

---

---

# Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk Pemilihan Jalur Tercepat Evakuasi Bencana Gunung Lokon Sulawesi Utara

**Johan Reimon Batmetan**

Program Studi Teknik Informatika Universitas Sari Putra Indonesia Tomohon,  
Jln Pelombaan No.499 Kakaskasen II Kota Tomohon Sulawesi Utara  
Mahasiswa Magister Teknik Informatika Pascasarjana  
Universitas Atma Jaya Yogyakarta  
Jln. Babarsari Sleman, Yogyakarta  
Email : john.reimon@gmail.com

## **Abstract**

As one of the areas located on the ring of fire, North Sulawesi has a natural disaster threat level is high enough. Mount Lokon, located in the North Sulawesi region is an active volcano with fairly high seismic activity. Mount Lokon eruption disaster management such as casualty evacuation and early warning system towards the arrival of this eruption to be slow. This is caused by the difficulty of determining the fastest evacuation path resulting in many casualties. The purpose of this study was to determine the fastest track in the evacuation of the eruption of Mount Lokon. The method used is Ant-Colony Optimization is a method in computing, artificial intelligence and tried as one method of determining the shortest path effectively. The results obtained from this study is the Ant-Colony Algorithm method can be used to determine the fastest track in the evacuation process volcanic eruption where evacuation points and pathways that must be passed can be determined quickly and effectively in the evacuation process.

**Keyword:** the fastest path, evacuation, Ant-colony optimization

## **1. Pendahuluan**

Sabuk Gempa Pasifik (*Ring of Fire*) merupakan daerah berbentuk seperti tapal kuda yang mengelilingi Samudera Pasifik mencakup panjang 40.000 km. Sekitar 90% gempa bumi terjadinya di daerah ini dan 81% gempa bumi terbesar terjadi di sepanjang Cincin Api tersebut (I W. Sudarsana, 2013). Indonesia masuk ke dalam Sabuk Gempa Pasifik ini sehingga sering terjadi gempa bumi dan letusan gunung berapi. Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak pada *ring of fire* dengan tingkat ancaman bencana alam yang tinggi (Era Madona, 2013)

Tercatat dalam periode tahun 2010-2015 terdapat beberapa bencana alam yang terkait dengan ring of fire ini seperti gempa bumi, tsunami, letusan gunung api, dan air laut pasang.

Pada periode 2010-2015 bencana gempa bumi dan tsunami telah mengakibatkan 512 orang meninggal dunia, 56 orang hilang, 4,264 orang terluka dan 74,498 orang menggungsi, sedangkan letusan gunung berapi mengakibatkan 409 orang meninggal dunia, hilang 4 orang, terluka 2,223 orang dan 183,345 orang menggungsi dan bencana air laut pasang mengakibatkan 17 orang meninggal dunia, hilang 47 orang, terluka 27 orang dan 4,338 orang menggungsi (Badan Nasional Penanggulangan Bencana RI, 2015). Di propinsi Sulawesi utara juga merupakan daerah yang termasuk dalam ring of fire sehingga menjadi daerah yang rawan terhadap bencana alam. Bencana alam yang terjadi pada periode 2010-2015 memiliki data seperti bencana gempa bumi dan tsunami telah terjadi 3 kali tanpa ada korban jiwa maupun menggungsi, sedangkan letusan gunung berapi mengakibatkan 4 orang hilang, 5 orang terluka dan 1,625 orang menggungsi dan bencana air laut pasang mengakibatkan 3 orang terluka (Badan Nasional Penanggulangan Bencana RI, 2015). Gunung lokon merupakan gunung berapi yang aktif dengan aktivitas kegempaan yang cukup tinggi. Terhitung dalam tahun 2015 telah 6 (enam) kali erupsi dan mengeluarkan abu vulkanik yang membahayakan. Letak gunung lokon berada di kota Tomohon yang menjadi ibu kota daerah kota Tomohon Sulawesi utara dimana terdapat banyak perkampungan dikelilingi kaki gunung tersebut.

Pada saat terjadi bencana erupsi, bahaya akan mengancam warga yang bermukim disekitar kaki gunung lokon dan harus di evakuasi untuk menghindari korban baik korban nyawa manusia dan harta benda. Penanganan bencana erupsi gunung lokon seperti evakuasi korban dan system peringatan dini (*early warning system*) terhadap datangnya bencana erupsi ini menjadi lambat. Hal ini diakibatkan oleh sulitnya menentukan jalur evakuasi tercepat sehingga mengakibatkan banyak korban berjatuhan. Didaerah rawan bencana erupsi tersebut terdapat banyak jalur yang dapat dilalui dalam proses evakuasi sehingga terdapat banyak pilihan jalur dan belum dapat dipastikan bahwa jalur yang dilewati tersebut tercepat untuk digunakan sebagai jalur evakuasi.

Pemilihan rute dalam evakuasi ini memperhimbangkan jalur-jalur yang ada serta berdasarkan data geografis dari daerah bencana itu sendiri. Tiap daerah yang terimpah bencana memiliki karakteristik yang berbeda – beda. Hal lain yang perlu diperhatikan pada saat evakuasi adalah perhitungan jumlah warga yang dimobilisasi, kapasitas orang yang bisa dibawa, serta rute yang dipilih menuju tempat aman (Lyonnais, 2012). Zang memberi pendapat bahwa membawa dan mengarahkan orang ke daerah aman adalah tantangan utama dalam mengelola evakuasi daerah (Zhang, 2012). Dalam proses evakuasi perlu dipertimbangkan skala evakuasi seperti yang di kemukakan Guo Li sebagai berikut “Menurut skala, masalah evakuasi dapat dibagi menjadi evakuasi skala kecil dan evakuasi jarak jauh. evakuasi skala kecil umumnya mengacu pada evakuasi yang bertujuan darurat, cepat dan keadaan darurat yang hanya mempengaruhi ruang kecil, seperti ledakan dalam rentang yang terbatas, rumah runtuh, dan kebakaran di pusat perbelanjaan. Biasanya, evakuasi semacam ini terutama ditangani evakuasi berjalan artifisial, tidak memerlukan sarana transport. Tetapi evakuasi jarak jauh umumnya membutuhkan kendaraan untuk transportasi, dan sering diperintahkan oleh pemerintah atau terkait departemen dengan berkoordinasi dengan unit yang lain.” (Guo Li, 2014).

