

OPTIMASI DISTRIBUSI AIR MINUM PDAM MENGGUNAKAN PENDEKATAN *FUZZY INTEGER TRANSPORTATION PROBLEM*

OPTIMATION OF WATER SUPPLY DISTRIBUTION USING FUZZY INTEGER TRANSPORTATION PROBLEM APPROACH

Imam Suprayogi¹⁾ dan Sri Kusumadewi²⁾

**¹⁾Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru
Jl. HR Subrantas km 12,5 Pekanbaru, Riau 28293**

**²⁾Fakultas Teknologi Industri, UII Yogyakarta
Jl. Kaliurang Km 14,5, Yogyakarta 55584**

¹⁾e-mail: drisuprayogi@yahoo.com

Abstrak

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengembangkan model optimasi distribusi air bersih PDAM di wilayah Yogyakarta. Optimasi distribusi air bersih dari reservoir ke daerah pelayanan dengan mempertimbangkan faktor alokasi ketersediaan biaya yang harus dikeluarkan PDAM. Metode pendekatan yang digunakan dalam proses optimasi distribusi air bersih dari reservoir di Gemawang, Gedong Kuning, dan Tegalrejo ke daerah pelayanan di Yogyakarta Utara, Yogyakarta Selatan, Yogyakarta Barat, dan Yogyakarta Selatan menggunakan *fuzzy integer transportation problem* (FITP). Metode pendekatan ini merupakan model transportasi dengan paket program bantu Lingo versi 8.0. Data penelitian bersumber dari data sekunder dari PDAM Yogyakarta yang meliputi kapasitas reservoir, kebutuhan air bersih daerah pelayanan, dan biaya operasi di setiap daerah pelayanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil optimasi distribusi air minum PDAM menggunakan pendekatan model FITP akan didapatkan biaya distribusi optimal dari reservoir ke empat daerah pelayanan wilayah Yogyakarta sebesar Rp.1.591.320,00. Distribusi air bersih yang optimal dari reservoir Gemawang sebanyak 15.000 L, dari reservoir Gedong Kuning sebanyak 19.500 L dan reservoir Tegalrejo sebanyak 17.500 L. Oleh karena itu, biaya optimal yang harus dikeluarkan PDAM untuk mendistribusikan air bersih sebesar Rp.1.591.320,00, lebih rendah bila dibandingkan dari total biaya yang disediakan PDAM Yogyakarta sebesar Rp. 1.600.000,00.

Kata kunci: distribusi air bersih PDAM, *fuzzy integer*, optimasi.

Abstract

The objective of this research was to develop an optimum model of water supply company distribution in Yogyakarta. Optimization was conducted to meet the need of water supply distribution from reservoirs to the service areas, so that the economical cost could be identified. This research used fuzzy integer transportation problem (FITP) model in the optimization process of water supply company distribution from Gemawang, Gedong Kuning, and Tegalrejo reservoir to service areas in North, South, East, and West Yogyakarta. This approach used transport models with Lingo program package version 8.0. Secondary data from Water Supply Company of Yogyakarta, which comprised reservoir capacity, amount of clean water needs of service area, and operating costs in each service area, were used. The results showed that the optimum water supply distribution cost was Rp. 1.591.320,00. The optimum distributions of water supply were 15.000 L from the Gemawang's reservoir, 19.500 L from Gedong Kuning's reservoir, and 17.500 L from Tegalrejo reservoir. Therefore, the cost was Rp.1.591.320, which was cheaper than the current cost of the Water Supply Company of Yogyakarta, which was Rp.1.600.000,00.

Keywords: drinking water distribution, fuzzy integer, optimization.

1. PENDAHULUAN

Pengembangan wilayah merupakan salah satu permasalahan yang sering dihadapi oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Kendala mendasar dalam pengembangan wilayah pelayanan air bersih adalah parameter-parameter pada model yang berupa biaya (*profit*), nilai permintaan, dan pasokan air. Parameter-parameter ini seringkali tidak diketahui secara pasti di suatu wilayah pengelolaan PDAM (Rispingintati, 2008).

