



Pipeline Network Optimization using Hybrid Algorithm between Simulated Annealing and Genetic Algorithms

Parizal Hidayatullah^a, Irwansyah^b, Qurratul Aini^c, Bulqis Nebula Syechah^d

^aProgram Studi Matematika, FMIPA, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No.62, Mataram, 83125, Indonesia.

Email: parizalhidayatullah96@gmail.com

^bProgram Studi Matematika, FMIPA, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No.62, Mataram, 83125, Indonesia.

Email: irw@unram.ac.id

^cProgram Studi Matematika, FMIPA, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No.62, Mataram, 83125, Indonesia.

Email: qurratulaini.aini@unram.ac.id

^dProgram Studi Matematika, FMIPA, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No.62, Mataram, 83125, Indonesia.

Email: bulqis.mits14@gmail.com

ABSTRACT

The pipeline network is one of the most complex optimization problems consisting of several elements: reservoirs, pipes, valves, etc. The pipeline network is designed to deliver water to consumers by considering the demand and adequate pressure on the water pipe network. The main problem in designing reliable pipelines is the cost. The amount of cost that most influences the design of pipelines is the diameter of the pipe used. Therefore, this study aims to combine (hybrid) simulated annealing algorithm with genetic algorithm to optimize water pipe networks. The simulated annealing algorithm is the main algorithm in finding the optimal cost.

Meanwhile, the genetic algorithm will assist in the pipeline update process using the roulette wheel selection. Simulation data is used to test the hybrid algorithm performance compared to the standard simulated annealing algorithm. The results show that the simulated annealing hybrid algorithm is able to get a more optimal cost in designing a water pipe network compared to the standard simulated annealing algorithm.

Keywords: Optimization, Epanet 2.0, Simulated Annealing, and Genetic Algorithm

* Corresponding author.

Alamat e-mail: parizalhidayatullah96@gmail.com

A B S T R A K

Jaringan pipa merupakan salah satu permasalahan optimasi yang sangat kompleks yang terdiri dari beberapa elemen yaitu *reservoir*, pipa, katup, dan lainnya. Jaringan pipa dirancang untuk mengalirkan air ke konsumen dengan mempertimbangkan besaran permintaan dan tekanan yang memadai pada jaringan pipa air. Selain itu, diameter dan panjang pipa merupakan dua di antara faktor-faktor yang menentukan besaran harga dalam penggunaan pipa. Penelitian ini bertujuan untuk menggabungkan (hibrid) algoritma *simulated annealing* dengan algoritma genetika untuk mengoptimasi jaringan pipa air. Algoritma hibrid *simulated annealing* menjadi algoritma utama dalam mencari biaya optimal jaringan pipa air, dan algoritma genetika akan digunakan dalam proses *update* jaringan pipa berdasarkan seleksi *roulette wheel*. Jaringan pipa digunakan sebagai simulasi untuk menguji kelebihan algoritma hibrid *simulated annealing* dan algoritma genetika dalam mendapatkan nilai optimal dibandingkan menggunakan algoritma *simulated annealing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma hibrid *simulated annealing* mendapatkan biaya yang lebih optimal dalam mendesain jaringan pipa air dibandingkan menggunakan algoritma *simulated annealing*.

Keywords: Optimisasi, Epanet 2.0, Simulated Annealing, dan Algoritma Genetika

Diserahkan: 08-06-2021; Diterima: 23-12-2021;

Doi: <https://doi.org/10.29303/emj.v4i2.100>

1. Pendahuluan

Air bersih merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat. Ketersediaan air bersih merupakan salah satu aspek penting dalam kehidupan masyarakat. Sejauh ini, ketersediaan air bersih untuk masyarakat mengalami berbagai kendala, sementara itu kebutuhan air bersih terus meningkat sejalan dengan perkembangan kota dan penambahan penduduk (Atiquzzaman, 2004). Oleh karena itu, masyarakat sangat membutuhkan sistem pendistribusian air.