Oleh karena itu untuk menyelesaikan masalah pemilihan jalur evakuasi ini diperlukan metode tertentu. Penelitian ini menggunakan Algoritma Ant-Colony ini merupakan metode dalam komputasi artificial intelligence yang dicoba sebagai salah satu metode dalam menentukan jalur terpendek secara efektif. Algoritma *Ant-Colony Optimization* (ACO) untuk pemilihan jalur evakuasi darurat. Algoritma ini berdasarkan pada graf. Dimulai dari sebuah *starting point*, yaitu titik awal, kemudian ada *node*, *node* ini bisa diibaratkan titik – titik sebagai representasi dari daerah yang dilalui. Ada juga harga (*cost*), Harga (*cost*) adalah nilai yang diperoleh dari penjumlahan *nilai G* (jumlah nilai tiap simpul dalam jalur terpendek dari *starting point* ke A), dan *nilai H* (jumlah nilai perkiraan dari sebuah simpul ke simpul tujuan).

Dari uraian diatas maka dapat dikemukakan masalah yang akan diselesaikan adalah Bagaimana menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk membuat suatu system penentuan jalur evakuasi darurat pada bencana erupsi gunung api Lokon secara cepat? dari permasalahan yang dikemukakan, penelitian ini dibatasi pada pemilihan jalur evakuasi di daerah Gunung Lokon bagian utara yakni pada daerah Tinoor, kinolow dan kakaskasen I.

Fungsi objektif pada permasalahan diatas adalah bagaimana menentukan jalur evakuasi tercepat yang dapat diakses oleh masyarakat. Masyarakat yang dimaksud adalah masyarakat yang terkena dampak bencana letusan gunung Lokon terutama yang berada di area bencana. Secara eksplisit penelitian ini mencoba mencari alternatif solusi dalam penanggulangan bencana letusan gunung api. Jalur evakuasi ini nantinya digunakan oleh masyarakat korban bencana dan juga oleh Tim SAR dalam melakukan operasi penyelamatan korban. Dimana jalur ini akan digunakan oleh Tim SAR dalam mencapai akses masuk dan keluar ke area bencana secara efektif dan efisien.

Dari permasalahan yang diuraikan diatas maka penelitian ini memiliki beberapa tujuan yang ingin capai dalam proses evakuasi bencana erupsi gunung lokon yaitu : 1) Menghasilkan sebuah sistem evakuasi darurat terhadap penduduk dan korban bencana erupsi gunung berapi secara cepat. 2). Membantu menunjukkan jalur yang harus dilewati untuk keluar dari area berbahaya secara cepat dan aman.

## 2. Tinjauan Pustaka

### a. Evakuasi

Penentuan jalur evakuasi tergantung dari posisi letak titik-titik bencana dan posisi dari warga, serta jalur yang tersedia menuju titik aman. Untuk posisi yang berbeda, setiap warga yang berada dilokasi bencana erupsi dapat mendapatkan jalur/peta penyelamatan yang tersedia. Evakuasi dalam keadaan darurat pada bencana erupsi gunung berapi sangatlah penting untuk menyelamatkan nyawa manusia. Keadaan darurat bisa disebabkan oleh bencana alam seperti banjir atau gempa bumi, kecelakaan atau kebakaran. Pemilihan jalur evakuasi yang salah bisa menyebabkan korban jiwa berjatuh karena waktu evakuasi yang lama sehingga memungkinkan terjadinya aksi saling dorong, bertabrakan dan mungkin juga mereka bisa jatuh lalu terinjak-injak (Fransisca Arvevia IA, 2014). Diperlukan pemilihan jalur evakuasi yang tepat dan dalam waktu yang singkat untuk menyelamatkan korban

ke dalam zona aman.

Dengan adanya jalur evakuasi yang telah terpilih, diharapkan mampu mengurangi angka korban jiwa yang berjatuh. Mekanisme evakuasi yang dilakukan adalah saat peringatan berbunyi para penduduk diarahkan untuk berkumpul di *muster point* (tempat berkumpul), kemudian dari *muster point* para penduduk bergerak menuju *shelter* (titik evakuasi, disingkat S).

Pada saat evakuasi harus diperhitungkan jumlah warga yang dimobilisasi, kapasitas orang yang bisa dibawa, serta rute yang dipilih menuju tempat aman. Dengan waktu yang sempit faktor – faktor tersebut harus diperhitungkan demi keselamatan semua orang. Bagian yang cukup penting dalam evakuasi yaitu memilih rute menuju tempat aman. Warga yang dimobilisasi harus diantar ke tempat yang aman melalui rute terpendek. Evakuasi harus dilakukan semangkus mungkin, waktu yang dipergunakan untuk memindahkan warga harus seminimal mungkin, hambatan dalam rute harus dihindari.

Pemilihan rute dalam evakuasi ini memperhimbangkan jalan – jalan yang ada serta berdasarkan data geografis dari daerah bencana itu sendiri. Tiap daerah yang terimpa bencana memiliki karakteristik yang berbeda – beda (Lyonnais, 2012). Perancangan peta evakuasi dengan cara menentukan lintasan terpendek menuju titikberkumpul (*assembly point*). Penentuan lintasan terpendek memperhatikan alternatif jalur-jaluyang dapat dilalui menuju titik berkumpul (*assembly point*). Jarak yang terpendek merupakanjalur tercepat menuju titik berkumpul (*assembly point*) (Irwan Iftadi, 2011).

