Visibilitas Terakhir Semut ke-2 51
Tabel 4.29 Visibilitas Semut ke-3 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 51
Tabel 4.30 Probabilitas Semut ke-3 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 52
Tabel 4.31 Visibilitas Semut ke-3 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 53
Tabel 4.32 Probabilitas Semut ke-3 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 54
Tabel 4.33 Visibilitas Semut ke-3 Antara Titik $V2$ ke Titik Lainnya 54
Tabel 4.34 Probabilitas Semut ke-3 Antara Titik $V2$ ke Titik Lainnya 55
Tabel 4.35 Probabilitas Semut ke-3 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 56
Tabel 4.36 Probabilitas Semut ke-3 Antara Titik $V5$ke Titik Lainnya 57
Tabel 4.37 Visibilitas Semut ke-3 Antara Titik $V7$ke Titik Lainnya 57
Tabel 4.38 Probabilitas Semut ke-3 Antara Titik $V7$ ke Titik Lainnya 58
Tabel 4.39 Visibilitas Terakhir Semut ke-3 58
Tabel 4.40 Visibilitas Semut ke-4 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 59
Tabel 4.41 Probabilitas Semut ke-4 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 60
Tabel 4.42 Visibilitas Semut ke-4 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 60
Tabel 4.43 Probabilitas Semut ke-4 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 61
Tabel 4.44 Visibilitas Semut ke-4 Antara Titik $V2$ ke Titik Lainnya 61
Tabel 4.45 Probabilitas Semut ke-4 Antara Titik $V2$ ke Titik Lainnya 62

Tabel 4.46 Visibilitas Semut ke-4 Antara Titik $V1$ ke Titik Lainnya 62
Tabel 4.47 Probabilitas Semut ke-4 Antara Titik $V1$ ke Titik Lainnya 63
Tabel 4.48 Visibilitas Semut ke-4 Antara Titik $V5$ke Titik Lainnya 64
Tabel 4.49 Probabilitas Semut ke-4 Antara Titik $V5$ ke Titik Lainnya 65
Tabel 4.50 Visibilitas Semut ke-4 Antara Titik $V7$ ke Titik Lainnya 65
Tabel 4.51 Probabilitas Semut ke-4 Antara Titik $V7$ ke Titik Lainnya 66
Tabel 4.52 Visibilitas Terakhir Semut ke-4 66
Tabel 4.53 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik $V5$ ke Titik Lainnya 66
Tabel 4.54 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik $V5$ ke Titik Lainnya 68
Tabel 4.55 Visibilitas Semut ke-5 Antara Titik $V2$ ke Titik Lainnya 68
Tabel 4.56 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik $V2$ ke Titik Lainnya 69
Tabel 4.57 Visibilitas Semut ke-5 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 69
Tabel 4.58 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 70
Tabel 4.59 Visibilitas Semut ke-5 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 70
Tabel 4.60 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 71
Tabel 4.61 Visibilitas Semut ke-5 Antara Titik $V3$ke Titik Lainnya 72
Tabel 4.62 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 72
Tabel 4.63 Visibilitas Semut ke-5 Antara Titik $V1$ ke Titik Lainnya 73
Tabel 4.64 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik $V1$ ke Titik Lainnya 74
Tabel 4.65 Visibilitas Terakhir Semut ke-5 74
Tabel 4.66 Visibilitas Semut ke-6 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 74
Tabel 4.67 Probabilitas Semut ke-6 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 75
Tabel 4.68 Visibilitas Semut ke-6 Antara Titik $V2$ ke Titik Lainnya 76
Tabel 4.69 Probabilitas Semut ke-6 Antara Titik $V2$ ke Titik Lainnya 77
Tabel 4.70 Visibilitas Semut ke-6 Antara Titik $V1$ ke Titik Lainnya 77
Tabel 4.71 Probabilitas Semut ke-6 Antara Titik $V1$ ke Titik Lainnya 78
Tabel 4.72 Visibilitas Semut ke-6 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 78
Tabel 4.73 Probabilitas Semut ke-6 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 79
Tabel 4.74 Visibilitas Semut ke-6 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 79
Tabel 4.75 Probabilitas Semut ke-6 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya..... 80
Tabel 4.76 Visibilitas Semut ke-6 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 81
Tabel 4.77 Probabilitas Semut ke-6 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 81
Tabel 4.78 Visibilitas Terakhir Semut ke-6 82
Tabel 4.79 Visibilitas Semut ke-7 Antara Titik $V7$ ke Titik Lainnya 82
Tabel 4.80 Probabilitas Semut ke-7 Antara Titik $V7$ ke Titik Lainnya 83
Tabel 4.81 Visibilitas Semut ke-7 Antara Titik $V1$ ke Titik Lainnya 84
Tabel 4.82 Probabilitas Semut ke-7 Antara Titik $V1$ ke Titik Lainnya 85
Tabel 4.83 Visibilitas Semut ke-7 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 85
Tabel 4.84 Probabilitas Semut ke-7 Antara Titik $V3$ ke Titik Lainnya 86
Tabel 4.85 Visibilitas Semut ke-7 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 86
Tabel 4.86 Probabilitas Semut ke-7 Antara Titik $V4$ ke Titik Lainnya 87
Tabel 4.87 Visibilitas Semut ke-7 Antara Titik $V5$ ke Titik Lainnya 87
Tabel 4.88 Probabilitas Semut ke-7 Antara Titik $V5$ ke Titik Lainnya 88
Tabel 4.89 Visibilitas Semut ke-7 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 89
Tabel 4.90 Probabilitas Semut ke-7 Antara Titik $V6$ ke Titik Lainnya 89
Tabel 4.91 Visibilitas Terakhir Semut ke-7 90
Tabel 4.92 Hasil Rute Terpendek Kasus 1 Iterasi 1 90

Tabel 4.93 Data Rute Terpendek Kasus 1 93
Tabel 4.94 Data Jarak Antar Kasus 2 94
Tabel 4.95 Data Rute Terpendek Kasus 2 97
Tabel 4.96 Data Jarak Antar Kasus 3 99
Tabel 4.97 Data Rute Terpendek Kasus 3 102
Tabel 4.98 Data Jarak Antar Kasus 4 102
Tabel 4.99 Data Rute Terpendek Kasus 4 104

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Graf Tidak Sederhana dan Graf Sederhana	6
Gambar 2.2	Graf Berarah	7
Gambar 2.3	Graf Tidak Berarah	7
Gambar 2.4	Graf Berbobot	8
Gambar 2.5	Cara Kerja Semut Dalam Membuat Jejak Feromon	10
Gambar 2.6	Distribusi Terbuka LPG Tertentu	15
Gambar 2.7	Distribusi Tertutup LPG Tertentu	15
Gambar 4.1	Maps Ketersediaan Jalur Wilayah 1	32
Gambar 4.2	Plot Kasus 1 ketika NC=100	92
Gambar 4.3	Maps Ketersediaan Jalur Wilayah 2	94
Gambar 4.4	Plot Kasus 2 Ketika NC=100	97
Gambar 4.5	Maps Ketersediaan Jalur Wilayah 3	98
Gambar 4.6	Plot Kasus 3 Ketika NC=100	101
Gambar 4.7	Maps Ketersediaan Jalur Wilayah 4	102
Gambar 4.8	Plot Kasus 4 Ketika NC=100	104
Gambar 4.9	Hasil Rute Terpendek Kasus 1	105
Gambar 4.10	Hasil Rute Terpendek Kasus 2	106
Gambar 4.11	Hasil Rute Terpendek Kasus 3	107
Gambar 4.12	Hasil Rute Terpendek Kasus 4	107

DAFTAR SIMBOL

$V(G)$	: Himpunan titik pada graf
$E(G)$	: Himpunan sisi pada graf
V_n	: Titik ke-n
τ_{ij}	: Jumlah feromon pada sisi V_iV_j
τ_0	: Jumlah feromon pada kondisi awal
k	: Semut ke-
c_{greedy}	: Hasil perhitungan algoritma greedy
η_{ij}	: Vasibilitas antar titik
α	: Parameter pengontrol pengaruh τ_{ij}
β	: Parameter pengontrol pengaruh η_{ij}
ρ	: Tingkat feromon
Δt	: Perubahan feromon
N	: Jumlah Semut
NC	: Banyaknya iterasi

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Lokasi SPPBE 112
Lampiran 2 Data Agen LPG Malang Raya 112

ABSTRAK

Az Zahra, Habiba Amalia. 2023. **Penerapan Algoritma Koloni Semut Dalam Menentukan Rute Terpendek Distribusi LPG di Malang Raya)**. Skripsi. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Juhari, M.Si. (II) Ach. Nashichuddin, M.A.

Kata Kunci: Algoritma Koloni Semut, Distribusi LPG, Optimasi, Rute Terpendek

Algoritma Koloni Semut (AKS) merupakan algoritma optimisasi yang diadaptasi dari perilaku semut. AKS ditujukan untuk menghitung optimasi salah satunya pada rute terpendek. Masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah bagaimana menerapkan AKS dalam menentukan rute terpendek dan penerapannya dalam distribusi LPG di Malang Raya. AKS merupakan. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa AKS mampu menyelesaikan permasalahan rute terpendek pada berbagai kasus dengan hasil yang memuaskan. Namun, beberapa penelitian juga mengungkapkan kelemahan AKS, seperti kecepatan pemrosesan yang lambat dibandingkan dengan algoritma lain. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penggunaan AKS dalam menentukan rute terpendek dan menerapkannya dalam distribusi LPG di Malang Raya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan jumlah titik tujuan yang berbeda pada setiap kasusnya dengan 100 iterasi. Parameter yang ditetapkan pada awal uji coba adalah $\alpha = 1$, $\beta = 2$, dan $\rho = 0{,}5$. Parameter α menunjukkan kepentingan feromon atau jejak, parameter β menunjukkan kepentingan visibilitas antar titik, sedangkan parameter ρ menunjukkan tingkat feromon. Pada penelitian ini terdapat 51 titik lokasi agen dan empat titik keberangkatan. Dari data tersebut, akan dibagi menjadi empat kasus. Lokasi awal pada kasus pertama yaitu SPPBE Trien Gasmiku menuju ke tujuh titik agen. Lokasi awal kasus kedua yaitu SPPBE Geha Inti Citra ke delapan belas titik lokasi agen. Lokasi awal kasus ketiga yakni SPPBE PT Solusindo Innovative ke delapan belas titik lokasi agen. Titik keberangkatan kasus keempat yakni SPPBE Agam Seulawah Jaya ke tujuh titik agen. Rute terpendek yang dihasilkan dari keempat titik lokasi dikatakan lebih efektif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang potensi dan batasan AKS dalam mencari rute terpendek.

ABSTRACT

Az Zahra, Habiba Amalia. 2023. **The Implementation of Ant Colony Algorithm in Determining the Shortest Route for LPG Distribution in the Malang Raya Area**. Thesis. Mathematics Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Juhari, M.Si. (II) Ach. Nashichuddin, M.A.

Keywords: Ant Colony Algorithm, LPG Distribution, Optimization, Shortest Route

Ant Colony Algorithm (ACA) is an optimization algorithm adapted from ant behavior. ACA is intended to calculate optimization, one of which is on the shortest route. The problem raised in this study is how to apply ACA in determining the shortest route and its application in LPG distribution in Malang Raya. Previous research has shown that ACA is able to solve shortest route problems in various cases with satisfactory results. However, some studies also reveal the weaknesses of ACA, such as slow processing speed compared to other algorithms. The purpose of this study is to determine the use of ACA in determining the shortest route and apply it in LPG distribution in Malang Raya. Tests were conducted using a different number of destination points in each case with 100 iterations. The parameters set at the beginning of the trial were $\alpha = 1$, $\beta = 2$, and $\rho = 0.5$. Parameter α indicates the importance of pheromones or traces, parameter β indicates the importance of visibility between points, while parameter ρ indicates the level of pheromones. In this study, there are 51 agent location points and four departure points. From this data, it will be divided into four cases. The initial location in the first case is SPPBE Trien Gasmiku to seven agent points. The starting location in the second case is SPPBE Geha Inti Citra to eighteen agent location points. The starting location in the third case is SPPBE PT Solusindo Innovative to eighteen agent location points. The departure point of the fourth case is SPPBE Agam Seulawah Jaya to seven agent points. The shortest route generated from the four location points is said to be more effective. The results of this study are expected to provide a deeper understanding of the potential and limitations of ACA in finding the shortest route.

مستخلص البحث

الزهرى، حبيبة أماليا. ٢٠٢٣. **تنفيذ خوارزمية مستعمرة النملة في تحديد أقصر طريق لتوزيع غاز البترول المسال في منطقة مالانج رايا**. االجثالعلمي. قسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (١) جوهري، الماجستير. (٢) احمد. ناصح الدين، الماجستير.

الكلمات المفتاحية: التحسين، أقصر طريق، خوارزمية مستعمرة النملة، توزيع غاز البترول المسال

خوارزمية مستعمرة النمل *(ACA)* هي خوارزمية التحسين المقتبسة من سلوك النمل. تهدف *ACA* إلى حساب التحسين، إلى أقصرا الطرق. المشكلة في هذه الدراسة هي كيفية تطبيق *ACA* في تحديد أقصر الطرق وتطبيقه في توزيع غاز البترول المسال في مدينة مالانخ. ظهرت الأبحاث السابقة أن *ACA* قادرة على حل أقصر مشاكل الطريق في حالات مختلفة بنتائج مرضية. ومع ذلك، توحدص سلمسات هذاالطم بق *ACA*، مثل سرعة المعالجة البطيئة مقارنة بالخوارزميات الأخرى. الغرض من هذه الدراسة هو تحديد استخدام *ACA* في تحديد أقصر طريق وتطبيقه في توزيع غاز البترول المسال في مدينة مالانخ. تم إجراء الاختبارات باستخدام عدد مختلف من نقاط الوجهة في كل حالة مع ١٠٠ تكرارا. كانت البارامترات المحددة في بداية التجربة $\alpha = 1$، $\rho = 0{,}5$، $\beta = 2$. يشير المعامل α إلى أهمية الفيرومونات أو الآثار، β المعامل يشير إلى أهمية الرؤية بين النقاط، بينما يشير المعامل ρ إلى مستوى الفيرومونات. في هذه الدراسة، هناك ٥١ نقطة موقع وكيل وأربع نقاط انطلاق. من هذه البيانات، سيتم تقسيمها إلى أربع حالات. الموقع الأول في الحالة الأولى هو *SPPBE Trien Gasmiku* إلى سبع نقاط وكيل. موقع البداية في الحالة الثانية هو *SPPBE Geha Inti Citra* إلى ثمانية عشر نقطة موقع وكيل. موقع البداية في الحالة الثالثة هو *SPPBE PT Solusindo Innovative* إلى ثماني عشرة نقطة موقع وكيل. انطلاق مت الحالة الرابعة هي *SPPBE Agam Seulawah Jaya* إلى سبع نقاط وكيل. يقال إن أقصر الطرق تم إنشاؤه من نقاط الموقع الأربع أكثر فعالية. من المتوقع أن توفر نتائج هذه الدراسة فهمًا أعمق لإمكانات وقيود *ACA* في إيجاد أقصر الطرق.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Algoritma Koloni Semut (AKS) ditemukan oleh Mayson dan Manderick kemudian dikembangkan oleh Marco Dorigo. Algoritma ini merupakan sistem optimasi yang diadaptasi dari perilaku semut (Dorigo dkk., 1997). AKS mengadaptasi sistem komunikasi atau interaksi antar semut satu dengan yang lain. Dalam menyajikan AKS dibutuhkan suatu graf yang memiliki koneksi antara titik satu dengan yang lain dan graf yang setiap jalurnya bisa ditempuh bolak balik. Hal ini dikarenakan algoritma tersebut menggunakan sistem multi agen. Sistem tersebut merupakan sistem yang mengarahkan semua semut untuk bergerak sebagai satu individu atau agen tunggal. Pada tiap semut menyimpan memori untuk memuat titik titik yang sudah pernah dilalui oleh semut. Hal ini bertujuan agar semut tidak melewati titik tersebut lebih dari satu kali (Wardy, 2013).

AKS bertujuan untuk menemukan lintasan terpendek dan optimal. Proses mendapatkan nilai optimal disebut dengan optimisasi. Masalah optimasi yang juga menjadi salah satu permasalahan matematika, biasanya dinyatakan dalam fungsi matematika bertujuan untuk melakukan proses meminimasi atau memaksimasi suatu fungsi dengan memperhatikan batasan yang ada (Yunita, 2018).

Pencarian rute terpendek mulai dikaji sejak 1950 dan telah diterapkan diberbagai bidang dengan tujuan mengoptimasi kinerja suatu sistem, baik dalam mempercepat suatu proses atau meminimalkan biaya tertentu (Musdalipa & Sahari, 2021). Pencarian rute terpendek menggunakan AKS pernah dilakukan pada beberapa penelitian sebelumnya, misalnya pada kasus pendistribusian barang

dengan AKS pada perusahaan Jalur Nugraha Ekakurir pada tahun 2021 dengan kurang lebih 13 titik lokasi dan kasus destinasi turis bali menggunakan AKS tahun 2019 dengan lima titik lokasi (Ginantra dkk., 2019). Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa AKS dapat menyelesaikan rute terpendek pada 13 titik lokasi dengan total jarak terpendek yakni 56,4 km pada iterasi pertama.

Terdapat penelitian yang membandingkan AKS dengan algoritma lain misalnya dengan algoritma Dijkstra pada distribusi gas LPG kabupaten Pidie tahun 2022 (Yuswardi & Balia, 2022). Pada penelitian tersebut, **kelebihan** AKS yakni dapat menyelesaikan 10 lokasi tujuan yang berbeda dalam satu kali proses pencarian dengan hasil yang lebih akurat dan tidak bergeser. **Kelemahan** yang terdapat pada kesimpulan penelitian tersebut adalah AKS lebih lambat dibandingkan dengan Algoritma Djikstra (Yuswardi & Balia, 2022).

Penelitian lainnya yakni perbandingan Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) dengan *ant colony system* untuk menyelesaikan *traveling salesman problem*. Penelitian tersebut juga menyimpulkan bahwa **kelebihan** AKS adalah pada penerapan titik tujuan dengan kota yang banyak (lebih dari 10 titik) karena AKS memiliki waktu yang relatif cepat dalam memproses dibandingkan dengan Algoritma CIH. **Kelemahan** AKS pada penelitian ini yakni AKS memiliki waktu yang lebih lama dibandingkan dengan Algortima CIH pada objek yang lebih sedikit (Effendi & Maulinda, 2010).

Penelitian yang menyajikan implementasi AKS pada permasalahan optimasi juga diteliti oleh Ilwaru (2017). Penelitian pada jurnal tersebut menyajikan perbandingan antara Algoritma Hill Climbing dengan AKS. Pada kesimpulannya menyatakan bahwa **kelemahan** AKS adalah pada waktu proses untuk mendapatkan

hasil optimal sangat bergantung pada jumlah iterasi yang digunakan.

Berdasarkan penelitian penelitian sebelumnya, ada banyak solusi dalam memecahkan masalah optimasi terutama pada kasus optimasi minimasi. Pada penelitian ini akan mengkaji AKS dalam mencari rute terpendek dengan memperhatikan penentuan nilai inisialisasi parameter dan juga banyaknya iterasi. AKS yang diterapkan pada penelitian ini akan ditunjukan proses minimasi dengan beberapa macam jumlah titik tujuan yakni kurang dari 10 dan lebih dari 10 titik. Jumlah iterasi pada perhitungan manual akan diuji coba satu kali sedangkan iterasi pada uji coba program *python* akan dilakukan iterasi sebanyak 100 kali.

Pencarian rute terpendek juga secara tidak langsung dibahas dalam Al-qur'an surat An-Naml ayat 18. Pada surat tersebut diceritakan bahwa Nabi Sulaiman AS bersama pasukannya melewati sebuah lembah dan kemudian seekor semut memberitahukan kepada koloni lain untuk segera masuk ke dalam sarang. Hal ini dilakukan agar para semut tidak terinjak oleh Nabi Sulaiman. Berikut merupakan arti dari Al-Naml/27:18:

"*Hingga apabila mereka sampai di lembah semut berkatalah seekor semut; Hai semut-semut, masuklah ke dalam sarang-sarangmu, agar kamu tidak diinjak oleh Sulaiman dan tentaranya, sedangkan mereka tidak menyadari*". (QS. An-Naml/27:18)

Ayat tersebut menjelaskan bahwa semut dapat melakukan komunikasi dengan baik. Semut melakukan komunikasi yakni melalui feromon, suatu zat yang dihasilkan oleh semut. Pada ayat tersebut, terdapat pesan bahwa koloni semut membutuhkan informasi tersebut secepat mungkin agar tidak terinjak oleh pasukan Nabi Sulaiman AS. Oleh karenanya, pada bagian inilah feromon berperan penting dalam melakukan komunikasi antar semut.

Dalam rangka memecahkan masalah optimasi, AKS merupakan cara yang efektif adalah mencari rute terpendek menggunakan algoritma semut. Hasil rute terpendek juga akan berdampak pada optimalisasi distribusi dan mampu meminimalisasi biaya transportasi pada kasus kasus tertentu. Salah satu prosesnya dengan mempersingkat bahkan memangkas rute perjalanan, sehingga rute tersebut menjadi optimal minimum.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan terdapat permasalahan yang akan diteliti sebagai berikut.

1. Bagaimana Algoritma Koloni Semut digunakan dalam menentukan rute terpendek?
2. Bagaimana penerapan Algoritma Koloni Semut dalam menentukan rute terpendek distribusi LPG di Malang Raya?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan terdapat tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui penggunaan Algoritma Koloni Semut dalam menentukan rute terpendek.
2. Untuk mengetahui penerapan Algoritma Koloni Semut dalam menentukan rute terpendek distribusi LPG di Malang Raya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu dapat membantu menyelesaikan permasalahan distribusi menggunakan pencarian rute terpendek dengan hasil yang variatif dengan

waktu yang lebih efektif.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada skripsi ini yakni

1. Graf yang digunakan merupakan graf berbobot dengan jarak antar titik sebagai bobotnya.
2. Jarak titik a ke titik b sama dengan jarak antara titik b ke titik a.
3. Jarak antar titik diperoleh melalui aplikasi Google Earth dengan mode *driving* sehingga rute yang dilalui hanya untuk roda empat.
4. Penelitian ini tidak memperhatikan jenis alat transportasi.
5. Rute terpendek hanya mempertimbangkan jarak dan mengabaikan kemacetan, kepadatan, dan kondisi jalan.

BAB II

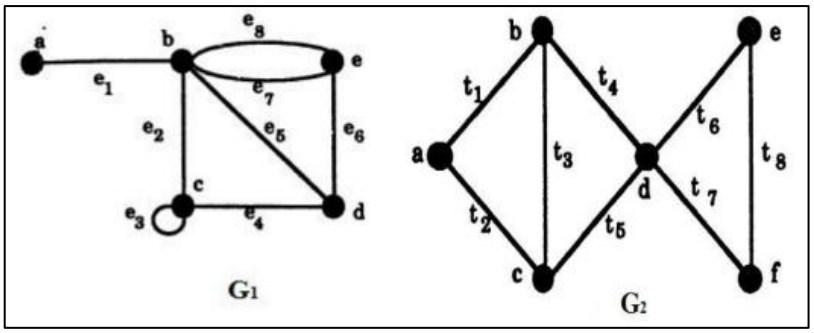
KAJIAN TEORI

2.1 Definisi Graf

Graf G adalah sebuah pasangan himpunan (V, E) yang dinotasikan dengan $V(G)$ dan $E(G)$. Di mana $V(G)$ memiliki arti himpunan yang tak kosong dan berhingga dari obyek-obyek disebut dengan titik, sedangkan $E(G)$ adalah himpunan yang mungkin kosong dari pasangan tidak terurut dari titik-titik yang dikenal sebagai sisi (Chartrand, G., Lesniak, L., 1986). Berikut merupakan jenis jenis graf berdasarkan pendekatan pengelompokan.

1. Berdasarkan keberadaan *loop*

Berdasarkan ada tidaknya *loop*, graf dibedakan menjadi dua jenis yakni graf sederhana dan graf tidak sederhana. Graf sederhana tidak memiliki *loop* atau sisi rangkap. Hal ini tentunya berbeda dengan graf tidak sederhana, di mana graf tersebut memiliki *loop* dan atau sisi rangkap (Daniel & Taneo, 2019). Gambar 2.1 merupakan salah satu bentuk graf tidak sederhana yang digambarkan pada G_1 dan G_2 sebagai graf sederhana.



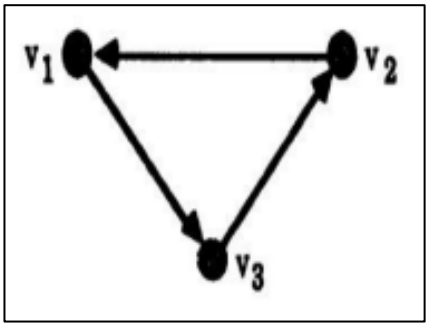
Gambar 2.1 Graf Tidak Sederhana dan Graf Sederhana

2. Berdasarkan arah pada sisi graf

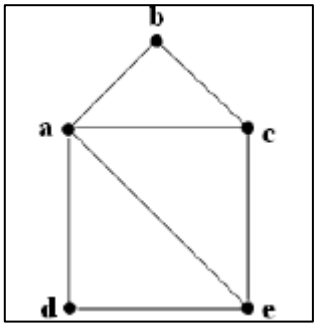
Berdasarkan orientasi arah pada sisi juga dibedakan menjadi dua jenis yakni graf berarah dan tidak berarah. Graf yang memiliki orientasi arah pada setiap sisinya disebut graf berarah (*directed graph* atau *digraph*). Sebaliknya, graf yang tidak memiliki orientasi arah di setiap sisinya disebut *undirected graph* atau graf tidak berarah (Daniel & Taneo, 2019).