Tujuan utama dari sistem jaringan pipa distribusi air adalah untuk menyalurkan air bersih dari instalasi pengolahan ke masyarakat dengan kualitas, kuantitas

Berdasarkan penjelasan di atas, salah satu masalah utama dari desain jaringan pipa air adalah mencari kombinasi diameter pipa sedemikian sehingga distribusi air memenuhi kuantitas dan tekanan yang diinginkan dengan menggunakan biaya yang seminimum mungkin. Sejumlah metode sudah dipakai untuk menyelesaikan permasalahan ini. Dalam survei yang dilakukan Awe dkk. (2019), metode untuk menyelesaikan masalah desain jaringan pipa dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu metode deterministik, metode stokastik, dan metode hibrid (gabungan). Metode deterministik yang dipakai diantaranya program linear, program nonlinear dan program dinamik. Sedangkan metode stokastik yang

dan kontinuitas yang diinginkan serta tekanan yang mencukupi (Zamzami dkk., 2018). Menurut Kodoatie (2005), sistem jaringan pipa akan memasok air ke konsumen untuk berbagai keperluan seperti domestik, publik, komersial dan industri. Selanjutnya, menurut Apriadi (2008), jaringan pipa adalah komponen penting dalam infrastruktur perkotaan dan industri. Jaringan-jaringan ini disusun oleh seperangkat elemen, misalnya pipa-pipa, pompa atau kompresor, dan katup yang saling berhubungan untuk mengangkut fluida dari lokasi pasokan ke lokasi permintaan. Sistem distribusi air di perkotaan merupakan bukti pentingnya layanan penyaluran air yang disediakan oleh jaringan pipa.

dipakai diantaranya *simulated annealing* (SA), *shuffled complex evaluation* (SCE), *ant colony optimization algorithm* (ACOAs), *shuffled frog leaping algorithms* (SFLA) and *genetics algorithm* (GA). Metode hibrid didapatkan dengan menggabungkan dua atau lebih algoritma metode optimisasi contohnya hibrid antara algoritma genetika dengan pencarian lokal seperti dalam Savic dkk. (1997), hibrid antara algoritma genetika dengan metode Fibonacci dalam Van Zyl dkk. (2004), dan hibrid antara program linear dengan algoritma *greedy* seperti dalam Giacomello dkk. (2013).

Berdasarkan survei Awe dkk. (2019), persentase penggunaan metode dalam menyelesaikan masalah optimisasi jaringan pipa air yaitu metode stokastik

sebesar 49 %, metode deterministik sebesar 45,5 %, dan yang paling sedikit metode hibrid hanya sebesar 5,5 %. Dalam penyelesaian masalah optimisasi jaringan pipa air dengan ukuran yang besar, metode stokastik lebih disarankan untuk digunakan (Jetmarova dkk., 2017). Akibatnya, penggabungan dua algoritma stokastik lebih direkomendasikan dalam penyelesaian masalah optimisasi jaringan pipa air dibandingkan dengan penggabungan antara algoritma stokastik-deterministik dan antara dua algoritma deterministik. Setelah menelaah survei Jetmarova dkk. (2017) dan Awe dkk. (2019), diketahui bahwa belum ada kajian yang memformulasikan hibrid (gabungan) antara *simulated annealing* dengan algoritma genetika, dimana *simulated annealing* menjadi algoritma utama.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini diformulasikan penggabungan/hibrid antara algoritma *simulated annealing* dengan algoritma genetika. Selanjutnya, algoritma tersebut diaplikasikan pada masalah jaringan jaringan simulasi yang terdiri dari 5 pipa dan 1 *reservoir*. Pemilihan jaringan tersebut berdasarkan pada fakta bahwa analisis model jaringan yang terdiri minimal 1 *reservoir* sudah dapat merepresentasikan analisis model jaringan pipa air lainnya (Maier dkk., 2003).

2. Landasan Teori

Desain Optimal Jaringan Distribusi Air

Model desain jaringan pipa air merupakan masalah optimasi dalam mencari biaya paling rendah dengan diameter pipa sebagai variabel keputusan. Tata letak pipa, konektivitas, dan batasan *head*/tekanan minimum yang diberlakukan pada persimpangan pipa (*node*) dianggap diketahui. Adapun kemungkinan tujuan lain, seperti keandalan, redundansi dan kualitas air yang dapat dimasukkan dalam proses operasi jaringan pipa air (Alperovits dan Shamir, 1977). Dalam masalah optimisasi jaringan pipa air, para peneliti berkonsentrasi hanya pada satu tujuan, yaitu untuk mendapatkan biaya paling murah (Savic dan Walters, 1997). Meskipun begitu, formulasi desain jaringan pipa air merupakan masalah yang sulit untuk dipecahkan (Shamir dan Howard, 1977).