Menurut Rispingintati (2008), salah satu model yang telah dikembangkan adalah model optimasi pengelolaan air. Hasil penelitian studi optimasi yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu, menitikberatkan alokasi air tanpa mempertimbangkan harga air seperti yang telah dilaksanakan oleh Lund (1998), Hatmoko (1999), Labadie (1999), dan Leon (2000).

Menurut Indryani *et al.*, (2004), masalah tersebut di atas terjadi akibat pertambahan jumlah penduduk yang sangat pesat di daerah perkotaan, sedangkan kuantitas air relatif terbatas untuk dapat melayani kebutuhan air bersih. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Indryani *et al.*, (2004), kebutuhan optimasi distribusi air bersih di wilayah pelayanan PDAM Kabupaten Badung, Provinsi Bali, menggunakan pendekatan model transportasi membuktikan bahwa model belum sepenuhnya mampu menjawab keterbatasan dari permasalahan anggaran yang dihadapi PDAM dengan alokasi distribusi air bersih ke daerah pelayanan.

Guna menjawab keterbatasan model yang telah dikembangkan di atas, dalam penelitian ini digunakan pendekatan metode *softcomputing* sebagai proses optimasi. Menurut Nugroho (2007) dan Suyanto (2008), terminologi *softcomputing* dicetuskan oleh Prof. Lofti Ahmad Zadeh dari Departemen Listrik dan Komputer Univer-

sitas Barkeley, USA. *Softcomputing* didefinisikan sebagai segolongan metode yang mampu mengolah data dengan baik walaupun di dalamnya terdapat ketidakpastian, ketidakakuratan, dan kebenaran parsial untuk mencapai ketahanan, bisa ditelusuri dan biaya murah.

Masih dikatakan Zadeh (dalam Suyanto, 2008), bahwa metode *softcomputing* dapat dikategorikan ke dalam tiga kategori besar yaitu jaringan syaraf tiruan (*artificial neural networks*), logika fuzzy (*fuzzy logic*), dan algoritma genetika (*genetic algorithm*). Karakteristik ini menempatkan *softcomputing* sebagai salah satu solusi yang dapat dipakai untuk memecahkan berbagai masalah yang terdapat pada domain dunia nyata (*real world domain*). Solusi berbagai masalah pada domain ini tidak mudah dihitung dengan berbagai model analitik yang ada.

Memanfaatkan keunggulan spesifik (generik) dari model *softcomputing* tersebut di atas, maka tujuan utama dari penelitian ini adalah mengembangkan model distribusi air PDAM menggunakan pendekatan algoritma *fuzzy integer transportation problem (FITP)*.

Algoritma FITP

Menurut Channas (dalam Kusumadewi, 2004), formulasi secara umum FITP adalah sebagai berikut :

Minimumkan :

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Pembatas :

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \cong A_i, \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \cong B_i, \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, n$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ untuk seluruh } i \text{ dan } j$$

Dengan $X_{ij} \geq 0$ dan integer merupakan variabel keputusan berbentuk matriks berukuran $m \times n$, $i = 1, 2, 3, \dots, m$ dan $j = 1, 2,$

3....n, A_i dan B_j adalah bilangan fuzzy yang berbentuk :

$$A = (\underline{a}, \underline{a}, \alpha_A, \beta_A)_{L-L} \text{ dan } B = (\underline{b}, \underline{b}, \alpha_B, \beta_B)_{L-L} \quad (2)$$

c_{ij} adalah biaya transportasi yang bernilai crisp maka fungsi berbentuk :

$$G = (0, c_0, 0, \beta_G)_{L-L} \quad (3)$$

Misalkan A adalah sembarang interval. Simbol $[A]$ menotasikan interval terbesar yang bernilai integer : $[a, b]$, dengan:

$$A = \min (t/t \in A, A: \text{integer})$$

$$B = \min (t/t \in B, B: \text{integer})$$

Untuk permasalahan diekspresikan:

Min : $c(x)$ dengan batasan:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \in [A_i^\lambda]; i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \in [B_i^\lambda]; i = 1, 2, \dots, m$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ integer}$$

