

PERANCANGAN SISTEM OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI PENGANGKUTAN SAMPAH DI SURABAYA SECARA ADAPTIF MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA KOLONI SEMUT

Raditya Arizal Pranata, Ira Prasetyaningrum S.Si,MT. , Arna Fariza, S.Kom, M.Kom. ,

Entin Martiana S.Kom, M.Kom. ,

Jurusan Teknik Informatika, PENS - ITS Surabaya

Jl. Raya ITS, Surabaya

+62(31) 594 7280; Fax: +62(31) 594 6114

E-mail : raditya_arizal_p@yahoo.com, ira@eepis-its.edu, arna@eepis-its.edu, entin@eepis-its.edu

ABSTRAK

Sistem Pengangkutan sampah di Kota Surabaya dibagi menjadi dua, yaitu sistem pengangkutan dari Kelurahan / Kecamatan (KK) ke LPS dan dari LPS ke LPA. Sampah merupakan hal yang telah menjadi bagian dari kehidupan kita sehari-hari, sampah yang dihasilkan oleh masyarakat kota Surabaya pun tidak sedikit dan harus dicermati dengan seksama karena jika tidak maka sampah tersebut dapat menumpuk dan bertambah banyak di suatu LPS tertentu akan dapat mengganggu masyarakat sekitar, mulai dari bau yang tidak sedap, lingkungan menjadi kotor bahkan dapat menjadi sumber penyakit. Pengambilan sampah oleh kendaraan truk pengangkut sampah pun kadang tidak teratur sehingga kadang suatu LPS dapat menampung sampah lebih banyak dari daya tampung sebenarnya. Sehubungan dengan masalah tersebut sistem optimasi rute distribusi ini dirancang agar sistem distribusi pengangkutan sampah dapat berfungsi secara optimal.

Perancangan Sistem ini menggunakan Algoritma Koloni Semut yang dapat menyelesaikan masalah yang bersifat non polynomial dan bersifat kompleks, selain itu LPS yang ada di Kotamadya Surabaya tidak sedikit dan jumlahnya kurang lebih sekitar 164 LPS maka Algoritma Koloni Semut dapat digunakan karena bersifat multiagent. Sistem optimasi rute distribusi sampah ini mengimplementasi dari sifat semut umumnya dimana dapat mencari rute secara optimal serta memperhatikan faktor kapasitas truk dengan sampah yang berbeda pada tiap harinya (adaptif). Rute-rute yang dilewati merupakan hasil dari proses optimasi melalui Algoritma Koloni Semut tersebut dan visualisasi dari rute tersebut diintegrasikan dengan Teknologi Google Maps sehingga kita dapat mengetahui letak dari posisi LPS yang ada dan rute yang dilalui dal pendistribusian tersebut. Hasil yang ingin dicapai disini adalah fungsi dari truk pengangkut sampah dapat bekerja secara optimal sehingga sampah tidak lagi menjadi masalah besar untuk diatasi, keuntungan lain yang adalah lingkungan menjadi sehat, bebas dari bau sampah yang tidak sedap dan Surabaya dapat mempertahankan piala Adipura sebagai kota yang berhasil dalam kebersihan dan pengelolaan lingkungan perkotaan.

Kata Kunci : Sistem Optimasi, SIG, Koloni Semut, Rute, Sampah

1. PENDAHULUAN

Sampah adalah salah satu masalah yang cukup pelik bagi beberapa kota besar seperti di Surabaya ini. Volume sampah yang cukup besar dan tidak sesuai dengan kapasitas Lahan Pembuangan di wilayah Kecamatan dan Kelurahan (KK) serta di Lahan Pembuangan Sementara (LPS) dan Lahan Pembuangan Akhir (LPA) adalah salah satu masalahnya. Bukan sebuah hal yang mengherankan, karena memang sebuah kota yang besar tentu memiliki jumlah penduduk yang besar pula. Katakanlah jika sebuah rumah yang berisi 4 orang menghasilkan sampah sebanyak 0.5 m^3 perhari, maka bisa dibayangkan berapa volume sampah yang dihasilkan kota ini setiap harinya.