Perumusan Matematis Masalah Jaringan Pipa Air

Fungsi objektif masalah optimisasi jaringan pipa distribusi air dapat dituliskan dalam bentuk berikut (Savic, dkk., 1999):

$$f(D_1 \dots D_n) = \sum_i^n c(D_i, L_i) \quad (2.1)$$

Simbol $c(D_i, L_i)$ merepresentasikan biaya yang diperlukan untuk pipa dengan diameter D_i dan panjang L_i . Untuk memastikan kekontinuitasan aliran air digunakan batasan berikut:

$$\sum Q_{in} - \sum Q_{out} = Q_e \quad (2.2)$$

Untuk setiap *loop* dasar dalam jaringan, batasan konservasi energi dapat ditulis sebagai berikut:

$$\sum h_f - \sum E_p = 0 \quad (2.3)$$

Formula Hazen-Williams atau Darcy-Weisbach dapat digunakan untuk mengekspresikan istilah *head-loss* h_f . Jika tersedia lebih dari satu *node* sumber maka kendala konservasi energi tambahan ditulis untuk jalur antara dua *node*. Untuk total *node* sumber P (*reservoir*) ada persamaan independen P-1 yang dibutuhkan.

Batasan *head* minimum (tekanan minimum) yang diperlukan untuk setiap *node* dalam jaringan diberikan dalam bentuk

$$H_j \geq H_j^{min} \quad j = 1, \dots, M \quad (2.4)$$

Persamaan (2.2), (2.3), dan (2.4) dapat diaplikasikan dalam EPANET 2.0 pada saat membentuk jaringan pipa air.

Simulated Annealing

Simulated annealing (SA) merupakan salah satu algoritma yang sering digunakan dalam menyelesaikan masalah kombinatorial secara efisien (Metropolis, 1953). Algoritma ini berkerja berdasarkan proses termal yang menunjukkan bagaimana pendingin dan padatan berkerja. Suhu molekul padat akan meleleh dan mendapatkan mobilitas jika nilai suhu dinaikkan ke nilai maksimum. Sehingga pada tahap ini, atom yang berada di dalam molekul padat akan memiliki energi yang tinggi untuk membentuk dirinya sendiri.

Kemudian suhu padatan yang sudah meleleh diturunkan secara perlahan untuk membentuk struktur kristal (Kirkpatrick, 1983). Jika pendinginan dilakukan secara cepat, maka struktur kristal yang kita dapatkan tidak teratur. Misalkan, keadaan energi i dari padatan dengan energi E_i diubah menjadi j dengan energi E_j menggunakan mekanisme perturbasi. Kemudian, selanjutnya j akan menjadi keadaan baru jika selisih energi $(E_i - E_j) \leq 0$. Sebaliknya, jika $(E_i - E_j) > 0$ maka keadaan j akan diterima dengan probabilitas $[\exp(E_i - E_j)/KB * T]$ di mana KB adalah konstanta Boltzmann dan T menunjukkan suhu (Atiqzaman, 2004).

Adapun langkah-langkah algoritma *simulated annealing* adalah sebagai berikut:

1. Diberikan nilai temperatur dari T, proses dilakukan berulang-ulang dengan iterasi maksimal adalah N iterasi.
2. Membangkitkan state awal S. State awal diperoleh dengan membangkitkan bilangan acak. Pada pembangkitan state ini harus dijamin syarat-syarat bahwa setiap titik harus ada dan tidak boleh ada yang sama.
3. Menghitung energi dari state awal E
4. Update state 'S' dari state awal dengan :
 - a. Langkah pertama memilih dua bilangan r_1 dan r_2 secara acak dengan nilai $[1, N]$.
 - b. Langkah kedua adalah membalik nilai state, artinya untuk nilai state posisi r_1 sampai posisi r_2 dibalik.
5. Menghitung energi dari state setelah diupdate
6. Membangkitkan bilangan p secara acak $[0, 1]$
7. Persamaan untuk state yang diterima:

$$\exp\left(-\frac{\Delta E}{KT}\right) \geq p \quad (2.5)$$
8. Proses kembali ke langkah 4 diulangi sampai iterasi mencapai jumlah maksimal.

