

Penentuan Pola Jaringan Pergerakan Logistik yang Optimal pada Transportasi Laut Menggunakan *Minimum Spanning Tree* Berbasis Algoritma Genetika

Rifdy Fachry, Imam Mukhlash, dan Soetrisno
 Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: imammukhlash@matematika.its.ac.id

Abstrak—Penentuan pola jaringan pergerakan logistik yang optimal berguna untuk mendukung perencanaan tol laut. Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menentukan pola jaringan pergerakan logistik yang optimal adalah dengan menentukan jalur-jalur yang mempunyai kepadatan dalam pergerakan kontainer. Penentuan pola jaringan pergerakan logistik dapat dilakukan dengan menggunakan *Minimum Spanning Tree* (MST) berbasis algoritma genetika. Algoritma genetika adalah sebuah algoritma yang dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan MST. Adapun tahapan dari penentuan pola jaringan pergerakan logistik yang optimal pada Tugas Akhir ini adalah penentuan *node*, proses *crossover*, proses mutasi, proses evaluasi, dan proses seleksi. Dalam penentuan *node* terdapat 52 *node* yang merepresentasikan pelabuhan. Proses *crossover* menggunakan *crossoverrate* sebesar 0,2. Proses mutasi menggunakan *mutationrate* sebesar 0,4. Berdasarkan hasil pengujian sistem ini diperoleh total jalur terpadat dengan jumlah kontainer pada tiga tahun, yaitu 2010, 2011, dan 2012 berturut-turut adalah 1647896 Teu's, 1825049 Teu's, dan 2027860 Teu's dengan inisialisasi populasi 100 dan generasi maksimum 2000.

Kata Kunci— Algoritma Genetika, Logistik, *Minimum Spanning Tree*, Optimasi.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan negara maritim, dimana wilayahnya sebagian besar berupa laut. Aktifitas-aktifitas yang dilakukan antar pulau tidak dapat meninggalkan peran dari laut tersebut. Karena itu diperlukan transportasi laut yang mendukung agar aktifitas-aktifitas yang diperlukan oleh penduduk Indonesia dapat berkembang. Ada beberapa jenis kapal yang berlayar di perairan Indonesia sesuai dengan fungsinya. Salah satunya yaitu kapal pengangkut barang. Sistem pergerakan barang pada jalur laut masih buruk. Sebagai contoh, yaitu buruknya sistem transportasi laut menyebabkan biaya angkut dari Jakarta ke Padang 3,5 kali lipat lebih mahal daripada biaya angkut dari Jakarta ke Singapura. Saat ini, biaya Jakarta – Padang sebesar 600 US Dollar, sedangkan Jakarta – Singapura hanya sebesar 185 US Dollar [1].

Selain itu juga Indonesia merupakan negara dengan rata-rata biaya logistik yang lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa negara lain di kawasan. Permasalahan tingginya biaya logistik di Indonesia, yang nilainya mencapai sekitar 24% dari PDB Indonesia, menunjukkan bahwa kinerja sistem logistik nasional yang sangat buruk [2]. Saat ini Indonesia merencanakan tentang konsep tol laut. Tol laut merupakan rute transportasi laut mulai dari Sumatera sampai Papua dengan melewati semua pelabuhan utama di Indonesia. Jalur laut mampu menjadi alternatif di tengah tingginya beban pengangkutan yang selama ini bertumpu pada jalur darat maupun jalur kereta api, contohnya dalam kasus untuk mengurangi beban jalur Pantai Utara (Pantura) [3]. Karena banyaknya transaksi di wilayah laut, terdapat pola-pola rute yang bisa dilewati untuk distribusi logistik. Maka dari itu dibutuhkan suatu analisa untuk menentukan pola yang optimal sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan. Dalam analisa tersebut terdapat beberapa metode untuk menentukan pola rute yang optimal untuk pergerakan logistik yang melewati jalur laut wilayah Indonesia. Dari jalur-jalur tersebut dapat dibentuk suatu model graf dimana salah satu metodenya adalah dengan menggunakan metode *Minimum Spanning Tree* berbasis algoritma genetika.

Minimum Spanning Tree atau pohon rentang minimum adalah model graf dengan jumlah bobot yang terkecil. Dalam Tugas Akhir ini *Minimum Spanning Tree* diaplikasikan pada penentuan pola jalur pergerakan logistik. Terdapat beberapa pendekatan pada MST, yaitu dengan menggunakan algoritma Prim, algoritma Kruskal, dll [8]. Salah satu pendekatan pada MST adalah dengan menggunakan algoritma genetika. Dengan menggunakan algoritma genetika dalam menentukan jalur-jalur pergerakan logistik di wilayah Indonesia, akan diketahui pola jalur dengan arus pergerakan kontainer yang terpadat.