Permasalahan sampah tidak hanya pada volumenya saja. Kurangnya kinerja antar instansi-instansi terkait dalam mengelola sampah ini juga masih menjadi masalah. Meskipun kinerjanya bisa dikatakan cukup baik, tetapi masih saja terjadi penumpukan sampah di suatu KK dan LPS sehingga mencemari udara disekitarnya. Untuk itu, diperlukan sebuah sistem yang baik agar pengangkutan sampah dari KK ke LPS kemudian dilanjutkan ke LPA lebih teratur, sehingga bisa mengurangi resiko pencemaran udara yang disebabkan penumpukan sampah tersebut.

Sistem pengangkutan sampah yang dilakukan mulai dari KK oleh gerobak-gerobak sampah hingga truk-truk sampah dari LPS ke LPA juga dirasa masih kurang maksimal. Sudah banyak masyarakat yang mengeluhkan dengan bau yang kurang sedap di

daerah perumahannya dan kemacetan yang disebabkan oleh truk-truk pengangkut sampah, karena sistem pengambilan sampah yang kurang terjadwal dan di tambah lagi dengan beroperasinya kendaraan di jam-jam yang padat lalu lintasnya. Bukan hanya kemacetan saja yang dikeluhkan, bau yang menyengat dari sampah yang diangkut juga meresahkan masyarakat, terlebih apabila gerobak dan truk tersebut berhenti di wilayah perumahan ataupun suatu jalan sekitar karena suatu hal. Dengan semakin lamanya armada pengangkut sampah untuk sampai tujuan juga mempengaruhi biaya yang dikeluarkan oleh pemerintah kota

Semakin lama pengangkutan sampah tersebut (rute yang dilewati semakin banyak), maka semakin besar pula biaya yang harus dikeluarkan oleh pemerintah kota.

Untuk mengatasi hal tersebut, kami mencoba untuk merancang sebuah aplikasi perangkat lunak (software) yang bisa digunakan untuk mengoptimasikan penjadwalan pengangkutan sampah tersebut. Sistem yang kami buat ini terdiri dari dua bagian pokok. Yang pertama adalah sistem optimasi dari LPS ke LPA, dan yang kedua adalah simulasi optimasi tersebut dengan memanfaatkan Google Maps API. Dengan menggunakan software ini, diharapkan sistem penjadwalan dalam manajemen dan pengelolaan sampah ini bisa lebih maksimal.

Adapun tujuan dari Proyek Akhir ini adalah untuk membantu memajemen pengangkutan sampah di Surabaya agar lebih maksimal dan lebih teroptimasi. Selain itu juga untuk mengurangi kerumitan dalam pengelolaan dan pengangkutan sampah dari tempat pembuangan sampah di LPS kemudian ke LPA tersebut, sehingga pada akhirnya bisa membawa kebersihan dan ketertiban di kota Surabaya. Dengan melakukan optimasi tersebut diharapkan dapat juga menekan biaya operasional pengangkutan sampah yang dianggarkan oleh Pemerintah Kota.

Sebagai batasan masalah pada proyek akhir ini adalah truk yang digunakan oleh Pemerintah Kota Surabaya terbagi menjadi dua yaitu truk yang berkapasitas 8 m^3 dan 14 m^3 , kemudian pengimplementasian rute jalan menggunakan Google Map yang dapat ditampilkan untuk saat ini berkisar hingga 25 LPS dalam satu kali proses eksekusi, serta truk sampah yang merupakan kendaraan dinas mereka dapat melalui jalan yang menuju LPS mana pun sampai pada akhirnya menuju ke LPA.

2. STUDI PUSTAKA

Sarwoko Mangkoedihardjo[1] dalam makalahnya yang berjudul “Peningkatan Kualitas Lingkungan Perkotaan: Pengelolaan Sampah dalam Perspektif Berkelanjutan” menjelaskan bagaimana proses pengolahan sampah di Surabaya dan apa saja infrastrukturnya. Dia menyebutkan bahwa Sistem umum manajemen sampah Surabaya saat ini melingkup area kota dengan pembuangan akhir sentralistik. Simpul-simpul sistemnya terdiri dari 5 jenis fasilitas pembuangan, yang kesemuanya terbuka untuk pembuangan sampah campuran. Pertama adalah bak sampah (BS) yang dikelola oleh masyarakat. Fasilitas kedua, yaitu pengangkutan sampah dari BS ke lahan pembuangan sementara (LPS). Bentuk fasilitasnya setara dengan gerobak tarik (GT). Jumlah GT per RW sekitar 1 – 2 unit, jumlah RW per kelurahan antara 5 – 7 dan dengan jumlah 168 kelurahan maka diperkirakan terdapat GT sejumlah 1.500 unit.