Algoritma Genetika

Algoritma genetika (AG) adalah suatu algoritma pencarian yang berbasis pada mekanisme seleksi alam dan genetika. Algoritma genetika merupakan salah satu algoritma yang sangat tepat digunakan dalam menyelesaikan masalah optimasi kompleks, yang sulit dilakukan oleh metode konvensional (Krisnandi, 2017). Sifat algoritma genetika adalah mencari kemungkinan-kemungkinan dari calon solusi

untuk mendapatkan yang optimal bagi penyelesaian masalah. Ruang cakupan dari semua solusi yang layak, yaitu objek-objek di antara solusi yang sesuai, dinamakan ruang pencarian. Tiap titik dalam ruang pencarian mempresentasikan suatu solusi yang layak. Tiap solusi yang layak dapat ditandai dengan nilai *fitness* (Qilbaaini, 2018). Algoritma genetika bergerak dari suatu populasi kromosom (*bit string* yang direpresentasikan sebagai calon solusi suatu masalah) ke populasi baru dengan menggunakan 3 operator yaitu seleksi, *crossover* dan mutasi (Muftikhali, 2018).

Pada penelitian ini, hanya satu operator algoritma genetika jenis seleksi yang digunakan untuk mendapatkan calon induk yang baik yaitu seleksi *roulette wheel*. *Roulette wheel* memilih individu sebagai calon induk terbaik berdasarkan nilai *fitness*.

1. Menghitung jumlah nilai *fitness* dari semua individu dalam suatu populasi dengan rumus:

$$\text{total fitness} = \sum_{i=1}^n \text{fitness} \quad (2.6)$$

2. Hitung nilai probabilitas setiap individu dengan rumus:

$$\text{Probabilitas}(n) = \frac{\text{fitness}}{\text{total fitness}} \quad (2.7)$$

3. Hitung probabilitas kumulatif setiap individu dengan rumus:

$$\text{Prob kumulatif}(j) = \sum_{i=1}^j \text{Probabilitas}(n) \quad (2.8)$$

dimana $1 \leq j \leq n$.

4. Bangkitkan bilangan random r , lalu pilih individu ke- i apabila i merupakan indeks terkecil yang memenuhi $r \leq \text{prob kumulatif}(i)$.

3. Metode Penelitian

Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Software Python 3.7*
2. *Software EPANET 2.0*

Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi masalah

Pada tahap ini diidentifikasi masalah atau hal-hal yang mempengaruhi besaran biaya dalam pembuatan jaringan pipa distribusi air dan menentukan metode pemecahan masalah.

2. Merumuskan masalah
Menentukan tujuan yang akan diselesaikan dari permasalahan yang sudah dikumpulkan.
3. Membuat studi literatur
Mengumpulkan teori-teori dan beberapa hasil penelitian sebelumnya sebagai pendukung untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini.
4. Mengambil data
Mengumpulkan data ukuran diameter dan harga pipa yang diperlukan untuk menguji bagaimana sebuah algoritma bekerja. Data diameter jaringan pipa distribusi air yang digunakan diambil pada jurnal yang berjudul “*Ant Colony Optimizaton for Design of Water Distribution System*” yang ditulis oleh Maier R. Holger, dkk., (2003).
5. Melakukan optimasi Hibrid SA dan AG
Melakukan formulasi algoritma hibrid *simulated annealing* dengan algoritma genetika dan pencarian solusi masalah penelitian berdasarkan data menggunakan algoritma hibrid tersebut.
6. Mengecek Konstrain
Melakukan pengecekan terhadap jaringan hasil komputasi terkait dengan pemenuhan konstrain. Jika memenuhi maka lanjut ke tahap kesimpulan, tetapi jika tidak maka kembali ke langkah no 5.
7. Kesimpulan
Mengambil kesimpulan terkait formulasi algoritma hibrid dan solusi yang diperoleh pada masalah optimisasi jaringan.

Hasil dan Pembahasan

Algoritma *simulated annealing* dan algoritma genetika untuk menyelesaikan masalah optimisasi jaringan pipa air. Pertama, diberikan formulasi algoritma hibrid *simulated annealing* dan algoritma genetika. Kedua, dilakukan simulasi aplikasi algoritma hibrid *simulated annealing* dan algoritma genetika tersebut.