Masalah (2) untuk $\lambda = \lambda_1$ merupakan minimal ekstension dari masalah (2) untuk $\lambda = \lambda_2$, jika masalah (2) untuk $\lambda = \lambda_1$ identik dengan masalah (2) untuk $\lambda = \lambda^*$ dengan:

$$\lambda^* = \max \left\{ \max_{1 \leq i \leq m, t \in A_i^\lambda} \mu_{A_i}(t), \max_{1 \leq j \leq n, t \in B_j^\lambda} \mu_{B_j}(t) \right\}$$

Dengan t adalah suatu bilangan integer.

Masih menurut Channas dalam Kusumadewi (2004), algoritma FITP adalah sebagai berikut:

1. Tetapkan $\lambda(1) = 0$ dan $\lambda(2) = 1$
2. Selesaikan masalah (2) untuk $\lambda = \lambda(1)$, Jika masalah tersebut *feasible* dan $c(x(\lambda(1))) \notin G^{\lambda(1)}$, ke langkah 3. Jika tidak, berhenti. Masalah (1) *infeasible* ($\mu_D(x) = 0$ untuk setiap x).
3. Selesaikan masalah (2) untuk $\lambda = \lambda(2)$ Jika masalah tersebut *feasible* dan $c(x(\lambda(2))) \notin G^{\lambda(2)}$ berhenti. $X(\lambda(2))$, solusi

optimal untuk masalah (1) dengan $\mu_D(x) = 1$. Jika tidak, ke langkah 4.

4. Hitung $\mu(\text{half}) = (\mu(1) + \mu(2)) / 2$ ke langkah 5.

5. Selesaikan masalah (2) untuk $\lambda = \lambda(\text{half})$.

(a) Jika masalah *infeasible*, maka tetapkan $\lambda(2) = \lambda(\text{half})$ ke langkah 6.

(b) Jika tidak, kerjakan:

(i) $\mu_G(X(\mu(\text{half}))) = \mu_c(X(\lambda(\text{half})))$, maka $X(\lambda(\text{half}))$ adalah solusi optimal untuk masalah (1) dan berhenti.

(ii) $\mu_G(X(\mu(\text{half}))) > \mu_c(X(\lambda(\text{half})))$, maka $\lambda(1) = \mu_c(X(\lambda(\text{half})))$ maka ke langkah-6.

(iii) $\mu_G(X(\mu(\text{half}))) < \mu_c(X(\lambda(\text{half})))$

maka $\lambda(2) = \mu_c(X(\lambda(\text{half})))$ atau

jika $\lambda(2) = \mu_c(X(\lambda(\text{half})))$, maka

$\lambda(2) = \mu_c(X(\lambda(\text{half})))$ kelangkah 6.

6. Jika $\lambda(2) - \lambda(1) > \xi$, ke langkah 4. Jika tidak, cek apakah masalah (2) untuk $\lambda = \lambda(1)$ adalah minimum ekstension dan masalah (2) untuk $\lambda = \lambda(2)$. Jika tidak ke langkah 4. Jika ya, berhenti, salah satu solusi yaitu $X(\lambda(1)) = X(\lambda(2))$ adalah solusi optimal untuk masalah (1). Jika masalah dari persamaan di bawah ini:

Maksimum: λ , dengan pembatas: $Z(X) \in G^\lambda$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \in [A_i^\lambda], \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, n.$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \in [B_i^\lambda], \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, m.$$

$$X_{ij} \geq 0, \text{ integer dan } \lambda > 0$$

Infeasible untuk $\lambda = \lambda(2)$ maka $X(\lambda(1))$ adalah solusi optimal untuk masalah (1). Nilai ξ biasanya berkisar antara $0.05 \leq \xi \leq 0.1$.

2. METODA

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di PDAM Yogyakarta. Lokasi reservoir terletak di Gemawang (R1),

Gedong Kuning (R2), dan Tegalrejo (R3). Daerah tujuan pelayanan distribusi air bersih meliputi Yogyakarta Utara (JU), Yogyakarta Selatan (JS), Yogyakarta Barat (JB), dan Yogyakarta Timur (JT).