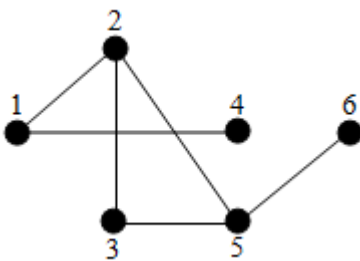
Dari penelitian-penelitian sebelumnya, yang dimuat dalam paper dengan judul “Nonlinear Fixed Charge Transportation Problem by Spanning Tree-based Genetic Algorithm” oleh Jung-Bok Jo, Yinzhen Li, dan Mitsuo Gen didapat bahwa solusi yang optimal untuk masalah biaya transportasi nonlinear telah didapat dengan menggunakan pendekatan *Spanning Tree-based Genetic Algorithm* [4]. Dan

pada paper yang berjudul “Study on Multi-Stage Logistic Chain Network: A Spanning Tree-based Genetic Algorithm Approach” oleh Admi Syarif, YoungSu Yun, dan Mitsuo Gen didapat bahwa st-Genetic Algorithm dapat menemukan desain produksi/ distribusi pada sistem pelevelan logistik. Hasil eksperimen yang telah dilakukan menunjukkan bahwa algoritma ini tidak hanya dapat memberikan solusi heuristik yang lebih baik, tetapi juga mempunyai performa yang lebih baik pada kecepatan waktu komputasi dan kebutuhan memori pada komputer daripada m-Genetic Algorithm. Algoritma ini efisien untuk menyelesaikan permasalahan seperti masalah desain rantai logistik bertingkat [5].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Graf

Sebuah graf mengandung sekumpulan elemen \mathcal{V} yang disebut verteks (nodes) dan sekumpulan \mathcal{A} yang merupakan sepasang verteks yang terdapat dalam \mathcal{V} yang disebut edges (arcs). Graf digambarkan sebagai sistem grafik dengan gambar lingkaran untuk verteks dan gambar garis antara verteks i dan j yang mana dapat ditulis $\{i, j\}$ adalah sebuah *edges*[6]. Misalnya, graf dengan $\mathcal{V} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ dan $\mathcal{A} = \{\{1,2\}, \{1,4\}, \{2,5\}, \{2,3\}, \{3,5\}, \{5,6\}\}$ digambarkan pada Gambar 2.1.

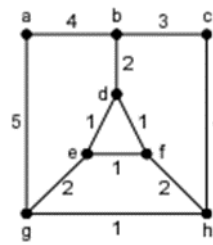


Gambar 1 Contoh Sebuah Graf

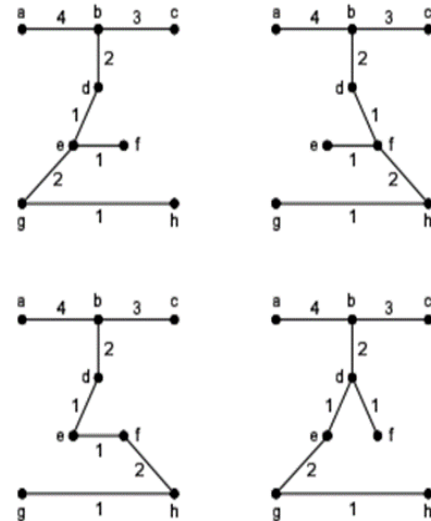
B. Minimum Spanning Tree

Minimum Spanning Tree dari graf G yang berbobot adalah spanning tree dari G yang mempunyai jumlah bobot yang minimal. Dengan kata lain, *Minimum Spanning Tree* adalah sebuah bentuk *tree* pada graf dengan dua sifat: (1) merentang pada graf, artinya semua verteks dalam graf terhubung, dan (2) minimal, artinya jumlah bobot dari semua edges sekecil mungkin.

Dari Gambar 2.2, dapat dicari suatu solusi minimal dengan MST, yaitu dengan membandingkan bobot yang terkecil dari setiap edge yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2. Graf Berbobot [7].



Gambar 2 Beberapa Contoh *Minimum Spanning Tree* dari Graf pada Gambar 2.2[7].

C. Algoritma Genetika

Algoritma genetika adalah teknik optimasi dan pencarian yang berdasarkan pada prinsip gen dan seleksi alam. Algoritma genetika memberikan susunan populasi dari banyak individu untuk mengembangkan aturan seleksi yang spesifik untuk sebuah pernyataan memaksimalkan *fitness*[9].