Pada graf berarah, (u, v) dan (v, u) menyatakan dua arah yang berbeda, sehingga $(u, v) \neq (v, u)$. Berdasarkan gambar 2.2, maka dapat ditunjukkan orientasi arah pada masing masing sisinya. Misalnya pada (V_1, V_2) dan (V_2, V_1), dari V_1 ke V_2 harus melalui V_3 terlebih dahulu sedangakan dari V_2 bisa langsung menuju V_1.

Sedangkan pada graf tidak berarah, (u, v) dan (v, u) tidak diberikan orientasi arah. Hal ini mengakibatkan dari u ke v sama halnya dengan v ke u, sehingga dapat ditulis $(u, v) = (v, u)$. Misalnya pada gambar 2.4, a menuju b sama dengan b menuju a.



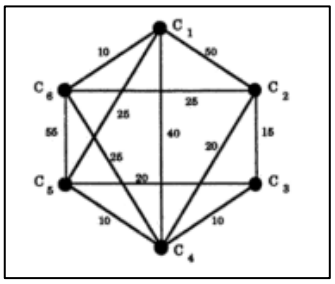
Gambar 2.2 Graf Berarah



Gambar 2.3 Graf Tidak Berarah

3. Graf berbobot

Daniel & Taneo (2019) menyatakan bahwa graf berbobot merupakan graf yang memiliki harga (bobot) di setiap sisinya. Berikut merupakan pengaplikasian bobot pada sebuah graf.



Gambar 2.4 Graf Berbobot

2.2 Lintasan Terpendek

Lintasan terpendek merupakan lintasan yang dibutuhkan untuk mencapai suatu tempat dengan jarak minimum. Lintasan terpendek memiliki dua metode dalam pengelompokannya. Metode pertama adalah metode algoritma konvesional, di mana perhitungan dilakukan secara manual dan matematis. Metode pertama ini biasanya digunakan pada Algoritma *Bellman-Ford, Flody-Warshall*, dan *Djikstra*. Sedangkan pada metode kedua yang menggunakan kecerdasan buatan dengan bantuan pengetahuan dan perhitungan disebut dengan metode heuristik. Metode heuristik ini biasanya digunakan untuk Algoritma Genetika, Algoritma A Star, Algoritma Koloni Semut, dan masih banyak lagi (Ambarsari, 2017). Beberapa persoalan lintasan terpendek, antara lain:

1. *A pair shortest path* adalah lintasan terpendek yang melibatkan dua buah simpul tertentu.
2. *All pair shortest path* adalah lintasan terpendek yang melibatkan semua pasangan simpul.

3. *Single-course shortest path* merupakan lintasan terpendek yang terdiri atas simpul tertentu ke semua simpul yang lain.
4. *Intermediate shostest path* merupakan lintasan terpendek dari antara dua simpul yang melalui beberapa simpul tertentu.

2.3 Algoritma Koloni Semut

Algoritma Koloni Semut merupakan algoritma yang diadaptasi dari perilaku koloni semut atau sistem semut. AKS ditemukan oleh Mayson dan Manderick kemudian dikembangkan oleh Marco Dorigo. Algoritma ini merupakan sistem optimasi yang diadaptasi dari perilaku semut (Dorigo dkk., 1997). Inovasi tersebut muncul karena diduga koloni semut memiliki perilaku yang terstruktur dan memiliki keunikan. Pengembangan pemikiran ini yang berdasarkan inovasi atas tingkah laku suatu kumpulan serangga disebut dengan *Swarm Intellegence* (Karjono dkk., 2016). Hal yang unik dari koloni semut adalah mereka mampu menentukan rute terpendek dari sarang ke sumber makanan begitu pula sebaliknya. Rute tersebut didapatkan dari jejak kaki mereka. Semakin banyak jejak kakinya maka akan semakin banyak semut yang melewati jalur tersebut. Sebaliknya, jika jejak kaki pada jalur sedikit maka akan semakin sedikit semut yang lewat atau bahkan jalur tersebut akan memudar (Musdalipa dkk., 2021). Jejak kaki semut merupakan sebuah zat kimia yang ditinggalkan yang kemudian disebut dengan *feromon.* Berikut merupakan cara kerja AKS:

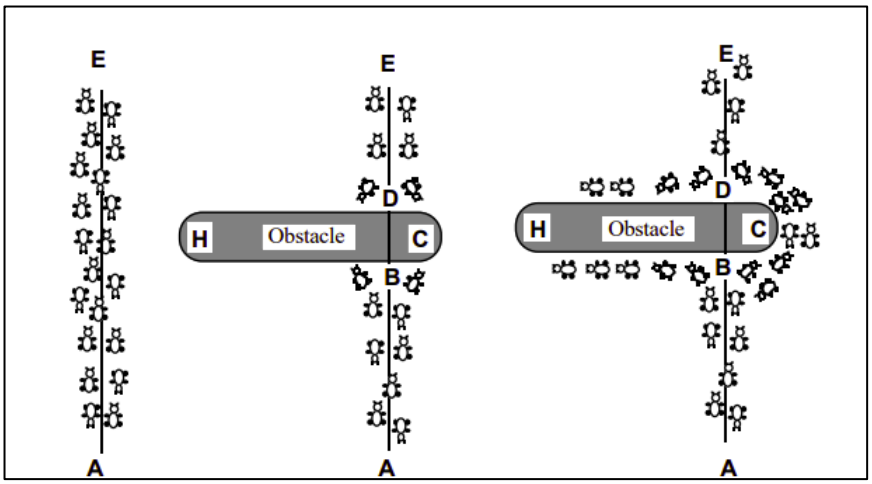
1. Semut disebarkan dan berkeliling secara acak
2. Para semut menemukan jalur yang berbeda beda untuk menemukan makanan

3. Kemudian kembali pada koloni semut ketika telah selesai menemukan makanan, dilakukan sembari memberikan tanda dengan jejak feromon.
4. Feromon di jalur yang lebih pendek akan menghasilkan aroma yang lebih kuat dibandingkan dengan yang berada di jalur lebih panjang.
5. Semut berikutnya akan mengikuti jalur dengan feromon yang lebih kuat (Karjono dkk., 2016).

Berikut merupakan penjelasan lebih lanjut terkait unsur-unsur dan istilah pada AKS:

1. Feromon

   Feromon merupakan zat kimia yang ditinggalkan semut pada jalur yang dilaluinya. Feromon ini juga sebagai petunjuk atau sinyal bagi semut lain dengan tujuan yang sama. Pada semut, sinyal yang paling kuat adalah sinyal dengan jalur terpendek sehingga semut dapat memutuskan jalur yang dipilih. Dalam kasus ini, para semut biasanya memilih sinyal paling kuat karena sinyal tersebut lebih banyak dilalui semut-semut yang lain (Karjono dkk., 2016). Berikut merupakan ilustrasi cara kerja semut dalam membuat jejak feromon untuk menemukan jalur yang lebih pendek.



Gambar 2.5 Cara Kerja Semut Dalam Membuat Jejak *Feromon*

Pada Gambar 2.5 semut memiliki rute dari titik A ke E. Pada gambar sebelah kiri, semut berjalan tanpa hambatan, berjalan lurus. Namun, diberikan uji coba berupa hambatan dengan hambatan H yang jaraknya lebih jauh dibanding dengan hambatan C. Reaksi semut terlihat pada gambar 2.4 bagian tengah atau kedua dari kiri. Hasil pemilihan rute oleh semut terlihat pada gambar sebelah kanan, di mana para semut lebih banyak melewati hambatan C dibandingkan dengan hambatan H (Dorigo dkk., 1996).

2. Probabilitas

Probabilitas dapat diartikan sebagai kemungkinan atau tingkat kepercayaan kejadian. Dalam probabilitas terdapat eksperimen yaitu suatu percobaan untuk memperoleh hasil dari suatu kejadian. Hasil dari kejadian tersebut berupa titik sampel (Syaifudin & Choiruddin, 2021). Probabilitas memiliki banyak rumus dalam penggunaannya. Rumus probabilitas yang digunakan dalam lintasan terpendek adalah sebagai berikut (Dorigo dkk., 1996).

$$P_{ij}^{k} = \begin{cases} \dfrac{\left[\tau_{ij}\right]^{\alpha} . \left[\eta_{ij}\right]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N - tabu_k\}} \left[\tau_{ij}\right]^{\alpha} . \left[\eta_{ij}\right]^{\beta}} & , \text{untuk j} \in \{\text{N} - \text{tabu}_{\text{k}}\} \\ 0 & , \text{untuk j lainnya} \end{cases}$$

dengan

τ_{ij} : Jumlah pheromon pada sisi i, j

η_{ij} : Visibilitas antar titik

α : Parameter pengontrol pengaruh τ_{ij}

β : Parameter pengontrol pengaruh η_{ij}

N : Banyaknya semut

k' : Banyak semut yang tersisa

$N - tabu_k$: Titik berikutnya pada $tabu_k$

Rumus probabilitas tersebut digunakan dalam pemilihan jalur. Pada pengaplikasiannya, semut akan berjalan dari sebuah tempat yang disebut dengan titik i menuju ke tempat lain yakni titik j. Dalam perjalanan tersebut, semut menggunakan probabilitas (Karjono dkk., 2016).

3. Algoritma Greedy

Algoritma Greedy adalah suatu algoritma yang mengambil solusi optimal lokal pada setiap tahap (Aristi, 2014). Algoritma memecahkan solusi melalui langkah demi langkah . Inti algoritma ini adalah dengan membentuk lintasan satu per satu kemudian meminimalkan jumlah dari jaraknya. Langkah penyelesaian dari algoritma greedy adalah:

a. Memilih sembarang titik yang akan ditetapkan sebagai titik awal dan titik tujuan, sehingga apabila telah ditentukan sebuah titik sebagai V_1 maka V_1 juga merupakan titik akhir atau yang biasa disebut dengan titik tujuan.
b. Menghitung kemungkinan solusi yang akan muncul dalam satu kali perjalanan yang dirumuskan dengan $(n-1)!$, sehingga apabila $n = 4$ maka banyak kemungkinan jalurnya adalah $(n-1)! = (4-1)! = 3! = 3 \times 2 \times 1 = 6$.
c. Menetapkan titik awal dan memilih tujuan berikutnya berdasarkan jarak terpendek.

Pada AKS, algoritma *greedy* digunakan untuk menghitung *feromon* awal dengan rumus sebagai berikut

$$\tau_{ij} = \tau_0 = \frac{k}{c_{greedy}}$$

dengan

τ_{ij} : Jumlah pheromon pada sisi i, j.

τ_0 : Jumlah feromon pada kondisi awal.

k : Jumlah titik.

c_{greedy} : Hasil perhitungan algoritma geedy.

2.4 LPG Tertentu

2.4.1 Definisi LPG Tertentu

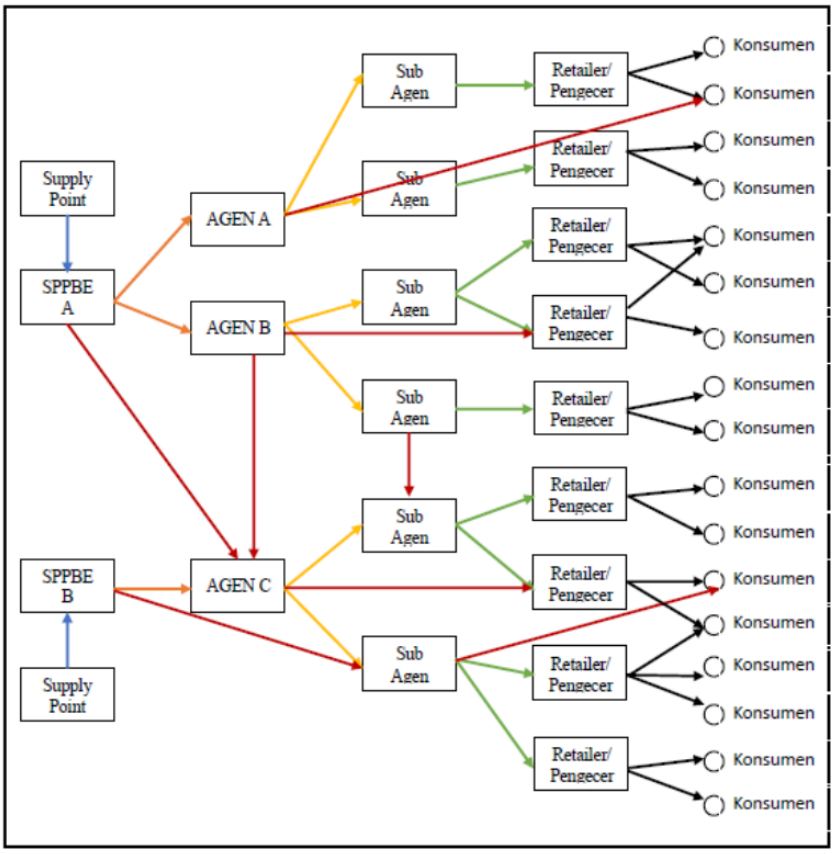
Liquid Petroleum Gas (LPG) merupakan gas bumi yang dikemas dalam bentuk tabung dan digunakan untuk kebutuhan sehari hari layaknya memasak, usaha menengah, dan lain lain. LPG berasal dari minyak mentah yang telah diolah menjadi dua aspek yakni bahan bakar dan non bahan bakar. LPG termasuk hasil pengolahan non bahan bakar. LPG menduduki peringkat pertama dalam hasil pengolahan minyak *non fuels* per 2021 yakni sebesar 5.175,19 ribu barel dari 14.457,82 ribu barel hasil olahan minyak non bahan bakar (Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2021).

2.4.2 Distribusi Tertutup LPG Tertentu

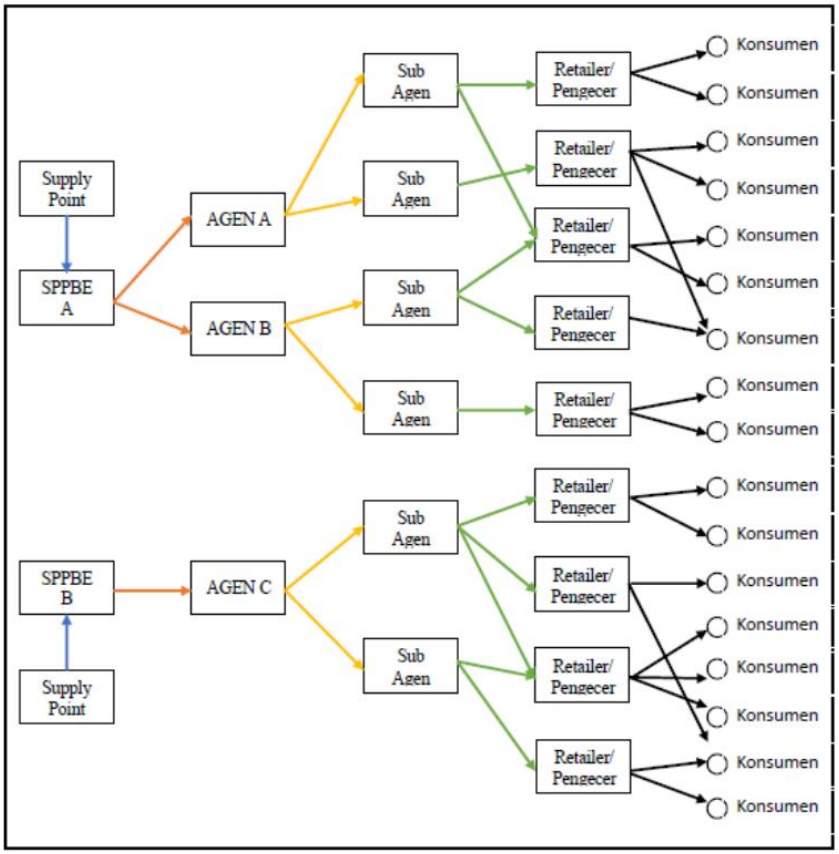
Terdapat peraturan yang mengatur pendistribusian LPG antara lain Permen ESDM no 21 Tahun 2007 tentang Penyelenggaraan Penyediaan dan Pendistribusian LPG Tabung 3 Kg dan Permen Nomor 26 Tahun 2009 Tentang Penyediaan dan Pendistribusian LPG. Permen tersebut menyatakan bahwa tabung LPG tertentu yang biasa disebut dengan tabung LPG 3 Kg hanya diperbolehkan dapat diambil/disuplay dari Stasiun Pengisian dan Pengangkutan Bulk Elpiji (SPPBE) dan didistribusikan pada titik-titik lokasi.

Berdasarkan Permen ESDM no 21 Tahun 2007 tentang Penyelenggaraan Penyediaan dan Pendistribusian LPG Tabung 3 Kg, kegiatan distribusi LPG dibagi menjadi dua kategori yakni LPG Umum dan LPG Tertentu. Distribusi LPG Umum diperuntukkan untuk pendistribusian LPG kemasan tabung 12 Kg, tabung 50 Kg, curah (bulk), dan sebagai bahan pendingin. Distribusi LPG Tertentu diperuntukkan untuk LPG kemasan tabung 3 Kg yang dipergunakan untuk keperluan rumah tangga ataupun usaha mikro.

Peraturan yang terkait dengan distribusi LPG 3 Kg adalah Permen Nomor 26 Tahun 2009 Tentang Penyediaan dan Pendistribusian LPG. Pada mulanya sistem distribusi LPG 3 Kg menggunakan sistem distribusi terbuka (*open system*) di mana pangkalan atau sub agen diperkenankan untuk mengambil ke agen mana saja, bahkan pengecer juga diperkenankan untuk mengambil LPG langsung dari SPPBE. Pemerintah mengubah sistem tersebut menjadi distribusi tertutup (closed system) di mana agen LPG pada suatu wilayah hanya diperbolehkan untuk mengisi LPG di SPPBE yang ada di wilayah tersebut dan hanya didistribusikan di wilayah yang sudah ditentukan (Nurbani, 2019). Berikut merupakan ilustrasi perbedaan distribusi tertutup dan distribusi terbuka.



Gambar 2.6 Distribusi Terbuka LPG Tertentu



Gambar 2.7 Distribusi Tertutup LPG Tertentu

2.5 Semut dalam Al-Qur’an

Islam merupakan agama yang sempurna dan mampu mengatur segala aspek kehidupan, mulai dari hubungan manusia dengan pencipta melalui aspek ibadah hingga aspek muamalah atau hubungan manusia dengan manusia. Allah telah menganugerahkan karunia dan nikmatnya tak terhingga kepada yang Ia ciptakan. Islam dengan kitabnya yang sempurna yang dinamakan Al-qur’an dan agama yang dapat dijadikan sebagai petunjuk semua umat manusia. Melalui perantara Al-qur’an sebagai petunjuk dari Allah untuk umatnya, Allah telah memberikan tata cara, pedoman, dan juga arahan agar hidup sesuai dengan syari’at islam. Selain Al-qur’an, hadist juga dapat digunakan sebagai petunjuk atau pedoman. Hal ini dikarenakan, hadist merupakan perkataan, percakapan, pembicaraan yang diberitakan, diperbincangkan, dan dipindahkan dari Rasulullah SAW kepada orang lain. Hadist memiliki tingkatan berdasarkan nilai sanadnya sehingga dapat memvalidasi bahwasannya hadist juga dapat memberikan petunjuk atau pedoman tentang bagaimana itu hidup.

Pada penelitian ini banyak disinggung terkait semut. Hal ini dikarenakan perilaku komunikasi semut diadaptasi dan dijadikan sebuah algoritma untuk melakukan optimasi minimum. Pencarian rute terpendek ini dibahas dalam Al-qur’an surat An-Naml ayat 18. Pada surat tersebut diceritakan bahwa Nabi Sulaiman AS bersama pasukannya melewati sebuah lembah dan kemudian seekor semut memberitahukan kepada koloni lain untuk segera masuk ke dalam sarang. Hal ini dilakukan agar para semut tidak terinjak oleh Nabi Sulaiman. Berikut merupakan arti dari Al-Naml/27:18:

"*Hingga apabila mereka sampai di lembah semut berkatalah seekor semut*; *Hai semut-semut, masuklah ke dalam sarang-sarangmu, agar kamu tidak diinjak oleh Sulaiman dan tentaranya, sedangkan mereka tidak menyadari*". (QS. An-Naml/27:18)

Ayat tersebut menjelaskan bahwa semut dapat melakukan komunikasi dengan baik. Semut melakukan komunikasi yakni melalui feromon, suatu zat yang dihasilkan oleh semut. Pada ayat tersebut, terdapat pesan bahwa koloni semut membutuhkan informasi tersebut secepat mungkin agar tidak terinjak oleh pasukan Nabi Sulaiman AS. Oleh karenanya, pada bagian inilah feromon berperan penting dalam melakukan komunikasi antar semut.

Terdapat banyak dampak yang dihasilkan optimasi oleh AKS. Pada zaman yang serba cepat dan penuh teknologi ini cenderung memberikan pengaruh hedonisme. Oleh karenanya, membentengi diri adalah upaya yang diperlukan agar tidak terjerumus dalam pengaruh hedonisme tersebut. Hal ini sebagaimana dijelaskan dalam Al-qur'an surat Al-Isra' ayat 29 yang artinya:

"Dan janganlah engkau jadikan tanganmu terbelenggu pada lehermu (kikir) dan jangan (pula) engkau mengulurkannya secara berlebihan sebab nanti engkau menjadi tercela lagi menyesal" (Kementrian Agama RI, 2022).

Pada buku dengan judul Tafsir Ibnu Katsir jilid 5 yang disusun oleh DR. Abdullah bin Muhammad bin Abdurrahman bin Ishaq Al-Sheikh (2001) bahwa ayat tersebut memiliki makna manusia hendaknya bersikap ekonomis dalam kehidupan dan melarang sifat berlebihan serta mencela sifat kikir. Hal ini dikarenakan, Allah SWT telah memberikan limpahan rezeki kepada yang Dia kehendaki. Pada kalimat pertama yakni "*dan janganlah engkau jadikan tanganmu terbelenggu pada lehermu (kikir)"*, ayat tersebut dimaknai dengan hendaknya tidak seorangpun selalu menolak orang yang meminta ataupun ia tidak pernah memberikan sesuatu kepada orang lain, serta janganlah menjadi seseorang yang kikir. Kalimat berikutnya "*dan*

jangan (pula) engkau terlalu mengulurkannya" yang memiliki makna hendaknya seseorang tidak berlebihan membelanjakan hartanya dengan cara membeli sesuatu yang diluar kemampuannya dan kemudian memberi kepada oranglain. Disisi lain, ia juga tidak diperkenankan untuk mengeluarkan biaya yang lebih dari apa yang didapatkan(pemasukan). Hal ini dikarenakan, semua yang berlebihan merupakan sifat yang tercela dan dapat menumbuhkan penyesalan. Maka, bersedekahlah atau memberilah sesuai dengan hati dengan pemberian atau penolakan yang berkecukupan, serta membelanjakan harta sesuai yang dibutuhkan bukan yang diinginkan.

Al-qur'an memberikan larangan bersifat hedonisme tidak hanya satu kali pada surat Al-Isra' ayat 29, namun terdapat juga di surat Al-Furqan ayat 67. Berikut merupakan arti dari surat Al-Furqan ayat 67 (Kementrian Agama RI, 2022):

"Dan orang-orang yang apabila membelanjakan (harta), mereka tidak berlebihan dan tidak (pula) kikir. (Infak mereka) adalah pertengahan antara keduanya".

Berdasarkan tafsir Ibnu Katsir, kalimat pertama yakni "*Dan orang-orang yang apabila membelanjakan (harta), mereka tidak berlebihan dan tidak (pula) kikir"* memiliki makna yaitu seseorang tidak menghabiskan hartanya hanya untuk berinfak lebih dari apa yang diperlukan (Ishaq Al-Sheikh, 2001). Kalimat ini juga menjelaskan agar sebagai manusia seharusnya tidak kikir terhadap keluarganya yang rela berbagi hak keluarga (hak keluarga yang berkurang) sehingga kebutuhan keluarga tidak tercukupi. Kemudian, dilanjutkan pada kalimat berikutnya yang berbunyi *"(Infak mereka) adalah pertengahan antara keduanya"* yang memiliki makna yaitu pertengahan merupakan tidak berlebih lebihan dan tidak pula kikir merupakan sebaik-baiknya hal yang dilakukan dalam menyelesaikan sebuah perkara.

Pada hadis, juga terdapat himbauan agar tidak melaksanakan sifat boros. Hadist ini terdapat pada beberapa kitab yang salah satunya adalah kitab Musnad Imam bin Ahmad bin Hanbal dalam Hanifah (2022). Adapun arti dari hadis tersebut sebagai berikut:

"Telah menceritakan kepada kami Yazid bin Harun telah mengabarkan kepada kami Hammam dari Qotadah dari 'Amru bin Syu'aib dari bapaknya dari kakeknya, dia berkata; bahwa Rasullullah Shallallahu 'alaihi wa Salam bersabda: "Makanlah, minumlah, bersedekahlah, dan berpakaianlah kalian dengan tidak merasa bangga dan sombong serta berlebih-lebihan." Kesempatan lain Yazid berkata: dengan tidak isrof(berlebihan), dan tidak sombong.".

Hadist tersebut merupakan hadist yang shahih berdasarkan penilaian para ulama (Hanifah, 2022). Salah satu makna yang terkandung dalam hadist tersebut adalah hidup dengan secukupnya, hidup tanpa berlebihan maka tidak akan menimbulkan sifat sombong ataupun bangga.

2.6 Kajian Topik dengan Teori Pendukung

Penerapan AKS terhadap beberapa teori pendukung adalah untuk mencari rute terpendek distribusi LPG tertentu. Berdasarkan hal tersebut, maka diharapkan rute terpendek ini dapat membantu para penyalur LPG tertentu. Hal ini dapat berakibat turunnya biaya transportasi dan lebih efisiensi waktu dalam melakukan distribusi LPG tertentu.