1. Formulasi Algoritma Hibrid antara *Simulated Annealing* dengan Algoritma Genetika

Permasalahan optimisasi jaringan pipa air dapat dirumuskan sebagai masalah optimisasi kombinasi diameter pipa dengan fungsi objektif berikut:

$$f(D_1 \dots D_n) = \sum_i^N c(D_i, L_i)$$

Dengan konstrain hidrologi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum Q_{in} - \sum Q_{out} &= Q_e \\ \sum h_f - \sum E_p &= 0 \\ H_j &\geq H_j^{min}, \quad j = 1, \dots, M \end{aligned}$$

Berikut salah satu formulasi umum untuk menyelesaikan masalah optimisasi di atas:

1. Inisialisasi jaringan awal secara *random* yang dilakukan dengan cara memilih secara *random* diameter masing-masing pipa.
2. Melakukan pencarian kombinasi diameter pipa terbaik dengan menggunakan algoritma pencarian *simulated annealing*, dimana dalam proses *update* jaringan digunakan algoritma seleksi *roulette wheel* yang berasal dari algoritma genetika.

Berikut langkah-langkah spesifik penyelesaian masalah optimisasi jaringan pipa air berdasarkan formulasi umum di atas

1. Membangkitkan jaringan awal S. Jaringan awal diperoleh dengan membangkitkan kode diameter pipa secara acak sebanyak pipa dalam jaringan.
2. Menghitung biaya dari jaringan S. Perhitungan ini dilakukan dengan cara:
 - a. Lakukan analisis hidrologi jaringan dengan menggunakan *Epanet 2.0*. Langkah ini dilakukan untuk mengetahui *node* yang tidak memenuhi konstrain hidrologi (2.2), (2.3), dan (2.4).
 - b. Hitung biaya jaringan dengan menggunakan persamaan:

$$E_S = \sum_{i=1}^N c(D_i, L_i)$$

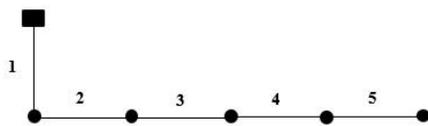
dengan, $c(D_i, L_i) = L_i P_{D_i} + w_i$, P_{D_i} adalah harga per meter dari pipa berdiameter D_i dan $w_i = 1000$ saat *node* setelah pipa ke i tidak memenuhi minimal satu konstrain hidrologi, sebaliknya $w_i = 0$.

3. *Update* jaringan ‘S’ dari jaringan awal dengan menggunakan *swap mutation* sehingga diperoleh jaringan S_1 :

- a. Pilih dua bilangan bulat positif r_1 dan r_2 secara acak dari interval $[1, N]$.
- b. Menukar nilai diameter di posisi r_1 dengan r_2 .
4. Menghitung biaya dari jaringan setelah *diupdate* seperti pada langkah 2.
5. Membangkitkan dua jaringan baru secara *random*, misal S_2 dan S_3 , dan hitung biayanya masing-masing.
6. Memilih satu jaringan di antara S_1, S_2 , dan S_3 menggunakan metode *roulette wheel*. Misalkan hasilnya adalah S' .
7. Hitung $\Delta E = E_{S'} - E_S$
8. Jika $\Delta E < 0$ maka $S = S'$, sebaliknya lanjut ke langkah 9.
9. Hitung $P = \exp\left(-\frac{\Delta E}{KT}\right)$ dan bangkitkan bilangan bulat positif r secara acak dari interval $[0, 1]$.
10. Jika $P \geq r$ maka $S = S'$, sebaliknya lanjut ke langkah 11.
11. Proses kembali ke langkah 4 diulangi sampai iterasi mencapai jumlah maksimal.

Simulasi Optimisasi Jaringan Pipa Air

Pada penelitian ini digunakan simulasi desain jaringan pipa air yang terdiri dari 6 *node*, 5 pipa dan 1 *reservoir* seperti pada Gambar 4.1. berikut.



Gambar 4.1. Model Jaringan Pipa Air

Keterangan gambar:

- adalah *reservoir*
- adalah *node*
- adalah pipa

Kemudian terdapat 8 ukuran diameter pipa yang berbeda-beda dan panjang pipa untuk dijadikan sebagai pilihan pipa seperti pada Table 4.1. Selain itu juga, terdapat besaran permintaan minimum dan tekanan minimum di masing-masing *node* seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1. Diameter, Harga dan Panjang Pipa.

| Diameter (mm) | Harga (USD/m) | Panjang Pipa (m) |
|---------------|---------------|------------------|
| 152 | 49,54 | 1000 |
| 203 | 63,32 | 1000 |
| 254 | 94,82 | 1000 |
| 305 | 132,87 | 1000 |
| 356 | 170,93 | 1000 |
| 407 | 194,88 | 1000 |
| 458 | 232,94 | 1000 |
| 509 | 264,10 | 1000 |