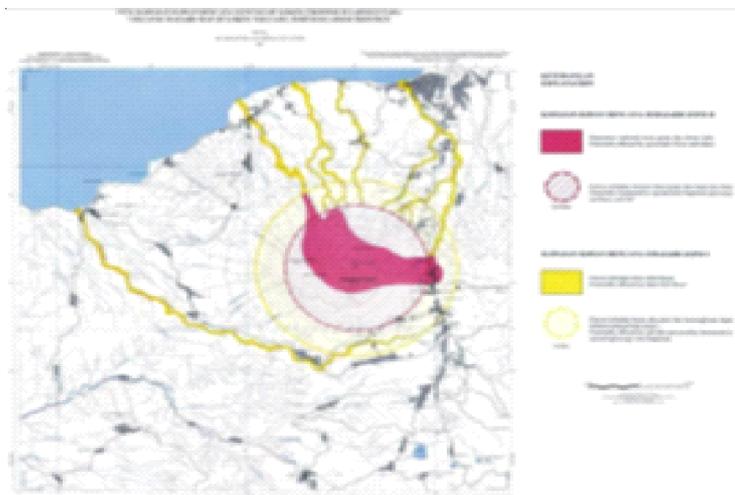
Dalam menentukan jalur evakuasi dalam penanganan bencana, hasil penelitian yang dilakukan oleh Fransisca Arvevia tahun 2014 menemukan bahwa proses penentuan jalur evakuasi dapat dilakukan dengan cepat menggunakan algoritma ant-colony optimazition. Hal ini disebabkan oleh algoritma ini da digunakan untuk memperbaharui feromon pada algoritma ACO untuk menghasilkan simulasi dengan solusi yang lebih optimal karena memiliki laju konvergensi yang cepat (Fransisca Arvevia IA, 2014).

## **b. Gunung lokon**

Gunung lokon merupakan gunung api aktif yang berada di propinsi Sulawesi Utara, tepatnya terletak 45 km arah utara dari Kota Manado. Secara administratif, gunung lokon masuk dalam wilayah administrasi Pemerintah Kota Tomohon. Gunung Lokon termasuk Gunung Api yang aktif mengeluarkan erupsi. Letaknya secara geografis berada pada Lokon 01° 21,5' LU dan 124° 47,5' BT dan Empung 01° 22' LU dan 124° 47,5' BT. Gunung lokon memiliki 3 puncak tertinggi yakni puncak Lokon 1579,5 m dml, puncak Empung 1340 m dml dan puncak Tompaluan 1140 m dml (Badan Geologi, 2015). Tercatat dalam periode 2014-2015 telah 6 kali meletus mengeluarkan abu vulkanik. Akibat letusan ini, 634 orang di ungsikan ke tempat yang aman agar selamat dari ancaman erupsi gunung lokon ini. Gunung lokon sendiri terdapat kota Tomohon yang berada tepat dibawah kaki gunung tersebut. Selain itu terdapat 12 perkampungan masyarakat di sekeliling kaki gunung lokon. Hal ini selalu menimbulkan bahaya jika terjadi erupsi pada gunung lokon tersebut. 12 perkampungan

ini masuk pada area berbahaya jika gunung lokon mengeluarkan abu vulkanik yang membahayakan.

Peta kerawanan bencana letusan gunung Lokon dibagi menjadi daerah Kawasan Rawan Bencana II dengan daerah yang letaknya terdekat dengan sumber bahaya, sehingga kemungkinan akan terlanda oleh bahaya langsung, berupa luncuran awan panas, lontaran batu (pijar), hujan abu lebat dan lahar. Tanpa memperhitungkan arah tiupan angin pada saat terjadi erupsi, daerah bahaya ini diperkirakan meliputi wilayah dalam radius lk. 3,5 km berpusatkan kawah aktif di puncak G. Lokon. Kawasan Rawan Bencana II ini dibedakan menjadi dua, yaitu : a. Kawasan rawan terhadap aliran masa berupa awan panas dan aliran lahar/banjir, dan b. Kawasan rawan terhadap material lontaran dan jatuhnya seperti lontaran batu (pijar dan hujan abu lebat). Kawasan berikutnya adalah Kawasan Rawan Bencana I yang merupakan kawasan yang berpotensi terlanda lahar/banjir, meliputi lembah atau daerah aliran sepanjang sungai-sungai yang berhulu di daerah puncak. Selama erupsi membesar, kawasan ini berpotensi tertimpa material jatuhnya berupa hujan abu dan lontaran batu (pijar). Kawasan ini dibedakan menjadi dua, yaitu : a. Kawasan rawan terhadap lahar/banjir. Kawasan ini terletak di sepanjang sungai/ di dekat lembah sungai atau bagian hilir sungai yang berhulu di daerah sekitar kawah. b. Kawasan rawan terhadap hujan abu tanpa memperhatikan arah tiupan angin dan kemungkinan terkena lontaran batu (pijar)(Badan Geologi, 2015).



**Gambar 1.** Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi Lokon(Badan Geologi, 2015)

Untuk itu diperlukan mitigasi bencana letusan gunung dan juga penanganan saat terjadi bencana seperti tindakan evakuasi dari zona bahaya. Tindakan ini memerlukan perlakuan khusus seperti pemilihan jalur evakuasi yang cepat dan aman agar tidak terjadi korban jiwa.

### 3. Metode Penelitian

#### Ant Colony optimization

Ant Colony merupakan sebuah algoritma dalam komputasi yang merupakan bagian dari cabang ilmu Swarm Intelligence. Dharmendra Sutariya menjelaskan swarm intelligence sebagai berikut “Swarm intelligence (SI) is a kind of artificial intelligence that aims to simulate the swarms behaviour such as ant colonies, honey bees, bird flocks, particle swarm optimization and artificial immune system etc.

Ant Colony Optimization (ACO) is a class of optimization algorithms, inspired by an organized collaborative behaviour of ants. Ants are creatures of nature with limited intelligence, which are wandering around their nests to forage for food” (Dharmendra Sutariya, 2013). Ant colony optimization merupakan sebuah model yang dikembangkan dengan melihat semut sebagai objek utama pembentuk algoritmanya. Lebih lanjut Dharmendra menjelaskan bahwa “The ant colony optimization algorithmic approach models the concept of food foraging, nest building, division of labour, cooperative support, self assembly and cemetery organization of real ants for the meta-heuristic approaches. ACO has been formalized in to a meta-heuristic computational approach” (Dharmendra Sutariya, 2013). Untuk mendapatkan makanan, semut menggunakan cara tertentu untuk sampai pada tujuannya seperti dijelaskan sebagai berikut :”While finding root from nest (source) to food (destination), ants communicate with other ants by depositing traces of pheromone (chemical substance) as they walk along their path. This indirect form of communication is called as stigmergy. As more ants travel over a particular path, the concentration of pheromone increases along that path. Pheromone along a path gradually evaporates, decreasing their concentration on that path. Among the multiple path between nest and food ants select the single optimal path on the basis of maximum pheromone concentration along the path and some heuristic functions”. (Dharmendra Sutariya, 2013)