Penerapan AKS dengan teori pendukung akan dilakukan dalam beberapa langkah. Langkah pertama adalah deskripsi data. Berdasarkan data yang diperoleh dari website Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, terdapat 51 titik lokasi penyalur LPG Tertentu di Malang Raya. Titik titik inilah yang kemudian dinotasikan untuk mempermudah penulisan, misalnya titik penyalur a dideskripsikan dengan vertex 1 dinotasikan dengan V_1,

titik penyalur b dideskripsikan dengan vertex 2 dinotasikan dengan V_2, dan seterusnya hingga titik penyalur ke n. Pada deskripsi data juga diterakan peta wilayah dan titik lokasi. Hal ini bertujuan untuk memberikan gambaran kepada para pembaca. Selain itu, akan diberikan tabel berisi jarak antar titik sebagai modal penelitian di tahap berikutnya. Pada deskripsi data akan dilakukan pemetaan terhadap wilayah wilayah distribusi LPG tertentu. Langkah berikutnya adalah mencari rute terpendek dengan AKS. Pencarian rute terpendek dimulai dari membuat matriks ketetanggan dengan mengekstrak data tabel jarak antar titik. Jika terdapat matriks yang tidak bertetangga atau tidak memiliki jalur langsung maka dilakukan aturan penjumlahan. Dalam menentukan rute semut dimulai dari menginisialisasi parameter. Parameter yang digunakan merujuk pada jurnal karya Musdalipa dan Agusman Sahari pada tahun 2021 tentang pencarian rute terpendek menggunakan AKS terhadap distribusi barang JNE. Parameter yang digunakan antara lain $\alpha = 1$, $\beta = 2 - 5$, dan $\rho = 0.5$. Kemudian, dilanjutkan dengan pencarian rute dengan algoritma *greedy*, menghitung feromon, mencari visibilitas antar titik hingga memperbarui feromon. Terakhir, akan ditemukan rute terpendek yang optimal.

AKS merupakan salah satu dari banyak metode atau algoritma yang dapat dilakukan dalam pencarian rute terpendek. AKS juga memiliki keunggulan di mana algoritma tersebut dapat dilakukan dan lebih efisien jika diterapkan pada banyak titik. Harapannya, algoritma ini dapat memberikan solusi kepada para penyalur LPG tertentu. Dengan adanya penelitian ini, penyalur dapat mengetahui apakah pengeluaran biaya transportasi akan berkurang atau tidak setelah menerapkan AKS dalam penelitian ini.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan menggunakan metode kuantitatif. Penelitian ini juga menggunakan pendekatan studi lapangan melalui *Google Earth*. Pendekatan studi lapangan dilakukan dengan mencari sumber informasi data berdasrkan objek yang diteliti. Kemudian, dilakukan pengolahan data dan didapatkan sebuah kesimpulan secara kuantitatif.

3.2 Data dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data lokasi penyalur LPG Tertentu yang diperoleh *website* Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. Data agen atau penyalur kemudian diolah dan diverifikasi keberadaannya menggunakan internet dengan menyamakan dan memperbarui alamat yang ada dengan keadaan sebenarnya.

Berdasarkan data yang didapatkan, terdapat setidaknya 76 data penyalur diantaranya 68 PSO atau 8 NPSO. Sebanyak 68 penyalur PSO tersebar di beberapa titik kota malang, kabupaten malang, dan kota batu jumlah penyalur yang dapat menyalurkan LPG Tertentu pada wilayahnya secara berturut turut adalah 20, 42, dan 6. Berdasarkan data tersebut, terdapat sekurang kurangnya 17 data tidak terverifikasi. Oleh karenanya, terdapat setidaknya data 51 data penyalur atau agen yang diolah berdasarkan algoritma yang digunakan. Kemudian, data titik lokasi dan antar titik lokasi diperoleh melalui Google Earth.

3.3 Tahapan Penelitian

Secara ringkas tahapan pada penelitian ini dimulai dengan mencari sampel titik lokasi pengiriman kemudian menghasilkan matriks ketetanggaan dan graf. Tahap berikutnya adalah menentukan jarak antar lokasi. Kemudian, menghitung rute dengan bantuan AKS untuk menentukan rute terpendek.

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan pada poin-poin berikut.

1. Menentukan titik SPPBE yang akan digunakan untuk titik awal dan menentukan titik titik agen sebagai titik titik pendistribusian LPG Tertentu 3kg.
2. Mengidentifikasi nilai dari jarak antar titik
3. Inisialisasi Parameter (α, β, ρ)
4. Membuat matriks ketetanggaan.
5. Mencari rute mula mula dengan algoritma greedy. Hal ini digunakan untuk membantu mengoptimalkan rute pada Algoritma Koloni Semut.
6. Menghitung feromon dengan cara mencari jumlah titik dengan hasil total panjang rute sementara menggunakan algoritma *greedy.* Rumus dalam menghitung pheromon awal $\tau_{ij} = \tau_0 = \frac{k}{C_{greedy}}$.
7. Menghitung visibilitas antar titik $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$. Menghitung visibilitas atau jarak pandang antar titik yaitu untuk mengetahui jarak terjauh yang paling memungkinkan.
8. Menghitung probabilitas untuk setiap siklus atau semut. Pada tahap ini, probabilitas terhadap semut k ditujukan agar semut berpindah dari simpul i ke simpul j.

9. Menemukan rute terpendek namun masih perlu melakukan pembaharuan feromon.
10. Melakukan pembaruan *feromon* $\tau_{ij}(baru) = (1-\rho)\tau_{ij} + \Delta_{ijk}$, dengan $\Delta_{ijk} = \frac{1}{L_k}$. Pembaruan *feromon* ini disebut juga dengan pembaruan feromon *local.*
11. Menemukan rute terpendek optimal menggunakan pembaruan feromon yang kemudian disebut dengan pembaruan feromon *global.*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Algoritma Koloni Semut

4.1.1 Algoritma Koloni Semut dalam Menentukan Rute Terpendek

AKS adalah *bioinspired metaheuristic* di mana algoritma ini berusaha menyamai karakteristik sekelompok serangga, koloni semut. Cara bekerja AKS adalah sebagai berikut.

1. Semut disebarkan dan berkeliling secara acak,
2. Para semut menemukan jalur yang berbeda beda untuk menemukan makanan,
3. Semut kembali pada koloni semut seketika telah selesai menemukan makanan, dilakukan sembari memberikan tanda dengan jejak feromon,
4. Feromon di jalur yang lebih pendek akan menghasilkan aroma yang lebih kuat dibandingkan dengan yang berada di jalur lebih panjang, dan
5. Semut berikutnya akan mengikuti jalur dengan feromon yang lebih kuat.

Pada penerapannya terdapat setidaknya enam langkah dalam menyelesaikan AKS. Proses ini membutuhkan beberapa variabel, berikut merupakan langkah langkah dalam menyelesaikan AKS.

Langkah 1

1. Inisialisasi parameter. Parameter yang diinisialisaikan adalah:
   a. Banyaknya titik (n) termasuk jarak antar titik (d_{ij})
   b. Intensitas jejak semut antar titik (τ_{ij}). Pada kasus ini, penelitian ini menggunakan Algoritma Greedy dengan cara kerja yakni memilih sembarang titik yang akan ditetapkan sebagai titik awal kemudian

memilih tujuan berikutnya berdasarkan jarak terpendek. Sehingga, pada Algoritma ini tidak mempertimbangkan resiko yang akan datang, hanya mempertimbangkan situasi saat itu.

c. Penentuan titik awal dan titik-titik tujuan

d. Tetapan siklus semut (Q)

e. Tetapan pengendalian intensitas jejak semut (α)

f. Tetapan pengendalian visibilitas (β)

g. Visibilitas antar kota $= \frac{1}{d_{ij}} (\eta_{ij})$

h. Jumlah semut (k)

i. Jumlah siklus maksimum (NC_{max}). Pada kasus ini, siklus pertama $(NC = 1)$ akan menggunakan nilai $\tau_{ij} = \tau_0 = C_{greedy}$. Pada siklus siklus berikutnya τ_{ij} akan diperbarui sampai dengan $(NC = NC_{max})$

2. Inisialisasi titik pertama setiap semut.

Pada penelitiaan ini akan ditetapkan titik keberangkatan dan titik tujuan pertama untuk membuat rata semua kemungkinan pada rute semut.

Langkah 2

1. Titik keberangkatan

Titik keberangkatan harus diinput pada elemen pertama $tabu\ list$. Titik keberangkatan saat ini dapat ditulis menjadi V_0. Pada titik tujuan pertama, tidak ada aturan penginputan pada tabu list. Oleh karenanya, akan terisi elemen pertama tabu list setiap semut dengan indeks titik keberangkatan.

2. Titik tujuan pertama

Titik tujuan pertama yang dikunjungi semut bergantung pada urutan semut. Semut pertama akan menjadikan titik pertama (V_1) sebagai titik tujuan

pertama. Semut kedua akan menjadikan titik kedua (V_2) sebagai titik tujuan kedua. Semut ketiga akan menjadikan titik ketiga (V_3) sebagai titik tujuan ketiga begitu pula seterusnya. Sehingga jumlah semut bergantung pada jumlah titik tujuan.

Langkah 3

1. Titik tujuan kedua akan dilanjutkan oleh koloni semut dengan memilih salah satu tujuan dari titik titik yang tidak terdapat pada $tabu_k$. Perjalanan akan dilanjutkan hingga menemukan titik tujuan terakhir. Jika s menyatakan ururan kunjungan, titik keberangkatan dinyatakan sebagai $tabu_k(s)$ dan titik berikutnya ditulis dalam bentuk $\{N - tabu_k\}$. Sehingga untuk menentukan titik tujuan akan digunakan persamaan probabilitas sebagai berikut.

$$P_{ij}^{k} = \begin{cases} \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha} \cdot [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} \cdot [\eta_{ij}]^{\beta}} & \text{, untuk j } \epsilon \{\text{N} - \text{tabu}_{\text{k}}\} \\ 0 & \text{, untuk j lainnya} \end{cases}$$

dengan i sebagai indeks titik asal dan j sebagai indeks kota tujuan.

2. Perhitungan panjang jalur tiap semut dihitung berdasarkan $tabu_k$ dengan persamaan sebagai berikut

$$Prob = d_{tabu_k(n),tabu_k(1)} + \sum_{s=1}^{n-1} d_{tabu_k(s),tabu_k(s+1)}$$

3. Penetapan titik berikutnya adalah berdasarkan bilangin random. Bilangan random akan menunjukkan suatu bilangin random pada rentang 0 sampai 1. Titik tujuan berikutnya yang dipilih berdasarkan selisih nilai probabilitas titik dengan random bernilai positif positif.

Langkah 4

Perhitungan kembali intensitas feromon diperlukan karena terdapat penguapan feromon. Hal ini menyebabkan kemungkinan terjadinya perubahan nilai intensitas feromon. Persamaan perubahan nilai feromon adalah

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^{m} \Delta\tau_{ij}^{k},$$

dengan $\Delta\tau_{ij}^{k}$ adalah perubahan nilai intensitas feromon semut setiap iterasinya dengan persamaan sebagai berikut

$$\Delta\tau_{ij}^{k} = \frac{Q}{L_k},$$

untuk $i, j \in$ titik asal dan titik tujuan pada $tabu_k$.

Langkah 5

Perhitungan nilai intensitas feromon untuk siklus kedua, ketiga, dan seterusnya. Nilai intensitas feromon untuk siklus selanjutnya dihitung dengan persamaan:

$$\tau_{ij} = \rho \,.\, \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}$$

Langkah 6

Pada tahap ini dilakukan pengosongan tabu list dan mengulangi langkah kedua jika diperlukan. Tabu list perlu dikosongkan kemudian diisi lagi dengan urutan kota yang batu pada siklus berikutnya. Jika jumlah siklus dirasa kurang maksimum, maka algoritma diulangi dari langkah kedua dengan parameter intensitas feromon yang telah diperbarui.

4.1.2 Optimasi dalam Pandangan Islam

Optimasi merupakan salah satu permasalahan matematika yang juga terjadi pada lingkungan sekitar. Pengertian optimasi di kalangan umum yakni sebuah proses untuk mencari hasil yang ideal atau mencari nilai efektif yang dapat dicapai. Optimasi dapat diartikan sebagai bentuk mengoptimalkan suatu hal baik yang sudah ada maupun merancang dan membuat sesuatu secara optimal (Agustina dkk., 2018). Sebenarnya, optimasi bukanlah suatu hal yang dipaparkan dalam Islam. Namun, ketika mengulik lebih lanjut ada kajian keislaman yang membahas tentang sistem optimal meskipun bukan dalam lingkup matematika.

Islam menganjurkan setiap muslim untuk optimal dalam segala hal baik. Imam Besar Muhammad Bin Idris Al Syafi'i atau lebih dikenal sebagai Imam Syafi'i pernah memberikan pesan pada bait syairnya terkait optimal. Beliau berkata "Saya tidak memandang kekurangan manusia sebagai aib. Aib itu adalah orang yang mampu berbuat optimal, tetapi dia tidak melakukannya". Optimal penerjemahan ini dapat diterapkan di berbagai bidang contohnya optimal dalam berhemat, bekerja, mengatur waktu, mengatur keuangan, dan lain sebagainya (Manaf, 2015).

Pada penelitian ini, optimasi digunakan dalam mencari rute terpendek dengan menggunakan algoritma semut. Hal ini dapat berakibat pada efisiensi waktu bekerja dengan cara mempersingkat bahkan memangkas jalur pendistribusian LPG 3kg. Hal ini berakibat pada menurunnya dana yang dikeluarkan oleh perusahaan dikarenakan rute yang digunakan adalah rute hasil pengoptimalan suatu algoritma.

Optimal dalam berhemat telah banyak dibahas di Al-Qur'an. Hemat sendiri merupakan salah satu amalan saleh. Seseorang yang menerapkan sikap hemat

dalam hidupnya akan berdampak pada dirinya di masa mendatang. Adapun Allah swt telah memerintahkan hamba hambanya untuk hidup hemat. Hal ini secara tegas tertulis di Al-Qur'an QS. Al-Isra' ayat 27 yang artinya:

"*Sesungguhnya pemboros-pemboros itu adalah saudara-saudara syaitan, dan syaitan itu adalah sangat ingkar kepada Tuhannya*" (Kementrian Agama RI, 2022).

Pada buku dengan judul Tafsir Ibnu Katsir jilid 5 yang disusun oleh DR. Abdulillah bin Muhammad bin Abdurrahman bin Ishaq Al-Sheikh (2001), pada kalimat pertama ayat tersebut Ibnu Mas'ud menyatakan bahwa ayat tersebut sebenarnya membahas terkait *tabdzir*. *Tabdzir* berarti infak yang tidak pada tempatnya. Hal ini selaras dengan pendapat Mujahid, yang mengatakan bahwa "Seandainya seseorang menginfakkan hartanya secara keseluruhan menurut haknya, makai a tidak dikategorikan sebagai pemboros. Dan jika ia menginfakkan satu *mud* (satu genggam) tetapi tidak sesuai dengan haknya, maka ia termasuk pemboros". Kalimat pertama QS. Al-Isra' ayat 27 "*Sesungguhnya pemboros-pemboros itu adalah saudara-saudara syaitan*" maksudnya adalah saudara dalam keborosan, kebodohan, pengabaian terhadap ketaatan, dan kemaksiatan kepada Allah swt. Maka dari itu, Allah kembali berfirman "*syaitan itu adalah sangat ingkar kepada Tuhannya*" dengan maksud memberikan manusia peringatan karena syaitan telah mengingkari nikmat Allah yang diberikan kepada mereka dan sama sekali tidak taat bahkan durhaka kepada-Nya.

Ayat di atas menjelaskan kepada manusia untuk tidak berlebihan dalam hal apapun. Sesuatu yang baik dan menjadikannya amal seperti infaq pun dilarang berlebihan. Apalagi sesuatu yang lain, yang hanya mengandung unsur baik misalnya dalam membeli pakaian sebagai penutup aurat atau bahkan mengandung

unsur kurang baik seperti bersenang senang tanpa memiliki batasan. Sebagai muslim yang baik dan taat, setiap muslim diminta untuk optimal dalam berhemat. Dengan demikian, terbentuklah insan yang memiliki nilai kehidupan dan ketakwaan yang lebih.

4.2 Implementasi Algoritma Koloni Semut dalam Mencari Rute Terpendek

4.2.1 Deskripsi dan Olah Data

Data lokasi SPPBE maupun agen LPG diperoleh dari *website* Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. Berdasarkan sumber data tersebut, terdapat empat lokasi SPPBE dan 51 agen yang telah diverifikasi di Malang Raya yang dapat dilihat pada Lampiran 1 dan Lampiran 2. Berdasarkan aturan distribusi LPG tertutup, maka diperlukan klasifikasi berdasarkan jarak antara SPPBE dan agen yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Klasifikasi Data Berdasarkan Jarak

Nama SPPBE	Simbol	Agen	Simbol
SPPBE PT Trien Gasmiku	V_A	PT Galaxi Energy Pratama	V_1
		PT Nuansa Indah Sukses	V_2
		PT Sari Bumi Muli	V_3
		PT Tirtamas Elpiji	V_4
		PT Wallcon Indonesia Perkasa	V_5
		PT Abadi Putra Jaya	V_6
		PT Sutopo Putra	V_7
SPPBE PT Geha Inti Citra	V_B	PT Herdiyanto Soedirman Group	V_8
		PT Cakra Satriya Gas	V_9
		PT Seulawah Inong	V_{10}
		PT Setia Timoer	V_{11}
		PT Patra Permata Manunggal	V_{12}
		PT Gempar Nusantara	V_{13}
		PT Kertanegara Sumber Sejahtera	V_{14}
		PT Geha Inti Citra	V_{15}

Nama SPPBE	Simbol	Agen	Simbol
		PT Marhamah Migas Utama	V_{16}
		PT Sumber Makmur Jaya Lestari	V_{17}
		PT Garuda Patra Anvika Jaya	V_{18}
		PT Mulya Sri Rejeki	V_{19}
		PT Gaskita Prima Pratama	V_{20}
		PT Lancar Putra Jaya	V_{21}
		PT Bunga Mekar Mandiri Perkasa	V_{22}
		PT Cakra Niaga Abadi	V_{23}
		PT Tirta Delima Abadi	V_{24}
		PT Lancar Pertiwi Jaya	V_{25}
SPPBE PT Solusindo Innovative	V_C	PT Dwi Tunggal Jaya Migas	V_{26}
		PT Budikarsa Adiwijaya Migas	V_{27}
		Puskop Kartika Bhirawa Anorga	V_{28}
		PT Rahadian Bhumi Gasindo	V_{29}
		PT Ilham Berkah Jaya	V_{30}
		PT Sumber Jaya Elpiji	V_{31}
		PT Bantar Jaya	V_{32}
		PT Aman Damai Sejahtera	V_{33}
		PT Tri Jaya Abadi Sentausa	V_{34}
		PT Cahaya Berkah Jaya	V_{35}
		PT Trijaya Abadi Group	V_{36}
		PT Gunawan Migas	V_{37}
		PT Kaya Energi Bumi	V_{38}
		PT Gas Setia Bhakti Mandiri	V_{39}
		PT Serumpun Jaya Karya	V_{40}
		PT Rukun Rangkulan Jaya	V_{41}
		PT Malang Kibar Harapan	V_{42}
		PT Kanugrahan Enggal Pangestu	V_{43}
		PT Tangguh Citra Pratama	V_{44}
SPPBE PT Agam Seulawah Jaya	V_D	PT Alim Raya	V_{45}
		PT Wargo Warisono Waris Wargosuko	V_{46}
		PT Catalog Indah Warna	V_{47}
		PT Bumi Energi Surya Abadi	V_{48}
		PT Khalisa Salma Sejahtera	V_{49}
		PT Agisindo Alam Mandiri	V_{50}

Nama SPPBE	Simbol	Agen	Simbol
		PT Alhamdulillah Berkah Barokah	V_{51}

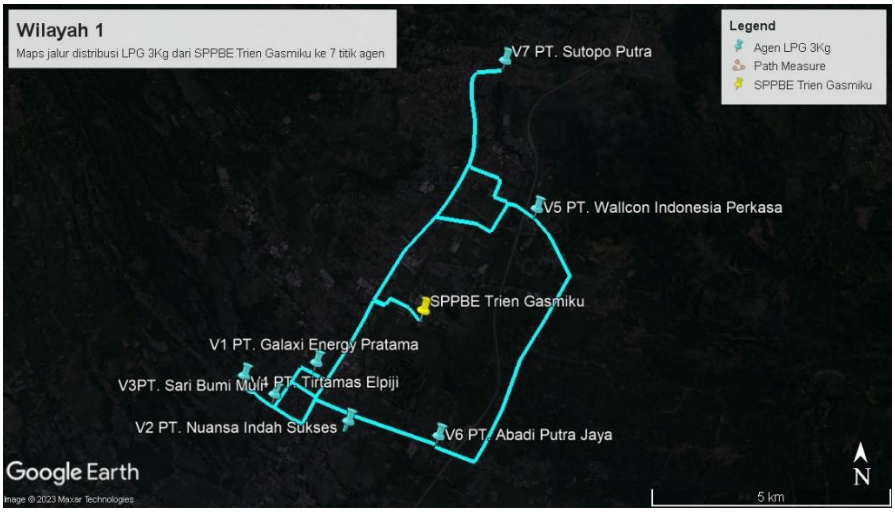
4.2.2 Inisialisasi Nilai Parameter

Penelitian ini menetapkan harga parameter dengan menggunakan berbagai pertimbangan. Parameter yang perlu diinisialisasi adalah $\alpha, \beta,$ dan ρ. Parameter α dibentuk berdasarkan studi literatur yang mengatakan bahwa α memiliki rentang 0 sampai dengan 1. Parameter beta yakni $\beta = 2$, dianggap lebih efektif dan hasilnya lebih konvergen ke suatu nilai. Pada ρ akan dipilih $\rho = 1$, memilih ρ pada rentang 0 sampai 1. Namun apabila $\rho = 0$ maka nilai dari feromon tidak berubah, ketika $\rho = 1$ maka feromon bernilai 0 atau habis (menguap). Maka dari itu feromon dipilih pada pertengan 0 sampai 1 yakni $\rho = 0{,}5$. Oleh karena itu, didapatkan $\alpha = 1,\ \beta = 2, \rho = 0{,}5$.

4.2.3 Perhitungan Lintasan Terpendek

4.2.3.1 Perhitungan Rute Terpendek Wilayah 1

Berikut merupakan peta jalur distribusi LPG 3 kg dari SPPBE Trien Gasmiku ke tujuh titik agen LPG lainnya dengan skala 1:5.000.



Gambar 4.1 Maps Ketersediaan Jalur Wilayah 1

Dari Gambar 4.1 akan diambil data ketersediaan jalur antar lokasi beserta jaraknya. Pada perhitungan manual ini, titik-titik yang tidak bertetangga akan diberikan harga dengan menjumlahkan jarak seluruh jalan. Hal ini untuk mencegah rute agar tidak melewati titik titik yang tidak bertetangga. Jika terdapat titik yang tidak bertetangga namun dilewati maka pendistribusian tersebut sama halnya dengan melewati seluruh rute yang ada sehingga menghasilkan rute yang lebih panjang. Selain itu, ketika terdapat titik-titik yang tidak bertetangga maka jaraknya akan jauh lebih panjang daripada titik-titik bertetangga sehingga probability akan semakin kecil dan nilai kumulatifnya akan sangat kecil. Maka dari itu, sedikit kemungkinan jika titik-titik tidak bertetangga terpilih menjadi rute terpendek

Tabel 4.2 merupakan data jarak antar titik pendistribusian LPG 3kg dari SPPBE PT Trien Gasmiku ke tujuh lokasi agen.

Tabel 4.2 Data Jarak Antar Titik Pendistribusian LPG dari SPPBE PT Trien Gasmiku

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	3,47	4,71	4,98	28,75	5,81	28,75	7,2
V_1	3,47	0	1,91	1,95	28,75	7,01	28,75	8,34
V_2	4,71	1,91	0	2,46	28,75	8,18	2,27	9,53
V_3	4,98	1,95	2,46	0	0,77	8,3	28,75	9,62
V_4	28,75	28,75	28,75	0,77	0	28,75	28,75	28,75
V_5	5,81	7,01	8,18	8,3	28,75	0	6,06	4,51
V_6	28,75	28,75	2,27	28,75	28,75	6,06	0	28,75
V_7	7,2	8,34	9,53	9,62	28,75	4,51	28,75	0

Berdasarkan Tabel 4.2, maka akan didapatkan matriks ketetanggaan sebagai berikut.

0	3,47	4,71	4,98	28,75	5,81	28,75	7,2
3,47	0	1,91	1,95	28,75	7,01	28,75	8,34
4,71	1,91	0	2,46	28,75	8,18	2,27	9,53
4,98	1,95	2,46	0	0,77	8,3	28,75	9,62
28,75	28,75	28,75	0,77	0	28,75	28,75	28,75
5,81	7,01	8,18	8,3	28,75	0	6,06	4,51
28,75	28,75	2,27	28,75	28,75	6,06	0	28,75
7,2	8,34	9,53	9,62	28,75	4,51	28,75	0

Kemudian, menghitung feromon awal yang diperoleh berdasarkan algoritma greedy dengan menggunakan rumus $\tau_{ij} = \tau_0 = \frac{k}{c_{greedy}}$. Berikut merupakan perhitungan algoritma greedy.