- 1) Membuat kromosom dan membangkitkan fungsi *fitness*
 Algoritma genetika dimulai dengan mendefinisikan sebuah kromosom atau *array* dari nilai variabel untuk dioptimasi. Jika kromosom mempunyai N_{var} variabel (dimana N_{var} adalah dimensi masalah optimasi) diberikan $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}}$, maka kromosom dapat ditulis sebagai $1 \times N_{var}$ elemen vektor baris.

$$chromosome = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}}] \tag{1}$$

Setiap kromosom mempunyai nilai *fitness* dengan mengevaluasi fungsi *fitness* f , pada $p_1, p_2, \dots, p_{N_{var}}$:

$$fitness = f(chromosome) = f(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}}) \tag{2}$$

- 2) Inisialisasi populasi
 Dalam memulai algoritma genetika, didefinisikan sebuah inisialisasi populasi pada N_{pop} kromosom. Sebuah matriks merepresentasikan populasi dengan setiap baris dalam matriks menjadi $1 \times N_{var}$ *array* (kromosom) pada nilai kontinu. Diberikan sebuah inisialisasi populasi pada N_{pop} kromosom, matriks penuh pada $N_{pop} \times N_{var}$ nilai acak diolah dengan

$$pop = rand(N_{pop}, N_{var}) \quad (3)$$

3) *Crossover*

Proses *crossover* dalam algoritma genetika adalah dengan menyeleksi secara acak sebuah variabel dalam pasangan pertama pada parent untuk menjadi titik pindah silang.

$$\alpha = roundup\{random * N_{var}\} \quad (4)$$

Kemudian

$$parent_1 = [p_{m1} p_{m2} \dots p_{m\alpha} \dots p_{mN_{var}}] \quad (5)$$

$$parent_2 = [p_{d1} p_{d2} \dots p_{d\alpha} \dots p_{dN_{var}}] \quad (6)$$

Dimana m dan d adalah pembeda antara *mom* dan *dad*. Kemudian variabel yang dipilih dikombinasi ke bentuk variabel baru yang akan muncul pada *children*. Step terakhir adalah untuk melengkapi pindah silang dengan sisa dari chromosome sebelum:

$$offspring_1 = [p_{m1} p_{m2} \dots p_{new1} \dots p_{dN_{var}}] \quad (7)$$

$$offspring_2 = [p_{d1} p_{d2} \dots p_{new2} \dots p_{mN_{var}}] \quad (8)$$

Jika variabel pertama pada kromosom dipilih, maka hanya variabel yang kanan pada pemilihan variabel ditukar. Jika variabel terakhir pada kromosom dipilih, maka hanya variabel yang kiri pada pemilihan variabel ditukar [9].

4) *Mutasi*

Mutasi pada algoritma genetika terdapat beberapa jenis, yaitu *Flipping*, *Interchanging*, dan *Reversing*. Untuk jenis *reversing* adalah menukar gen yang dipilih dengan posisi acak dengan gen selanjutnya. Sehingga kromosom anak telah diproduksi.

5) *Seleksi*

Seleksi pada algoritma genetika terdapat beberapa jenis, yaitu *Roulette Wheel Selection*, *Random Selection*, *Rank Selection*, *Tournament Selection*, *Boltzmann Selection*, *Stochastic Universal Sampling*, dan *Elitism*. Pada jenis *Elitism*, satu atau beberapa kromosom yang terbaik disalin ke populasi baru. Sehingga dapat menaikkan performa dari algoritma genetika.

D. *Pelabuhan di Indonesia*

Pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan pengusahaan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang, dan/atau bongkar muat barang, berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra-dan antarmoda transportasi [11].

Di Indonesia terdapat 5 jenis pelabuhan, yaitu:

1. Pelabuhan Internasional HUB
Terdapat 16 prasarana, seperti: Tg. Perak, Tg. Priok, Palembang, Samarinda, Balikpapan, dll [13].
2. Pelabuhan Internasional
Terdapat 35 prasarana, seperti: Belawan, Sei Pakning, Teluk Bayur, Panjag, Benoa, dll [13].
3. Pelabuhan Nasional

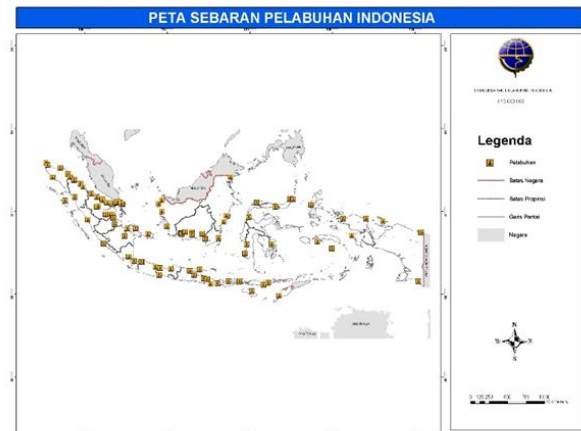
Terdapat 45 prasarana, seperti: Sinabang, Tual, Fak-fak, Sampit, Ambon, dll [13].

