

## Prediksi Kebutuhan Air PDAM Kota Malang Menggunakan Metode *Fuzzy Time Series* Dengan Algoritma Genetika

Khaira Istiqara<sup>1</sup>, M. Tanzil Furqon<sup>2</sup>, Indriati<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya  
Email: <sup>1</sup>khairapurple@gmail.com, <sup>2</sup>m.tanzil.furqon@gmail.com, <sup>3</sup>indriati.tif@ub.ac.id

### Abstrak

Air merupakan salah satu kebutuhan pokok makhluk hidup yang berasal dari sumberdaya alam. Pemerintah menyediakan sebuah Perusahaan Daerah Air minum (PDAM) untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat Indonesia, salah satu perusahaan terdapat di Kota Malang. Sistem prediksi kebutuhan air PDAM berfungsi untuk memprediksi kebutuhan air masyarakat Kota Malang, agar kebutuhan air di masa depan akan tetap terjamin. Variabel yang digunakan yaitu data pemakaian air PDAM Kota Malang dari tahun 2008-2013. Algoritma genetika digunakan untuk mengoptimasi sub-himpunan semesta pada *fuzzy time series*. Pencarian solusi menggunakan representasi kromosom *real-coded*, kemudian diproses dengan operator genetika (*crossover*, mutasi dan seleksi). Metode dari operator genetika yang digunakan yaitu *one-cut-point crossover*, *random mutation* dan seleksi *elitism*. Hasil dari pengujian parameter algoritma genetika, diperoleh ukuran populasi terbaik yaitu 360, panjang kromosom sebesar 60, kombinasi tingkat *crossover* dan mutasi terbaik yaitu 0.4 dan 0.2, serta jumlah generasi terbaik sebesar 550. Berdasarkan parameter terbaik, diperoleh hasil prediksi dengan nilai *error* (MAPE) sebesar 2.266776%. Hasil tersebut menunjukkan kemampuan prediksi yang baik dengan nilai *error* yang rendah.

**Kata kunci:** *algoritma genetika, optimasi, fuzzy time series, interval sub-himpunan, prediksi, air, PDAM*

### Abstract

Water is one of the basic needs of living things derived from natural resources. The Government provides a regional water company called Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) to fulfill the clean water needs of the people of Indonesia, one of which is located in Malang. PDAM water needs prediction system serves to predict the water needs of the people of Malang, so water needs will be guaranteed in the future. Variable used is PDAM water usage data from 2008-2013. Genetic algorithms are used to optimize the subset of universe in *fuzzy time series*. Search solution uses *real-coded chromosome representation*, then processed with genetic operator (*crossover*, mutation and selection). Method of genetic operator used is *one-cut-point crossover*, *uniform mutation* and *elitism selection*. The result of testing genetic algorithm parameter values, obtained the optimal population size is 360, the length of chromosome is 60, the best combination of crossover rate and mutation rate are 0.4 and 0.2, and the number of optimal generation is 550. Based on the best genetic algorithm parameter value, obtained the prediction result with the error value (MAPE) is 2.266776%. These results showed a good predictive ability with low error values.

**Keywords:** *genetic Algorithm, optimization, fuzzy time series, subset of universe, prediction, water, PDAM*

### 1. PENDAHULUAN

PDAM adalah perusahaan penyedia air bersih yang tersebar pada setiap Provinsi, Kabupaten dan Kotamadya yang ada di Indonesia dengan total perusahaan lebih dari 402. Salah satu PDAM juga terdapat di Kota

Malang, Kota yang jumlah penduduknya terus meningkat, dikarenakan sebagian besar mahasiswa yang terus bertambah di setiap tahunnya (BPPSPAM, 2010). Hal ini menyebabkan konsumsi air yang tinggi pada kota tersebut. Konsumsi air yang tinggi mengakibatkan kebutuhan akan persediaan air

bersih terus meningkat sedangkan persediaan air bersih di setiap tahun terus berkurang (UNICEF, 2012).

Berdasarkan faktor yang terdapat diatas, menjadi tantangan tersendiri bagi seluruh PDAM khususnya PDAM kota Malang untuk meningkatkan produksi air bersih. Salah satu caranya yaitu dengan memprediksi kebutuhan air di tahun-tahun yang akan datang sehingga PDAM dapat mempersiapkan persediaan air yang cukup untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Prediksi kebutuhan air juga dapat dimanfaatkan oleh perusahaan untuk mengalokasikan pendistribusian air ke pelanggan sehingga tidak mengalami kekurangan ataupun pemborosan. Hasil prediksi yang akurat juga dapat menekan tingkat kerugian air dan biaya oleh perusahaan itu sendiri.