1. Memilih titik awal yakni V_A.
2. V_A merupakan titik pertama, yang menjadi titik berikutnya adalah yang memiliki jarak terpendek dengan V_A. Titik titik tersebut yakni $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$ dan V_7 yang secara berturut turut memiliki jarak 3,47; 4,71; 4,98; 28,75; 5,81; 28,75; dan 7,2 dalam satuan km. Maka dari itu, dipilih titik V_1 sebagai rute berikutnya karena memiliki jarak yang pendek di antara yang lain yaitu 3,47 km. Oleh karenanya, rute menjadi $V_A \rightarrow V_1$.
3. V_1 memiliki jalur yang utuh yakni 1,91; 1,95; 28,75; 7,01; 28,75; dan 8,34 berturut turut merupakan jarak dari V_1 ke V_2, V_3, V_4, V_5, V_6 dan V_7. Berdasarkan jarak tersebut, maka akan diambil jarak terpendek yakni V_2 dengan jarak 1,91 km. Oleh karena itu rute sementara adalah $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2$.
4. Dengan cara yang sama, maka akan dicari titik jarak terdekat dengan V_2. Ingat bahwa V_2 hanya memiliki pilihan tujuan V_3, V_4, V_5, V_6 dan V_7. Hal ini dikarenakan V_A dan V_1 sudah dilewati sebelumnya. Jarak V_2 ke V_3, V_4, V_5, V_6 dan V_7 secara berturut turut adalah 2,46; 28,75; 8,18; 2,27; dan 9,53. Dikarenakan $V_2 \rightarrow V_6$ memiliki nilai terkecil yaitu 2,27 km, maka rute menjadi $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6$.
5. Rute berikutnya dimulai dari titik V_6. Titik yang tersedia yaitu V_3, V_4, V_5, dan V_7 dengan jarak dari V_6 beturut-turut 28,75; 28,75; 6,06; dan 28,5. Berdasarkan jarak tersebut, maka titik yang dikunjungi berikutnya adalah

V_7 dengan jarak antar titik yakni 6,06 km. Oleh karenanya, rute yang telah diperbarui menjadi $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_5$.

6. Dengan cara yang sama, diperoleh data titik berikutnya yakni V_3, V_4, dan V_7 dengan jarak dari V_5 ke titik titik tersebut secara berurut turut adalah 8,3; 28,5; dan 4,51. Maka dipilihlah titik dengan jarak terkecil yakni 4,51 km di titik V_7. Rute menjadi $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7$.
7. Berikutnya dari V_7 tersisa dua titik yakni V_3 dengan jarak 9,62 km dan V_4 dengan jarak 28,75 km. Berdasarkan hal tersebut, maka dipilih V_3 sebagai tujuan berikutnya, sehingga rute menjadi $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7 \rightarrow V_3$.
8. Terdapat ada satu titik yang belum dikungi yakni V_4, sehingga V_4 menjadi titik terakhir yang dikunjungi. Jarak antara V_3 ke V_4 yakni 0,77 km. Maka berakhirlah rute algoritma greedy dengan skema $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4$.

Berdasarkan rangkaian pencarian rute algoritma *greedy* diperoleh rute terpendek yakni $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4$. Dengan demikian jarak V_A ke V_4 dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} d_{A.7} &= d_{A.1} + d_{1.2} + d_{2.6} + d_{6.5} + d_{5.7} + d_{7.3} + d_{3.4} \\ &= 3{,}47 + 1{,}91 + 2{,}27 + 6{,}06 + 4{,}51 + 9{,}62 + 0{,}77 \\ &= 28{,}61\ km \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan dibutuhkan untuk menentukan harga feromon awal dengan rumus $\tau_{ij} = \tau_0 = \frac{k}{C_{greedy}}$. Berdasarkan hal tersebut, maka $\tau_{ij} = \tau_0 = \frac{8}{28{,}61} = 0{,}2796$.

Langkah berikutnya adalah menghitung visibilitas antar titik. Hasil dari perhitungan tersebut terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Tabel Visibilitas

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0,2882	0,2123	0,2008	0,0348	0,1721	0,0348	0,1389
V_1	0,2881	0	0,5236	0,5128	0,0348	0,1427	0,0348	0,1199
V_2	0,2123	0,5236	0	0,4065	0,0348	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0,2008	0,5128	0,4065	0	1,2987	0,1205	0,0348	0,1040
V_4	0,0348	0,0348	0,0348	1,2987	0	0,0348	0,0348	0,0348
V_5	0,1721	0,1427	0,1222	0,1205	0,0348	0	0,1650	0,2217
V_6	0,0348	0,0348	0,4405	0,0348	0,0348	0,1650	0	0,0348
V_7	0,1389	0,1199	0,1049	0,1040	0,0348	0,2217	0,0348	0

Vasibilitas antar titik dihitung dengan cara melibatkan jarak antar titik. Berikut merupakan contoh perhitungan vasibilitas antara V_A ke V_1 yang dilambangkan dengan η_{A1} dan V_A ke V_2 yang dilambangkan dengan η_{A2}.

$$\eta_{A1} = \frac{1}{d_{A.1}} = \frac{1}{3.47} = 0{,}2881$$

$$\eta_{A2} = \frac{1}{d_{A.2}} = \frac{1}{4.71} = 0{,}2123$$

Perhitungan tersebut diimplementasikan ke dalam tabel visibilitas antar titik pada Tabel 4.3.

Langkah berikutnya yakni menghitung probabilitas. Menghitung probabilitas yang berfungsi untuk menentukan rute setiap semut ke tiap tiap lokasi tujuan, tentunya dengan berbagai asumsi. Asumsi pertama, semut tidak mengunjungi lokasi yang sama. Asumsi kedua yakni semut melakukan perjalanan secara acak sehingga membutuhkan bilangan *random* pada Microsoft Excel yang tidak berpihak pada suatu kelompok nilai tertentu. Berikut merupakan perhitungan probabilitas untuk siklus pertama ($NC = 1$).

Siklus ke-1 $(\boldsymbol{NC = 1})$

Semut ke-1 $(\boldsymbol{k_1})$

Perjalanan semut pertama dimulai dengan $V_A \rightarrow V_1$. Hal ini ditujukan untuk pemerataan kemungkinan rute, sehingga semut dipaksa untuk mengunjungi titik awal sesuai arahan. Maka dari itu, tabu list yang digunakan adalah V_1 yang disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Visibilitas Semut ke-1 Antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0,5128	0,0347	0,1426	0,0347	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0,4065	0,0347	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0,5128	0,4065	0	1,2987	0,1204	0,0347	0,1039
V_4	0	0,0347	0,0347	1,2987	0	0,0347	0,0347	0,0347
V_5	0	0,1426	0,1222	0,1204	0,0347	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0,4405	0,0347	0,0347	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0,1049	0,1039	0,0347	0,2217	0,0347	0

Rumus probabilitas pada algoritma semut.

$$P_{ij}^{k} = \begin{cases} \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} & ,untuk\ j\ \epsilon\ \{N-tabu_k\} \\ 0 & ,untuk\ j\ lainnya \end{cases}$$

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}5235)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}5128)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1426)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1199)^2)$$

$$= 0{,}1605$$

Titik V_A $\quad P_{ij}^{1} = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^{1} = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^{1} = \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \dfrac{(0{,}2796)^1(0{,}5235)^2}{0{,}1605} = 0{,}4773$

Titik V_3 $$P_{ij}^{1} = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}5128)^2}{0{,}1605} = 0{,}4579$$

Titik V_4 $$P_{ij}^{1} = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}1605} = 0{,}0021$$

Titik V_5 $$P_{ij}^{1} = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1426)^2}{0{,}1605} = 0{,}0354$$

Titik V_6 $$P_{ij}^{1} = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}1605} = 0{,}0021$$

Titik V_7 $$P_{ij}^{1} = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1199)^2}{0{,}1605} = 0{,}0250$$

Tabel 4.5 Probabilitas Semut ke-1 Antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_1	0	0	0,4773	0,4579	0,0021	0,0354	0,0021	0,0250
Prob.	0	0	0,4773	0,9353	0,9374	0,9728	0,9749	1

Tabel 4.6 Visibilitas Semut ke-1 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0,4065	0,0347	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0	0,4065	0	1,2987	0,1204	0,0347	0,1039
V_4	0	0	0,0347	1,2987	0	0,0347	0,0347	0,0347
V_5	0	0	0,1222	0,1204	0,0347	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0	0,4405	0,0347	0,0347	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0	0,1049	0,1039	0,0347	0,2217	0,0347	0

Bilangan random yang muncul pada excel adalah 0,813501. Hal tersebut mengartikan bahwa, titik berikutnya adalah V_4. Maka dari itu, rute semut pertama saat ini adalah $V_0 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3$. Sehingga tabu list V_3, ditujukan pada pembaruan visibilitas pada Tabel 4.6.

$$P_{ij}^{k} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}, untuk\ j \epsilon \{N-tabu_k\} \\ 0 \qquad\qquad\qquad\qquad\quad , untuk\ j\ lainnya \end{cases}$$

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}4065)^2 + (0{,}2796)^1(1{,}2987)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1204)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1039)^2)$$

$$= 0{,}5252$$

Titik V_A $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}4065)^2}{0{,}5252} = 0{,}0879$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(1{,}2987)^2}{0{,}5252} = 0{,}8979$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1204)^2}{0{,}5252} = 0{,}0077$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}5252} = 0{,}0006$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}10395)^2}{0{,}5252} = 0{,}0057$

Hasil perhitungan di atas dirangkum pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Probabilitas Semut ke-1 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_3	0	0	0,0879	0	0,8979	0,0077	0,0006	0,0057
Prob	0	0	0,0879	0,0879	0,9858	0,9936	0,9942	1

Memilih kembali bilangan *random* dan hasilnya terpilih bilangan 0,494417. Hal ini menunjukkan bahwa titik berikutnya adalah V_4, sehingga tabu list pada baris dan kolom V_3 menjadi 0 seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Visibilitas Semut ke-1 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0,0347	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0,0347	0	0	0,0347	0,0347	0,0347
V_5	0	0	0,1222	0	0,0347	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0	0,4405	0	0,0347	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0	0,1049	0	0,0347	0,2217	0,0347	0

$$\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha},[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0.2796)^1(0.0347)^2 + (0.2796)^1(0.0347)^2 + (0.2796)^1(0.0347)^2 + (0.2796)^1(0.0347)^2)$$

$$= 0{,}0013$$

Titik V_A $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0013} = 0.25$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0013} = 0.25$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0013} = 0.25$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0013} = 0.25$

Hasil perhitungan di atas dirangkum pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Probabilitas Semut ke-1 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	v_1	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_4	0	0	0.25	0	0	0.25	0.25	0.25
Probabilitas	0	0	0.25	0.25	0.25	0.5	0.75	1

Bilangan *random* menunjukkan angka 0,5404. Maka titik selanjutnya adalah V_6 dan pembaruan tabu list ditampilkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Visibilitas Semut ke-1 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0,1222	0	0	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0	0,4405	0	0	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0	0,1049	0	0	0,2217	0,0347	0

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha}, [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0.2796)^1(0.4405)^2 + (0.2796)^1(0.1650)^2 + (0.2796)^1(0.0347)^2)$$

$$= 0.0622$$

Titik V_A $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}440529)^2}{0.0622} = 0.8721$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1650)^2}{0.0622} = 0.1223$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0.0622} = 0.0054$

Hasil perhitungan di atas dirangkum pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Probabilitas Semut ke-1 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_6	0	0	0,8721	0	0	0,1223	0	0,0054
Prob	0	0	0,8721	0,8721	0,8721	0,9945	0,9945	1

Bilangan random menampilkan angka 0,7199. Nilai 0,7199 terdapat pada range V_2 yakni 0 sampai 0,8721. Maka titik selanjutnya yakni V_2, pembaruan tabu list disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Visibilitas Semut ke-1 Antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0,1222	0	0,1049
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0,1222	0	0	0	0	0,2217
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0	0,1049	0	0	0,2217	0	0

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha}, [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0.2796)^1(0{,}1222)^2 + (0.2796)^1(0{,}1049)^2)$$

$$= 0.0072$$

Titik V_A $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0.1222)^2}{0.0072} = 0.5757$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0.1049)^2}{0.0072} = 0.4242$

Hasil perhitungan di atas dirangkum pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Probabilitas Semut ke-1 Antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_2	0	0	0	0	0	0,5757	0	0,4242
Probabilitas	0	0	0	0	0	0,5757	0,5757	1

Kemudian bilangan random berikutnya yaitu 0,127324. Hal ini menunjukkan bahwa titik berikutnya adalah V_5. Hal ini mengakibatkan tabu list dari titik sebelumnya atau V_6 mengalami perubahan nilai vasibilitas antar titik dan ditampilkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Visibilitas Semut ke-1 Antara Titik V_5 ke Titik Lainnya

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0,2217
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0,2217	0	0

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha}, [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0.2796)^1 (0.2217)^2)$$

$$= 0.0137$$

Titik V_A $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^1 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0,2796)^1 (0,2217)^2}{0.0137} = 1$

Hasil perhitungan di atas dirangkum pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Probabilitas Semut ke-1 Antara Titik V_5ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_5	0	0	0	0	0	0	0	1
Probabilitas	0	0	0	0	0	0	0	1

Rute yang dihasilkan oleh $\mathrm{NC} = 1$ dengan $k = 1$ pada perhitungan manual adalah $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7$.

Semut ke-2 (k_2)

Perjalanan semut kedua dimulai dengan $V_A \rightarrow V_2$. Hal ini ditujukan untuk pemerataan kemungkinan rute, sehingga semut dipaksa untuk mengunjungi titik awal sesuai arahan. Maka dari itu, tabu list yang digunakan adalah V_2 yang disajikan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Visibilitas Semut ke-2 Antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0,5128	0,0347	0,1426	0,0347	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0,4065	0,0347	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0,5128	0,4065	0	1,2987	0,1204	0,0347	0,1039
V_4	0	0,0347	0,0347	1,2987	0	0,0347	0,0347	0,0347
V_5	0	0,1426	0,1222	0,1204	0,0347	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0,4405	0,0347	0,0347	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0,1049	0,1039	0,0347	0,2217	0,0347	0

$$P_{ij}^{k} = \begin{cases} \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} & .untuk\ j \in \{N-tabu_k\} \\ 0 & .untuk\ j\ lainnya \end{cases}$$

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0.2796)^1(0{,}5235)^2 + (0.2796)^1(0{,}4065)^2 + (0.2796)^1(0{,}0347)^2 + (0.2796)^1(0{,}1222)^2 + (0.2796)^1(0{,}4405)^2 + (0.2796)^1(0{,}1049)^2)$$

$$= 0.1847$$

Titik V_A $\qquad P_{ij}^{2} = 0$

Titik V_1 $$P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0.5235)^2}{0.1847} = 0.4149$$

Titik V_2 $$P_{ij}^2 = 0$$

Titik V_3 $$P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0.4065)^2}{0.1847} = 0.2501$$

Titik V_4 $$P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0.0347)^2}{0.1847} = 0.0018$$

Titik V_5 $$P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0.1222)^2}{0.1847} = 0.0226$$

Titik V_6 $$P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0.4405)^2}{0.1847} = 0.2937$$

Titik V_7 $$P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0.1049)^2}{0.1847} = 0.0166$$

Hasil pada perhitungan di atas ditampilkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Probabilitas Semut ke-2 Antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_2	0	0.4144	0	0.2501	0.0018	0.0226	0.2937	0.0166
Prob	0	0.4144	0.4144	0,6651	0,66693	0,68955	0,9833	1

Tabel 4.18 Visibilitas Semut ke-2 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0,5128	0,0347	0,1426	0,0347	0,1199
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0,5128	0	0	1,2987	0,1204	0,0347	0,1039
V_4	0	0,0347	0	1,2987	0	0,0347	0,0347	0,0347
V_5	0	0,1426	0	0,1204	0,0347	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0	0,0347	0,0347	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0	0,1039	0,0347	0,2217	0,0347	0

Tahapan yang sama dengan sebelumnya yakni memilih bilangan *random.* Hasilnya menunjukkan bilangan randomnya adalah 0,7652. Hal ini menunjukkan

bahwa titik selanjutnya adalah V_6 dengan *tabu list* yang ditampilkan pada Tabel 4.18.

$$\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1650)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0.0089$$

Titik V_A $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0.0089} = 0.0377$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0.0089} = 0.0377$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0.0089} = 0.0377$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0.1650)^2}{0.0089} = 0.8491$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0.0089} = 0.0377$

Hasil perhitungan di atas dirangkum pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Probabilitas Semut ke-2 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_6	0	0.0377	0	0.0377	0.0377	0.8491	0	0.0377
Prob	0	0.0377	0.0377	0.7545	0.1131	0.9622	0.9622	1

Bilangan *random* menunjukkan $0{,}6731$, maka titik berikutnya adalah V_5. Pembaruan tabu list ditampilkan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Visibilitas Semut ke-2 Antara Titik V_5 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0,5128	0,0347	0,1426	0	0,1199
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0,5128	0	0	1,2987	0,1204	0	0,1039
V_4	0	0,0347	0	1,2987	0	0,0347	0	0,0347
V_5	0	0,1426	0	0,1204	0,0347	0	0	0,2217
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0,1199	0	0,1039	0,0347	0,2217	0	0

$$\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha},[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0.2796)^1(0.1426)^2 + (0.2796)^1(0.1204)^2 + (0.2796)^1(0.0347)^2 + (0.2796)^1(0.2217)^2) = 0{,}0238$$

Titik V_A $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1426)^2}{0{,}0238} = 0{,}2387$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1204)^2}{0{,}0238} = 0{,}1702$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0238} = 0{,}0141$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}2217)^2}{0{,}0238} = 0{,}5767$

Hasil perhitungan di atas dirangkum pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Probabilitas Semut ke-2 Antara Titik V_5 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_5	0	0,2387	0	0,1702	0,0141	0	0	0,5767
Prob	0	0,2387	0,2387	0,4090	0,4232	0,4232	0,4232	1

Bilangan *random* pada Excel menunjukkan bilangan 0,32164. Maka dari itu, titik berikutnya yang dituju adalah V_3. Pembaruan tabu list ditampilkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Visibilitas Semut ke-2 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0,5128	0,0347	0	0	0,1199
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0,5128	0	0	1,2987	0	0	0,103
V_4	0	0,0347	0	1,2987	0	0	0	0,0347
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0,1199	0	0,1039	0,0347	0	0	0

$$\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0.2796)^1(0.5128)^2 + (0.2796)^1(1.2987)^2 + (0.2796)^1(0.1039)^2)$$

$$= 0{,}2731$$

Titik V_A $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}5128)^2}{0{,}2731} = 0{,}1341$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(1{,}2987)^2}{0{,}2731} = 0{,}8603$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1039)^2}{0{,}2731} = 0{,}0055$

Hasil perhitungan di atas dirangkum pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Probabilitas Semut ke-2 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_3	0	0.1341	0	0	0.8603	0	0	0.0055
Prob	0	0.1341	0.1341	0.1341	0.9944	0.9944	0.9944	1

Bilangan *random* pada Excel menunjukkan bilangan $0{,}2731$. Maka dari itu, titik berikutnya yang dituju adalah V_3. Pembaruan tabu list ditampilkan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Visibilitas Semut ke-2 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0,0347	0	0	0,1199
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0,0347	0	0	0	0	0	0,0347
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0,1199	0	0	0,0347	0	0	0

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}000677$$

Titik V_A $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}000677} = 0{,}5$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^2 =$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}000677} = 0{,}5$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Hasil perhitungan di atas dirangkum pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Probabilitas Semut ke-2 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_4	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Probabilitas	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1

Bilangan *random* pada Excel menunjukkan bilangan $0{,}503897$. Maka dari itu, titik berikutnya yang dituju adalah V_7. Pembaruan tabu list ditampilkan pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Visibilitas Semut ke-2 Antara Titik V_7 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0,1199
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0,1199	0	0	0	0	0	0

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1 (0{,}1199)^2)$$

$$= 0{,}0040$$

Titik V_A $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^2 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^2 = \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \dfrac{(0{,}2796)^1 (0{,}1199)^2}{0{,}0040} = 1$

Hasil perhitungan di atas dirangkum pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Probabilitas Semut ke-2 Antara Titik V_7ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_5	0	0	0	0	0	0	0	1
Prob	0	0	0	0	0	0	0	1

Pembaruan tabu list terakhir dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Visibilitas Terakhir Semut ke-2

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan Tabel 4.28, maka dapat dinyatakan bahwa semua titik telah dikunjungi. Rute yang dihasilkan oleh k_2 adalah $V_A \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_5 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_7 \rightarrow V_1$.

Semut ke-3 (k_3)

Perjalanan semut ketiga dimulai dengan $V_A \rightarrow V_3$. Hal ini ditujukan untuk pemerataan kemungkinan rute, sehingga semut dipaksa untuk mengunjungi titik awal sesuai arahan. Maka dari itu, tabu list yang digunakan adalah V_3 yang disajikan pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Visibilitas Semut ke-3 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0,5128	0,0347	0,1426	0,0347	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0,4065	0,0347	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0,5128	0,4065	0	1,2987	0,1204	0,0347	0,1039
V_4	0	0,0347	0,0347	1,2987	0	0,0347	0,0347	0,0347
V_5	0	0,1426	0,1222	0,1204	0,0347	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0,4405	0,0347	0,0347	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0,1049	0,1039	0,0347	0,2217	0,0347	0

Rumus probabilitas pada algoritma semut.

$$P_{ij}^{k} = \begin{cases} \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} & ,untuk\ j\ \epsilon\ \{N-tabu_k\} \\ 0 & ,untuk\ j\ lainnya \end{cases}$$

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}5128)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}4065)^2 + (0{,}2796)^1(1{,}2987)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1204)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1039)^2)$$

$$= 0{,}3027$$

Titik V_A $\quad P_{ij}^{3} = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^{3} = \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \dfrac{(0{,}2796)^1(0{,}5128)^2}{0{,}3027} = 0{,}1228$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^{3} = \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \dfrac{(0{,}2796)^1(0{,}4065)^2}{0{,}3027} = 0{,}0772$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^{3} = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^{3} = \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \dfrac{(0{,}2796)^1(1{,}2987)^2}{0{,}3027} = 0{,}7876$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^{3} = \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \dfrac{(0{,}2796)^1(0{,}1204)^2}{0{,}3027} = 0{,}0068$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^{3} = \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \dfrac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}3027} = 0{,}0006$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^{3} = \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \dfrac{(0{,}2796)^1(0{,}1039)^2}{0{,}3027} = 0{,}0050$

Tabel 4.30 Probabilitas Semut ke-3 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_3	0	0,1228	0,0772	0	0,7876	0,0068	0,0006	0,0050
Prob	0	0,1228	0,2000	0,2000	0,9876	0,9944	0,9950	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,5129. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_4 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_3 \rightarrow V_4$.

Tabel 4.31 Visibilitas Semut ke-3 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0	0,0347	0,1426	0,0347	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0	0,0347	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0,0347	0,0347	0	0	0,0347	0,0347	0,0347
V_5	0	0,1426	0,1222	0	0,0347	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0,4405	0	0,0347	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0,1049	0	0,0347	0,2217	0,0347	0

$$P_{ij}^{k} = \begin{cases} \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} & ,untuk\ j \epsilon \{N-tabu_k\} \\ 0 & ,untuk\ j\ lainnya \end{cases}$$

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}0008$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^{3} = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^{3} = \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \dfrac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0008} = 0{,}2$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^{3} = \dfrac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \dfrac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0008} = 0{,}2$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^{3} = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^{3} = 0$

Titik V_5 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0008} = 0{,}2$

Titik V_6 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0008} = 0{,}2$

Titik V_7 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0008} = 0{,}2$

Tabel 4.32 Probabilitas Semut ke-3 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_4	0	0,2	0,2	0	0	0,2	0,2	0,2
Prob	0	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	0,8	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,3390. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_2 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_2$.

Tabel 4.33 Visibilitas Semut ke-3 Antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0	0,0347	0,1426	0,0347	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0	0,0347	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0,0347	0,0347	0	0	0,0347	0,0347	0,0347
V_5	0	0,1426	0,1222	0	0,0347	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0,4405	0	0,0347	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0,1049	0	0,0347	0,2217	0,0347	0

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}5235)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1222)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}4405)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1049)^2)$$

$$= 0{,}0698$$

Titik V_A $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_1 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}5235)^2}{0{,}0698} = 0{,}5547$

Titik V_2 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_3 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_4 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_5 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1222)^2}{0{,}0698} = 0{,}0302$

Titik V_6 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}4405)^2}{0{,}0698} = 0{,}3927$

Titik V_7 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1049)^2}{0{,}0698} = 0{,}0223$

Tabel 4.34 Probabilitas Semut ke-3 Antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_2	0	0,5547	0	0	0	0,0302	0,3927	0,0223
Prob	0	0,5547	0,5547	0,5547	0,5547	0,5850	0,9777	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,9107. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_6 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6$.

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1650)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}0041$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_1 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0041} = 0{,}0408$

Titik V_2 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_3 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_4 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_5 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1650)^2}{0{,}0041} = 0{,}9184$

Titik V_6 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_7 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0041} = 0{,}0408$

Tabel 4.35 Probabilitas Semut ke-3 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_6	0	0,0408	0	0	0	0,9184	0	0,0408
Prob	0	0,0408	0,0408	0,0408	0,0408	0,9592	0,9592	1

Bilangan random antara 0 sampai 1menunjukkan hasil 0,9056. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_5 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_5$.

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}1426)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}2217)^2)$$

$$= 0{,}0098$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_1 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1426)^2}{0{,}0098} = 0{,}2927$

Titik V_2 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_3 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_4 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_5 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_6 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_7 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}2217)^2}{0{,}0098} = 0{,}7073$

Tabel 4.36 Probabilitas Semut ke-3 Antara Titik V_5 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_5	0	0,2927	0	0	0	0	0	0,7073
Prob	0	0,2927	0,2927	0,2927	0,2927	0,2927	0,2927	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,7320. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_7 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7$.