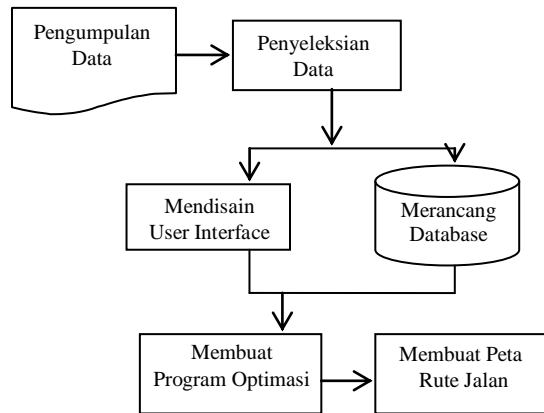
Ketiga adalah LPS, yang dikelola Dinas Kebersihan. LPS dapat berupa depo berukuran luas rata-rata 250 m² dengan luas lahan aktif operasional pembuangan sekitar 150 m² dan berupa landasan berukuran luas rata-rata 100 m², yang dapat dioperasikan penuh. Keempat adalah fasilitas pengangkutan sampah dari LPS ke lahan pembuangan akhir sampah (LPA). Truk angkutan sampah (TA) adalah bentuk umum fasilitasnya. Ini berarti tiap TA melayani sekitar 2 LPS, atau 120 m³/hari harus diangkut. Jika tiap truk bermuatan penuh 12 m³ dan beroperasi 3 kali/hari, maka pengosongan sampah dari LPS ke LPA hanya sebesar 36 m³/hari, atau 30 % dari seharusnya. Kelima adalah fasilitas LPA itu sendiri, yang dikelola Dinas Kebersihan. Cara pembuangan yang dilakukan adalah hamparan terbuka (open dumping).

3. DESAIN SISTEM

Perancangan sistem terhadap proses optimasi rute distribusi pengangkutan sampah dapat dilihat pada gambar 1. Sistem yang dirancang, dibuat dengan mempertimbangkan berbagai faktor-faktor permasalahan dan kebutuhan yang telah ditentukan. Perancangan meliputi perancangan arsitektur sistem, database serta teknologi google maps.

3.1 Pengumpulan data

Data-data yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1 Diagram rancangan sistem

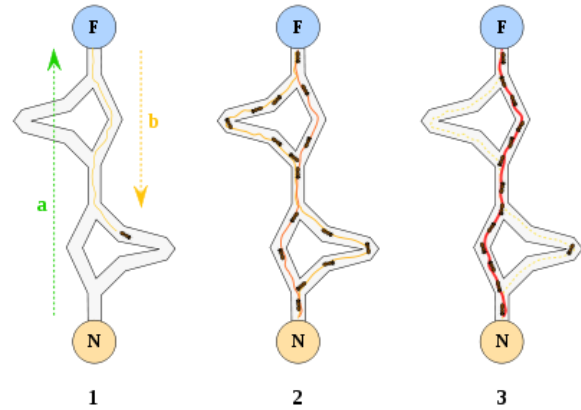
Tabel 1 Data-data yang digunakan untuk penghitungan dan pengolahan informasi.

No.	Nama	Sumber
1.	Data LPS Kotamadya Surabaya	DKP
2.	Data angkutan sampah beserta nama sopir dan jadwalnya	DKP
3.	Data koordinat letak LPS, LPA dan depo garasi truk	Google Maps

3.2 Metode Koloni Semut

. Algoritma Koloni Semut[2] diperkenalkan oleh Moyson dan Mendrik dan secara meluas dikembangkan oleh Macro Dorigo, merupakan teknik probalilistik untuk menyelesaikan masalah komputasi dengan menemukan jalur terbaik melalui grafik. Algoritma ini terinspirasi oleh perilaku semut dalam menemukan jalur dari koloninya menuju makanan.