ACO merupakan pengembangan dari Ant Colony. Secara informal, ACO bekerja sebagai berikut: pertama kali, sejumlah  $m$  semut ditempatkan pada sejumlah  $n$  titik berdasarkan beberapa aturan inisialisasi (misalnya, secara acak). Setiap semut membuat sebuah tour (yaitu, sebuah solusi jalur evakuasi yang mungkin) dengan menerapkan sebuah aturan transisi status secara berulang kali. Selagi membangun tournya, setiap semut juga memodifikasi jumlah *pheromone* pada edge-edge yang dikunjunginya dengan menerapkan aturan pembaruan *pheromone* local yang telah disebutkan tadi.

Setelah semua semut mengakhiri tour mereka, jumlah *pheromone* yang ada pada edge-edge dimodifikasi kembali (dengan menerapkan aturan pembaruan

*pheromone* global). Dalam membuat tour, semut ‘dipandu’ oleh informasi *heuristic* (mereka lebih memilih edge-edge yang pendek) dan oleh informasi *pheromone*. Sebuah edge dengan jumlah *pheromone* yang tinggi merupakan pilihan yang sangat diinginkan. Kedua aturan pembaruan *pheromone* itu dirancang agar semut cenderung untuk memberi lebih banyak *pheromone* pada edge-edge yang harus mereka lewati. (Verdianto, 2013). Algoritma ACO memiliki simulasi yang baik dalam memecahkan masalah optimasi (Fransisca Arvevia I A, 2014).

Chaimongkon Chokpanyasuwan menjelaskan karakteristik ant colony sebagai berikut “The characteristics of an artificial ant colony include positive feedback, distributed computation and the use of a constructive greedy heuristic. Positive feedback accounts for rapid discovery of good solutions, distributed computation avoids premature convergence and the greedy heuristic helps to find acceptable solutions in the early stages of the search process” (Chaimongkon Chokpanyasuwan, 2015).

Wang juga menjelaskan algoritma ACO sebagai “Ant colony optimization (ACO) goes through the necessary nodes on the graph to achieve the optimal solution with the objective of minimizing total production costs (TPC)” (Jin Feng Wang, 2014). Mohammed dalam penelitiannya menjelaskan bahwa ACO dapat memberi solusi yang baik, penjelasannya sebagai berikut “It provides a good diversification for the search in the solution space. Indeed, on the one hand it imposes lower and upper bounds on the amounts of pheromones to be deposited on the edges of the problem’s graph. It thus mitigates the transition probabilities for the most taken edges. On the other hand, it allows, under the frequency of one iteration over two, to support the pheromones concentration on the edges of the best iteration’s solution although it is not the best overall solution” (Mohammed Taha Benslimane, 2013). Peneliti yang lain yakni Liqiang Liu memberi penjelasan yang lebih komprehensif yakni “We can give such a model through the above process of analysis and expansion: assuming the food source is verywhere throughout in the continuous space, the quality of food source is different. At the initial moment, ants of ant colony distribute uniformly in the continuous space and release pheromones according to food sources of their position. The higher the quality of the food source, the more the pheromone ants released. The pheromone is distributed throughout the continuous space in a certain dispersed model, and ants perceive spatial concentration of pheromone intensity, moving to the position of a higher concentration of pheromone in a certain way and achieve the exploration of unknown regions during the move. The movement of the single ant will cause the change of the whole position distribution of ant colony, so that all the ants keep aggregating to the higher quality of food source and search the highest quality of food source in the continuous space eventually. This model is called position distribution model of ant colony foraging” (Liqiang Liu, 2014)

ACO diaplikasikan dalam jalur evakuasi dengan cara sebagai berikut :

§ *Pertama* adalah dengan mengkonstruksikan masalah ke dalam sebuah graph  $G = (V, E)$  dengan  $V$  himpunan vertek yang merepresentasikan himpunan titik – titik, dan  $E$  adalah himpunan dari edge yang merepresentasikan jarak antara dua titik.

§ *Kedua*, kendala yang terdapat pada jalur evakuasi yaitu mengunjungi n

titik dengan titik-titik yang ada hanya dikunjungi sekali dimana titik awal sama dengan titik akhir. Tujuan dari JALUR EVAKUASI yaitu mencari tour terpendek terhadap  $n$  titik.

§ *Ketiga*, pemberian nilai intensitas jejak semut (*Pheromone*) dan informasi heuristik. Pemberian nilai *Pheromone* ( $\tau_{rs}$ ) dalam jalur evakuasi dilakukan saat semut mengunjungi titik  $s$  setelah mengunjungi titik  $r$ . Informasi heuristik ( $\eta_{rs}$ ) merupakan informasi yang merepresentasikan kualitas suatu edge antara titik  $r$  dan titik  $s$ , informasi ini dihitung sebelum algoritma dijalankan. Dengan  $\tau_{rs} \eta_{rs} = 1$ ,  $\tau_{rs}$  adalah jarak antara titik  $r$  dan titik  $s$ .

*Keempat*, (*tour construction*). Sebuah tour dibangun dengan mengaplikasikan prosedur sederhana sebagai berikut : Inisialisasi, ditempatkan  $m$  semut di  $n$  titik menurut aturan tertentu, kemudian semut mengaplikasikan *state transition rule* secara iteratif.