Tabel 4.37 Visibilitas Semut ke-3 Antara Titik V_7ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0,1199
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0,1199	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}1199)^2)$$

$$= 0{,}0020$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_1 $P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1199)^2}{0{,}0020} = 1$

Titik V_2 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_3 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_4 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_5 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_6 $P_{ij}^3 = 0$

Titik V_7 $P_{ij}^3 = 0$

Tabel 4.38 Probabilitas Semut ke-3 Antara Titik V_7 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_1	0	1	0	0	0	0	0	0
Prob	0	1	1	1	1	1	1	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,8933. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_1 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7 \rightarrow V_1$.

Tabel 4.39 Visibilitas Terakhir Semut ke-3

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0	0	0

Semut ke-4 (k_4)

Perjalanan semut keempat dimulai dengan $V_A \rightarrow V_4$. Hal ini ditujukan untuk pemerataan kemungkinan rute, sehingga semut dipaksa untuk mengunjungi titik awal sesuai arahan. Maka dari itu, tabu list yang digunakan adalah V_4 yang disajikan pada Tabel 4.40.

Tabel 4.40 Visibilitas Semut ke-4 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0,5128	0,0347	0,1426	0,0347	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0,4065	0,0347	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0,5128	0,4065	0	1,2987	0,1204	0,0347	0,1039
V_4	0	0,0347	0,0347	1,2987	0	0,0347	0,0347	0,0347
V_5	0	0,1426	0,1222	0,1204	0,0347	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0,4405	0,0347	0,0347	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0,1049	0,1039	0,0347	0,2217	0,0347	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(1{,}2987)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}2392$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}2392} = 0{,}0007$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}2392} = 0{,}0007$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(1{,}2987)^2}{0{,}2392} = 0{,}9964$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}2392} = 0{,}0007$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}2392} = 0{,}0007$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}2392} = 0{,}0007$

Tabel 4.41 Probabilitas Semut ke-4 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_4	0	0,0007	0,0007	0,9964	0	0,0007	0,0007	0,0007
Prob	0	0,0007	0,0014	0,9979	0,9979	0,9986	0,9993	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,7618. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_3 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_3$.

Tabel 4.42 Visibilitas Semut ke-4 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0,5128	0	0,1426	0,0347	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0,4065	0	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0,5128	0,4065	0	0	0,1204	0,0347	0,1039
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0,1426	0,1222	0,1204	0	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0,4405	0,0347	0	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0,1049	0,1039	0	0,2217	0,0347	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}5128)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}4065)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1204)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1039)^2)$$

$$= 0{,}0642$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}5128)^2}{0{,}0642} = 0{,}5783$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}4065)^2}{0{,}0642} = 0{,}3634$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1204)^2}{0{,}0642} = 0{,}0319$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0642} = 0{,}0027$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1039)^2}{0{,}0642} = 0{,}0238$

Tabel 4.43 Probabilitas Semut ke-4 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_3	0	0,5783	0,3634	0	0	0,0319	0,0027	0,0238
Prob	0	0,5783	0,9417	0,9417	0,9417	0,9736	0,9762	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,6709. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_2 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2$.

Tabel 4.44 Visibilitas Semut ke-4 Antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0	0	0,1426	0,0347	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0	0	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0,1426	0,1222	0	0	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0,4405	0	0	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0,1049	0	0	0,2217	0,0347	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}5235)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1222)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}4405)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1049)^2)$$

$$= 0{,}0698$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}5235)^2}{0{,}0698} = 0{,}5547$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1222)^2}{0{,}0698} = 0{,}302$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}4405)^2}{0{,}0698} = 0{,}3927$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1049)^2}{0{,}0698} = 0{,}0223$

Tabel 4.45 Probabilitas Semut ke-4 Antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_2	0	0,5547	0	0	0	0,0302	0,3927	0,0223
Prob	0	0,5547	0,5547	0,5547	0,5547	0,5850	0,9777	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,3181. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_1 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1$.

Tabel 4.46 Visibilitas Semut ke-4 Antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0,1426	0,0347	0,1199

V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0,1426	0	0	0	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0	0	0	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0	0	0	0,2217	0,0347	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}1426)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1199)^2)$$

$$= 0{,}0050$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1426)^2}{0{,}0050} = 0{,}5663$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0050} = 0{,}0337$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1199)^2}{0{,}0050} = 0{,}4001$

Tabel 4.47 Probabilitas Semut ke-4 Antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_1	0	0	0	0	0	0,5663	0,0337	0,4001
Prob	0	0	0	0	0	0,5663	0,5999	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,4545. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_5 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_5$.

Tabel 4.48 Visibilitas Semut ke-4 Antara Titik V_5ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0	0	0	0	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0	0	0	0	0,2217	0,0347	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}1650)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}2217)^2)$$

$$= 0{,}0108$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1650)^2}{0{,}0108} = 0{,}3564$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}2217)^2}{0{,}0108} = 0{,}6436$

Tabel 4.49 Probabilitas Semut ke-4 Antara Titik V_5 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_5	0	0	0	0	0	0	0,3564	0,6436
Prob	0	0	0	0	0	0	0,3564	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,5677. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_7 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7$.

Tabel 4.50 Visibilitas Semut ke-4 Antara Titik V_7 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	v	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0,0347
V_7	0	0	0	0	0	0	0,0347	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}0001$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0001} = 1$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^4 = 0$

Tabel 4.51 Probabilitas Semut ke-4 Antara Titik V_7 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_7	0	0	0	0	0	0	1	0
Prob	0	0	0	0	0	0	1	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,6498. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_6 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7 \rightarrow V_6$.

Tabel 4.52 Visibilitas Terakhir Semut ke-4

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0	0	0

Semut ke-5 (k_5)

Perjalanan semut kelima dimulai dengan $V_A \rightarrow V_5$. Hal ini ditujukan untuk pemerataan kemungkinan rute, sehingga semut dipaksa untuk mengunjungi titik awal sesuai arahan. Maka dari itu, tabu list yang digunakan adalah V_5 yang disajikan pada Tabel 4.53.

Tabel 4.53 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik V_5 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0,5128	0,0347	0,1426	0,0347	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0,4065	0,0347	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0,5128	0,4065	0	1,2987	0,1204	0,0347	0,1039
V_4	0	0,0347	0,0347	1,2987	0	0,0347	0,0347	0,0347

V_5	0	0,1426	0,1222	0,1204	0,0347	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0,4405	0,0347	0,0347	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0,1049	0,1039	0,0347	0,2217	0,0347	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}1426)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1222)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1204)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1650)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}2217)^2)$$

$$= 0{,}0180$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1426)^2}{0{,}0180} = 0{,}1597$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1222)^2}{0{,}0180} = 0{,}1173$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1204)^2}{0{,}0180} = 0{,}1139$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0180} = 0{,}0095$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1650)^2}{0{,}0180} = 0{,}2137$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}2217)^2}{0{,}0180} = 0{,}3859$

Tabel 4.54 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik V_5 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_5	0	0,1597	0,1173	0,1139	0,0095	0	0,2137	0,3859
Prob	0	0,1597	0,2770	0,3909	0,4004	0,4004	0,6141	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,2374. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_2 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_5 \rightarrow V_2$.

Tabel 4.55 Visibilitas Semut ke-5 Antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0,5128	0,0347	0	0,0347	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0,4065	0,0347	0	0,4405	0,1049
V_3	0	0,5128	0,4065	0	1,2987	0	0,0347	0,1039
V_4	0	0,0347	0,0347	1,2987	0	0	0,0347	0,0347
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0,0347	0,4405	0,0347	0,0347	0	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0,1049	0,1039	0,0347	0	0,0347	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}5235)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}4065)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}4405)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1049)^2)$$

$$= 0{,}0912$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}5235)^2}{0{,}0008} = 0{,}4246$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_3 $$P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}4065)^2}{0{,}0008} = 0{,}2559$$

Titik V_4 $$P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0008} = 0{,}0019$$

Titik V_5 $$P_{ij}^5 = 0$$

Titik V_6 $$P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}4405)^2}{0{,}0008} = 0{,}3006$$

Titik V_7 $$P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1049)^2}{0{,}0008} = 0{,}0171$$

Tabel 4.56 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_2	0	0,4246	0	0,2559	0,0019	0	0,3006	0,0171
Prob	0	0,4246	0,4246	0,6805	0,6824	0,6824	0,9829	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,9083. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_6 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_5 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6$.

Tabel 4.57 Visibilitas Semut ke-5 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	$\boldsymbol{V_A}$	$\boldsymbol{V_1}$	$\boldsymbol{V_2}$	$\boldsymbol{V_3}$	$\boldsymbol{V_4}$	$\boldsymbol{V_5}$	$\boldsymbol{V_6}$	$\boldsymbol{V_7}$
$\boldsymbol{V_A}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\boldsymbol{V_1}$	0	0	0	0,5128	0,0347	0	0,0347	0,1199
$\boldsymbol{V_2}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\boldsymbol{V_3}$	0	0,5128	0	0	1,2987	0	0,0347	0,1039
$\boldsymbol{V_4}$	0	0,0347	0	1,2987	0	0	0,0347	0,0347
$\boldsymbol{V_5}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\boldsymbol{V_6}$	0	0,0347	0	0,0347	0,0347	0	0	0,0347
$\boldsymbol{V_7}$	0	0,1199	0	0,1039	0,0347	0	0,0347	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}0006$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $P_{ij}^5 = 0$

Titik V_1 $P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0006} = 0{,}25$

Titik V_2 $P_{ij}^5 = 0$

Titik V_3 $P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0006} = 0{,}25$

Titik V_4 $P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0006} = 0{,}25$

Titik V_5 $P_{ij}^5 = 0$

Titik V_6 $P_{ij}^5 = 0$

Titik V_7 $P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0006} = 0{,}25$

Tabel 4.58 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_6	0	0,25	0	0,25	0,25	0	0	0,25
Prob	0	0,25	0,25	0,5	0,75	0,75	0,75	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,5181. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_4 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_5 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_4$.

Tabel 4.59 Visibilitas Semut ke-5 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0,5128	0,0347	0	0	0,1199
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0,5128	0	0	1,2987	0	0	0,1039
V_4	0	0,0347	0	1,2987	0	0	0	0,0347
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0,1199	0	0,1039	0,0347	0	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(1{,}2987)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}2387$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}2387} = 0{,}0007$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(1{,}2987)^2}{0{,}2387} = 0{,}9986$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}2387} = 0{,}0007$

Tabel 4.60 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_4	0	0,0007	0	0,9986	0	0	0	0,0007
Prob	0	0,0007	0,0007	0,9993	0,9993	0,9993	0,9993	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,5362. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_3 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_5 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_4 \rightarrow V_3$.

Tabel 4.61 Visibilitas Semut ke-5 Antara Titik V_3ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0,5128	0	0	0	0,1199
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0,5128	0	0	0	0	0	0,1039
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0,1199	0	0,1039	0	0	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}5128)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1039)^2)$$

$$= 0{,}0387$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}5128)^2}{0{,}0387} = 0{,}9605$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1039)^2}{0{,}0387} = 0{,}0395$

Tabel 4.62 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_3	0	0,9605	0	0	0	0	0	0,0395
Prob	0	0,9605	0,9605	0,9605	0,9605	0,9605	0,9605	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,7951. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_1 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_5 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_4 \rightarrow V_3 \rightarrow V_1$.

Tabel 4.63 Visibilitas Semut ke-5 Antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0,1199
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0,1199	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1 (0{,}1199)^2)$$

$$= 0{,}0020$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^5 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1 (0{,}1199)^2}{0{,}0020} = 1$

Tabel 4.64 Probabilitas Semut ke-5 Antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_1	0	0	0	0	0	0	0	1
Prob	0	0	0	0	0	0	0	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,2628. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_7 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_5 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_4 \rightarrow V_3 \rightarrow V_1 \rightarrow V_7$.

Tabel 4.65 Visibilitas Terakhir Semut ke-5

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0	0	0

Semut ke-6 (k_6)

Perjalanan semut keenam dimulai dengan $V_A \rightarrow V_6$. Hal ini ditujukan untuk pemerataan kemungkinan rute, sehingga semut dipaksa untuk mengunjungi titik awal sesuai arahan. Maka dari itu, tabu list yang digunakan adalah V_6 yang disajikan pada Tabel 4.66.

Tabel 4.66 Visibilitas Semut ke-6 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0,5128	0,0347	0,1426	0,0347	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0,4065	0,0347	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0,5128	0,4065	0	1,2987	0,1204	0,0347	0,1039
V_4	0	0,0347	0,0347	1,2987	0	0,0347	0,0347	0,0347
V_5	0	0,1426	0,1222	0,1204	0,0347	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0,4405	0,0347	0,0347	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0,1049	0,1039	0,0347	0,2217	0,0347	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}4405)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1650)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2) = 0{,}0319$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0319} = 0{,}0054$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}4405)^2}{0{,}0319} = 0{,}8582$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0319} = 0{,}0054$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0319} = 0{,}0054$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1650)^2}{0{,}0319} = 0{,}1204$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0319} = 0{,}0054$

Tabel 4.67 Probabilitas Semut ke-6 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_6	0	0,0054	0,8582	0,0054	0,0054	0,1204	0	0,0054
Prob	0	0,0054	0,8635	0,8689	0,8742	0,9946	0,9946	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,4206. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_2 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_6 \rightarrow V_2$.

Tabel 4.68 Visibilitas Semut ke-6 Antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0,5128	0,0347	0,1426	0	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0,4065	0,0347	0,1222	0	0,1049
V_3	0	0,5128	0,4065	0	1,2987	0,1204	0	0,1039
V_4	0	0,0347	0,0347	1,2987	0	0,0347	0	0,0347
V_5	0	0,1426	0,1222	0,1204	0,0347	0	0	0,2217
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0,1199	0,1049	0,1039	0,0347	0,2217	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}5235)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}4065)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1222)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1049)^2)$$

$$= 0{,}0659$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}5235)^2}{0{,}0659} = 0{,}5876$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}4065)^2}{0{,}0659} = 0{,}3542$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0659} = 0{,}0026$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1222)^2}{0{,}0659} = 0{,}0320$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^{6} = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1049)^2}{0{,}0659} = 0{,}0236$

Tabel 4.69 Probabilitas Semut ke-6 Antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_2	0	0,5876	0	0,3542	0,0026	0,0320	0	0,0236
Prob	0	0,5876	0,5876	0,9418	0,9444	0,9764	0,9764	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,1299. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_1 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1$.

Tabel 4.70 Visibilitas Semut ke-6 Antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0,5128	0,0347	0,1426	0	0,1199
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0,5128	0	0	1,2987	0,1204	0	0,1039
V_4	0	0,0347	0	1,2987	0	0,0347	0	0,0347
V_5	0	0,1426	0	0,1204	0,0347	0	0	0,2217
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0,1199	0	0,1039	0,0347	0,2217	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}5128)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1426)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1199)^2)$$

$$= 0{,}0422$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^{6} = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^{6} = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^{6} = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}5128)^2}{0{,}0422} = 0{,}8798$

Titik V_3 $P_{ij}^6 = 0$

Titik V_4 $P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0422} = 0{,}0040$

Titik V_5 $P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1426)^2}{0{,}0422} = 0{,}0681$

Titik V_6 $P_{ij}^6 = 0$

Titik V_7 $P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1199)^2}{0{,}0422} = 0{,}0481$

Tabel 4.71 Probabilitas Semut ke-6 Antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_1	0	0	0	0,8798	0,0040	0,0681	0	0,0481
Prob	0	0	0	0,8798	0,8838	0,9519	0,9519	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,4891. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_3 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3$.

Tabel 4.72 Visibilitas Semut ke-6 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	1,2987	0,1204	0	0,1039
V_4	0	0	0	1,2987	0	0,0347	0	0,0347
V_5	0	0	0	0,1204	0,0347	0	0	0,2217
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0	0	0,1039	0,0347	0,2217	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(1{,}2987)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1204)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1039)^2)$$

$$= 0{,}2420$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $P_{ij}^6 = 0$

Titik V_1 $P_{ij}^6 = 0$

Titik V_2 $P_{ij}^6 = 0$

Titik V_3 $P_{ij}^6 = 0$

Titik V_4 $P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(1{,}2987)^2}{0{,}2420} = 0{,}9852$

Titik V_5 $P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1204)^2}{0{,}2420} = 0{,}0085$

Titik V_6 $P_{ij}^6 = 0$

Titik V_7 $P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1039)^2}{0{,}2420} = 0{,}0063$

Tabel 4.73 Probabilitas Semut ke-6 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_3	0	0	0	0	0,9852	0,0085	0	0,0063
Prob	0	0	0	0	0,9852	0,9937	0,9937	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,0498. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_4 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4$.

Tabel 4.74 Visibilitas Semut ke-6 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0,0347	0	0,0347
V_5	0	0	0	0	0,0347	0	0	0,2217
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0	0	0	0,0347	0,2217	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}0003$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0003} = 0{,}5$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0003} = 0{,}5$

Tabel 4.75 Probabilitas Semut ke-6 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_4	0	0	0	0	0	0,5	0	0,5
Prob	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,9765. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_7 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_7$.

Tabel 4.76 Visibilitas Semut ke-6 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0,2217
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0,2217	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1 (0{,}2217)^2)$$

$$= 0{,}0069$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1 (0{,}2217)^2}{0{,}0069} = 1$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^6 = 0$

Tabel 4.77 Probabilitas Semut ke-6 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_7	0	0	0	0	0	1	0	0
Prob	0	0	0	0	0	1	1	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,5828. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_5 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_7 \rightarrow V_5$.

Tabel 4.78 Visibilitas Terakhir Semut ke-6

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0	0	0

Semut ke-7 (k_7)

Perjalanan semut ketujuh dimulai dengan $V_A \rightarrow V_7$. Hal ini ditujukan untuk pemerataan kemungkinan rute, sehingga semut dipaksa untuk mengunjungi titik awal sesuai arahan. Maka dari itu, tabu list yang digunakan adalah V_7 yang disajikan pada Tabel 4.79.

Tabel 4.79 Visibilitas Semut ke-7 Antara Titik V_7 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0,5128	0,0347	0,1426	0,0347	0,1199
V_2	0	0,5235	0	0,4065	0,0347	0,1222	0,4405	0,1049
V_3	0	0,5128	0,4065	0	1,2987	0,1204	0,0347	0,1039
V_4	0	0,0347	0,0347	1,2987	0	0,0347	0,0347	0,0347
V_5	0	0,1426	0,1222	0,1204	0,0347	0	0,1650	0,2217
V_6	0	0,0347	0,4405	0,0347	0,0347	0,1650	0	0,0347
V_7	0	0,1199	0,1049	0,1039	0,0347	0,2217	0,0347	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}1199)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1049)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1039)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}2217)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}0124$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1199)^2}{0{,}0124} = 0{,}1638$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1049)^2}{0{,}0124} = 0{,}1254$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1039)^2}{0{,}0124} = 0{,}1231$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0124} = 0{,}0138$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}2217)^2}{0{,}0124} = 0{,}5601$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0124} = 0{,}0138$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Tabel 4.80 Probabilitas Semut ke-7 Antara Titik V_7 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_7	0	0,1638	0,1254	0,1231	0,0138	0,5601	0,0138	0
Prob	0	0,1638	0,2892	0,4123	0,4261	0,9862	1	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,1318. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_1 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_7 \rightarrow V_1$.

Tabel 4. 81 Visibilitas Semut ke-7 Antara Titik V_7 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,5235	0,5128	0,0347	0,1426	0,0347	0
V_2	0	0,5235	0	0,4065	0,0347	0,1222	0,4405	0
V_3	0	0,5128	0,4065	0	1,2987	0,1204	0,0347	0
V_4	0	0,0347	0,0347	1,2987	0	0,0347	0,0347	0
V_5	0	0,1426	0,1222	0,1204	0,0347	0	0,1650	0
V_6	0	0,0347	0,4405	0,0347	0,0347	0,1650	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}5235)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}5128)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1426)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}0791$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}5235)^2}{0{,}0791} = 0{,}4896$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}5128)^2}{0{,}0791} = 0{,}4697$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0791} = 0{,}0022$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k'\epsilon\{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1426)^2}{0{,}0791} = 0{,}0363$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0791} = 0{,}0022$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Tabel 4.82 Probabilitas Semut ke-7 Antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_1	0	0	0,4896	0,4697	0,0022	0,0363	0,0022	0
Prob	0	0	0,4896	0,9593	0,9615	0,9978	1	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,8537. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_3 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_7 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3$.

Tabel 4.83 Visibilitas Semut ke-7 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0,4065	0,0347	0,1222	0,4405	0
V_3	0	0	0,4065	0	1,2987	0,1204	0,0347	0
V_4	0	0	0,0347	1,2987	0	0,0347	0,0347	0
V_5	0	0	0,1222	0,1204	0,0347	0	0,1650	0
V_6	0	0	0,4405	0,0347	0,0347	0,1650	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}4065)^2 + (0{,}2796)^1(1{,}2987)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}1204)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}2640$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}4065)^2}{0{,}2640} = 0{,}0885$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(1{,}2987)^2}{0{,}2640} = 0{,}9031$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1204)^2}{0{,}2640} = 0{,}0078$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}2640} = 0{,}0006$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Tabel 4.84 Probabilitas Semut ke-7 Antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_3	0	0	0,0885	0	0,9031	0,0078	0,0006	0
Prob	0	0	0,0885	0,0885	0,9916	0,9994	1	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,2656. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_4 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_7 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4$.

Tabel 4.85 Visibilitas Semut ke-7 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0,0347	0,1222	0,4405	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0,0347	0	0	0,0347	0,0347	0
V_5	0	0	0,1222	0	0,0347	0	0,1650	0
V_6	0	0	0,4405	0	0,0347	0,1650	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}0005$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0005} = 0{,}3333$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0005} = 0{,}3333$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}}[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}0347)^2}{0{,}0005} = 0{,}3333$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Tabel 4.86 Probabilitas Semut ke-7 Antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_4	0	0	0,3333	0	0	0,3333	0,3333	0
Prob	0	0	0,3333	0,3333	0,3333	0,6667	1	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,6524. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_5 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_7 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_5$.

Tabel 4.87 Visibilitas Semut ke-7 Antara Titik V_5 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0,1222	0,4405	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0,1222	0	0	0	0,1650	0
V_6	0	0	0,4405	0	0	0,1650	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1(0{,}1222)^2 + (0{,}2796)^1(0{,}0347)^2)$$

$$= 0{,}0059$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1222)^2}{0{,}0059} = 0{,}3544$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1(0{,}1650)^2}{0{,}0059} = 0{,}6456$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Tabel 4.88 Probabilitas Semut ke-7 Antara Titik V_5 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_5	0	0	0,3544	0	0	0	0,6456	0
Prob	0	0	0,3544	0,3544	0,3544	0,3544	1	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,6956. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_6 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_7 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_5 \rightarrow V_6$.

Tabel 4.89 Visibilitas Semut ke-7 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0,4405	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0,4405	0	0	0	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta} = ((0{,}2796)^1 (0{,}4405)^2)$$

$$= 0{,}0274$$

Kemudian, mencari titik berikutnya dengan menghitung menggunakan rumus probabilitas, maka didapatkan:

Titik V_A $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_1 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_2 $\quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k' \epsilon \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^{\alpha} . [\eta_{ij}]^{\beta}} = \frac{(0{,}2796)^1 (0{,}4405)^2}{0{,}0274} = 1$

Titik V_3 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_4 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_5 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_6 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Titik V_7 $\quad P_{ij}^7 = 0$

Tabel 4.90 Probabilitas Semut ke-7 Antara Titik V_6 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_6	0	0	1	0	0	0	0	0
Prob	0	0	1	1	1	1	1	1

Bilangan random antara 0 sampai 1 menunjukkan hasil 0,7293. Maka tabu list yang digunakan berikutnya adalah V_2 seperti pada dan rute menjadi $V_A \rightarrow V_7 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_5 \rightarrow V_6 \rightarrow V_2$.

Tabel 4.91 Visibilitas Terakhir Semut ke-7

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_A	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0
V_5	0	0	0	0	0	0	0	0
V_6	0	0	0	0	0	0	0	0
V_7	0	0	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan perhitungan $NC = 1$ pada $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6,$ dan $k_7,$ dibentuklah sebuah Tabel 4.92 untuk meringkas dan melihat rute dengan jarak paling dekat.

Tabel 4.92 Hasil Rute Terpendek Kasus 1 Iterasi 1

Semut	**Tabu List**	**Panjang**	$\Delta_{ijk} = \frac{1}{L_k}$
$k1$	$V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7$	49,9	0,02
$k2$	$V_A \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_5 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_7 \rightarrow V_1$	59,2	0,0168
$k3$	$V_A \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7 \rightarrow V_1$	55,68	0,0179
$k4$	$V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7 \rightarrow V_6$	74,16	0,0134
$k5$	$V_A \rightarrow V_5 \rightarrow V_2 \rightarrow V_6 \rightarrow V_4 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_1$	56,07	0,0176
$k6$	$V_A \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_7 \rightarrow V_5$	68,91	0,0145
$k7$	$V_A \rightarrow V_7 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_5 \rightarrow V_6 \rightarrow V_2$	55,35	0,018

Pembaruan *feromon* ditujukan untuk menghitung iterasi kedua, ketiga, dan seterusnya. Pembaruan feromon ini melibatkan harga $\rho = 0.5$ yang telah ditetapkan diawal penelitian bersama dengan α dan β. Selain melibatkan nilai feromon, pembaruan feromon ini juga melibatkan harga feromon awal yang didapatkan dari algoritma greedy. Pembaruan feromon τ_{ij}(baru) juga melibatkan Δ_{ijk} yang diperoleh dari hasil akhir iterasi ke-1. Berikut merupakan pembaruan *feromon*.

$$\tau_{ij}(baru) = (1-\rho)\tau_{ij} + \Delta_{ijk}$$

$$\tau_{A.1} = \tau_{1.A} = (1-0.5)(0{,}2796) + 0.02 = 0.1598$$

$$\tau_{1.3} = \tau_{3.1} = (1-0.5)(0{,}2796) + 0.02 = 0.1598$$

$$\tau_{3.4} = \tau_{4.3} = (1-0.5)(0{,}2796) + 0.02 = 0.1598$$

$$\tau_{4.6} = \tau_{6.4} = (1-0.5)(0{,}2796) + 0.02 = 0.1598$$

$$\tau_{6.2} = \tau_{2.6} = (1-0.5)(0{,}2796) + 0.02 = 0.1598$$

$$\tau_{2.5} = \tau_{5.2} = (1-0.5)(0{,}2796) + 0.02 = 0.1598$$

$$\tau_{5.7} = \tau_{7.5} = (1-0.5)(0{,}2796) + 0.02 = 0.1598$$

Feromon baru akan digunakan pada iterasi kedua. Hasil dari iterasi kedua adalah sebagai berikut.