Secara alamiah koloni semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ke tempat-tempat sumber makanan. Koloni semut dapat menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan berdasarkan jejak kaki pada lintasan yang telah dilalui. Semakin banyak semut yang melalui suatu lintasan, maka semakin jelas bekas jejak kakinya. Hal ini menyebabkan lintasan yang dilalui semut dalam jumlah sedikit, semakin lama semakin berkurang kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan tidak dilewati sama sekali. Sebaliknya lintasan yang dilalui semut dalam jumlah banyak, semakin lama semakin bertambah kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan semua semut melalui lintasan tersebut. Ilustrasi rute yang dibentuk oleh semut dan koloninya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Ilustrasi Rute yang Dihasilkan Semut dan Koloninya

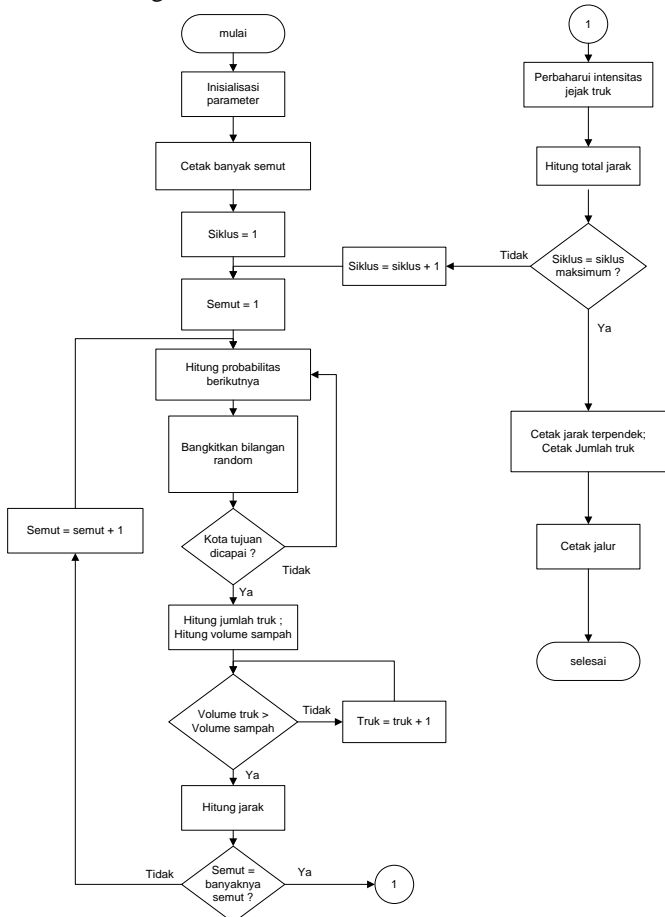
Metode Koloni Semut digunakan untuk dapat melakukan perhitungan yang bersifat non polynomial dan sistem kerjanya kompleks. Algoritma ini bersifat multiagent, disebut multiagent disini dikarenakan sistem mengambil dan menghitung masukan dengan kapasitas lebih dari 1 (banyak), yang dimana disini perannya sebagai LPS. Cara kerja sistem ini sama dengan proses semut pada umumnya dalam mencari makan yang akan membentuk jalur optimal, hal tersebut mengimplementasi proses distribusi sampah, yang dimana sampah yang berada di LPS-LPS akan diambil berdasarkan jarak antar LPS dengan kapasitas kendaraan pengangkut sampah. Karena sistem dibuat bersifat adaptif yang mengikuti jumlah volume sampah tiap harinya volume, maka tiap hari truk sampah bertugas mengambil sampah yang terkumpul pada tiap-tiap LPS tersebut. Gambaran *flowchart* dari Algoritma Koloni Semut yang di rancang dapat dilihat pada Gambar 3

Parameter-parameter yang digunakan pada metode koloni semut :

Dalam metode ini, beberapa parameter terkait harus didefinisikan dengan keterangan sebagai berikut[3]:

1. Intensitas jejak semut (τ_{ij}) dan perubahannya ($\Delta\tau_{ij}$), τ_{ij} harus diinisialisai sebelum memulai siklus. τ_{ij} digunakan dalam persamaan probabilitas kota yang akan dikunjungi. $\Delta\tau_{ij}$ diinisialisasi setelah selesai satu siklus. $\Delta\tau_{ij}$ digunakan untuk menentukan τ_{ij} untuk siklus selanjutnya.
2. Tetapan siklus semut (Q), Q merupakan konstanta yang digunakan dalam persamaan untuk menentukan $\Delta\tau_{ij}$. Nilai Q ditentukan oleh pengguna.
3. Tetapan pengendali intensitas jejak semut (α), α digunakan dalam persamaan probabilitas kota yang akan dikunjungi yang berfungsi sebagai pengendali intensitas jejak semut. Nilai α ditentukan oleh pengguna.