4. Pelabuhan Lokal

Terdapat 132 prasarana, seperti: Sikakap, Pulau Kijag, Labuhan Alas, Pangkalan Bun, Cenrana, dll [13].

5. Pelabuhan Regional

Terdapat 31 prasarana, seperti: Batang, Rembang, Siwa, Matui, Jailolo, dll [13].



Gambar 3 Peta Pelabuhan di Indonesia [12].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. *Analisa Data*

Dalam menganalisa data yang diperoleh yaitu mengenai pelabuhan-pelabuhan di Indonesia, rute-rute yang dilewati kapal pengangkut logistik, jumlah logistik berupa kontainer yang diangkut, maka dapat dijadikan suatu variabel dalam perumusan algoritma genetika

B. *Perumusan Minimum Spanning Tree Berbasis Algoritma Genetika*

Dalam perumusan ini dilakukan analisis mengenai Algoritma Genetika pada *Minimum Spanning*. Kemudian dibuat desain sistem dari program sesuai dengan hasil analisis. Sistem ini memiliki inputan berupa data pelabuhan, dan data jumlah kontainer yang diangkut antar pelabuhan. Selanjutnya akan mendapatkan hasil pola rute pergerakan logistic dengan arus padat, sehingga dapat diketahui rute yang dapat dirancang untuk jalan utama tol laut. Tahap berikutnya yaitu dibentuk suatu model graf *Minimum Spanning Tree* dari hasil perumusan oleh algoritma genetika.

C. *Perancangan dan Pengujian Perangkat Lunak*

Kemudian sistem yang telah dirancang diimplementasikan kedalam bentuk perangkat lunak menggunakan bahasa pemrograman Java dengan compiler Netbeans. Selanjutnya dilakukan pengujian perangkat lunak apakah berjalan dengan benar dan sesuai dengan perancangan. Dalam pengujian ini terdapat proses pengolahan data yang ada sehingga menghasilkan suatu nilai. Dari nilai tersebut akan digunakan dalam algoritma genetika untuk menentukan rute

pergerakan logistik dengan arus yang padat. Selanjtnya dilakukan evaluasi perangkat lunak. Apabila masih terdapat error, maka dilakukan perbaikan pada perangkat lunak tersebut.

IV. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Data Arus Bongkar Muat Antar Pelabuhan

Di Indonesia terdapat 52 pelabuhan yang dapat melakukan bongkar muat kontainer. Dari data 52 pelabuhan tersebut, kemudian dirancang model graf, dengan setiap pelabuhan merupakan verteks. Sehingga terdapat 52 verteks dengan setiap 2 verteks yang terhubung, terdapat bobot yang merupakan arus bongkar muat antar 2 pelabuhan. Data arus bongkar muat yang dipakai adalah tahun 2010, 2011, dan 2012 dan direpresentasikan dalam bentuk array 2 dimensi.

B. Perumusan Minimum Spanning Tree Berbasis Algoritma Genetika

Permasalahan Minimum Spanning Tree dilakukan untuk menghubungkan semua verteks dan tidak ada cycle didalam graf. Dengan menggunakan algoritma genetika dapat dicari suatu kombinasi rute dengan 52 verteks yang terhubung dengan bobot yang terbesar. Algoritma genetika dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Inisialisasi besar populasi
- Membangkitkan *prufer number*, dengan *generate* bilangan random antara 1-52 sebanyak 50.
- Fungsi *fitness* yang digunakan adalah total kontainer yang diangkut antar pelabuhan tiap tahun. Fungsi *fitness* tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