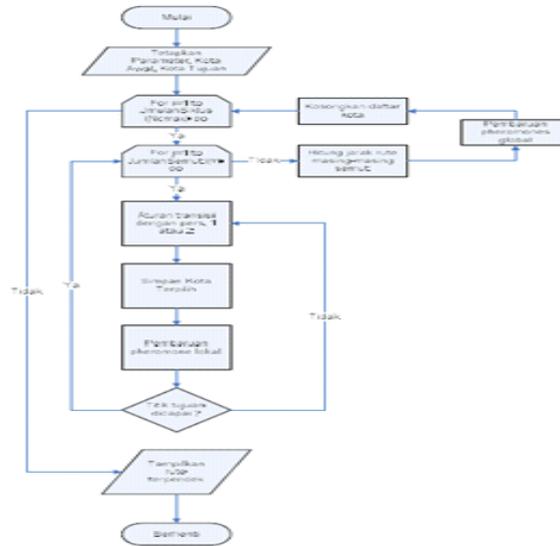
Semut membangun lintasan sebagai berikut. Pada titik  $r$ , semut memilih secara probabilistik titik  $s$  yang belum dikunjungi menurut intensitas *Pheromone* ( $\tau_{rs}$ ) pada edge antara titik  $r$  ke titik  $s$ , serta informasi heuristik lokal yang ada,

§ yaitu panjang sisi (edge). Semut secara probabilistik lebih menyukai titik yang dekat dan terhubung dengan tingkat *Pheromone* yang tinggi. Untuk membangun jalur terpendek yang mungkin, setiap semut mempunyai suatu bentuk memori yang disebut *tabu list*. *Tabu list* digunakan untuk menentukan himpunan titik yang masih harus dikunjungi pada setiap langkah dan untuk menjamin terbentuknya jalur terpendek yang mungkin. Selain itu semut bisa melacak kembali lintasannya, ketika sebuah lintasan itu diselesaikan. Setelah semua semut membangun sebuah tour, *Pheromone* di-update dengan cara mengurangi tingkat *Pheromone* oleh suatu faktor konstanta dan kemudian semut meletakkan *Pheromone* pada edge yang dilewati. Update dilakukan sedemikian rupa sehingga edge dari lintasan yang lebih pendek dan dilewati banyak semut menerima jumlah *Pheromone* yang lebih banyak. Karena itu pada iterasi algoritma yang berikutnya akan mempunyai probabilitas yang lebih tinggi untuk dipilih.

Secara umum algoritma ACO untuk jalur evakuasi mengikuti skema algoritma sebagai berikut :

```
procedure ACO Algorithm for jalur evakuasi s
  Penetapan parameters, initialize Pheromone trails
  (termination condition not met) do
    Construct Ant Solutions
    Apply Local Search (optional)
    Update Pheromones
  Endwhile
End procedure ACO Algorithm for jalur evakuasi s
```

Setelah semua proses telah dilalui (jumlah siklus maksimum sudah terpenuhi), maka akan didapatkan rute dengan panjang rute yang terpendek. Langkah-langkah pencarian rute terpendek dengan Algoritma *Ant Colony* diatas dapat digambarkan dengan *flowchart* seperti pada Gambar 2



Gambar 2. Flowchart algoritma semut

#### 4. Hasil Pembahasan

##### a. Data Lokasi Bencana

Dari area bencana, daerah yang paling dekat dan masuk pada daerah rawan bencana adalah Desa Tinoor. Desa Tinoor sendiri berada di area berbahaya yang letaknya hanya 500 m - 2 km dari pusat letusan atau kawah letusan gunung lokon. Desa ini menjadi prioritas penanganan dan harus mendapatkan prioritas evakuasi saat terjadi letusan.

Secara spesifik dapat di uraikan data desa yang rawan terhadap bencana

Table 1. Data Lokasi bencana

Simbol	Area Desa	Jarak ke pusat Letusan	Kategori
A	Desa Tinoor	500m – 2 km	Berbahaya
B	Desa Kinilow	1 km – 2,8 km	Berbahaya
C	Desa Kakaskasen I	2,5 km – 3,5 km	Siaga
D	Desa Kakaskasen II	3,6 km - 4 km	Siaga
E	Rindam Kakaskasen II	4 km – 5 km	Aman

Pada penelitian ini, lokasi asal korban yang akan di evakuasi diasumsikan berada di area prioritas penanganan yaitu Desa Tinoor dan akan di evakuasi melalui pemilihan jalur evakuasi tercepat. Lokasi berikut yang akan dilakukan evakuasi adalah daerah rawan dan berbahaya berikutnya adalah Desa Kinilow yang letaknya berdekatan dengan Desa Kinilow. Kedua desa inilah yang dalam penelitian ini menjadi focus utama untuk dilakukan proses evakuasi.

### b. Data Lokasi Shelter Pengungsi

Daerah atau tempat yang dijadikan shelter (tempat) pengungsi diketahui sebagai berikut :

Shelter A = Gedung tempat ibadah di daerah Desa Tinoor

Shelter B = Sekolah Dasar Desa Kinilow

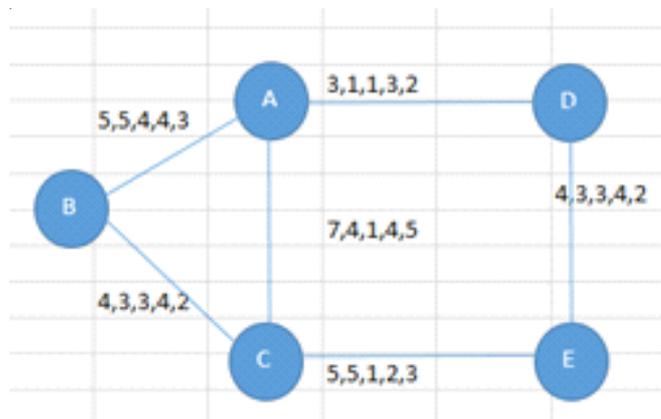
Shelter C = Gedung serba guna Kakaskasen I

Shelter D = Gedung tempat Ibadah Desa Kakaskasen II

Shelter E = Lapangan Rindam Kakaskasen II

Shelter-shelter ini digunakan untuk menampung pengungsi bila terjadi letusan gunung Lokon.

Pada area evakuasi, kita memiliki sebuah graf G yang berbobot dengan lima node dan enam edges sebagai seperti Gambar 3.



Gambar 3. Graph titik dan jarak evakuasi

Shelter-shelter yang berada di area Desa Tinoor dan Desa Kinilow berfungsi sebagai shelter awal dan titik kumpul yang mudah dijangkau oleh korban dan TIM SAR saat melakukan proses evakuasi. Shelter-shelter ini mudah dijangkau oleh kendaraan roda dua dan roda empat yang digunakan sebagai alat angkut (transportasi) untuk pengungsi dan di ungsikan ke tempat yang lebih aman.