Sumber: Maier dkk. (2003)

Tabel 4.2. Permintaan dan Tekanan Minimum

| Node | Tekanan Minimum (atm) | Permintaan Minimum ($m^3/hari$) |
|------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1 | 150 | 20 |
| 2 | 150 | 20 |
| 3 | 150 | 20 |
| 3 | 150 | 20 |
| 4 | 150 | 20 |
| 5 | 150 | 20 |

Jaringan pipa dibangkitkan secara random dengan menggunakan peluang kemunculan seragam. Berikut hasil *random* 8 pipa dengan jumlah 32.768 jaringan termasuk total biaya dari yang paling rendah sampai yang tertinggi seperti terlihat dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil *Random* 8 Pipa

Algoritma Hibrid *Simulated Annealing* (SA) dan Algoritma Genetika (AG)

Proses komputasi pada bagian ini mengikuti langkah-langkah algoritma hibrid yang diuraikan sebelumnya. Terdapat sebanyak 32.768 kemungkinan kombinasi pipa dan diseleksi berdasarkan dua konstrain yaitu tekanan minimum dan permintaan minimum. Karena salah satu syarat suatu jaringan itu dikatakan optimal yaitu jika memenuhi tekanan minimum 150 m³/hari dan permintaan minimum 20 atm pada setiap *node* pada jaringan pipa air.

Berikut langkah-langkah untuk mendapatkan jaringan pipa air yang optimal:

- a. Menginisialisasi parameter untuk jaringan awal yaitu *s* adalah jaringan awal, *f_s* adalah nilai fungsi objektif / biaya jaringan awal (*f_s*) *dpenalty*, *T* = 1, *alpha* = 0,1, *beta* = 0,0001 di mana *T*, *alpha* dan *beta* berperan sebagai penentu banyaknya iterasi.
- b. Menukar satu pipa dengan pipa yang lain secara *random* untuk mendapatkan jaringan baru *s₁*.

Pada tahap ini *s₁* merupakan hasil mutasi *s* sebelumnya. Kemudian kita membentuk jaringan *s₂* dan *s₃* secara *random*. Pada tahap ini, jaringan yang tidak memenuhi dua konstarin akan diberikan *penalty* sebesar 1000 pada fungsi objektif. Sehingga jaringan yang mendapatkan *penalty* tidak masuk sebagai calon solusi *s₁*, *s₂*, dan *s₃*. Berikut fungsi objektif:

$$E_S = \sum_{i=1}^N c(D_i, L_i)$$

dengan, *c(D_i, L_i) = L_iP_{D_i} + w_i*, *P_{D_i}* adalah harga per meter dari pipa berdiameter *D_i* dan *w_i* = 1000 saat *node* setelah pipa ke *i* tidak memenuhi minimal satu konstrain hidrologi, sebaliknya *w_i* = 0.

- c. Menghitung nilai fungsi objektif (*f_{s1}*, *f_{s2}*, *f_{s3}*) dari jaringan baru menggunakan rumus:

$$f(D_1 \dots D_n) = \sum_i^N c(D_i, L_i) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

- 1.) Menghitung *kum1* dengan menjumlahkan total biaya *s₁*, *s₂*, dan *s₃* dari 3 jaringan tersebut.

$$Kum1 = fs_1 + fs_2 + fs_3$$

- 2.) Menghitung peluang untuk setiap jaringan

$$p_1 = 1 - \frac{fs_1}{kum1}$$

| Jaringan | Node 1 | Node 2 | Node 3 | Node 4 | Node 5 | Biaya (USD) |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| 1 | 152 | 152 | 152 | 152 | 152 | 247.700 |
| 2 | | | | | 152 | |
| 3 | 152 | 305 | 203 | 203 | | 358590.0 |
| 4 | 203 | 203 | 254 | 254 | 152 | 365820.0 |
| 5 | 203 | 203 | 152 | | 152 | |
| 5 | 458 | | | 356 | | 396650.0 |
| 5 | | 509 | 509 | 305 | 458 | 1126950.0 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 32.768 | 509 | 509 | 509 | 509 | 509 | 1.320.500 |