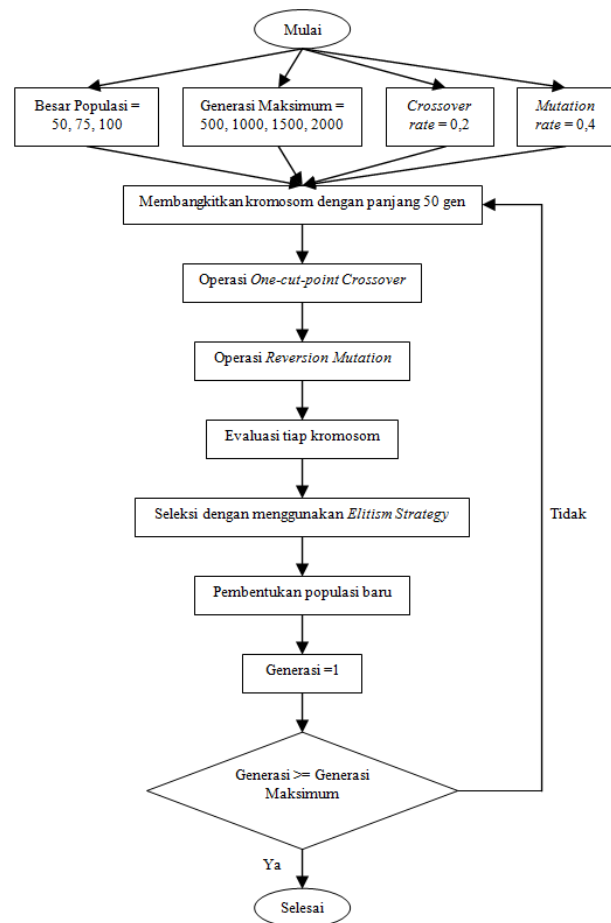
$$\frac{1}{\sum_i \sum_j x_{ij}} \tag{9}$$

dengan:

- i*: pelabuhan asal
- j*: pelabuhan tujuan
- x*: jumlah kontainer

- Operator *crossover* yang digunakan adalah *one-cut-point* dengan *crossover rate* 0,4.
- Operator mutasi yang digunakan adalah *reversion* dengan *mutation rate* 0,2.
- Me-decode prufer number* untuk menentukan nilai *fitness* yang telah dirumuskan pada (9).
- Seleksi dilakukan dengan memilih kromosom dengan bobot terkecil pada populasi awal, kemudian diganti dengan kromosom hasil proses genetika.
- Membentuk populasi baru
- Me-decode prufer number* untuk menentukan nilai *fitness* tiap kromosom pada populasi baru.
- Skema pemberhentian yang digunakan adalah banyaknya generasi telah mencapai angka yang telah diinisialisasi.

Untuk *flowchart Minimum Spanning Tree* berbasis algoritma genetika ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Flowchart Minimum Spanning Tree Berbasis Algoritma Genetika

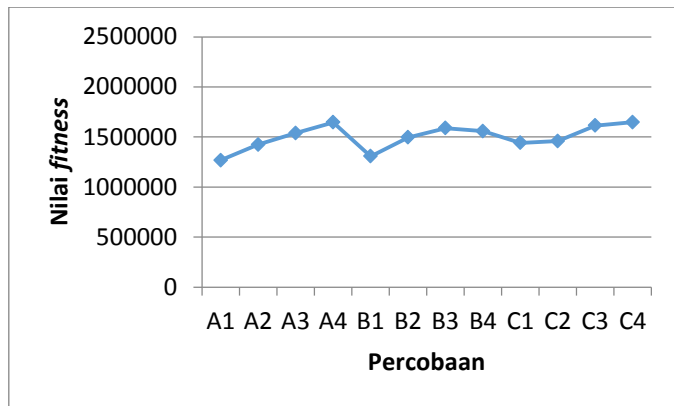
C. Pengujian Algoritma Genetika pada Minimum Spanning Tree

Dalam pengujian ini dilakukan dengan menggunakan data pada tahun 2010, 2011, dan 2012. Untuk data pada tahun 2010, 2011, dan 2012 dibuat 12 percobaan tiap tahun, yaitu:

A1 dengan besar populasi 50 dan jumlah generasi 500; A2 dengan besar populasi 50 dan jumlah generasi 1000; A3 dengan besar populasi 50 dan jumlah generasi 1500; A4 dengan besar populasi 50 dan jumlah generasi 2000; B1 dengan besar populasi 75 dan jumlah generasi 500; B2 dengan besar populasi 75 dan jumlah generasi 1000; B3 dengan besar populasi 75 dan jumlah generasi 1500; B4 dengan besar populasi 75 dan jumlah generasi 2000; C1 dengan besar populasi 100 dan jumlah generasi 500; C2 dengan besar populasi 100 dan jumlah generasi 1000; C3 dengan besar populasi 100 dan jumlah generasi 1500; C4 dengan besar populasi 100 dan jumlah generasi 2000. Sehingga dihasilkan grafik pada Gambar 5.1, 5.3, dan 5.5 untuk setiap tahun.