### c. Variable Perhitungan

Variable yang digunakan dalam penelitian ini merupakan asumsi-asumsi yang digunakan dalam melakukan perhitungan. Asumsi- asumsi ini kemudian disebut kriteria dalam perhitungan. Kriteria- kriteria tersebut antara lain :

1) Panjang Rute, di ukur dalam satuan km (kilometer). Variable ini merupakan jarak antara node-node yang dituju dan menyatakan jarak yang harus ditempuh dalam melintasi node-node tersebut. Algoritma ACO ini akan menghitung jarak terbaik dan terdekat yang harus dilalui sampai pada titik aman evakuasi yakni shelter pengungsi. Jarak ini merupakan salah satu variable yang penting dalam penggunaan algoritma ACO ini.

2) Kecepatan, di ukur dalam satuan km/jam (kilometer per jam). Variable ini menyatakan kecepatan rata-rata yang dapat ditempuh dalam menembuh jarak dari node-node tersebut. Kecepatan ini merupakan kecepatan rata-rata yang bersifat akumulasi tanpa melihat pertimbangan lain seperti tikungan dan banyaknya hambatan yang dihadapi. Algoritma ini mencoba untuk memilih kecepatan yang baik dalam memilih jalur evakuasi yang harus dilalui.

3) Tikungan, di ukur dalam satuan jumlah tikungan. Ini menyatakan berapa banyak rintangan yang dihadapi melalui suatu jalur. Makin banyak tikungan yang terdapat dalam sebuah jalur, maka kecepatan dalam melakukan evakuasi akan berkurang dan mempengaruhi kinerja proses evakuasi pada umumnya. Algoritma ACO ini akan memilih jalur yang tikungannya lebih sedikit untuk menentukan jalur evakuasi yang harus dilalui.

4) Kepadatan, di ukur dari banyaknya kepadatan dari sebuah jalur. Variable ini menghitung banyaknya orang dan tingkat kepadatan yang dapat mengakibatkan kemacetan dari sebuah jalur yang mungkin dilalui, sehingga dapat menghambat kecepatan dan efektifitas dalam melakukan proses evakuasi. Algoritma ACO ini akan memilih jalur yang tingkat kepadatannya rendah sehingga kecepatan dan efektivitas evakuasi akan menjadi lebih baik.

5) Titik aman, di ukur dari banyaknya titik aman yang akan dilalui pada sebuah jalur. Titik aman ini didapatkan dari peta bencana yang tersedia kemudian dapat ditentukan jalur yang tingkat titik amannya banyak. Algoritma ACO ini memasukan titik aman dalam perhitungan agar jalur yang terpilih harus benar-benar aman untuk dilalui. Algoritma ACO ini akan memilih jalur yang titik amannya banyak sehingga aman untuk dilewati dari bencananya sendiri. Hal ini dimaksudkan agar pada proses evakuasi, tidak terjadi jatuhnya korban pada saat proses evakuasi dan proses evakuasinya sendiri dapat dengan mudah diketahui oleh masyarakat terutama yang terkena dampak letusan gunung berapi.

### d. Analisis ACO

#### 1. Menginisialisasi harga parameter-parameter ACO :

Untuk melakukan analisis, ditetapkan parameter yang digunakan dalam algoritma ACO ini sebagai berikut :

**Table 2.** Inisiasi parameter

Intensitas Pheromone ( $\tau_{ij}$ ) =	0.01
Tetapan siklus Semut ( $q_0$ ) =	0.1
Tetapan pengendali intensitas visibilitas ( $\beta$ ), nilai $\beta \geq 0$ adalah =	1
Tetapan pengendali pheromone ( $\alpha$ ) =	0.1
Tetapan penguapan pheromone ( $\tau$ ), Nilai $\tau$ harus $> 0$ dan $< 1$ =	0.5
Jumlah ant(m) =	4
Jumlah siklus maksimum ( $N_{cmax}$ ) =	1
Nilai Bobot (W) Jarak =	0.5
Nilai Bobot (W) Kecepatan =	0.2
Nilai Bobot (W) Kepadatan =	0.2
Nilai Bobot (W) Tikungan =	0.45
Nilai Bobot (W) Titik Aman =	0.3
$W = \{0,5 \ 0,2 \ 0,2 \ 0,45 \ 0,3\}$	

Terdapat aturan dalam menentukan nilai parameter dalam algoritma semut yaitu nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  harus lebih besar atau sama dengan 0 sementara  $\tau$  harus diantara 0 dan 1. Dari graf yang diberikan diperoleh adjacency matrix jarak, lubang, tikungan, kepadatan antar node (dij). Table 2 matrik nilai dari jarak (dij). Kriteria yang diberikan dalam menghitung pemilihan jalur tercepat yakni : jarak, Kecepatan, Kepadatan, tikungan dan titik aman. Pemberian 5(lima) kriteria yang dihitung dijabarkan sebagai berikut:

**Tabel 3** Matrix 5 kriteria yang dihitung dijabarkan

5 Kriteria

	Jarak	Kecepatan	Kepadatan	Tikungan	Titik Aman
<b>Matrix Jarak</b>					
	A	B	C	D	E
A	0	5	7	3	0
B	5	0	4	0	0
C	7	4	0	0	5
D	3	0	0	0	4
E	0	0	5	4	0
<b>Matrix Waktu</b>					
	A	B	C	D	E
A	0	5	4	1	0
B	5	0	3	0	0
C	4	3	0	0	5
D	1	0	0	0	3
E	0	0	5	3	0
<b>Matrix Kecepatan</b>					
Kecepatan = Jarak/Waktu					
	A	B	C	D	E
A	0	1	1.75	3	0
B	1	0	1.33	0	0
C	1.75	1.33	0	0	1
D	3	0	0	0	1.33
E	0	0	1	1.33	0

Matrix Kepadatan					
	A	B	C	D	E
A	0	4	1	1	0
B	4	0	3	0	0
C	1	3	0	0	1
D	1	0	0	0	3
E	0	0	1	3	0