Untuk memprediksi kebutuhan air bisa menggunakan beberapa metode, salah satu diantaranya yaitu *fuzzy time series* dimana metode ini biasanya digunakan untuk memprediksi data berdasarkan urutan waktu. *Fuzzy time series* adalah sebuah aplikasi matematika *fuzzy* pada data runtut waktu. Keunggulan teori *fuzzy* yaitu dapat melakukan perkiraan pada data yang tidak lengkap dan mengandung *noise*, dengan hasil yang lebih baik (Cai, et al., 2013).

Pada kasus lain, terdapat penelitian yang melakukan peramalan terhadap harga saham menggunakan metode *fuzzy time series genetic algorithm* (FTSGA). Dalam penelitian tersebut, menerapkan operasi algoritma genetika seperti seleksi, *crossover* dan mutasi untuk melakukan partisi himpunan semesta (*universe*). Partisi dari himpunan semesta memainkan peran penting dalam meningkatkan hasil peramalan model *fuzzy time series*. Penggabungan antara model *fuzzy time series* dan algoritma genetika dapat meminimalisir nilai *Root Means Square Error* (RMSE) serta meningkatkan nilai akurasi. Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh nilai RMSE sebesar 79,9 (Cai, et al., 2013).

Berdasarkan hasil analisis dari penelitian sebelumnya, maka solusi yang dipilih yaitu penerapan algoritma genetika sebagai sebuah metode yang dapat mengoptimasi batas interval sub-himpunan pada *fuzzy time series*, untuk memprediksi kebutuhan air PDAM Kota Malang. Data yang digunakan yaitu data total pemakaian air PDAM Kota Malang. Dengan adanya penerapan metode FTSGA pada kasus prediksi kebutuhan air PDAM Kota Malang,

diharapkan dapat menghasilkan data prediksi yang akurat.

## 2. LANDASAN KEPUSTAKAAN

### 2.1 PDAM (PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM)

PDAM adalah satu dari beberapa Badan Usaha Milik Daerah (BUMD), yang mengelola kebutuhan air minum, misi bisnis dan sosial. Pada saat ini PDAM memiliki peran yang sangat penting bagi masyarakat dalam hal mendukung kelancaran pembangunan daerah, sehingga keberhasilan PDAM harus selalu di upayakan (Kurniawati, 2009).

### 2.2 MODEL FUZZY TIME SERIES

*Fuzzy time series* (FTS) merupakan sebuah model yang menggunakan prinsip *fuzzy* untuk menyelesaikan masalah peramalan berdasarkan data historis. Data historis yang digunakan berdasarkan nilai-nilai linguistik bukan numerik. Sistem peramalan dengan FTS yaitu menggunakan pola data pada masa lalu, dan memroyeksikan data tersebut ke masa depan (Song & Chissom, 1994). Metode ini sering digunakan dalam menyelesaikan masalah peramalan.

Di dalam *fuzzy time series* menggunakan rumus pada persamaan (1) untuk menentukan himpunan *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* didefinisikan berdasarkan himpunan semesta, seperti persamaan di bawah ini (Uslu , et al., 2014):

$$A_i = a_{i1} / u_1 + a_{i2} / u_2 + a_{i3} / u_3 + ..... + a_{im} / u_m \quad (1)$$

dimana  $i = 1, 2, 3, \dots, m$  dan  $a_{ik}$  merupakan derajat keanggotaan dengan persamaan sebagai berikut :

$$a_{ik} = \begin{cases} 1 & , k=i \\ 0,5 & , k=i-1, i+1 \\ 0 & , i+1 < k < i-1 \end{cases}$$

Keterangan :

$A_i$  = Himpunan *fuzzy*

$a_{ik}$  = Derajat Keanggotaan

$u_i$  = sub-himpunan semesta

### 2.3 ALGORITMA GENETIKA

Algoritma genetika merupakan bagian dari algoritma evolusi yang mengacu pada konsep optimasi meta-heuristic dan berbasis populasi. Kemampuan dari algoritma genetika untuk menyelesaikan permasalahan yang kompleks, membuat algoritma ini menjadi populer dan

terus berkembang pesat. Algoritma genetika sering digunakan di berbagai bidang, dimana bidang tersebut sering mengalami masalah optimasi yang sulit untuk dibangun (Mahmudy, 2013).