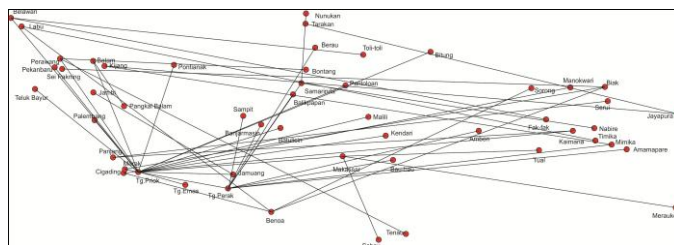
Dengan melakukan skema algoritma genetika diatas pada tahun 2010 didapat hasil bahwa pada besar populasi ke 100 dengan generasi 2000 (C4) mempunyai bobot sebesar 1647896 *Teu's*, dengan rute sebagai berikut: {Tg. Perak-Amamapare}, {Tg. Perak-Ambon}, {Tg. Perak-Balikpapan}, {Tg. Perak-Banjarmasin}, {Tg. Priok-Batu Licin}, {Tg. Perak-Bau-bau}, {Tg. Perak-Berau}, {Tg. Priok-Bitung}, {Perawang-Bontang}, {Belawan-Fak-fak}, {Jamuang-Jambi},

{Tg. Priok-Jamuang}, {Tg. Priok-Kendari}, {Perawang-Kupang}, {Tg. Priok-Malili}, {Tg. Priok-Manokwari}, {Makassar-Merauke}, {Samarinda-Nabire}, {Samarinda-Nunukan}, {Tg. Priok-Padang}, {Tg. Priok-Palembang}, {Tg. Priok-Palu}, {Batam-Pangkal Balam}, {Tg. Priok-Batam}, {Tg. Priok-Pekanbaru}, {Tg. Priok-Perawang}, {Tg. Priok-Pontianak}, {Tg. Perak-Samarinda}, {Tg. Perak-Sampit}, {Biak- Sei Pakning}, {Lampung-Serui}, {Kaimana-Lampung}, {Cigading-Kaimana}, {Benoa-Cigading}, {Benoa-Sorong}, {Jayapura-Tarakan}, {Kijang-Jayapura}, {Mimika-Kijang}, {Tg. Priok-Tg. Emas}, {Labu-Timika}, {Benoa-Labu}, {Biak-Benoa}, {Merak-Biak}, {Tg. Priok-Merak}, {Belawan-Toli-toli}, {Tg. Priok-Belawan}, {Makassar-Tual}, {Makassar-Sabau}, {Tg. Priok-Makassar}, {Tg. Perak-Tg. Priok}, {Tg. Perak-Mimika}



Gambar 5 Grafik pengaruh ukuran populasi dan generasi terhadap nilai *fitness* dari data tahun 2010.

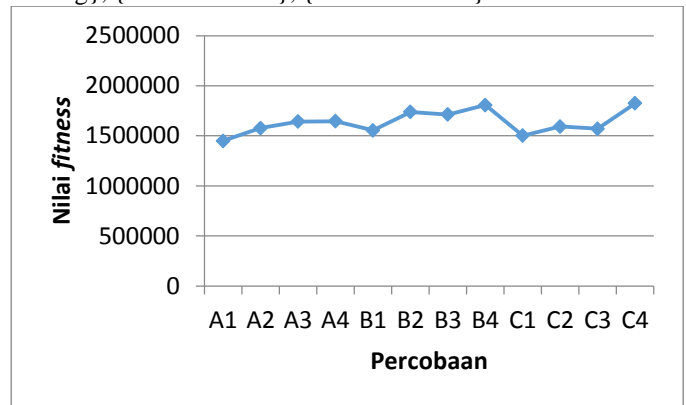
Dan dapat dihasilkan model graf *Tree* sebagai berikut:



Gambar 6 Model graf *Tree* pada tahun 2010.

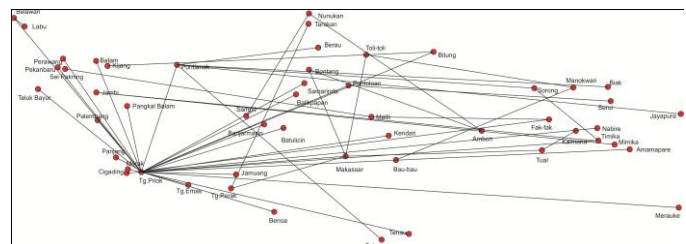
Pada tahun 2011 didapat hasil bahwa pada besar populasi ke 100 dengan generasi 2000 (C4) mempunyai bobot sebesar 1825049 Teu's, dengan rute sebagai berikut: {Tg. Priok-Amamapare}, {Tg. Priok-Balikpapan}, {Tg. Priok-Banjarmasin}, {Tg. Priok-Batam}, {Tg. Priok-Batu Licin}, {Manokwari-Bau-bau}, {Tg. Priok-Benoa}, {Pontianak-Berau}, {Pontianak-Biak}, {Timika-Cigading}, {Tg. Priok-Jamuang}, {Pontianak-Jayapura}, {Tual-Kaimana}, {Tg. Priok-Kendari}, {Bitung-Kijang}, {Tg. Priok-Bitung}, {Tg. Priok-Kupang}, {Belawan-Labu}, {Tg. Priok-Belawan}, {Tg. Priok-Lampung}, {Toli-toli-Manokwari}, {Tg. Priok-Merak}, {Tg. Priok-Merauke}, {Tg. Priok-Nabire}, {Tg. Priok-Padang}, {Tg. Priok-Palembang}, {Tg. Priok-Pangkal Balam}, {Tg. Priok-Pekanbaru}, {Tg. Priok-Perawang}, {Tg. Priok-Samarinda}, {Nunukan-Sampit}, {Ambon-Nunukan},