Matrix Tikungan					
	A	B	C	D	E
A	0	4	4	3	0
B	4	0	4	0	0
C	4	4	0	0	2
D	3	0	0	0	4
E	0	0	2	4	0

Matrix Titik Aman					
	A	B	C	D	E
A	0	3	5	2	0
B	3	0	2	0	0
C	5	2	0	0	3
D	2	0	0	0	2
E	0	0	3	2	0

Menghitung visibilitas antar node sebagai media informasi kualitas suatu edges, langkah pertama dengan melakukan normalisasi Tabel dengan persamaan (1).

$$r_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{X_{ij}}{\text{Max } X_{ij}} \quad \text{Jika } j \text{ adalah atribut keuntungan (benefit)} \\ \frac{\text{Min } X_{ij}}{X_{ij}} \quad \text{jika } j \text{ adalah atribut biaya (cost)} \end{array} \right\} \quad (1)$$

Dengan  $r_{ij}$  adalah rating kinerja ternormalisasi dari alternative  $A_i$  pada atribut  $C_j$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  dan  $j = 1, 2, \dots, n$ .  $X_{ij}$  merupakan rating kinerja alternatif ke  $I$  terhadap atribut ke  $j$ .

**Tabel 4.** Matrix 5 kriteria yang dihitung

Menghitung Visibilitas					
Normalisasi Tabel kemungkinan node A ke node lain					
A ke B	0.60	1.00	0.25	0.75	0.67
A ke C	0.43	0.57	1	0.75	0.40
A ke D	1	0.33	1	1.00	1
B ke A	0.80	1.00	0.75	1.00	0.67
B ke C	1.00	0.75	1.00	1.00	1.00
C ke A	0.57	0.57	1.00	0.50	0.40
C ke B	1.00	0.75	1.00	0.50	1.00
C ke E	0.80	1.00	1.00	1.00	0.67
D ke A	1.00	0.44	1	1.00	1.00
D ke E	0.75	1.00	0.33	0.75	1.00
E ke D	0.80	1.00	1.00	1.00	0.67
E ke C	1.00	0.75	0.33	0.50	1.00
Mencari Nilai Preferensi untuk tiap atribut					
A ke B	1.09				
A ke C	0.99				
A ke D	1.52				
B ke A	1.40				
B ke C	1.60			Nilai Tertinggi	1.60
C ke A	0.95			Nilai Terendah	0.95
C ke B	1.38				
C ke E	1.45				
D ke A	1.54				
D ke E	1.28				
E ke D	1.45				
E ke C	1.24				

Langkah ke dua mencari nilai preferensi untuk setiap atribut ( $V_j$ ) dengan persamaan (2).

$$V_j = \sum_{j=1}^n w_j r_j \quad (2)$$

$w$  = nilai bobot yang diberikan,  $V_j$  yang lebih besar mengindikasikan bahwa alternatif  $A_i$  lebih dipilih.

Hasil Lengkap Visibilitas Antar Node Tabel 4

**Tabel 5.** Visibilitas antar Node

	A	B	C	D	E
A	0	1.40	0.95	1.54	-
B	1.09	-	1.38	-	-
C	0.99	1.60	0	0	1.24
D	1.52	0	0	0	1.45
E	0	0	1.45	1.28	0

Persamaan (3)

$$s = \begin{cases} \arg \max\{\tau(r,u), [\tau s(r,u)]\} & \text{jika } q < q_0 \\ s & \text{jika } q \geq q_0 (\text{Explorasi}) \end{cases} \quad (3)$$

$\tau(r,u)$  : Jumlah pheromone pada sisi dari node r ke node u

$\eta(r,u)$  : Panjang edges dari node r ke node u

$\beta$  : Parameter perbandingan jumlah pheromone relative terhadap jarak (merupakan parameter yang telah ditentukan sebelumnya)

$J_k^{(t)}$  : Himpunan yang berisi node yang akan dikunjungi oleh ants

U : node yang berada dalam  $J_k^{(t)}$

q : Bilangan random

$q_0$  : Parameter perbandingan eksploitasi terhadap eksplorasi

s : node berikutnya yang dipilih berdasarkan persamaan (4)

eksploitasi : ants memilih node yang paling pendek dan jumlah pheromone yang tinggi

eksplorasi : ants mengeksplorasi node yang belum pernah dikunjungi sebelumnya

persamaan (4)

$$P_k(r, s) = \begin{cases} \frac{[\tau(r,s)][\eta(r,s)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(r)} [\tau(r,u)][\eta(r,u)]^\beta} & \text{jika } s \in J_k(r) \\ 0 & \text{Lainnya} \end{cases} \quad (4)$$

- $P_k(r,s)$  : probabilitas ants k yang memilih berada di node r memilih node s untuk tujuan selanjutnya
- $\tau(r,s)$  : jumlah pheromone pada sisi dari node r ke node s
- $\eta(r,s)$  : panjang edges dari node r ke node s
- $\beta$  : parameter yang menentukan besarnya pengaruh jarak terhadap jumlah pheromone
- $J_k(r)$  : himpunan yang berisi node yang akan dikunjungi oleh ants.  $u$ . node yang berada dalam  $J_k(r)$

Mencari Node tujuan Berikutnya

Siklus I, semut I

Nilai bilangan yang dibangkitkan (q),  $q = 0.565$

Visibility Measure,  $\eta(r,s) = 0.0359024$

Perhitungan Probabilitas dari node A ke setiap Node

Node A = 0

Node B = 0.3029047

Node C = 0.2746535

Node D = 0.4224418

Node E = 0

Probabilitas Kumulatif = 0.354

Bilangan random yang dibangkitkan  $r = 0.825$

Memeriksa  $q_{k-1} < \tau < q_k$ , maka pilih node

D

Isi daftar kota = A D

Melakukan pembaharuan Pheromone

local

$$\tau(A D) = \frac{(1 - 0.05) * (0.01) + (0.066)}{0.0755}$$

**Tabel 6.** Hasil pencarian dari siklus pertama

Semut ke-	Rute	Panjang Rute	Kecepatan	Tikungan	Kepadatan	Titik aman
1	A D E	7	4.33	4	7	4
2	ABCE	14	3.33	8	10	8
3	A C B	11	3.08	4	8	7
4	A C E	12	2.75	2	6	8

Proses perankingan dengan menggunakan bobot yang telah diberikan menggunakan persamaan (1) untuk normalisasi Tabel dan persamaan (2) untuk menghitung nilai dari preferensi.