Data Penelitian

Data penelitian adalah bersumber dari data sekunder tahun 2006 PDAM Yogyakarta yang meliputi:

1. Kapasitas Reservoir

Kapasitas reservoir Gumawang (R1) mampu menyuplai kebutuhan air bersih sebesar 16.000.000 L dengan toleransi kurang dari 15.500.000 L dan tidak lebih dari 16.500.000 L. Kapasitas reservoir Gedong Kuning (R2) sebesar 19.000.000 liter dengan toleransi kurang dari 18.500.000 L dan tidak lebih dari 19.500.000 L. Kapasitas reservoir Tegalrejo (R3) sebesar 17.500.000 L dengan toleransi kurang dari 17.000.000 L dan tidak lebih dari 18.000.000 L.

2. Kebutuhan Air Bersih Daerah Pelayanan.

Daerah yang harus dipasok oleh PDAM adalah daerah Yogyakarta Utara (JU) sebesar 10.000.000 L, Yogyakarta Selatan (JS) sebesar 12.000.000 L, Yogyakarta Barat (JB) sebesar 14.000.000 L, dan Yogyakarta Timur (JT) sebesar 16.000.000 L.

3. Biaya Operasi di Setiap Daerah Pelayanan.

Biaya operasi di setiap daerah pelayanan keempat wilayah meliputi Yogyakarta Utara (JU), Yogyakarta Selatan (JS), Yogyakarta Barat (JB), dan Yogyakarta Timur (JT) seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Biaya Operasi (Rp.) di Setiap Daerah Layanan Setiap 1000 L.

Pasokan	JU	JS	JB	JT
Gemawang	30	45	60	75
Gedong Kuning	45	30	75	30
Tegalrejo	60	15	30	45

Sumber : Kusumadewi (2004)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Suprayogi *et al.*, (2010) telah melakukan penelitian tentang kebutuhan optimasi distribusi air bersih di PDAM Yogyakarta. Metode pendekatan yang digunakan adalah model transportasi dengan paket program bantu Lingo versi 8.0 yang dikembangkan oleh Lindo System Inc, Illinois, Chicago, United State of America (USA).

Hasil optimasi distribusi air minum PDAM Yogyakarta membuktikan bahwa biaya distribusi reservoir ke empat daerah pelayanan wilayah Yogyakarta yang meliputi: Yogyakarta Utara (JU), Yogyakarta Selatan (JS), Yogyakarta Barat (JB), dan Yogyakarta Timur (JT) sebesar Rp.1.605.000,00. Kesimpulan hasil penelitian membuktikan bahwa menggunakan pendekatan model transportasi untuk mendistribusikan air bersih PDAM Yogyakarta, biaya yang dikeluarkan lebih mahal dari total biaya yang disediakan PDAM Yogyakarta sebesar Rp. 1.600.000,00.

Formulasi Matematika Distribusi Air Bersih Dari Reservoir ke Daerah Pelayanan PDAM Yogyakarta Menggunakan Algoritma FITP

Struktur model pola hubungan antara kapasitas reservoir, nilai permintaan, dan alokasi dana terhadap pasokan air untuk PDAM di Yogyakarta yang disusun dalam formulasi program linier sebagai berikut:

Minimumkan:

$$Z = C_{11}X_{11} + C_{12} X_{12} + C_{13} X_{13} + C_{14} X_{14} + C_{21} X_{21} + C_{22}X_{22} + C_{23}X_{23} + C_{24}X_{24} + C_{31}X_{31} + C_{32}X_{32} + C_{33}X_{33} + C_{34}X_{34}$$

Dengan C_{ij} adalah biaya yang harus dikeluarkan PDAM dari reservoir i ke daerah pelayanan j dimana untuk $i : 1, 2$ dan 3 dan $j : 1, 2, 3$ dan 4 .

C_{11} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Yogyakarta Utara.