#### a. Representasi Kromosom

*Encoding* yaitu proses mencari solusi dari suatu permasalahan dengan cara memetakannya menjadi sebuah kromosom. Dalam sebuah kromosom terdiri atas gen-gen yang menjadi variabel keputusan yang akan digunakan sebagai solusi (Mahmudy, 2013).

#### b. Crossover

Rekombinasi atau *crossover* yaitu suatu proses pembentukan kromosom baru berdasarkan penyilangan dua kromosom induk, dengan tujuan untuk memperoleh kromosom yang lebih baik dari induknya. Hanya beberapa kromosom induk yang mengalami *crossover* di dalam suatu populasi, sesuai dengan tingkat *crossover* (cr) yang telah ditentukan. (Mutakhiroh, et al., 2007).

Metode yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu *one-cut-point crossover*. *One-cut-point crossover* yaitu metode *crossover* yang melakukan pertukaran nilai gen antar kromosom berdasarkan titik potong yang ditentukan secara acak (Mahmudy, 2013).

#### c. Mutasi

Mutasi adalah operator tambahan dalam algoritma genetika, yang berfungsi untuk menjaga keragaman populasi. Persentasi jumlah kromosom di dalam populasi yang akan mengalami mutasi disebut dengan tingkat mutasi (mr). Tingkat mutasi juga menentukan jumlah *offspring* yang akan dihasilkan dari proses mutasi (Mahmudy, 2013).

Metode mutasi yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu *uniform mutation*. *Uniform mutation* yaitu memilih satu gen di dalam sebuah kromosom secara *random* lalu menukarkan nilai gen tersebut dengan nilai *random* yang berada di dalam interval  $[a_i, b_i]$ . (Uslu, et al., 2014).

#### d. Evaluasi *Fitness*

Nilai *fitness* digunakan untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan nilai solusi kromosom-kromosom pada setiap generasi. Proses seleksi kromosom menggunakan konsep dari teori evolusi darwin. Apabila kromosom bernilai *fitness* tinggi, maka kromosom tersebut memiliki kesempatan untuk terpilih lagi pada generasi berikutnya. Pengukuran fungsi *fitness* diperoleh

berdasarkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) (Zahra & Nhita, 2016).

#### e. Seleksi *Elitism*

Proses seleksi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu seleksi *elitism* (*elitism selection*). Pada proses seleksi, semua individu di dalam *parent* dan *offspring* dikumpulkan, yang nantinya akan dilakukan proses seleksi berdasarkan nilai *fitness* yang tertinggi. Beberapa individu terbaik di dalam populasi dipastikan akan lolos apabila diseleksi menggunakan *elitism selection* (Mahmudy, 2013).