4. Tetap pengendali visibilitas (β)
 β digunakan dalam persamaan probabilitas kota yang akan dikunjungi yang berfungsi sebagai pengendali visibilitas. Nilai β ditentukan oleh pengguna.
5. Visibilitas antar kota (η_{ij})
 η_{ij} digunakan dalam persamaan probabilitas kota yang akan dikunjungi. Nilai η_{ij} merupakan hasil dari $1/d_{ij}$ (jarak kota).
6. Banyak semut (m)
 m merupakan banyak semut yang akan melakukan siklus dalam algoritma semut. Nilai m ditentukan oleh pengguna. Disini banyak semut diibaratkan sama dengan banyak kota yang dilalui.
7. Tetap penguapan jejak semut (ρ)
 ρ digunakan untuk menentukan τ_{ij} untuk siklus selanjutnya. Nilai ρ ditentukan oleh pengguna.
8. Jumlah siklus maksimum (NC_{max})
 NC_{max} adalah jumlah maksimum siklus yang akan berlangsung. Siklus akan berhenti sesuai dengan NC_{max} yang telah ditentukan atau telah konvergen. Nilai NC_{max} ditentukan oleh



pengguna.
Gambar 2 Rancangan Diagram Algoritma Koloni Semut

3.3 Teknologi Google Maps

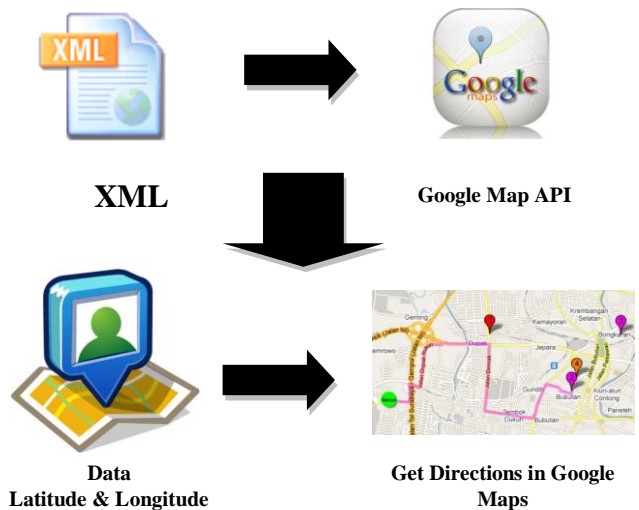
Dalam Sistem Optimasi yang di rancang ini menggunakan Google Maps API untuk mensimulasikan rute yang sudah dihasilkan oleh Algoritma Genetika sebelumnya. Karena Google Maps API menggunakan bahasa pemrograman Javascript berbasis web, sedangkan aplikasi ini menggunakan bahasa pemrograman Java Desktop, maka dibutuhkan sebuah jembatan yang digunakan untuk menghubungkan keduanya. Arsitektur dari penggabungan Javascript dengan Java Desktop diatas dapat dilihat dalam bagan dibawah ini:



Gambar 3 Hubungan Javascript dengan Java Desktop

Web browser Swing Application adalah aplikasi berbasis Swing yang dikembangkan dengan menggunakan salah satu engine dari web browser yang tersedia, seperti Gecko (seperti Mozilla Firefox), WebKit (seperti Safari atau Chrome) dan Internet Explorer.

Adapun alur permodelan yang digunakan dalam sistem ini dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 3 Alur Permodelan Google Map

4. HASIL UJI COBA

4.1 Pengujian Berdasarkan Studi Kasus

Uji coba pertama kita lakukan dengan menggunakan satu studi kasus, dan diulang sebanyak sepuluh kali untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Setelah dilakukan sebanyak sepuluh kali, kita ambil hasil yang terbaik, dan kita tampilkan rutenya dalam Google Map.

Studi kasus yang digunakan adalah 10 LPS, artinya kita akan mencari rute terpendek dari 10 LPS untuk dilalui. Selain itu, kita juga akan mencari bagaimana pembagian kerja truk pengangkut sampah untuk memenuhi kebutuhan rute tersebut.