Siklus ke-2 ($NC = 2$)

```
0 -> 1 -> 2 -> 3 -> 4 -> 6 -> 5 -> 7 dengan panjang 47.93
0 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4 -> 7 -> 5 -> 6 dengan panjang 48.6600000
0 -> 3 -> 2 -> 1 -> 5 -> 7 -> 4 -> 6 dengan panjang 78.37
0 -> 4 -> 3 -> 1 -> 2 -> 6 -> 5 -> 7 dengan panjang 46.22
0 -> 5 -> 7 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4 -> 6 dengan panjang 53.2300000
0 -> 6 -> 2 -> 3 -> 4 -> 1 -> 5 -> 7 dengan panjang 74.5200000
0 -> 7 -> 5 -> 2 -> 3 -> 4 -> 1 -> 6 dengan panjang 80.62
```

Berdasarkan iterasi kedua, maka didapatkan jarak terpendek yakni 46,22 km dengan rute perjalanan $V_A - V_4 - V_3 - V_1 - V_2 - V_6 - V_5 - V_7$. Kemudian akan dilanjutkan hingga $NC = k$.

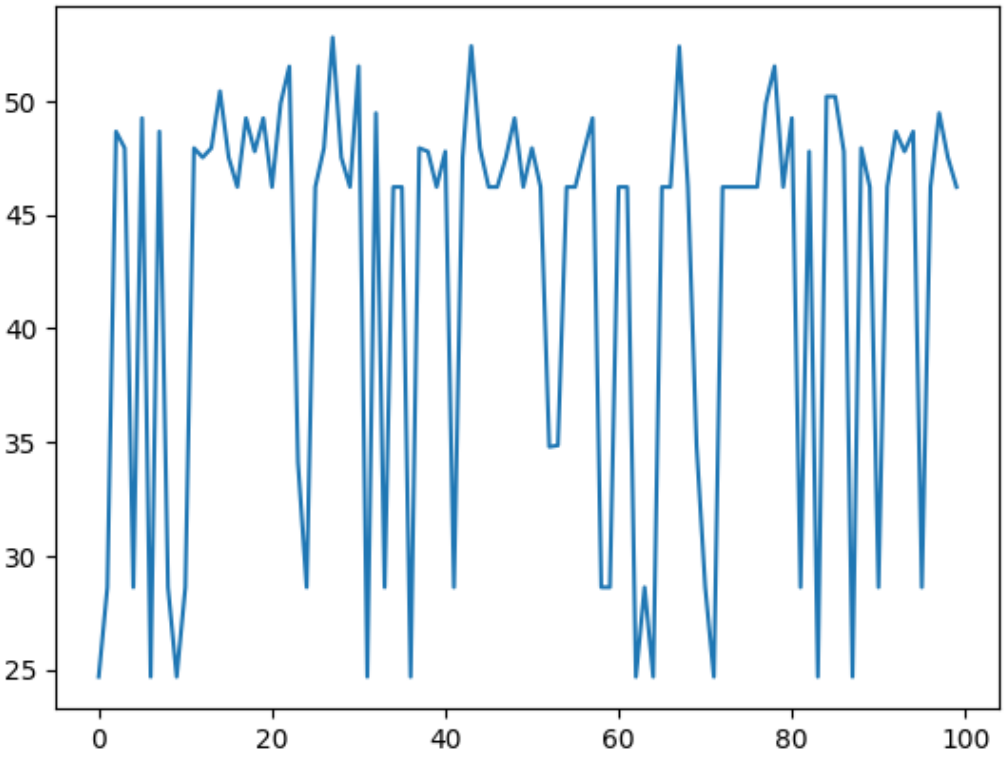
Siklus ke-7 ($NC = 7$)

```
0 -> 1 -> 3 -> 4 -> 6 -> 2 -> 5 -> 7 dengan panjang 49.9
0 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4 -> 5 -> 6 -> 7 dengan panjang 72.9
0 -> 3 -> 4 -> 7 -> 5 -> 2 -> 6 -> 1 dengan panjang 78.2100000
0 -> 4 -> 3 -> 2 -> 1 -> 5 -> 7 -> 6 dengan panjang 74.16
0 -> 5 -> 7 -> 4 -> 3 -> 1 -> 2 -> 6 dengan panjang 45.9700000
0 -> 6 -> 2 -> 3 -> 4 -> 7 -> 5 -> 1 dengan panjang 74.5200000
0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4 dengan panjang 24.6699999
```

Berdasarkan output tersebut, maka dapat disimpulkan rute terpendek pada Wilayah 1 adalah $V_A \rightarrow V_7 \rightarrow V_5 \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4$ dengan total jarak tempuh yakni 24,6699 km.

Hasil dari iterasi satu sampai ketujuh adalah bergantung pada bilangan random yang dipilih secara acak dari 0-1 oleh program *pyhton*. Kondisi ini menunjukkan bahwa sangat memungkinkan apabila ketika iterasi $NC = k$ telah dilakukan, hasil tidak menunjukkan nilai yang lebih kecil daripada iterasi sebelumnya. Oleh karena itu akan dilakukan percobaan sebanyak 100 iterasi.

Pada program ini akan dijalankan dengan pola setiap iterasi ada k semut yang dipaksa melewati titik titik sesuai yang diarahkan. Misalnya semut satu akan memulai pada V_A dan kemudian dipaksa menuju V_1. Setelah dari V_1, rute berikutnya akan bergantung pada probabilitas dan bilangan random. Hal ini juga berlaku pada semut kedua sampai semut terakhir. Setelah k semut selesai melakukan perjalanannya, akan dihitung sebagai satu iterasi.



Gambar 4.2 Plot Kasus 1 ketika NC=100

Data jarak antar semut akan diinput sesuai dengan data yang ada. Namun, data dengan titik titik yang tidak bertetangga yang sebelumnya hanya penjumlahan

berdasarkan total semua rute akan diubah menjadi angka yang sangat besar menurut program. Hal ini dilakukan agar titik titik yang tidak bertetangga tidak dilewati oleh semut. Berikut merupakan hasil dari $NC = 100$ di mana sumbu x merupakan banyaknya iterasi yang dilakukan sedangkan sumbu y merupakan total rute yang dilalui.

Berdasarkan Gambar 4.2 telah ditunjukkan hasil dari jumlah rute terpendek iterasi 1, iterasi 2, iterasi 3, hingga iterasi 100. Hasil menunjukkan bahwa jumlah rute terpendek semut iterasi 1 sampai dengan 100 tidak mendekati suatu nilai. Pada gambar terlihat bahwa total rute terpendek berada kurang dari 25 km. Panjang rute terpendek berdasarkan 1 kali percobaan pada 100 kali iterasi adalah 24,699999 km. Berikut merupakan rute rute yang menunjukkan total rute terpendek.

Tabel 4.93 Data Rute Terpendek Kasus 1

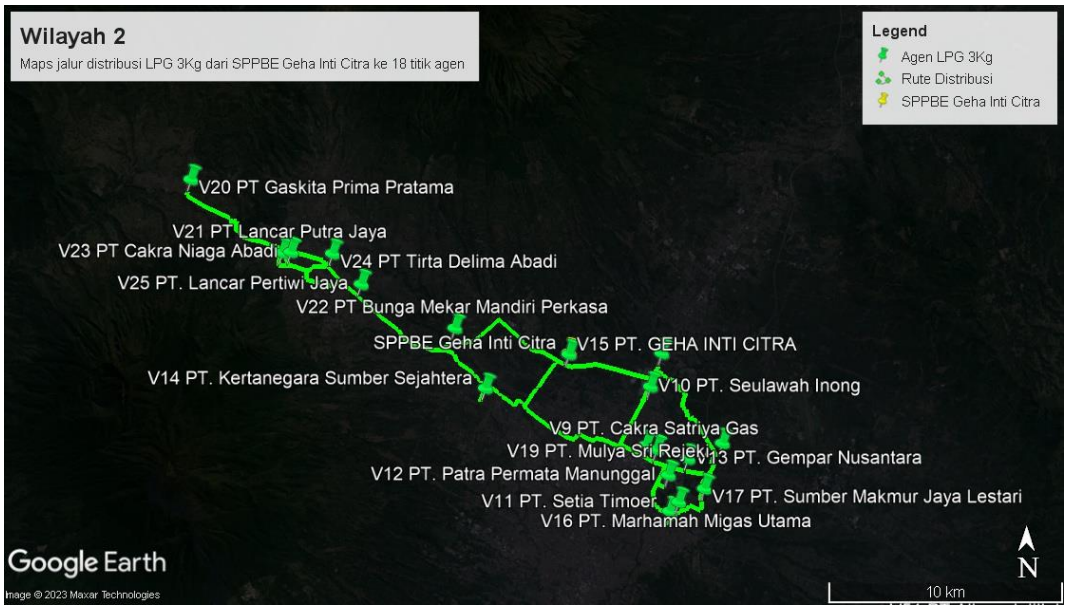
Iterasi ke-	Rute	Total Rute
0	0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4	24,699999
6	0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4	24,699999
9	0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4	24,699999
31	0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4	24,699999
36	0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4	24,699999
62	0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4	24,699999
64	0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4	24,699999
71	0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4	24,699999
83	0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4	24,699999
87	0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4	24,699999

Kasus 1 menunjukkan bahwa rute terpendek adalah `0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 4` yang artinya $V_A \rightarrow V_7 \rightarrow V_5 \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4$ dengan total perjalanan 24,699 km.

4.2.3.2 Perhitungan Rute Terpendek Wilayah 2

Berikut merupakan peta jalur distribusi LPG 3 kg dari SPPBE Geha Inti Citra ke 17 titik agen LPG lainnya dengan skala 1:10.000. Pada Maps Ketersediaan

Jalur Wilayah 2 akan diambil data ketersediaan jalur antar lokasi beserta jaraknya. Titik titik yang tidak bertetangga akan diberikan harga dengan menjumlahkan jarak seluruh jalan. Berikut merupakan data jarak antar titik pendistribusian LPG 3kg dari SPPBE PT Geha Inti Citra ke 17 lokasi agen.



Gambar 4.3 Maps Ketersediaan Jalur Wilayah 2

Tabel 4.94 Data Jarak Antar Titik Pendistribusian LPG dari SPPBE Geha Inti Citra

	V_B	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{14}	V_{15}	V_{16}
V_B	0	8,78	61,06	4,58	61,01	61,01	10,97	5,71	0,01	61,01
V_8	8,78	0	0,49	3,41	61,01	61,01	11,62	8,95	61,01	61,01
V_9	61,06	0,49	0	61,01	3,65	1,73	1,41	61,01	61,01	3,49
V_{10}	4,58	3,41	61,01	0	61,01	61,01	8,63	6,96	61,01	61,01
V_{11}	61,01	61,01	3,65	61,01	0	2.60	3.96	61,01	61,01	0,61
V_{12}	61,01	61,01	1,73	61,01	2,60	0	2,01	61,01	61,01	2,44
V_{13}	10,97	11,62	1,41	8,63	3,96	2,01	0	61,01	61,01	61,01
V_{14}	5,71	8,95	61,01	6,96	61,01	61,01	61,01	0	61,01	61,01
V_{15}	0,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	0	61,01
V_{16}	61,01	61,01	3,49	61,01	0,61	2,44	61,01	61,01	61,01	0
V_{17}	11,19	11,86	61,01	8,87	61,01	61,01	2,13	61,01	61,01	1,80
V_{18}	4,20	4,79	61,01	1,60	61,01	61,01	7,52	61,01	61,01	61,01
V_{19}	8,96	9,61	61,01	6,62	61,01	61,01	2,27	61,01	61,01	61,01
V_{20}	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01
V_{21}	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01
V_{22}	5,90	11,30	61,01	7,15	61,01	61,01	61,01	3,58	61,01	61,01
V_{23}	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01
V_{24}	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01
V_{25}	11,95	15,34	61,01	13,2	61,01	61,01	61,01	7,62	61,01	61,01

	V_{17}	V_{18}	V_{19}	V_{20}	V_{21}	V_{22}	V_{23}	V_{24}	V_{25}
V_B	11,19	4,20	8,96	61,01	61,01	5,90	61,01	61,01	11,95
V_8	11,86	4,79	9,61	61,01	61,01	11,30	61,01	61,01	15,34
V_9	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01
V_{10}	8,87	1,60	6,62	61,01	61,01	7,15	61,01	61,01	13,2
V_{11}	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01
V_{12}	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01
V_{13}	2,31	7,52	2,27	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01
V_{14}	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	3,58	61,01	61,01	7,62
V_{15}	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01
V_{16}	1,80	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01
V_{17}	0	7,50	2,52	61,01	61,01	15,91	61,01	61,01	21,96
V_{18}	7,50	0	5,25	61,01	61,01	8,64	61,01	61,01	14,69
V_{19}	2,52	5,25	0	61,01	61,01	13,66	61,01	61,01	19.71
V_{20}	61,01	61,01	61,01	0	6,4	61,01	6,27	7,92	11,29
V_{21}	61,01	61,01	61,01	6,4	0	61,01	0,42	2,47	6,69
V_{22}	15,91	8,64	13,66	61,01	61,01	0	61,01	61,01	4,99
V_{23}	61,01	61,01	61,01	6,27	0,42	61,01	0	2,21	4,11
V_{24}	61,01	61,01	61,01	7,92	2,47	61,01	2,21	0	1,76
V_{25}	21,96	14,69	19,71	11,29	6,69	4,99	4,11	1,76	0

Percobaan pertama akan dilakukan dengan panjang jarak titik tidak berteta

Siklus ke-18 ($NC = 18$)

iter Break 17
0 -> 1 -> 2 -> 9 -> 4 -> 5 -> 6 -> 10 -> 3 -> 11 -> 12 -> 18 -> 15 -> 17 -> 16 -> 14 -> 13 -> 8 -> 7
dengan panjang 252.76999999999998
0 -> 2 -> 1 -> 3 -> 11 -> 6 -> 4 -> 9 -> 10 -> 12 -> 15 -> 18 -> 17 -> 16 -> 14 -> 13 -> 5 -> 8 -> 7
dengan panjang 295.44
0 -> 3 -> 15 -> 7 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 11 -> 10 -> 9 -> 4 -> 17 -> 16 -> 14 -> 18 -> 13 -> 8 -> 12
dengan panjang 298.57
0 -> 4 -> 9 -> 10 -> 12 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 11 -> 15 -> 7 -> 18 -> 17 -> 16 -> 14 -> 13 -> 8 -> 5
dengan panjang 227.76999999999998
0 -> 5 -> 2 -> 1 -> 11 -> 3 -> 7 -> 18 -> 16 -> 14 -> 17 -> 13 -> 8 -> 15 -> 10 -> 12 -> 6 -> 4 -> 9
dengan panjang 246.41000000000003
0 -> 6 -> 5 -> 2 -> 1 -> 12 -> 10 -> 9 -> 4 -> 8 -> 15 -> 7 -> 18 -> 17 -> 14 -> 16 -> 13 -> 11 -> 3
dengan panjang 236.48999999999998
0 -> 7 -> 15 -> 3 -> 11 -> 12 -> 6 -> 10 -> 9 -> 4 -> 5 -> 2 -> 1 -> 18 -> 14 -> 16 -> 17 -> 13 -> 8
dengan panjang 128.69
0 -> 8 -> 14 -> 16 -> 17 -> 18 -> 15 -> 12 -> 10 -> 9 -> 5 -> 6 -> 4 -> 2 -> 1 -> 11 -> 3 -> 7 -> 13
dengan panjang 175.28999999999996
0 -> 9 -> 4 -> 2 -> 1 -> 7 -> 15 -> 18 -> 17 -> 14 -> 16 -> 13 -> 5 -> 3 -> 11 -> 10 -> 12 -> 6 -> 8
dengan panjang 291.12
0 -> 10 -> 6 -> 5 -> 4 -> 9 -> 2 -> 1 -> 11 -> 3 -> 12 -> 15 -> 18 -> 17 -> 16 -> 14 -> 13 -> 8 -> 7
dengan panjang 186.98999999999998
0 -> 11 -> 3 -> 1 -> 2 -> 5 -> 6 -> 12 -> 10 -> 9 -> 4 -> 14 -> 16 -> 17 -> 18 -> 13 -> 8 -> 7 -> 15
dengan panjang 222.93
0 -> 12 -> 6 -> 5 -> 4 -> 9 -> 10 -> 11 -> 3 -> 1 -> 2 -> 17 -> 18 -> 16 -> 14 -> 13 -> 7 -> 15 -> 8
dengan panjang 230.55
0 -> 13 -> 14 -> 16 -> 17 -> 18 -> 7 -> 15 -> 1 -> 2 -> 6 -> 10 -> 9 -> 4 -> 5 -> 8 -> 11 -> 3 -> 12
dengan panjang 233.75999999999996

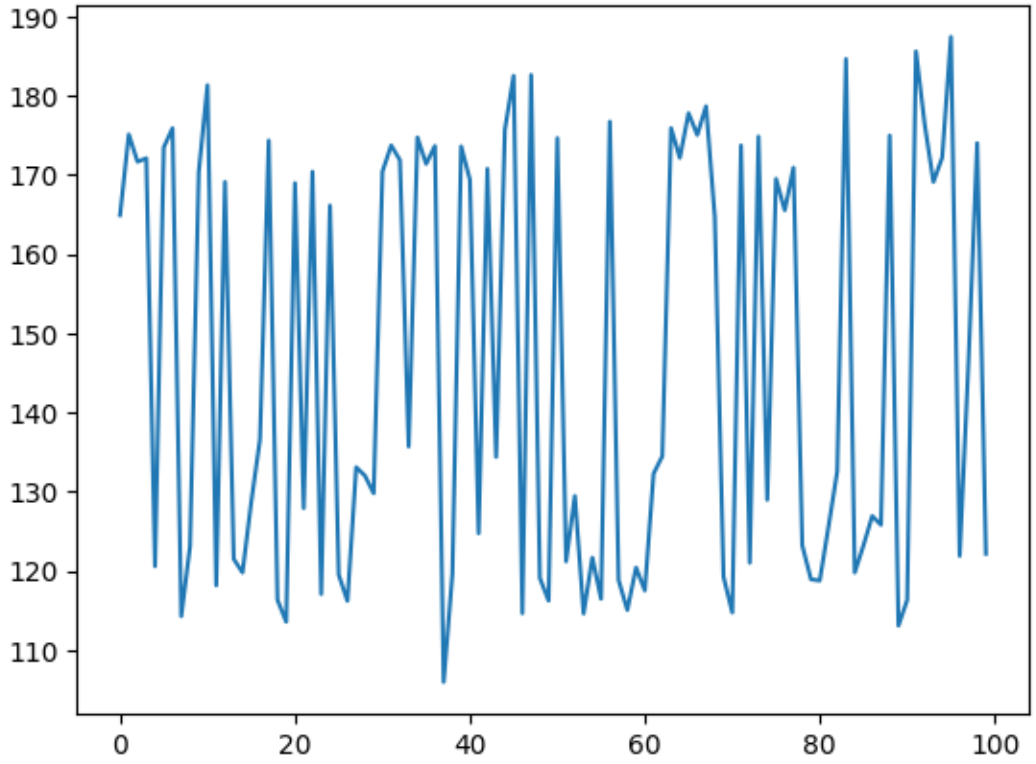
0 -> 14 -> 16 -> 17 -> 18 -> 7 -> 1 -> 2 -> 6 -> 11 -> 3 -> 10 -> 9 -> 4 -> 5 -> 13 -> 15 -> 12 -> 8
dengan panjang 303.56
0 -> 15 -> 17 -> 18 -> 12 -> 11 -> 3 -> 1 -> 2 -> 6 -> 10 -> 9 -> 4 -> 5 -> 14 -> 16 -> 13 -> 8 -> 7
dengan panjang 297.58
0 -> 16 -> 14 -> 17 -> 18 -> 3 -> 11 -> 6 -> 2 -> 9 -> 4 -> 5 -> 15 -> 7 -> 1 -> 12 -> 10 -> 8 -> 13
dengan panjang 303.78
0 -> 17 -> 18 -> 14 -> 16 -> 13 -> 12 -> 10 -> 11 -> 1 -> 2 -> 6 -> 5 -> 4 -> 9 -> 3 -> 15 -> 7 -> 8
dengan panjang 291.84000000000003
0 -> 18 -> 17 -> 16 -> 14 -> 8 -> 12 -> 6 -> 2 -> 1 -> 3 -> 15 -> 10 -> 9 -> 4 -> 5 -> 11 -> 13 -> 7
dengan panjang 357.04
(128.69, 0.058272104390446035)

Berdasarkan data output di atas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa rute terpendek adalah 0 -> 7 -> 15 -> 3 -> 11 -> 12 -> 6 -> 10 -> 9 -> 4 -> 5 -> 2 -> 1 -> 18 -> 14 -> 16 -> 17 -> 13 -> 8 dengan panjang rute 128,69 km. Pada kasus dua, titik pertama adalah V_B sedangkan titik tujuan pertama V_8. Maka dari itu, 1 pada outoput bermakna V_8, 2 pada output bermakna V_9, dan seterusnya sehingga menghasilkan n output bermakna V_{n+7}. Maka diperoleh, $V_B \rightarrow V_{14} \rightarrow V_{29} \rightarrow V_{10} \rightarrow V_{18} \rightarrow V_{19} \rightarrow V_{13} \rightarrow V_{17} \rightarrow V_{16} \rightarrow V_{11} \rightarrow V_{12} \rightarrow V_9 \rightarrow V_8 \rightarrow V_{25} \rightarrow V_{21} \rightarrow V_{23} \rightarrow V_{34} \rightarrow V_{20} \rightarrow V_{15}$.

Tentunya, hasil dari iterasi bergantung pada bilangan random yang dipilih secara acak dari 0-1 oleh program *pyhton*. Bilangan random yang muncul tidak bisa dipredikis. Oleh karenanya, kondisi seperti ini memungkinkan apabila ketika iterasi $NC = k$ telah dilakukan, hasil tidak menunjukkan nilai yang lebih kecil daripada iterasi sebelumnya. Oleh karena itu akan dilakukan percobaan sebanyak 100 iterasi.

Pada program ini akan dijalankan dengan pola setiap iterasi ada k semut yang dipaksa melewati titik titik sesuai yang diarahkan. Misalnya semut satu akan memulai pada V_B dan kemudian dipaksa menuju V_8. Setelah dari V_8, rute berikutnya akan bergantung pada probabilitas dan bilangan random. Hal ini juga berlaku pada semut kedua sampai semut terakhir. Setelah k semut selesai melakukan perjalanannya, akan dihitung sebagai satu iterasi.

Data jarak antar semut akan diinput sesuai dengan data yang ada. Namun, data dengan titik titik yang tidak bertetangga yang sebelumnya hanya penjumlahan berdasarkan total semua rute akan diubah menjadi angka yang sangat besar menurut program. Hal ini dilakukan agar titik titik yang tidak bertetangga tidak dilewati oleh semut. Berikut merupakan hasil dari $NC = 100$ di mana sumbu x merupakan total rute yang dilalui sedangkan sumbu y merupakan banyaknya iterasi yang dilakukan.



Gambar 4.4 Plot Kasus 2 Ketika NC=100

Hasil Gambar 4.4 menunjukkan bahwa jumlah rute terpendek semut pada iterasi 1 sampai dengan 100 tidak mendekati suatu nilai, bahkan rute terpendek yang ditujukan pada gambar hanya memiliki satu rute.

Tabel 4.95 Data Rute Terpendek Kasus 2

Iterasi ke-	Rute	Total Rute
37	0 -> 8 -> 12 -> 10 -> 9 -> 4 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 11 -> 3 -> 7 -> 15 -> 18 -> 17 -> 14 -> 16 -> 13	105,29999999

Tabel 4.95 menunjukkan bahwa rute terpendeknya adalah `0 -> 8 -> 12 -> 10 -> 9 -> 4 -> 5 -> 6 -> 2 -> 1 -> 11 -> 3 -> 7 -> 15 -> 18 -> 17 -> 14 -> 16 -> 13` yang artinya $V_B \rightarrow V_{15} \rightarrow V_{19} \rightarrow V_{17} \rightarrow V_{16} \rightarrow V_{11} \rightarrow V_{12} \rightarrow V_{13} \rightarrow V_9 \rightarrow V_8 \rightarrow V_{18} \rightarrow V_{10} \rightarrow V_{14} \rightarrow V_{22} \rightarrow V_{25} \rightarrow V_{24} \rightarrow V_{21} \rightarrow V_{23} \rightarrow V_{20}$ dengan panjang rute 105,2999 km.

4.2.3.3 Perhitungan Rute Terpendek Wilayah 3

Berikut merupakan peta jalur distribusi LPG 3 kg dari SPPBE Solusindo Innovatif ke 19 titik agen LPG lainnya dengan skala 1:10.000.