$$p_2 = 1 - \frac{fs_2}{kum1}$$

$$p_3 = 1 - \frac{fs_3}{kum1}$$

- 3.) Selanjutnya *generate* bilangan bulat positif *r* dari [0,1]
- d. Mencari jaringan *s₁* yang baru dari 3 jaringan sebelumnya yaitu *s₁*, *s₂*, *s₃* menggunakan *roulette wheel*.
- e. Setelah itu, menghitung selisih antara *f_{s1}* dan *f_s* dengan cara :
Delta = *f_{s1}* - *f_s*

| Pipa | Diameter (mm) | Harga (USD) | Tekanan (atm) | Permintaan (m ³ /hari) |
|-------------|---------------|-------------|---------------|-----------------------------------|
| 1 | 305 | 132,87 | 164,65 | 24 |
| 2 | 254 | 94,82 | 162,05 | 24 |
| 3 | 356 | 170,93 | 160,32 | 24 |
| 4 | 356 | 170,93 | 159,45 | 24 |
| 5 | 254 | 94,82 | 158,59 | 24 |
| Total harga | | 5000,076173 | | |

- f. Selanjutnya membentuk bilangan bulat positif *r* secara *random* dari [0,1] dan menghitung peluangnya (*p*) dengan:

$$p = e^{-\frac{\text{delta}}{T}} \quad \text{Dengan syarat } r \leq p$$

- g. Sehingga didapatkan solusi jaringan pipa yang optimal yaitu *s₁*.

Berikut hasil analisis jaringan pipa air dengan total biaya yang paling optimal:

Tabel 4.4. Jaringan Paling Optimal Menggunakan Algoritma Hibrid *Simulated Annealing* dan Algoritma Genetika

Tabel 4.5. Jaringan Paling Optimal Menggunakan Algoritma *Simulated Annealing*

Jadi, dapat dilihat dari kedua tabel diatas bahwa algoritma hibrid *simulated annealing* dan algoritma genetika mampu mendapatkan jaringan yang lebih optimal dengan biaya USD 5000,072830 dibandingkan menggunakan algoritma *simulated annealing* dengan biaya USD 5000,072830.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, langkah-langkah untuk mendapatkan desain jaringan pipa air dengan biaya optimal menggunakan algoritma hibrid *simulated annealing* dan algoritma genetika adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi jaringan awal secara *random* yang dilakukan dengan cara memilih secara *random* diameter masing-masing pipa.
2. Melakukan pencarian kombinasi diameter pipa terbaik dengan menggunakan algoritma pencarian *simulated annealing*, kemudian dalam proses *update* jaringan, digunakan algoritma seleksi *roulette wheel* yang berasal dari algoritma genetika.

Berdasarkan hasil simulasi aplikasi algoritma hibrid *Simulated Annealing* (SA) dan Algoritma Genetika (AG) terhadap masalah jaringan pada Gambar 4.1., diperoleh hasil jaringan optimal dengan diameter masing-masing pipa, total harga, serta nilai konstrain tekanan dan permintaan air terangkum dalam Tabel 4.5.

DAFTAR PUSTAKA

- Alperovits dan Shamir., 1977, *Design of Optimal Of Water Distribution Systems*, Water Resources, 885-900.
- Anonim, 2007, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum*.
- Apriadi., 2008, *Pelayanan PDAM Kota Way Rilau Berdasarkan Pendapatan Pelanggan di Kota Bandar Lmapung*, Laporan Tesis, Program Magister Teknik Embangunan

Wilayah dan Kota Universitas Diponegoro, Semarang.

- Atiquzzaman MD., 2004, *Water Ditrubution Network Modeling: Hydroinformatics Approach*, A Thesis Submitted for The Degree of Master of Engineering Departement of Civil Engineering, National University of Singapore, Singapore.
- Awe, O.M. *et al*, 2019, *Optimization of Water Distribution Systems: A Review*, Journal of Physics: Conference Series 1378 022068.
- Berlianty, I., dan Arifin, M., 2010, *Teknik-Teknik Optimisasi Heuristik*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Giacomello, C. *et al*, 2013. *Fast Hybrid Optimization Method for Effective Pump Scheduling*, J. Water Resour.Plan. Manag. ASCE 139 (2).
- Gusti I dan Kadek I., 2017, *Penerapan Metode Algoritma Genetika Untuk Penjadwalan Mengajar*, Jurnal SIMETRIS, Vol8 No.1.
- Hadinata Jimmy., 2011, *Problem Solving Sudoku Menggunakan Algoritma Genetika*, Jurnal Ilmiah SISFOTENIKA, Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan computer Pontianak Program Studi Teknik Informatika, Vol 1, No 1.
- Inayati., 2010, *Analisis Perbandingan Metode Roulette Wheel Selection, Rank Selection dan Tournament Selection Pada Algoritma Genetika*, Skripsi Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim, Riau.
- Kodoatie, JR., 2005, *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Yogyakarta: Andi.
- Krisnandi Kevin dan Agung Halim., 2017, *Implementasi Algoritma Genetika untuk*