- C_{12} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Selatan.
- C_{13} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Barat.
- C_{14} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Timur.
- C_{21} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Gedong Kuning ke daerah pelayanan Jogjakarta Utara.
- C_{22} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Gedong Kuning ke daerah pelayanan Jogjakarta Selatan.
- C_{23} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Gedong Kuning ke daerah pelayanan Jogjakarta Barat.
- C_{24} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Gedong Kuning ke daerah pelayanan Jogjakarta Timur.
- C_{31} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Tegalrejo ke daerah pelayanan Jogjakarta Utara.
- C_{32} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Tegalrejo ke daerah pelayanan Jogjakarta Selatan.
- C_{33} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Tegalrejo ke daerah pelayanan Jogjakarta Barat.
- C_{34} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Tegalrejo ke daerah pelayanan Jogjakarta Timur.
- C_{11} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Utara.
- C_{12} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Selatan.
- C_{13} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Barat.
- C_{14} : biaya yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Timur.
- X_{11} : kebutuhan air yang harus dipasok dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Utara.
- X_{12} : kebutuhan air yang harus dipasok dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Selatan.
- X_{13} : kebutuhan air yang harus dipasok dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Barat.
- X_{14} : kebutuhan air yang harus dipasok dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Timur.
- X_{21} : kebutuhan air yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Utara.
- X_{22} : kebutuhan air yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Selatan.
- X_{23} : kebutuhan air yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Barat.
- X_{24} : kebutuhan air yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Timur.
- X_{31} : kebutuhan air yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Utara.
- X_{32} : kebutuhan air yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Selatan.
- X_{33} : kebutuhan air yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Barat.
- X_{34} : kebutuhan air yang harus dikeluarkan dari reservoir Gumawang ke daerah pelayanan Jogjakarta Timur.

Batasan Sumber

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} \cong a_1$$

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} \cong a_2$$

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} \cong a_3$$

Batasan Tujuan

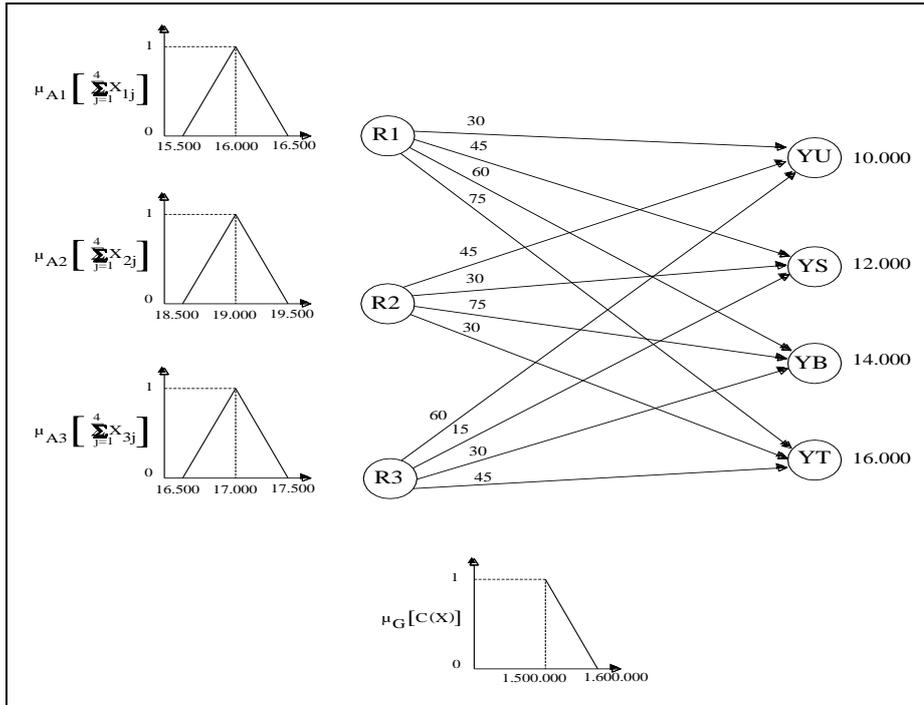
$$X_{11} + X_{21} + X_{31} = b_1$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{23} = b_2$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} = b_3$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} = b_4$$

$$X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}, X_{31}, X_{32}, X_{33} \text{ dan } X_{34} \geq 0 \text{ dan integer}$$



Gambar 1. Pola Hubungan Antara Kapasitas Reservoir, Alokasi Dana Terhadap Pasokan Air Untuk Daerah Pelayanan di PDAM Yogyakarta.