Tabel 2 Parameter Uji Coba

Σ LPS	Kapasitas Truk	Σ Siklus	Q	Alpha (α)	Beta (β)	Rho (ρ)
10	14 m ³	10	0.25	0.1	0.2	0.1

Tabel 3 10 kali Uji Coba

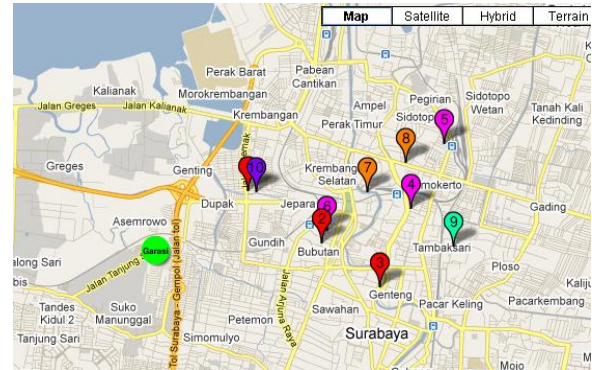
Percobaan Ke-	Jarak yang Dihasilkan	Running Time (detik)
1	146.4000005	"00:51.356
2	146.4000005	"00:46.817
3	144.4000006	"00:40.957
4	143.7	"00:50.512
5	145.4000001	"00:50.107
6	148.8999999	"00:50.185
7	147.2000004	"00:50.529
8	147.7	"00:51.558
9	145.7000002	"00:48.282
10	147.5600005	"00:44.126

Dari percobaan diatas, diketahui bahwa hasil terbaik terjadi pada percobaan keempat, dimana didapatkan jarak sebesar **143.7** km, dan di dapatkan dengan waktu **"00:50.512**. Sedangkan untuk pembagian kerja truk pengangkut sampah untuk rute LPSnya, bisa dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4 Pembagian Tugas Truk Sampah

Kendaraan ke-	Rute yang Diambil
1	garasi - lps001 - lps002 - lps010 - lpa
2	garasi - lps009 - lps006 - lps003 - lpa
3	garasi - lps004 - lps007 - lpa
4	garasi - lps008 - lpa
5	garasi - lps005 - lpa

Setelah itu, kita tampilkan hasil terbaik tersebut kedalam Google Maps. Karena memang menampilkan rutenya secara bergantian, maka disini hanya *screenshot* dari titik-titik rutenya saja, dari satu titik ke titik lainnya.



Gambar 4 Hasil Simulasi Rute Terbaik melalui Google Maps

Keterangan:

Merah : Demak – Pringadi - Simpang Dukuh
 Merah Muda : Pecindilan – Simolawang - Penghela
 Oranye : Sulung Kali - Pasar Kapasan
 Biru Muda : Tambak Rejo
 Biru Tua : Babatan Dupak

4.2 Pengujian dengan Perubahan Parameter

Tabel 5 Hasil Uji Coba dengan Nilai $Q = 0.25$, $Alpha = 0.1$, $Beta = 0.2$, $Rho = 0.1$ dan kapasitas truk = 14 m³

Jumlah Siklus	Jumlah LPS	Jarak	Waktu
5	10	147	"00:29.528
	15	241.7000008	"01:17.110
	20	340	"02:59.462
10	10	143.7	"00:50.512
	15	240.4	"02:41.866
	20	316.07	"05:39.316
15	10	143.5	"01:27.143
	15	237.7	"03:54.032
	20	310.2	"09:35.613

Tabel 6 Hasil Uji Coba dengan jumlah LPS = 10, Jumlah Siklus = 15, $Q = 0.25$, $Rho = 0.1$ dan kapasitas truk = 14 m³

Alpha	Beta	Jarak	Waktu
0.1	0.2	143.5	"01:27.143
	1	143.4000001	"01:20.942
	1.8	142.5000002	"01:23.173
1	0.2	143.9000006	"01:13.834
	1	143.7000004	"01:19.654
	1.8	143.4000004	"01:15.816
1.9	0.2	144.5000002	"01:17.127
	1	144.7000004	"01:17.985
	1.8	143.7	"01:22.274

Tabel 7 Hasil Uji Coba dengan jumlah LPS = 10, Jumlah Siklus = 15, Q = 0.25 dan kapasitas truk = 14 m³