Gambar 4.5 Maps Ketersediaan Jalur Wilayah 3

Pada Maps Ketersediaan Jalur Wilayah 2akan diambil data ketersediaan jalur antar lokasi beserta jaraknya. Titik titik yang tidak bertetangga akan diberikan harga dengan menjumlahkan jarak seluruh jalan. Berikut merupakan data jarak antar titik pendistribusian LPG 3kg dari SPPBE PT Solusindo Innovative ke 17 lokasi agen.

Tabel 4.96 Data Jarak Antar Titik Pendistribusian LPG dari SPPBE PT Solusindo Innovative

	V_C	V_{26}	V_{27}	V_{28}	V_{29}	V_{30}	V_{31}	V_{32}	V_{33}	V_{34}	V_{35}

V_C	0	67,31	11,79	11,15	16,75	19,36	7,69	4,68	67,31	67,31	67,31
V_{26}	67,31	0	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
V_{27}	11,79	67,31	0	2,14	5,90	1,83	5,70	7,41	5,25	1,71	9,75
V_{28}	11,15	67,31	2,14	0	5,75	9,58	4,55	6,91	5,02	67,31	10,02
V_{29}	16,75	67,31	5,90	5,75	0	7,49	10,50	12,41	9,40	7,31	14,63
V_{30}	19,36	67,31	1,83	9,58	7,49	0	13,58	15,36	13,22	1,53	2,58
V_{31}	7,69	0.02	5,70	4,55	10,50	13,58	0	3,29	67,31	13,30	5,61
V_{32}	4,68	67,31	7,41	6,91	12,41	15,36	3,29	0	1,90	1,96	2,60
V_{33}	67,31	67,31	5,25	5,02	9,40	13,22	67,31	1,90	0	0,40	8,10
V_{34}	67,31	67,31	1,71	67,31	7,31	1,53	13,30	1,96	0,40	0	4,65
V_{35}	67,31	67,31	9,75	10,02	14,63	2,58	5,61	2,60	8,10	4,65	0
V_{36}	5,01	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
V_{37}	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
V_{38}	2,09	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
V_{39}	4,89	67,31	5,87	13,23	11,35	4,23	17,56	18,90	17,00	5,45	2,27
V_{40}	17,34	67,31	6,54	6,04	1,97	8,20	11,28	12,95	11,20	7,93	11,19
V_{41}	6,24	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
V_{42}	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
V_{43}	5,87	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31

	V_{36}	V_{37}	V_{38}	V_{39}	V_{40}	V_{41}	V_{42}	V_{43}
V_C	5,01	67,31	2,09	4,89	17,34	6,24	67,31	5,87
V_{26}	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
V_{27}	67,31	67,31	67,31	5,87	6,54	67,31	67,31	67,31
V_{28}	67,31	67,31	67,31	13,23	6,04	67,31	67,31	67,31
V_{29}	67,31	67,31	67,31	11,35	1,97	67,31	67,31	67,31
V_{30}	67,31	67,31	67,31	4,23	8,20	67,31	67,31	67,31
V_{31}	67,31	67,31	67,31	17,56	11,28	67,31	67,31	67,31
V_{32}	67,31	67,31	67,31	18,90	12,95	67,31	67,31	67,31
V_{33}	67,31	67,31	67,31	17,00	11,20	67,31	67,31	67,31
V_{34}	67,31	67,31	67,31	5,45	7,93	67,31	67,31	67,31
V_{35}	67,31	67,31	67,31	2,27	11,19	67,31	67,31	67,31
V_{36}	0	67,31	67,31	0,12	11,91	67,31	67,31	67,31
V_{37}	67,31	0	6,40	9,81	67,31	5,48	4,54	7,26
V_{38}	67,31	6,40	0	4,36	67,31	3,62	67,31	3,58
V_{39}	0,12	9,81	4,36	0	67,31	6,48	67,31	3,44

V_{40}	11,91	67,31	67,31	67,31	0	67,31	67,31	67,31
V_{41}	67,31	5,48	3,62	6,48	67,31	0	2,31	2,72
V_{42}	67,31	4,54	67,31	67,31	67,31	2,31	0	2,97
V_{43}	67,31	7,26	3,58	3,44	67,31	2,72	2,97	0

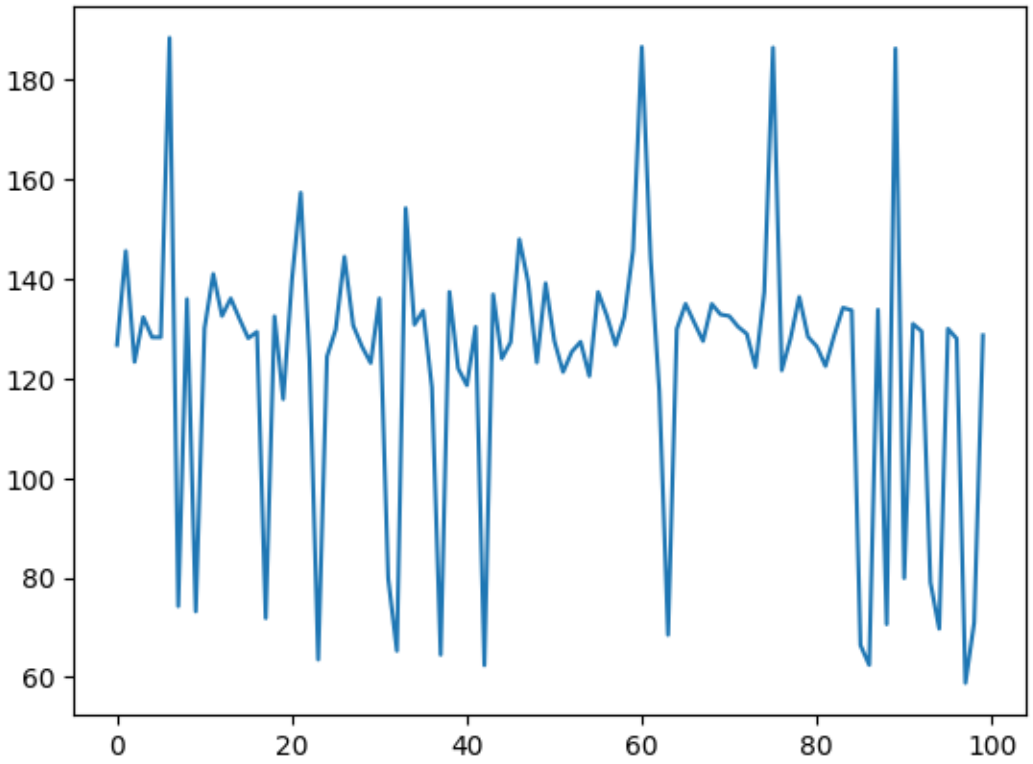
Siklus ke-17 ($NC = 17$)

Iter Break 17
0 -> 1 -> 16 -> 18 -> 14 -> 11 -> 6 -> 3 -> 15 -> 4 -> 2 -> 5 -> 9 -> 8 -> 10 -> 7 -> 13 -> 12 -> 17
dengan panjang 319.38000000000005
0 -> 2 -> 9 -> 8 -> 7 -> 4 -> 15 -> 3 -> 6 -> 1 -> 11 -> 14 -> 16 -> 13 -> 12 -> 17 -> 18 -> 5 -> 10
dengan panjang 202.12000000000003
0 -> 3 -> 6 -> 1 -> 17 -> 18 -> 4 -> 15 -> 8 -> 2 -> 9 -> 5 -> 10 -> 7 -> 11 -> 14 -> 16 -> 13 -> 12
dengan panjang 264.08
0 -> 4 -> 15 -> 5 -> 2 -> 9 -> 8 -> 7 -> 14 -> 11 -> 3 -> 10 -> 1 -> 18 -> 16 -> 17 -> 12 -> 13 -> 6
dengan panjang 347.01000000000005
0 -> 5 -> 9 -> 8 -> 7 -> 3 -> 4 -> 2 -> 14 -> 11 -> 15 -> 6 -> 1 -> 13 -> 16 -> 17 -> 18 -> 12 -> 10
dengan panjang 221.73
0 -> 6 -> 1 -> 5 -> 9 -> 8 -> 7 -> 10 -> 14 -> 11 -> 15 -> 4 -> 3 -> 2 -> 13 -> 18 -> 16 -> 17 -> 12
dengan panjang 186.07000000000002
0 -> 7 -> 8 -> 9 -> 5 -> 2 -> 3 -> 6 -> 1 -> 12 -> 17 -> 18 -> 16 -> 13 -> 14 -> 11 -> 15 -> 4 -> 10
dengan panjang 131.20000000000002
0 -> 8 -> 9 -> 5 -> 10 -> 14 -> 11 -> 15 -> 4 -> 2 -> 3 -> 7 -> 6 -> 1 -> 18 -> 13 -> 16 -> 17 -> 12
dengan panjang 187.71000000000004
0 -> 9 -> 8 -> 7 -> 10 -> 5 -> 4 -> 6 -> 1 -> 17 -> 18 -> 13 -> 16 -> 14 -> 11 -> 15 -> 3 -> 2 -> 12
dengan panjang 264.28
0 -> 10 -> 2 -> 5 -> 9 -> 8 -> 7 -> 6 -> 1 -> 18 -> 14 -> 11 -> 17 -> 16 -> 13 -> 12 -> 15 -> 4 -> 3
dengan panjang 311.57000000000005
0 -> 11 -> 14 -> 10 -> 5 -> 2 -> 8 -> 9 -> 4 -> 15 -> 7 -> 6 -> 1 -> 18 -> 16 -> 17 -> 12 -> 13 -> 3
dengan panjang 193.59000000000003
0 -> 12 -> 13 -> 16 -> 14 -> 11 -> 15 -> 4 -> 5 -> 2 -> 8 -> 9 -> 7 -> 10 -> 3 -> 6 -> 1 -> 18 -> 17
dengan panjang 202.21
0 -> 13 -> 16 -> 17 -> 18 -> 14 -> 11 -> 15 -> 4 -> 2 -> 9 -> 8 -> 7 -> 10 -> 5 -> 6 -> 1 -> 3 -> 12
dengan panjang 191.74
0 -> 14 -> 11 -> 15 -> 4 -> 6 -> 1 -> 8 -> 9 -> 5 -> 2 -> 3 -> 10 -> 7 -> 12 -> 13 -> 16 -> 17 -> 18
dengan panjang 197.85000000000002
0 -> 15 -> 4 -> 2 -> 9 -> 8 -> 7 -> 10 -> 14 -> 11 -> 6 -> 1 -> 12 -> 17 -> 18 -> 16 -> 13 -> 3 -> 5
dengan panjang 259.59000000000003
0 -> 16 -> 18 -> 17 -> 12 -> 13 -> 14 -> 11 -> 15 -> 4 -> 3 -> 2 -> 9 -> 8 -> 5 -> 10 -> 7 -> 6 -> 1
dengan panjang 72.94
0 -> 17 -> 16 -> 18 -> 14 -> 11 -> 15 -> 4 -> 9 -> 8 -> 7 -> 10 -> 5 -> 2 -> 3 -> 6 -> 1 -> 12 -> 13
dengan panjang 186.82000000000002
0 -> 18 -> 16 -> 17 -> 12 -> 13 -> 10 -> 5 -> 9 -> 8 -> 7 -> 14 -> 11 -> 15 -> 2 -> 3 -> 4 -> 6 -> 1
dengan panjang 151.44
(72.94, 0.14022575140410387)

Berdasarkan data *output* di atas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa rute terpendek adalah 0 -> 16 -> 18 -> 17 -> 12 -> 13 -> 14 -> 11 -> 15 -> 4 -> 3 -> 2 -> 9 -> 8 -> 5 -> 10 -> 7 -> 6 -> 1 dengan panjang rute 72,94 km. Pada kasus ketiga, titik pertama adalah V_C sedangkan titik tujuan pertama V_{26}. Maka dari itu, 1 pada

outoput bermakna V_{26}, 2 pada output bermakna V_{27}, dan seterusnya sehingga menghasilkan n output bermakna V_{n+25}. Pada output rute yang dihasilkan adalah $V_C \rightarrow V_{41} \rightarrow V_{43} \rightarrow V_{42} \rightarrow V_{37} \rightarrow V_{38} \rightarrow V_{39} \rightarrow V_{36} \rightarrow V_{40} \rightarrow V_{19} \rightarrow V_{18} \rightarrow V_{17} \rightarrow V_{34} \rightarrow V_{33} \rightarrow V_{30} \rightarrow V_{35} \rightarrow V_{42} \rightarrow V_{31} \rightarrow V_{26}$ dengan total jarak yakni 72,94.

Berikutnya akan ditujukkan plot yang berisi iterasi beserta jarak terpendek pada satu iterasinya.



Gambar 4.6 Plot Kasus 3 Ketika NC=100

Hasil Gambar 4.4 menunjukkan bahwa jumlah rute terpendek semut pada iterasi 1 sampai dengan 100 tidak mendekati suatu nilai, bahkan rute terpendek yang ditujukan pada gambar hanya memiliki satu rute.

Tabel 4.97 Data Rute Terpendek Kasus 3

Iterasi ke-	Rute	Total Rute
42	0 -> 13 -> 18 -> 16 -> 17 -> 12 -> 14 -> 11 -> 15 -> 4 -> 9 -> 8 -> 7 -> 10 -> 5 -> 2 -> 3 -> 6 -> 1	62,38

Tabel 4.97 menunjukkan bahwa rute terpendeknya adalah `0 -> 13 -> 18 -> 16 -> 17 -> 12 -> 14 -> 11 -> 15 -> 4 -> 9 -> 8 -> 7 -> 10 -> 5 -> 2 -> 3 -> 6 -> 1` yang artinya $V_C \rightarrow V_{38} \rightarrow V_{43} \rightarrow V_{41} \rightarrow V_{42} \rightarrow V_{37} \rightarrow V_{39} \rightarrow V_{36} \rightarrow V_{40} \rightarrow V_{29} \rightarrow V_{34} \rightarrow V_{33} \rightarrow V_{32} \rightarrow V_{35} \rightarrow V_{30} \rightarrow V_{27} \rightarrow V_{28} \rightarrow V_{31} \rightarrow V_{26}$ dengan panjang rute 62,38 km.

4.2.3.4 Perhitungan Rute Terpendek Wilayah 4

Berikut merupakan peta jalur distribusi LPG 3 kg dari SPPBE Agam Seulawah Jaya ke delapan titik agen LPG lainnya dengan skala 1:10.000.

Gambar 4.7 Maps Ketersediaan Jalur Wilayah 4

Tabel 4.98 Data Jarak Antar Titik Pendistribusian LPG dari SPPBE Agam Seulawah Jaya

	V_D	V_{44}	V_{45}	V_{46}	V_{47}	V_{48}	V_{49}	V_{50}	V_{51}
V_D	0	1,1	91,34	14,09	91,34	91,34	1,96	91,34	9,28
V_{44}	1,1	0	12,38	13,32	11,99	11,94	4,58	11,3	33,9
V_{45}	91,34	12,38	0	24,08	6,39	11,2	18,55	11,85	22,42
V_{46}	14,09	13,32	24,08	0	1,22	36,32	13,92	23,42	23,9
V_{47}	91,34	11,99	6,39	1,22	0	91,34	15,28	11,9	30,03
V_{48}	91,34	11,94	11,2	36,32	91.34	0	16,7	0,69	22,04
V_{49}	1,96	4,58	18,55	13,92	15,28	16,7	0	14,68	9,72
V_{50}	91,34	11,3	11,85	23,42	11,9	0,69	14,68	0	24,25

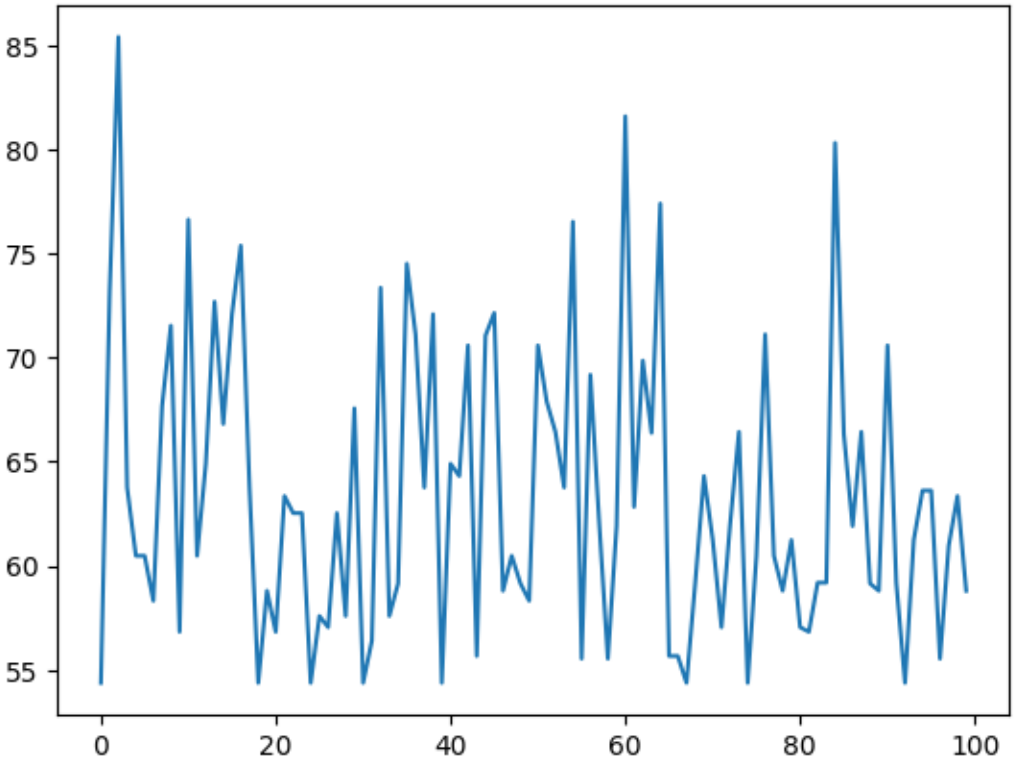
V_{51}	9,28	33,9	22,42	23,9	30,03	22,04	9,72	24,25	0

Siklus ke-7 ($NC = 7$)

0 -> 1 -> 6 -> 7 -> 5 -> 2 -> 4 -> 3 -> 8 dengan panjang 63.76
0 -> 2 -> 4 -> 3 -> 8 -> 6 -> 1 -> 5 -> 7 dengan panjang 149.78
0 -> 3 -> 4 -> 2 -> 7 -> 5 -> 1 -> 6 -> 8 dengan panjang 60.47999999999999
0 -> 4 -> 3 -> 1 -> 6 -> 8 -> 5 -> 7 -> 2 dengan panjang 154.76
0 -> 5 -> 7 -> 1 -> 6 -> 8 -> 4 -> 3 -> 2 dengan panjang 172.95999999999998
0 -> 6 -> 7 -> 5 -> 1 -> 3 -> 4 -> 2 -> 8 dengan panjang 72.62
0 -> 7 -> 5 -> 6 -> 1 -> 2 -> 4 -> 3 -> 8 dengan panjang 157.2
0 -> 8 -> 2 -> 7 -> 5 -> 6 -> 1 -> 3 -> 4 dengan panjang 80.06
(60.47999999999999, 0.08573966028083214)

Berdasarkan data output di atas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa rute terpendek adalah 0 -> 3 -> 4 -> 2 -> 7 -> 5 -> 1 -> 6 -> 8 dengan panjang rute 60,479 km. Pada kasus keempat, titik pertama adalah V_D sedangkan titik tujuan pertama V_{44}. Maka dari itu, 1 pada outoput bermakna V_{44}, 2 pada output bermakna V_{45}, dan seterusnya sehingga menghasilkan n output bermakna V_{n+43}. Rute yang didapatkan adalah $V_D \rightarrow V_{46} \rightarrow V_{47} \rightarrow V_{45} \rightarrow V_{50} \rightarrow V_{48} \rightarrow V_{44} \rightarrow V_{49} \rightarrow V_{51}$ dengan total jarak 60.4799.

Berikutnya akan ditujukkan plot yang berisi iterasi beserta jarak terpendek pada satu iterasinya. Hasil Gambar 4.8 menunjukkan bahwa jumlah rute terpendek semut pada iterasi 1 sampai dengan 100 tidak mendekati suatu nilai, bahkan rute terpendek yang ditujukan pada gambar memiliki tiga rute. Berikut merupakan data rute terpendek pada kasus 4.



Gambar 4.8 Plot Kasus 4 Ketika NC=100

Tabel 4.99 Data Rute Terpendek Kasus 4

Iterasi ke-	Rute	Total Rute
0	0 -> 8 -> 6 -> 1 -> 7 -> 5 -> 2 -> 4 -> 3	54,379999
18	0 -> 8 -> 6 -> 1 -> 7 -> 5 -> 2 -> 4 -> 3	54,379999
24	0 -> 8 -> 6 -> 1 -> 7 -> 5 -> 2 -> 4 -> 3	54,379999
30	0 -> 8 -> 6 -> 1 -> 7 -> 5 -> 2 -> 4 -> 3	54,379999
39	0 -> 8 -> 6 -> 1 -> 7 -> 5 -> 2 -> 4 -> 3	54,379999
67	0 -> 8 -> 6 -> 1 -> 7 -> 5 -> 2 -> 4 -> 3	54,379999
74	0 -> 8 -> 6 -> 1 -> 7 -> 5 -> 2 -> 4 -> 3	54,379999
92	0 -> 8 -> 6 -> 1 -> 7 -> 5 -> 2 -> 4 -> 3	54,379999

Tabel 4.99 menunjukkan bahwa rute terpendeknya adalah `0 -> 8 -> 6 -> 1 -> 7 -> 5 -> 2 -> 4 -> 3` yang artinya $V_D \rightarrow V_{51} \rightarrow V_{49} \rightarrow V_{44} \rightarrow V_{50} \rightarrow V_{48} \rightarrow V_{45} \rightarrow V_{47} \rightarrow V_{46}$ dengan panjang rute 54,3799 km.

4.2.4 Penentuan Rute Terpendek

Berikut merupakan hasil rute terpendek dari wilayah 1 sampai dengan wilayah 4.

A. Kasus 1

Rute : $V_A \rightarrow V_7 \rightarrow V_5 \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4$

Total Perjalanan : 24,699 km

Gambar 4.9 Hasil Rute Terpendek Kasus 1

Berdasarkan informasi pada Google Maps, jarak yang harus ditempuh ketika melewati ketujuh jalur tersebut adalah 39km. Akan dihitung seberapa efektif AKS ini bekerja. Berikut merupakan perhitungan nilai efektifitas.

Nilai efektifitasnya $= \frac{JM-JP}{JM} \times 100\%$

$$= \frac{39 - 24{,}7}{39} \times 100\%$$

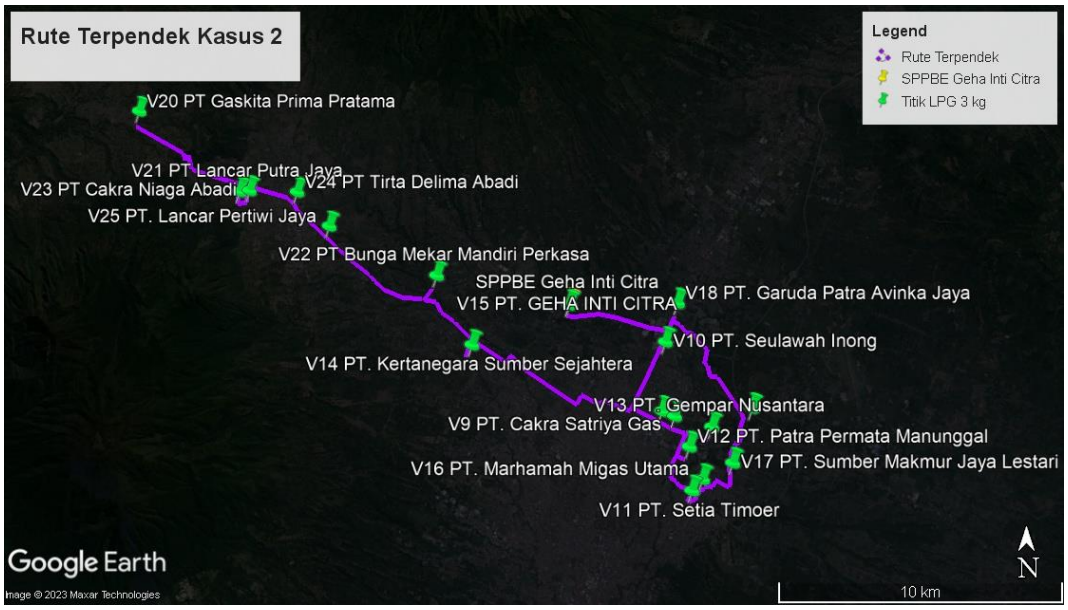
$$= 36{,}67\%$$

Dari nilai efektifitas tersebut, dapat diketahui bahwa jarak terpendek AKS memangkas hingga 36,67% dari jarak pada aplikasi Google Maps.