Dimana $b_1, b_2, b_3,$ dan b_4 adalah berturut-turut kebutuhan air bersih PDAM untuk daerah pelayanan Yogyakarta Utara, Yogyakarta Selatan, Yogyakarta Barat dan Yogyakarta Timur dalam L/hari. Adapun gambaran umum masalah dapat dilihat pada Gambar 1. λ -cut untuk nilai fuzzy pasokan air bersih dan daerah pelayanan, serta fuzzy goal sesuai dengan bentuk L-L adalah sebagai berikut:

$$A_1^\lambda = [16.000 - 500(1 - \lambda), 16.000 + 500(1 - \lambda)];$$

$$A_2^\lambda = [19.000 - 500(1 - \lambda), 19.000 + 500(1 - \lambda)];$$

$$A_3^\lambda = [17.000 - 500(1 - \lambda), 17.000 + 500(1 - \lambda)];$$

$$G^\lambda = [0, 1.500.000 + 100.000(1 - \lambda)];$$

Langkah penyelesaian distribusi air minum di PDAM Yogyakarta menggunakan pendekatan algoritma FITP adalah sebagai berikut :

1. Langkah 1 : $\lambda(1) = 0$ dan $\lambda(2) = 1$
2. Langkah 2

$\lambda(1) = 0$; diperoleh solusi
 $Z = 1.590.000 \in [0, 16.000.000]$
 $\lambda(2) = 1$; diperoleh solusi
 $Z = 1.605.000 \in [infeasible]$

3. Langkah 3 : masalah persamaan (1) *infeasible* untuk $\lambda = 1$
4. Langkah 4 :
 $\lambda(half) = (\lambda(1) + \lambda(2)) / 2 = 0.5$;
5. $\lambda(half) = 0.5$; $Z = 1.597.500$
 $\notin [0, 1.550.000]$ [*infeasible*]
6. Langkah 6 : $(\lambda(2) - \lambda(1)) = 0.5 > 0.07$

Berdasarkan hasil perhitungan dari langkah 6 di atas, nilai hasil $0.5 > 0.07$, maka dilakukan proses iterasi dari langkah 4 dan langkah 5 dengan memberi nilai $\lambda(half)$ yang berbeda.

4. Langkah 4 :
 $\lambda(half) = (\lambda(1) + \lambda(2)) / 2 = 0.25$;
5. $\lambda(half) = 0.25$; $Z = 1.593.750$
 $\notin [0, 1.575.000]$ [*infeasible*]
6. Langkah 6 : $(\lambda(2) - \lambda(1)) = 0.25 > 0.07$

Berdasarkan hasil perhitungan dari langkah 6 di atas, nilai hasil $0.25 > 0.07$, maka dilakukan proses iterasi dari langkah 4 dan langkah 5 dengan memberi nilai $\lambda(half)$ yang berbeda.

4. Langkah 4 :

$$\lambda(\text{half}) = (\lambda(1) + \lambda(2)) / 2 = 0.125;$$

5. $\lambda(\text{half}) = 0.125$; $Z = 1.593.750$

$$\notin [0, 1.587.500] \text{ [infeasible]}$$

6. Langkah 6 : $(\lambda(2) - \lambda(1)) = 0.125 > 0.07$

Berdasarkan hasil perhitungan dari langkah 6 di atas, nilai hasil $0.125 > 0.07$, maka dilakukan proses iterasi dari langkah 4 dan langkah 5 dengan memberi nilai $\lambda(\text{half})$ yang berbeda.