**e. Hasil Perhitungan :**

Proses Perankingan dengan menggunakan bobot yang telah diberikan dalam normalisasi tabel dan proses preferensi

Angka Terbesar adalah pada V2 dengan nilai 4.14 yang merupakan rute ABCE sehingga menjadi rute **TERBAIK**. Kemudian angka ranking berikutnya adalah V1 dengan 2.80 yang merupakan rute ADE sehingga dapat dijadikan sebagai rute **ALTERNATIF**

Melakukan pembaruan *pheromone* global menggunakan persamaan

$$\tau(r, s) = (1 - \alpha) \cdot \tau(r, s) + \alpha \cdot \Delta \tau(r, s) \tag{5}$$

Rute terbaik adalah A B C E sehingga jumlah pheromone:

$$\tau(r, s) = (1 - \alpha) \cdot \tau(r, s) + \alpha \cdot \Delta \tau(r, s)$$

$$\tau(A B) = (1 - 0,1)(0,0755) + (0,1)(0,58); \tau(r, s) = 0.12595$$

$$\tau(B C) = (1 - 0,1)(0,1835) + (0,1)(0,87); \tau(r, s) = 0.1035$$

$$\tau(C E) = (1 - 0,1)(0,1934) + (0,1)(0,836); \tau(r, s) = 0.256$$

**Tabel 7.** intensitas pheromone tiap node

	A	B	C	D	E
A	0.009	0.312595	0.1396	0.06795	0.009
B	0.12595	0.009	0.454	0.009	0.009
C	0.1396	0.1035	0.009	0.009	0.256
D	0.06795	0.009	0.009	0.009	0.1935
E	0.009	0.009	0.258	0.1935	0.009

**5. Simpulan**

Hasil dari pembahasan didapatkan kesimpulan:

1. Hasil penelitian aplikasi pencarian rute terbaik dengan menggunakan metode Ant Colony Optimization(ACO) dapat digunakan untuk mencari rute terbaik dan rute alternatif berdasarkan kriteria tertentu (panjang rute, kecepatan, tikungan, kepadatan dan titik aman) dalam proses emergensi evakuasi bencana.
2. Berdasarkan hasil pengujian aplikasi pencarian rute, sistem akan mengabaikan kriteria dengan tingkat kepentingan (bobot) kecil atau nol.
3. Pengambilan keputusan rute terbaik dan rute alternatif dengan kriteria panjang rute, kecepatan, tikungan, kepadatan dan titik aman, tergantung dari nilai bobot yang dimasukkan pada saat proses perankingan, nilai preferensi terbesar pertama akan dipilih sebagai rute terbaik dan nilai preferensi terbesar ke dua akan dipilih sebagai rute alternatif.

**6. Daftar Pustaka**

Badan Geologi, R. I. (2015). *Laporan Aktivitas Gunung Berapi Lokon Sulawesi Utara*. Jakarta: Badan Geologi Kementerian ESDM RI.  
 Badan Nasional Penanggulangan Bencana RI. (2015). *Data Bencana Indonesia*.

Jakarta: BNPB.

- Chaimongkon Chokpanyasuwan, T. B. (2015). Ant Colony Optimization for Load Management Based on Load Shifting in the Textile Industry. *American Journal of Applied Sciences*, 142-154.
- Dharmendra Sutariya, P. K. (2013). A survey of ant colony based routing algorithms for manet. *European scientific journal*, 82-91.
- Era Madona, M. I. (2013). Aplikasi Metode Nearest Neighbor Pada Penentuan Jalur Evakuasi Terpendek Untuk Daerah Rawan Gempa Dan Tsunami. *Jurnal Elektron Vol 5 No. 2*, 45-51.
- Fauzy, I. (2011). *Penggunaan Algoritma Dijkstra Dalam Pencarian Rute Tercepat Dan Terpendek, Studi Kasus Pada Jalan Raya Wilayah Blok M Dan Kota*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- Fransisca Arvevia IA, J. A. (2014). Path Selection In Emergency Evacuation Using Quantum Ant-Colony Algorithm. *Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom*, 1-8.
- Guo Li, Y. Z. (2014). Comprehensive Optimization of Emergency Evacuation Route and Departure Time under Traffic Control. *The Scientific World Journal*, 1-12.
- I W. Sudarsana, S. M. (2013). Model matematika untuk sistem evakuasi tsunami kota palu (set-kp) berbasis jalur terpendek dan waktu evakuasi minimum. *Online jurnal of natural science*, 39-53.
- Irwan Iftadi, W. A. (2011). Perancangan Peta Evakuasi Menggunakan Algoritma Floyd-Warshall untuk Penentuan Lintasan Terpendek: Studi Kasus. *Performa*, 95-104.
- Jin Feng Wang, X. L. (2014). A Graph-Based Ant Colony Optimization Approach for Process Planning. *Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal*, 1-11.
- Liqiang Liu, Y. D. (2014). Ant Colony Optimization Algorithm for Continuous Domains Based on Position Distribution Model of Ant Colony Foraging. *Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal*, 1-9.
- Lyonnais, H. (2012). Metode Pencarian Lintasan Terpendek Graf untuk Evakuasi Bencana. *Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung*, 1-5.
- Mohammed Taha Benslimane, Y. B. (2013). Ant Colony Algorithm for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem in Large Quantities by a Heterogeneous Fleet of Vehicles. *INFOR*, 31-40.
- Verdianto, E. (2013). *Perancangan Sistem Penentuan Rute Terpendek Jalur Evakuasi Tsunami Dengan Algoritma Ant Colony Studi Kasus: Belawan*. Medan: Ilmu Komputer Universitas Sumatra Utara.
- Zhang, X. (2012). *Development Of A Mixed-Flow Optimization System For Emergency Evacuation In Urban Networks*. Maryland: Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park.