B. Kasus 2

Rute : $V_B \rightarrow V_{15} \rightarrow V_{19} \rightarrow V_{17} \rightarrow V_{16} \rightarrow V_{11} \rightarrow V_{12} \rightarrow V_{13} \rightarrow V_9 \rightarrow V_8 \rightarrow V_{18} \rightarrow V_{10} \rightarrow V_{14} \rightarrow V_{22} \rightarrow V_{25} \rightarrow V_{24} \rightarrow V_{21} \rightarrow V_{23} \rightarrow V_{20}$

Total Perjalanan : 105,2999 km

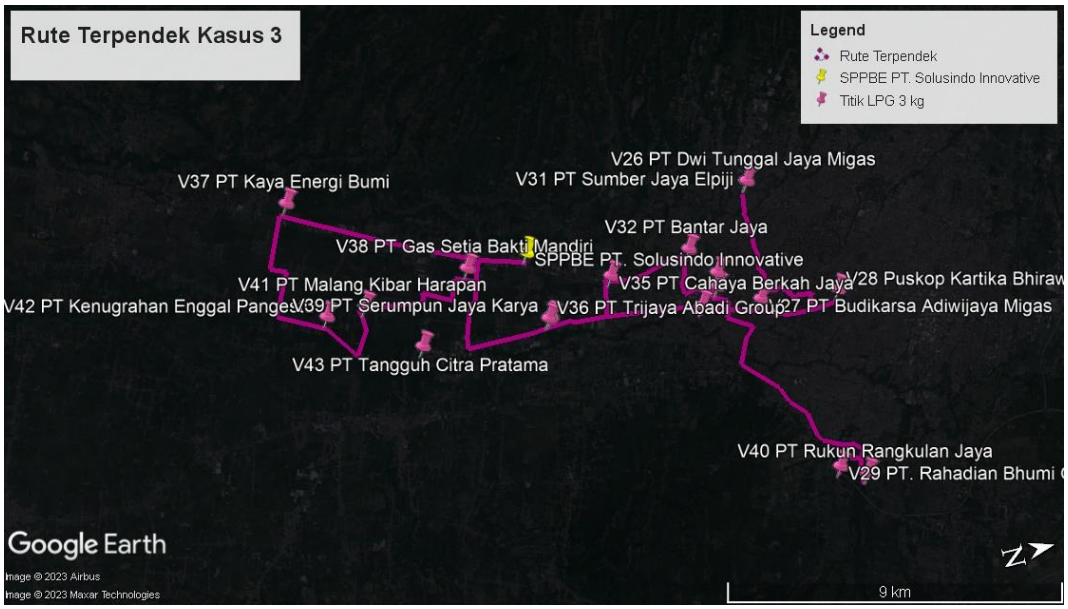


Gambar 4.10 Hasil Rute Terpendek Kasus 2

C. Kasus 3

Rute : $V_C \rightarrow V_{38} \rightarrow V_{43} \rightarrow V_{41} \rightarrow V_{42} \rightarrow V_{37} \rightarrow V_{39} \rightarrow V_{36} \rightarrow V_{40} \rightarrow V_{29} \rightarrow V_{34} \rightarrow V_{33} \rightarrow V_{32} \rightarrow V_{35} \rightarrow V_{30} \rightarrow V_{27} \rightarrow V_{28} \rightarrow V_{31} \rightarrow V_{26}$

Total Perjalanan : 62,38 km

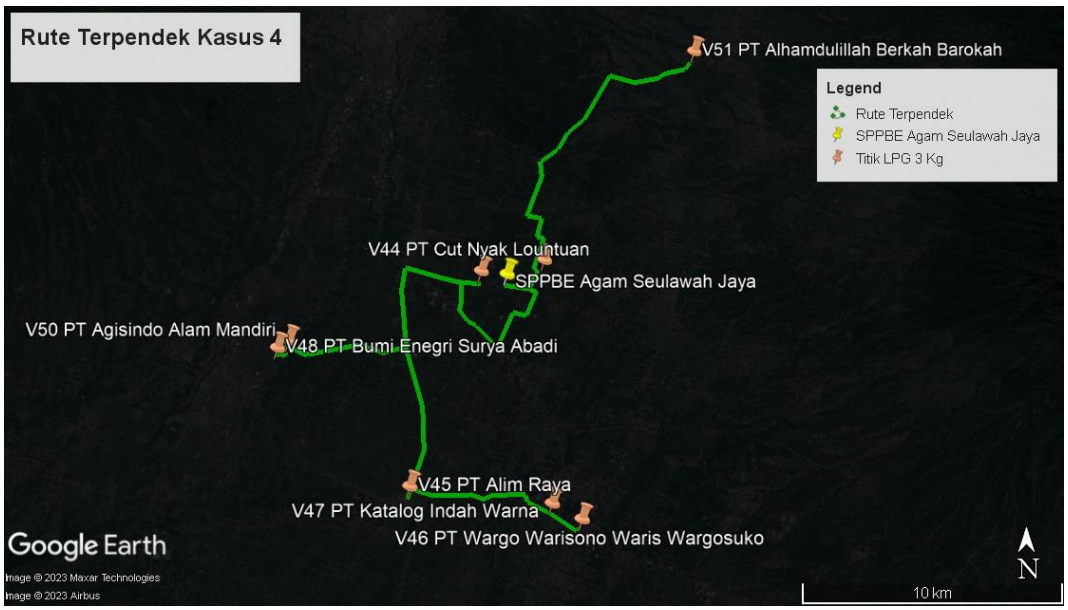


Gambar 4.11 Hasil Rute Terpendek Kasus 3

D. Kasus 4

Rute : $V_D \rightarrow V_{51} \rightarrow V_{49} \rightarrow V_{44} \rightarrow V_{50} \rightarrow V_{48} \rightarrow V_{45} \rightarrow V_{47} \rightarrow V_{46}$

Total Perjalanan : 54,3799 km



Gambar 4.12 Hasil Rute Terpendek Kasus 4

Berdasarkan informasi pada Google Maps, jarak yang harus ditempuh ketika melewati ketujuh jalur tersebut adalah 107km. Akan dihitung seberapa efektif AKS ini bekerja. Berikut merupakan perhitungan nilai efektifitas.

Nilai efektifitasnya $= \frac{JM-JP}{JM} \times 100\%$

$$= \frac{107 - 54{,}38}{107} \times 100\%$$

$$= 49{,}17\%$$

Dari nilai efektifitas tersebut, dapat diketahui bahwa jarak terpendek AKS memangkas hingga 49,17% dari jarak pada aplikasi Google Maps.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penentuan lintasan terpendek menggunakan algoritma semut pada distribusi LPG di Malang Raya dapat diselesaikan. Pada AKS, inisialisasi parameter sangat berpengaruh. Jika $\alpha < \beta$ maka jarak yang dihasilkan tidak konvergen ke suatu nilai, bahkan hasil rute tidak mendapatkan jarak terpendeknya. Maka nilai α harus terletak pada range 0-1. Pemilihan parameter $\rho = 0.5$ dikarenakan jika $\rho = 0$ maka nilai feromon terbaru akan bernilai sama dengan feromon sebelumnya, jika $\rho = 1$ maka feromon tidak memiliki nilai (tidak ada feromon). AKS juga dapat menghasilkan total jarak terpendek yang jauh lebih efektif dibandingkan *google maps.* Pada kasus satu, rute terpendeknya memangkas sekitar 36,67% dari jarak yang sudah. Pada kasus empat, AKS dapat memangkas hingga 49,17% dari jarak yang telah disajikan pada *google maps.* Oleh karena itu, AKS dapat dinilai lebih efektif namun tetap bergantung pada jumlah iterasinya.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk membandingkan tingkat keefektifan Algoritma Koloni Semut dengan algoritma dan lainnya, untuk mengatahui algoritma manakah yang lebih efektif dalam menentukan rute terpendek.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, S., Sakethi, D., Prabowo, R., & Andrian, R. (2018). Optimasi Pencarian Kata-Kata Dalam Empat Kitab Hadis. *Jurnal Komputasi*, *6*(1), 1–7. https://doi.org/10.23960/komputasi.v6i1.1654

Ambarsari, E. W. (2017). Modifikasi Algoritma Semut untuk Optimasi Probabilitas Pemilihan Node dalam Penentuan Jalur Terpendek. *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi)*, *2*(2), 193. https://doi.org/10.30998/string.v2i2.2106

Andrianto, R. (2022). *10 Negara Penghasil Minyak Bumi Terbesar, Ada Indonesia?* CNBC Indonesia. https://www.cnbcindonesia.com/market/20220906162442-17-369783/10-negara-penghasil-minyak-bumi-terbesar-ada-indonesia#:~:text=Lantas%2C Indonesia ada di urutan,%2C8%25 produksi minyak dunia.

Aristi, G. (2014). Perbandingan Algoritma Greedy, Algoritma Cheapest Insertion Heuristics Dan Dynamic Programming Dalam Penyelesaian Travelling. *Jurnal Paradigma*, *XVI*(2), 52–58.

Chartrand, G., Lesniak, L. (1986). *Graph and Digraph Second Edition*.

Daniel, F., & Taneo, P. N. L. (2019). *Teori Graf* (T. Yulianti (ed.); pertama). CV Budi Utama.

Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. (2021). *Minyak dan Gas Bumi Semester I 2021*.

Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colorni, A. (1996). The Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, *26*(1), 29–41. https://doi.org/10.1109/3477.484436

Dorigo, M., Member, S., & Gambardella, L. M. (1997). *Ant Colony System : A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem*. *1*(1), 53–66.

Effendi, R., & Maulinda, S. (2010). Studi Perbandingan Algoritma Cheapest Insertion Heuristic Dan Ant Colony System Dalam Pemecahan Travelling Salesman. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi*, *2010*(Snati), 1–6.

Ginantra, N. L. W. S. R., Taufiqurrahman, T., Bhawika, G. W., Iswara, I. A. I., & Wanto, A. (2019). Determination of the Shortest Route Towards the Tourist Destination Area Using the Ant Algorithma. *Journal of Physics: Conference Series*, *1339*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1339/1/012038

Hanifah, I. R. U. (2022). Hadist Nabi Tentang Konsumsi: Analisis Korelasi Hadist Dengan Perilaku Konsumen Di Era Digital. *Proceeding of The 2nd Conference on Strengthening Islamic Studies in the Digital Era*, *2*.

Ishaq Al-Sheikh, D. A. bin M. bin A. bin. (2001). *Tafsir Ibnu Katsir Jilid V* (M. Y. Harun, Y. A. Q. Jawas, F. Okbah, T. S. Alkatsiri, F. G. Anuz, & F. Dloifur (eds.)). Pustaka Imam asy Syafi'i.

Karjono, Moedjiono, & Kurniawan, D. (2016). Ant Colony Optimization.

Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics, *4*(3). https://doi.org/10.1201/9781420010749

Kementerian ESDM RI. (n.d.). *Daftar Penyalur LPG PT Pertamina (Persero)*. https://migas.esdm.go.id/uploads/uploads/daftar-badan-usaha/Nama-Alamat-Penyalur-LPG-Pertamina-2022-(2).pdf

Kementrian Agama RI. (2022). *Quran Kemenag*. Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an. https://quran.kemenag.go.id/

Manaf, A. (2015). Bekerja Optimal, Bekerja Maksimal. *Pojok Dirjen, Majalah Peradilan Agama Edisi 7*.

Musdalipa, & Sahari, A. (2021). *Penentuan Jalur Terpendek Pendistribusian Barang Jalur Nugraha Ekakurir (Jne) Menggunakan Algoritma Semut (Studi Kasus Jne Dewi Sartika Palu)*. *18*(1), 84–94. https://doi.org/https://doi.org/10.22487/2540766X.2021.v18.i1.15536 ISSN

Musdalipa, Sahari, A., & Najar, A. M. (2021). Penentuan Jalur Terpendek Pendistribusian Barang Jalur Nugraha Ekakurir (JNE) Menggunakan Algoritma Semut (Studi Kasus JNE Dewi Sartika Palu). *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Terapan*, *18*(1), 84–94. https://doi.org/10.22487/2540766x.2021.v18.i1.15536

Ridwan, M., & Andriyanto, I. (2019). Sikap boros: dari normatif teks ke praktik keluarga muslim. *Al-Amwal: Jurnal Ekonomi Dan Perbankan Syari'ah*, *11*(2), 273–284. https://doi.org/10.24235/amwal.v11i2.4927

Syaifudin, W. H., & Choiruddin, A. (2021). *Pengantar Teori Probabilitas dan Statistika* (Ed. 1). El-Markazi.

Wardy, I. S. (2013). Penggunaan Graf dalam Algoritma Semut untuk Melakukan Optimisasi. *Jurnal Manajemen Informatika*, *01*(02), 1–20.

Yunita, F. (2018). *Model Algoritma Hybrid Particle Swarm Optimization-Ants Colony Optimization, Untuk Penyusunan Penjadwalan Perkuliahan*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yuswardi, & Balia. (2022). *Distribusi Gas LPG dengan Mencari Rute Terpendek Perbandingan Algoritma Dijkstra dan Ant Colony Wilayah Kabupaten Pidie*. *12*(April), 132–138.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Lokasi SPPBE

No.	Nama SPPBE	Alamat
1.	PT Trien Gasmiku	Jl. Terusan Yon Kav 3/Tank Ds. Ardimulyo, Singosari, Kab. Malang
2.	PT Geha Inti Citra	Jl. Raya Kepuharjo 45, Karangploso, Kab. Malang
3.	PT Solusindo Innovative	Jl. Karangsono Raya No. 131, Pakisaji, Kab. Malang
4.	PT Agam Seulawah Jaya	Jl. Raya Sumbersari, Desa Pringu, Bululawang, Kab. Malang

Lampiran 2. Data Agen LPG Malang Raya

No.	Agen LPG 3kg	Alamat Terverifikasi	Kecamatan
1.	PT Herdiyanto Soedirman Group	Jl. Laksda Adi Sucipto No.194, Blimbing, Kec. Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur 65126	Blimbing
2.	PT Dwi Tunggal Jaya Migas	Jl. Bandulan No.93, Bandulan, Kec. Sukun, Kota Malang, Jawa Timur 65146	Sukun
3.	PT Budikarsa Adiwidjaya Migas	Jl. Pasar Besar No.159-161, Sukoharjo, Kec. Klojen, Kota Malang, Jawa Timur 65118	Klojen
4.	Puskop Kartika Bhirawa Anoraga	Jl. Panglima Sudirman No. C1-C2, Rampal Celaket, Kec. Klojen, Kota Malang, Jawa Timur 65111	Klojen
5.	PT Galaxi Energy Pratama	Jl. Kertarejasa No.54, Candirenggo, Kec. Singosari, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65153	Singosari
6.	PT Rahadian Bhumi Gasindo	2MCH+RX8, Cemorokandang, Kedungkandang, Malang City, East Java 65138	Kedungkandang
7.	PT Ilham Berkah Jaya	no 3a 65134, Jl. Kolonel Sugiono No.3A/302, Mergosono, Kec. Kedungkandang, Kota Malang, Jawa Timur 65134	Kedungkandang
8.	PT Sumber Jaya Elpiji	Jl. Bandulan No.80, Bandulan, Kec. Sukun, Kota Malang, Jawa Timur 65146	Sukun
9.	PT Bantar Jaya	Jl. Janti Bar. No.36, Sukun, Kec. Sukun, Kota Malang, Jawa Timur 65148	Sukun

No.	Agen LPG 3kg	Alamat Terverifikasi	Kecamatan
10.	PT Cakra Satriya Gas	Jl. Laksda Adi Sucipto No.280, Pandanwangi, Kec. Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur 65126	Blimbing
11.	PT Seulawah Inong	Jl. Pahlawan No.242, Balearjosari, Kec. Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur 65126	Blimbing
12.	PT Aman Damai Sejahtera	Jl. Halmahera No.90, Ciptomulyo, Kec. Sukun, Kota Malang, Jawa Timur 65117	Sukun
13.	PT Tri Jaya Abadi Sentausa	2J4J+J93, Jl. Peltu Sujono, Ciptomulyo, Kec. Sukun, Kota Malang, Jawa Timur 65148	Sukun
14.	PT Setia Timoer	Jl. Danau Matana II No.F2, Sawojajar, Kec. Kedungkandang, Kota Malang, Jawa Timur 65139	Kedungkandang
15.	PT Patra Permata Manunggal	Jl. Batu Amaril No.38, Pandanwangi, Kec. Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur 65126	Blimbing
16.	PT Nuansa Indah Sukses	Jl. Kebon Agung No.Rt 02/02, Gondorejo Krajan, Tamanharjo, Kec. Singosari, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65153	Singosari
17.	PT Cahaya Berkah Jaya	Jl. Satsui Tubun No.25, Kebonsari, Kec. Sukun, Kota Malang, Jawa Timur 65149	Sukun
18.	PT Tirtamas Elpiji	4M63+GG3, Jl. Tumapel Bar., Krajan, Klampok, Kec. Singosari, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65153	Singosari
19.	PT Sari Bumi Muli	Jalan Tumapel Barat No. 85 Singosari Malang	Singosari
20.	PT Gempar Nusantara	Jl. Raya Wendit Barat No.1, RT.03/RW.02, Lowoksoro, Mangliawan, Kec. Pakis, Kota Malang, Jawa Timur 65154	Pakis
21.	PT Kertanegara Sumber Sejahtera	Jl. Margo Basuki No.64, Jetis, Mulyoagung, Kec. Dau, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65151	Dau
22.	PT Trijaya Abadi Group	Gg. Akasia No.1, Kendal Payak, Kendalpayak, Kec. Pakisaji, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65162	Pakisaji
23.	PT Wallcon Indonesia Perkasa	JalanInspol Suwoto No.7 Rt.1 Rw.1 Desa Sidodadi Lawang Kabupaten Malang	Lawang

No.	Agen LPG 3kg	Alamat Terverifikasi	Kecamatan
24.	PT Gunawan Migas	Jl. Wijaya Kusuma No.100, RT.22/RW.7, Sawojajar B, Sekarpuro, Kec. Pakis, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65154	Pakis
25.	PT Cut Nyak Lountuan	WM37+845, Jl. Raya Kuwolu, RT.08/RW.03, Maqbul Utara, Kuwolu, Kec. Bululawang, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65171	Bululawang
26.	PT Kaya Energi Bumi	Jl. Ahmad Yani No.54, Gambiran, Mojosari, Kec. Kepanjen, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65163	Kepanjen
27.	PT Cakra Dwi Gas	Jl. Laksda Adi Sucipto No.280, Pandanwangi, Kec. Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur 65126	Blimbing
28.	PT Alim Raya	RJGQ+G7H, Jl. Letjend Panjaitan, Krajan Satu, Gondanglegi Kulon, Kec. Gondanglegi, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65174	Gondanglegi
29.	PT Geha Inti Citra	Jl. Kepuhararjo No. 47 Rt 13 / Rw 05, Desa Kepuharjo Kecamatan Karangploso, Wringin Anom, Kepuharjo, Kec. Karang Ploso, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65152	Karangploso
30.	PT Gas Setia Bhakti Mandiri	WJW6+G5X, Dusun Jl. Pidek, Dusun Bunder, Genengan, Kec. Pakisaji, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65162	Pakisaji
31.	PT Wargo Warisono Waris Wargosuko	Jl. Raya Gatot Subroto No.71, Madyorenggo, Talok, Kec. Turen, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65181	Turen
32.	PT Marhamah Migas Utama	Jl. Terusan Wisnu Wardana No.2, Keduyo, Mangliawan, Kec. Pakis, Kota Malang, Jawa Timur 65139	Pakis
33.	PT Catalog Indah Warna	RM8X+6HG, Jl. Raya Gatot Subroto, Madyorenggo, Talok, Kec. Turen, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65175	Turen
34.	PT Sumber Makmur Jaya Lestari	Jl. Wijaya Kusuma No.100, RW.7, Sawojajar B, Sekarpuro,	Pakis

No.	Agen LPG 3kg	Alamat Terverifikasi	Kecamatan
		Kec. Pakis, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65154	
35.	PT Bumi Energi Surya Abadi	VHGQ+6Q7, Jalan Raya, Ketapang, Sukoharjo, Kepanjen, Malang Regency, East Java 65163	Kepanjen
36.	PT Abadi Putra Jaya	4M2R+28J, Jalan Raya, Gondorejo Ledok, Tamanharjo, Singosari, Malang Regency, East Java 65153	Singosari
37.	PT Khalisa Salma Sejahtera	WM4P+XCR, Jl. Raya Kidangbang, Krajan, Pringu, Kec. Bululawang, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65171	Bululawang
38.	PT Agisindo Alam Mandiri	Jl. Raya Sukoraharjo No.304, Ketapang, Sukoharjo, Kec. Kepanjen, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65163	Kepanjen
39.	PT Serumpun Jaya Karya	Jl. Raya Segaran No.41, Kendal Payak, Kendalpayak, Kec. Pakisaji, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65162	Pakisaji
40.	PT Garuda Patra Anvika Jaya	Jl. Mondoroko Sel. No.16, RT.01/RW.12, Mondoroko, Banjararum, Kec. Singosari, Kota Malang, Jawa Timur 65153	Singosari
41.	PT Rukun Rangkulan Jaya	Jl. Melati, RT.016/RW.005, Penjaraan, Sekarpuro, Kec. Pakis, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65154	Pakis
42.	PT Mulya Sri Rejeki	Jalan Pondok Belimbing Indah Blok A No.1 - 6, Genitri, Tirtomoyo, Kec. Pakis, Kota Malang, Jawa Timur 65154	Pakis
43.	PT Sutopo Putra	5MCX+6PC, Jl. Dorowati Bar., Krajan Timur, Mulyoarjo, Kec. Lawang, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65216	Lawang
44.	PT Malang Kibar Harapan	WJ97+X8G, Jalan Raya, Ngebyongan, Wonokerso, Pakisaji, Malang Regency, East Java 65162	Pakisaji
45.	PT Kanugrahan Enggal Pangestu	Semanding, Curung Rejo, Kepanjen, Malang Regency, East Java 65163	Kepanjen
46.	PT Gaskita Prima Pratama	Jl. Kramat Jl. Maron, Maron, Pujon Lor, Kec. Pujon,	Pujon

No.	Agen LPG 3kg	Alamat Terverifikasi	Kecamatan
		Kabupaten Malang, Jawa Timur 65391	
47.	PT Alhamdulillah Berkah Barokah	XPPV+W63, Pulungan, Pulungdowo, Kec. Tumpang, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65156	Tumpang
48.	PT Tangguh Citra Pratama	Jl. Raya Karangduren No.53, Karangduren, Kec. Pakisaji, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65162	Pakisaji
49.	PT Lancar Putra Jaya	Jl. Hasanudin No.58, Pesanggrahan, Kec. Batu, Kota Batu, Jawa Timur 65313	Batu
50.	PT Bunga Mekar Mandiri Perkasa	4H2G+7V4, Jl. Panderman No.16, RT.20, Pendem, Kec. Junrejo, Kota Batu, Jawa Timur 65324	Junrejo
51.	PT Cakra Niaga Abadi	Jl. Samadi No.48, Pesanggrahan, Kec. Batu, Kota Batu, Jawa Timur 65313	Pesanggrahan
52.	PT Tirta Delima Abadi	Jl. Welirang No.7, Sisir, Kec. Batu, Kota Batu, Jawa Timur 65314	Batu
53.	PT Lancar Pertiwi Jaya	Patimura I, Temas, Kec. Batu, Kota Batu, Jawa Timur 65315	Batu

RIWAYAT HIDUP

Habiba Amalia Az Zahra, biasa dipanggil Lia, lahir di Bojonegoro, 02 Desember 2000. Penulis merupakan putri dari pasangan Bapak Agung Istiyadi, S.E, M.M. dan Ibu Maulida Listiana, AMK. Penulis merupakan anak pertama dari lima bersaudara. Pendidikan dasar ditempuh di dua tempat yakni MITQ Azhar Center Makassar tahun 2007 – 2010 kemudian dilanjutkan di SDIT Al-Ma'ruf Surabaya tahun 2010 – 2013. Setelah lulus, penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Bojonegoro hingga tahun 2016 kemudian melanjutkan ke pendidikan jenjang menengah atas di SMA Negeri 2 Bojonegoro dan lulus pada tahun 2019. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim pada Fakultas Sains dan Teknologi program studi Matematika melalui jalur SBMPTN.

Selama menempuh pendidikan pada bangku kuliah, penulis memiliki pencapaian antara lain Juara 1 LKTIN OMIKRON UNPAD tahun 2022, mengikuti Riset Kompetitif Mahasiswa tahun 2022 serta menjadi presenter pada ajang *International Conference on Green Technology* (ICGT) 2022. Selain itu, penulis juga menjadi generasi pertama pada organisasi TurunTangan Bojonegoro tahun 2020 dan 2021, aktif dalam kegiatan HMJ "Integral" Matematika pada divisi Kematematikaan dan Ketua Himpunan pada periode berikutnya, juga aktif keanggotaan pada Lingkar Cendekia (2021-2022) dan *Youth Community* Indonesia (2022).

KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Habiba Amalia Az Zahra
NIM : 19610049
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Matematika
Judul Skripsi : Penerapan Algoritma Koloni Semut Dalam Menentukan Rute Terpendek Distribusi LPG di Malang Raya
Pembimbing I : Juhari, M.Si.
Pembimbing II : Ach. Nashichuddin, M.A.

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	05 Januari 2023	Konsultasi Bab I, II, dan III	1.
2.	10 Januari 2023	Revisi Bab I, II, dan III	2.
3.	06 Maret 2023	Konsultasi Rancangan Bab I	3.
4.	10 Maret 2023	Konsultasi Kajian Agama Bab II	4.
5.	11 Maret 2023	Revisi Kajian Agama Bab II	5.
6.	13 Maret 2023	ACC untuk Seminar Proposal	6.
7.	19 Mei 2023	Konsultasi Bab IV dan V	7.
8.	20 Mei 2023	Revisi Bab IV dan V	8.
9.	22 Mei 2023	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	9.
10.	23 Mei 2023	Revisi Kajian Agama Bab IV	10.
11.	26 Mei 2023	ACC untuk Seminar Hasil	11.
12.	29 Mei 2023	Konsultasi Bab 1 dan IV	12.
13.	30 Mei 2023	Revisi Bab I dan IV	13.

KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

14.	7 Juni 2023	Konsultasi Hasil Revisi Bab I dan IV	14.
15.	9 Juni 2023	ACC untuk Ujian Skripsi	15.
16.	23 Juni 2023	ACC keseluruhan	16.

Malang, 23 Juni 2023
Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Elly Susanti, M.Sc.
NIP. 19741129 200012 2 005