4. Langkah 4 :

$$\lambda(\text{half}) = (\lambda(1) + \lambda(2)) / 2 = 0.0625;$$

5. $\lambda(\text{half}) = 0.0625$; $Z = 1.590.960$

$$\notin [0, 1.593.750] \text{ [infeasible]}$$

Nilai x:

$$X_{11} = 10.000; X_{12} = 5.532;$$

$$X_{13} = 0; X_{14} = 0;$$

$$X_{21} = 0; X_{22} = 3.000;$$

$$X_{23} = 0; X_{24} = 16.000;$$

$$X_{31} = 0; X_{32} = 3.468;$$

$$X_{33} = 14.000; X_{34} = 0;$$

Nilai A_i :

$$A_1 = 10.000 + 5.532 + 0 + 0 = 15.532$$

$$A_2 = 0 + 3.000 + 0 + 16.000 = 19.000$$

$$A_3 = 0 + 3.468 + 14.000 + 0 = 17.468$$

Nilai $\mu_{A_i}(x)$:

$$\mu_{A_1}(x) = 1 - (16.000 - 15.532) / 500 = 0.064$$

$$\mu_{A_2}(x) = 1 - (19.000 - 19.000) / 500 = 1.0$$

$$\mu_{A_3}(x) = 1 - (17.468 - 17.000) / 500 = 0.064$$

Nilai

$$\mu_C(x) = \min \{0.064; 1; 0.064\} = 0.064$$

$$\mu_G(x) = 1 - (1.590.960 - 1.500.000) / 5.000.000$$

$$\mu_G(x) = 0.0904,$$

$$\mu_G(x) \gg \mu_C(x), \text{ sehingga}$$

$$\lambda(1) = \mu_C[x(\lambda(\text{half}))] = 0.064$$

$$\mu_D(x) = \min \{ \mu_G[x]; \mu_C(x) \}$$

$$\mu_D(x) = \min \{0.0904; 0.064\} = 0.064$$

6. Langkah 6 :

$$(\lambda(2) - \lambda(1)) = 0.061 < 0.07$$

Cek apakah $\lambda = \lambda(1) = 0.064$ merupakan minimal ekstension dari masalah 2 untuk $\lambda = \lambda(2) = 0.125$. Untuk mengecek apakah $\lambda = \lambda(1) = 0.064$ merupakan minimal ekstension dari masalah 2 untuk $\lambda = \lambda(2) = 0.125$; maka sebelumnya kita tentukan terlebih dahulu nilai t sebagai bilangan integer terdekat dari $A_i^{0.125}$ dan bukan anggota dari $A_i^{0.125}$ dengan $i=1, 2, 3$. Bilangan-bilangan integer tersebut adalah: 15562 dan 16438 untuk $A_1^{0.125}$; dan 18562 dan 19438 untuk $A_2^{0.125}$; serta 16562 dan 17438 untuk $A_3^{0.125}$. Derajat keanggotaan untuk setiap himpunan adalah sebagai berikut :

Nilai $\mu_{A_i}(x)$:

$$\mu_{A_1}(15562) = 1 - (16.000 - 15.562) / 500 = 0.124$$

$$\mu_{A_1}(16438) = 1 - (16.438 - 16.000) / 500 = 0.124$$

$$\mu_{A_2}(18562) = 1 - (19.000 - 18.562) / 500 = 0.124$$

$$\mu_{A_2}(19438) = 1 - (19.438 - 19.000) / 500 = 0.124$$

$$\mu_{A_3}(16562) = 1 - (17.000 - 16.562) / 500 = 0.124$$

$$\mu_{A_3}(17438) = 1 - (17.438 - 17.000) / 500 = 0.124$$

$$\lambda^* = \max \{0, 124; 0, 124; 0, 124; 0, 124; 0, 124; 0, 124\}$$

$$\lambda^* = 0,124 \neq \lambda = 0,064$$

Sehingga untuk $\lambda = \lambda(1) = 0.064$ bukan merupakan minimal ekstension dari masalah 2 untuk $\lambda = \lambda(2) = 0.125$. Langkah ke-4 sampai langkah ke-6 diulang kembali dan dilakukan langkah pengecekan. Dengan melakukan serangkaian kegiatan pengulangan proses iterasi akan diperoleh nilai masukan $\lambda(1) = 0.086$ yang merupakan minimal extension $\lambda(2) = 0.08725$, selanjutnya akan diperoleh:

$$\lambda(\text{half}) = (\lambda(1) + \lambda(2)) / 2$$

$$= (0.084 + 0.08725) / 2 = 0.085625$$

Hal ini berarti bahwa $x(0.086)$ dan $x(0.08725)$ merupakan solusi optimal. Nilai hasil dari: $Z = 1.591.290 \in [0, 1.591.437]$