{Bontang, Ambon}, {Makassar-Bontang}, {Malili- Sei Pakning}, {Fak-fak-Malili}, {Tg. Priok-Fak-fak}, {Palu-Serui}, {Tg. PriokPalu}, {Tg. Perak-Tarakan}, {Tg. Priok-Tg. Emas}, {Makassar- Tg. Perak}, {Makassar-Toli-toli}, {Makassar-Tual}, {Tg. Priok-Makassar}, {Pontianak-Tg. Priok}, {Pontianak-Sabau}, {Sorong-Pontianak}, {Timika-Sorong}, {Jambi-Timika}, {Jambi-Mimika}.



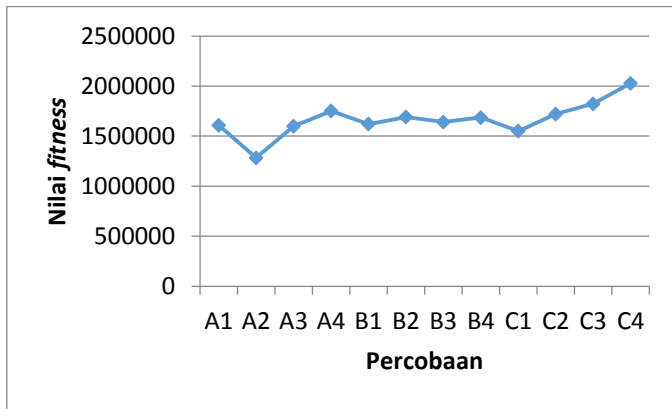
Gambar 7 Grafik pengaruh ukuran populasi dan generasi terhadap nilai *fitness* dari data tahun 2011.

Dan dapat dihasilkan model graf *Tree* sebagai berikut:



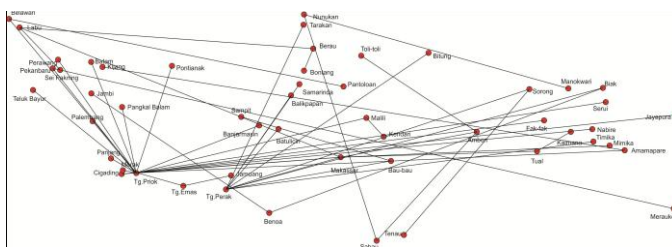
Gambar 8 Model graf *Tree* pada tahun 2011.

Pada tahun 2012 didapat hasil bahwa pada besar populasi ke 100 dengan generasi 2000 (C4) mempunyai bobot sebesar 2027860 Teu's, dengan rute sebagai berikut: {Tg. Perak-Balikpapan}, {Tg. Priok-Banjarmasin}, {Tg. Priok-Batam}, {Tg. Perak-Batu Licin}, {Tg. Perak-Bitung}, {Berau-Bontang}, {Labu-Berau}, {Tg. Priok-Fak-fak}, {Benoa-Jambi}, {Biak-Benoa}, {Tg. Perak-Biak}, {Tg. Emas-Jamuang}, {Cigading-Jayapura}, {Makassar-Cigading}, {Tual-Kaimana}, {Malili-Kendari}, {Amamapare-Kijang}, {Tg. Priok-Amamapare}, {Sorong-Kupang}, {Tg. Priok-Lampung}, {Tg. Priok-Malili}, {Nunukan-Manokwari}, {Tg. Priok-Merak}, {Pekanbaru-Merauke}, {Tg. Priok-Nabire}, {Sabau-Nunukan}, {Tg. Priok-Padang}, {Tg. Priok-Palembang}, {Belawan-Palu}, {Tg. Priok-Belawan}, {Tg. Priok-Pangkal Balam}, {Tg. Priok-Pekanbaru}, {Tg. Priok-Perawang}, {Tg. Priok-Pontianak}, {Tg. Perak-Samarinda}, {Bau-bau-Sampit}, {Tg. Perak-Bau-bau}, {Labu-Sei Pakning}, {Makassar-Labu}, {Tg. Priok-Serui}, {Tg. Perak-Sorong}, {Tg. Perak-Tarakan}, {Tg. Priok-Tg. Emas}, {Makassar-Tg. Priok}, {Tg. Perak-Timika}, {Makassar-Tg. Perak}, {Ambon-Toli-toli}, {Makassar-Tual}, {Ambon-Sabau}, {Makassar-Ambon}, {Makassar-Mimika}.