Rho	Alpha	Beta	Jarak	Waktu
0.1	0.1	0.2	144.8000004	"01.10.715
	1	1	142.5000002	"01.10.824
	1.9	1.8	150.0000003	"01.10.730
0.5	0.1	0.2	146.4000003	"01.15.520
	1	1	143.40000009	"01.15.333
	1.9	1.8	144.4000005	"01.14.240
1	0.1	0.2	144.1000001	"01.11.136
	1	1	144.1000001	"01.11.775
	1.9	1.8	145.1000005	"01.10.434

Tabel 8 Hasil Uji Coba dengan jumlah LPS = 10, Jumlah Siklus = 15, Rho = 0.1 dan kapasitas truk = 14 m³

Q	Alpha	Beta	Jarak	Waktu
0.1	0.1	0.2	147.6000001	"01.11.745
	1	1	145.5000004	"01.12.774
	1.9	1.8	146.8999999	"01.12.197
0.5	0.1	0.2	141.0000002	"01.11.276
	1	1	143.6000003	"01.11.838
	1.9	1.8	146.4000003	"01.11.229
1	0.1	0.2	148.1000005	"01.10.574
	1	1	149.7999994	"01.10.559
	1.9	1.8	144.5	"01.11.479

5. KESIMPULAN

Hasil dari uji coba yang berbeda-beda dapat diambil untuk dianalisa penerapan metode koloni semut dan dapat disimpulkan pula parameter terdapat di dalamnya seperti pengaruh jumlah siklus, jumlah LPS, Alpha, Beta, Rho dan Q, antara lain :

1. Algoritma Koloni Semut dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam pencarian rute terbaik untuk pengangkutan sampah. Sebagai pengembangan dari TSP (Travelling Salesman Problem), Koloni Semut bisa melakukan optimasi rute pengangkutan sampah, dengan memperhatikan volume yang ada di setiap LPS.
2. Berdasarkan hasil percobaan Algoritma Koloni Semut dapat mendapatkan hasil yang optimal, namun masih sedikit terkendala dengan beberapa kelemahan. Algoritma ini membutuhkan variabel penting untuk implementasinya yaitu Siklus, Alpha, Beta dan Rho operasi.
3. Jumlah LPS yang diinputkan oleh user sangat berpengaruh terhadap waktu komputasi dan pencarian hasil terbaik yang bisa dilakukan oleh Algoritma Koloni Semut. Semakin banyak titik LPS yang diinputkan oleh User, maka akan semakin lama pula waktu komputasi yang dibutuhkan untuk mencapai solusi terbaik.
4. Nilai Siklus sangat berpengaruh terhadap pembentukan generasi awal. Semakin banyak

siklus, semakin baik hasil yang dapat diperoleh, hal ini dikarenakan semakin banyak siklus semakin banyak nilai random yang dapat dibentuk dengan hasil yang berbeda-beda pada tiap siklusnya.

5. Koefisien pada nilai Alpha dan nilai Beta merupakan faktor pengali untuk membentuk suatu probabilitas terhadap visibilitas dan terhadap jejak awal semut. Oleh karena itu jika nilai Alpha dan Beta maka semakin besar pula proses komputasi, hal ini berpengaruh terhadap waktu, yang menyebabkan waktu proses menjadi lama untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.
6. Nilai dari variabel Q tidak berpengaruh terhadap hasil keluaran. Namun sebaliknya nilai dari variabel Rho sangat mempengaruhi hasil, dimana Rho dalam Algoritma Koloni Semut merupakan faktor penguapan dari jejak semut yang telah dibentuk, semakin kecil nilai Rho maka hasil keluaran semakin bagus, dan jika nilai Rho besar maka akan mendapatkan hasil yang kurang optimal
7. Karena banyak kemungkinan yang dapat menemukan hasil yang baik, maka setiap kali melakukan running program, hasil yang didapatkan bisa berbeda-beda. Hal ini juga dipengaruhi oleh random awal dari Algoritma ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mangkoedihardjo, Sarwoko, *Peningkatan Kualitas Lingkungan Perkotaan: Pengelolaan Sampah dalam Perspektif Berkelanjutan*, Diskusi Panel Bappenas 12 November 2003, 1 September 2009.
- [2] Wardy, Ibnu Sina. Penggunaan Graf dalam Algoritma Semut untuk Melakukan Optimisasi. Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung.
- [3] Sofwan Fauzi, Pencarian Jalur Terpendek Travelling Salesman Problem Menggunakan Algoritma Ant Colony System, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Komputer Indonesia 2010