Nilai x:

$$\begin{aligned} X_{11} &= 10.000; & X_{12} &= 5.544; \\ X_{13} &= 0; & X_{14} &= 0; \\ X_{21} &= 0; & X_{22} &= 3.000; \\ X_{23} &= 0; & X_{24} &= 16.000; \\ X_{31} &= 0; & X_{32} &= 3.456; \\ X_{33} &= 14.000; & X_{34} &= 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= 30.10000 + 45.5544 + 60.0 + 75.0 \\ &+ 45.0 + 30.3000 + 75.0 + 30.16000 \\ &+ 60.0 + 15.3456 + 30.14000 + 45.0 \\ Z &= \text{Rp } 1.591.320,00 \end{aligned}$$

4. KESIMPULAN

Optimasi distribusi air minum PDAM menggunakan pendekatan model FITP akan didapatkan biaya distribusi optimal dari reservoir ke empat daerah pelayanan wilayah Yogyakarta yang meliputi Yogyakarta Utara (JU), Yogyakarta Selatan (JS), Yogyakarta Barat (JB), dan Yogyakarta Timur (JT) sebesar Rp.1.591.320,00. Adapun distribusi air bersih yang optimal dari reservoir Gemawang sebanyak 15.000 L, dari reservoir Gedong Kuning sebanyak 19.500 L, dan reservoir Tegalrejo sebanyak 17.500 L. Selain itu, biaya optimal yang harus dikeluarkan PDAM untuk mendistribusikan air bersih menggunakan pendekatan model FITP sebesar Rp.1.591.320,00 lebih rendah bila dibandingkan dari total biaya yang disediakan PDAM Yogyakarta sebesar Rp. 1.600.000,00.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Techn. M. Isa Irawan, MT dari Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, ITS Surabaya atas segala sumbang saran dan masukan guna kesempurnaan isi pada penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Hatmoko, W. (1999). Model Alokasi Air Untuk Mendukung Pengusahaan Sumberdaya Air yang Adil dan Berkesinambungan. *Prosiding Seminar Nasional Desentralisasi Pengelolaan*

Sumberdaya Air di Indonesia, ITB. Hal 54- 63.

Kusumadewi, S. (2004). Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan. PT Graha Ilmu, Yogyakarta.

Labadie, J.W. (2001). Reservoir System Optimization Models. *Water Resources Update, United State of America.*108: 83-110.

Lund, J.R. (1996). Operating Rule Optimization for Missouri River Reservoir System. *Journal of Water Resources Planning and Management.* 122(4) : 287-295.

Nugroho, A.S. (2007). Menggairahkan Riset Softcomputing di Indonesia. *Seminar Nasional Riset Teknologi Informasi STMIK AKAKOM, Yogyakarta.* 7 Juli 2007.

Rispiningtati (2008). Model Alokasi dan Nilai Air Pada Sistem Sungai Multi Waduk. *Jurnal Agritek Universitas Brawijaya, Malang.* 16(12). 2408-2429.

Suprayogi, I, Joleha, dan Hasibuan, S. (2010). Model Transportasi Distribusi Air Minum PDAM Yogyakarta Menggunakan Program Bantu Lingo 8.0, *Jurnal Sains dan Teknologi (JST) Fakultas Teknik, Universitas Riau.* 9(2). 19-28.

Suyanto (2008). Softcomputing Membangun Mesin Ber-IQ Tinggi. PT Informatika, Bandung.

Indryani, R, Suprayitno, H, dan Astana, I.N.Y. (2004). Model Transportasi Untuk Pengembangan Air Bersih di Kabupaten Badung, Provinsi Bali, *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.* 24(1). 19-28.