| Pipa | Diameter (mm) | Harga (USD) | Tekanan (atm) | Permintaan ($m^3/hari$) |
|-------|---------------|-------------|---------------|---------------------------|
| 1 | 254 | 94,82 | 164,65 | 26 |
| 2 | 356 | 170,93 | 162,05 | 26 |
| 3 | 305 | 132,87 | 160,32 | 26 |
| 4 | 254 | 94,82 | 159,45 | 26 |
| 5 | 356 | 170,93 | 158,59 | 26 |
| Total | | 5000,072830 | | |
| | | harga | | |

Memprediksi Waktu dan Biaya Pekerjaan

- Proyek Konstruksi*, Jurnal Ilmiah FIFO, Vol IX, No.2.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C., and Vecchi, M., 1983, Optimization by Simulated Annealing, *Sci.*, 220 (4958).
- Linsley RK dan Franzini JB, 1986, *Teknik Sumber Daya Air*, Jakarta: Erlangga.
- Mala Jetmarova Helena, et al. 2017, *Lost In Optimisation of Water Distribution Systems? A Literature Review of System Operation*, Journal Environmental Modelling and Software.
- Maier R. Holger, et al, 2003, *Ant Colony Optimization for Design of Water Distribution Systems*, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 129(3).
- Munir, R. 2009. *Matematika Diskrit*. Edisi Ketiga. Informatika: Bandung.
- Meteopolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., Teller, A., and Teller, E., 1953, Equations of state Calculations by Fast Computing Machines, *Journal of Chemical Physics*, 21.
- Muftikhali Qilbaaini Effendi, dkk., 2018, *Optimasi Algoritma Genetika Dalam Menentukan Rute Optimal Topologi Cincin Pada Wide Area Network*, Informatika Mulawarman, Jurnal Ilmiah Komputer, Vol.13, No.1.
- Rosjanti, Zainuddin Zahir, dan Syafaruddin., 2013, *Optimasi Rute Transportasi Sebagai Sarana Bantuan Turis Dengan Simulated Annealing*, Seminar Nasional Teknik Informatika (SNATIKA), Program Studi Teknik Elektro Universitas Hasanuddin, Makasar.
- Rossman Lewis A., 2000, *EPANET 2 USERS MANUAL Water Supply Water Resources Division National Risk Management Reseach Laboratory Cincinnati*, EPA/600/R-00/057: United States.
- Savic DA dan Walters GA., 1997, *Genetic Algorithms for the Least-cost Design of Water Distribution Network*, ASCE Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 123, No. 2, pp. 67-77..
- Triadmodjo, B., 2003, *Hidraulika I dan II*, Jakarta: Betta Offset.
- Van Zyl, J.E. et al, 2004, *Operational Optimization of Water Distribution Systems Using A Hybrid Genetic Algorithm*, *J. Water Resour. Plan. Manag. ASCE* 130 (2).
- Walters, G.A. dan Cembrowicz U., 1993, *Optimal Design of Water Distribution Network, Water Supply Systems*, State of The Art And Future Trends, E. Cabrera And F. Martinez, Eds., Computational Mechanics Publications, Southampton, 91-117.
- Wardy, I.S., 2007, *Penggunaan Graph Dalam Algoritma Semut Untuk Melakukan Optimisasi*, Program Studi Teknik Informatika. ITB, Bandung.
- Zamzami, Azmeri Azmeri dan Syamsidik Syamsidik., 2018, *Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih PDAM Tirta Tawar Kabupaten Aceh Tengah*, Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan, Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Bnada Aceh.
- Zukhri Zainudin dan Vitra Papatungan Irving., 2013, *A Hybrid Optimization Algorithm Based On Genetic Algorithm And Ant Colony Optimization*, Faculty of Industrial Technology, Islamic University of Indonesia, International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIA), Vol. 4, No. 5.