Gambar 9 Grafik pengaruh ukuran populasi dan generasi terhadap nilai *fitness* dari data tahun 2012.

Dan dapat dihasilkan model graf *Tree* sebagai berikut:



Gambar 10 Model graf *Tree* pada tahun 2012.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa terhadap hasil pengujian dalam penentuan pola pergerakan logistik di Indonesia dengan arus terpadat menggunakan metode *Minimum Spanning Tree* berbasis algoritma genetika dapat diambil kesimpulan bahwa metode *Minimum Spanning Tree* berbasis algoritma genetika menghasilkan pola pergerakan logistik dengan arus terpadat. Untuk data pada tahun 2010 menghasilkan rute dengan nilai *fitness* 1647896 pada percobaan dengan besar populasi ke 100 dan jumlah generasi 2000. Untuk data pada tahun 2011 menghasilkan rute dengan nilai *fitness* 1825049 pada percobaan dengan besar populasi ke 100 dan jumlah generasi 2000. Untuk data pada tahun 2012 menghasilkan rute dengan nilai *fitness* 2027860 pada percobaan dengan besar populasi ke 100 dan jumlah generasi 2000.

VI. DAFTAR PUSTAKA

[1] Iqbal, A. (2014). "Menko Maritim: Tol Laut Bicara Masalah Pelabuhan, Pelayaran, dan Galangan Kapal Nasional". <http://jurnalmaritim.com/2014/12/menko-maritim-tol-laut-bicara-masalah-pelabuhan-pelayaran-dan-galangan-kapal-nasional/>. Diakses pada tanggal 16-02-2015.

[2] Prima, I. T. (2015). "Menurunkan Biaya Logistik". <http://m.sindonews.com/read/959413/161/menurunkan-biaya-logistik-1422950158>. Diakses pada tanggal 16-02-2015.

[3] Ariyanti, F. (2014). "Tol Laut Sudah Direncanakan pada Era SBY?". <http://bisnis.liputan6.com/read/2066576/tol-laut-sudah-direncanakan-pada-era-sby>.

laut-sudah-direncanakan-pada-era-sby. Diakses pada tanggal 17-02-2015.

[4] Jo, J. Li, Y. Gen, M. (2007). "Nonlinear Fixed Charge Transportation Problem by Spanning Tree-based Genetic Algorithm". *Science Direct Computers & Industrial Engineering* Vol. 53, Hal. 290-298.

[5] Syarif, A. Yun, Y. Gen, M. (2002). "Study on Multi-Stage Logistic Chain Network: A Spanning Tree-based Genetic Algorithm Approach". *ScienceDirect Computers & Industrial Engineering* Vol. 43, Hal.299-314.

[6] Ross, S. M. (2004). "Topics in Finite and Discrete Mathematics". United Kingdom: Cambridge University Press.

[7] Wu, B. Y. Chao, K. (2003). "Spanning Trees and Optimization Problems". Washington D.C. : CRC Press.

[8] Munir, R. (2010). "MATEMATIKA DISKRIT". Bandung: INFORMATIKA Bandung.

[9] Haupt, R. L. Haupt, S. E. (2004). "Practical Genetic Algorithms Second Edition". Canada: John Wiley & Sons, Inc.

[10] Sivanandam, S. N. Deepa, S. N. (2008). "Introduction to Genetic Algorithms". New York: Springer Science+Business Media.

[11] Peraturan Pemerintah No. 69 Tahun 2001 tentang Kepelabuhan.

[12] Indonesia (2015). "Peta Sebaran Pelabuhan Indonesia". http://gis.dephub.go.id/Metadata/images/metadata/pelabuhan_view.jpg. Diakses pada tanggal 16-02-2015.

[13] Indonesia (2015). "Data Prasarana Pelabuhan". <http://gis.dephub.go.id/mappingf/Prasarana/Pelabuhan/PelabuhanList.aspx#>. Diakses pada tanggal 16-02-2015.