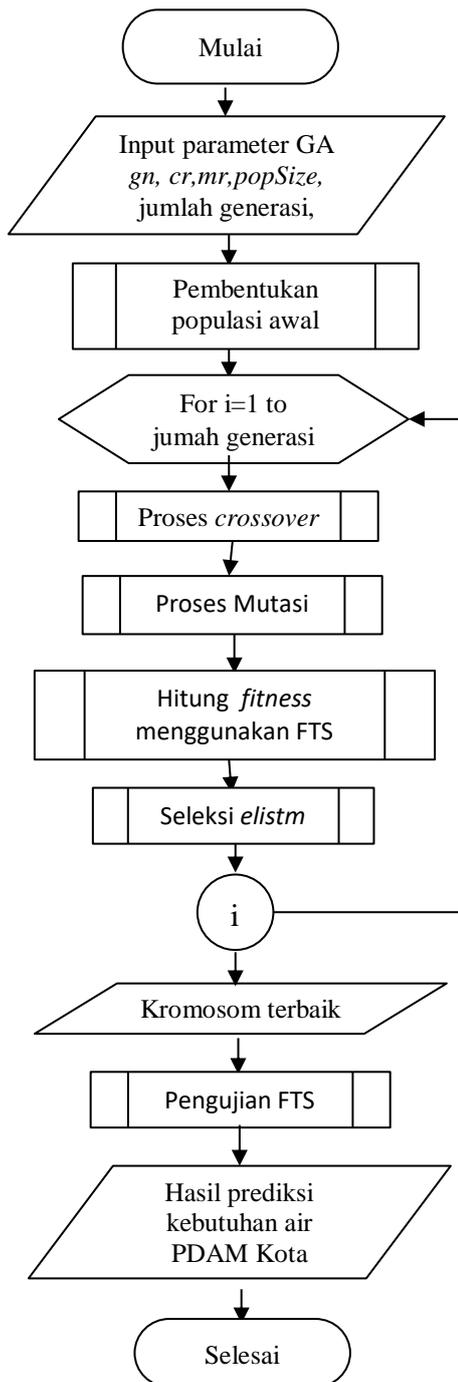
### 3 SUMBER DATA

Teknik yang digunakan dalam pengumpulan data yaitu menggunakan data sekunder yang didapatkan dari penelitian Irawan (2015). Data yang digunakan merupakan total volume pemakaian air PDAM Kota Malang, selama enam tahun dan dihitung per bulan, yaitu dari januari 2008 sampai dengan desember 2013 dengan total data sebanyak 72 data. Satuan yang digunakan terhadap volume pemakaian air yaitu meter kubik ( $m^3$ ). Sifat data yang digunakan tergolong kedalam data time series, karena dikumpulkan secara terurut dalam rentang waktu selama 72 bulan, dari tahun 2008-2013.

### 4 PEMBAHASAN

Langkah-langkah penyelesaian permasalahan dalam penelitian ini akan ditampilkan pada Gambar 1, dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Tahap pertama yaitu menentukan himpunan semesta (*universe of discourse*) yang terbentuk berdasarkan data maksimum ( $D_{max}$ ) dan minimum ( $D_{min}$ ) pada data historis. Tahap ini melakukan proses pencarian nilai maksimum dan minimum dari data aktual, dengan rumus  $U = [D_{min}-D_1, D_{max}+D_2]$  yang akan dijadikan sebagai himpunan semesta dari data aktual. Diperoleh himpunan semesta  $U = [1400000, 2400000]$ .



Gambar 1. Diagram alir perancangan sistem

2. Pengkodean yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *real-coded encoding*. Pengkodean *real* digunakan karena kromosom yang dibangkitkan menggunakan data dalam bentuk variabel *continue*. Kromosom yang terbentuk merupakan batas interval pada sub-himpunan. Gen di dalam kromosom tersebut terbentuk berdasarkan nilai *random* yang dibangkitkan pada interval himpunan semesta yang sudah terbentuk. Pada penelitian ini dibentuk kromosom yang berjumlah 19 gen. Inisialisasi populasi awal

akan ditampilkan pada Gambar 2.

3. Tahap reproduksi

a. *Crossover* yaitu proses pertukaran nilai gen antar dua induk terpilih pada populasi awal, yang terpilih yaitu  $P_1$  dan  $P_3$  sehingga menghasilkan kromosom *offspring*  $C_1$ .

- Menentukan jumlah *offspring* dengan rumus :

$$cr = 0,5$$

$$offspring = cr * \text{jumlah populasi} \quad (1)$$

- Menentukan titik potong pada kromosom yang akan di *crossover* yaitu pada gen ke 10.
- Menukarkan nilai gen yang berada di sebelah kiri kromosom induk

Hasil dari Proses *crossover* akan ditampilkan pada Gambar 3.

b. Mutasi yaitu menukarkan nilai gen secara *random* dengan gen yang baru, kromosom yang dipilih yaitu  $P_2$  sehingga menghasilkan kromosom *offspring*  $C_2$ .

- Menentukan jumlah *offspring* yang dihasilkan dengan rumus :

$$mr = 0.3$$

$$offspring = mr * \text{jumlah populasi} \quad (2)$$

- Menentukan posisi gen yang akan dimutasi secara *random* pada kromosom *parent* yaitu pada gen ke 5, lalu nilai pada gen tersebut digantikan dengan nilai baru.

- Nilai *random* adalah nilai yang berada pada batas interval antara gen sebelah kanan dan kiri dari gen terpilih. Kromosom hasil mutasi akan ditampilkan pada Gambar 4.

4. Evaluasi nilai *fitness* yaitu menentukan nilai *fitness* masing-masing kromosom, baik kromosom populasi awal maupun kromosom *offspring*. Rumus yang digunakan yaitu sebagai berikut :

$$fitness = \frac{1}{MAPE} \quad (3)$$

Nilai MAPE diperoleh berdasarkan perhitungan *fuzzy time series* yaitu sebagai berikut :

4.1 Membentuk kromosom pada algoritma genetika menjadi sebuah sub-himpunan, misalkan yang terpilih yaitu kromosom  $P_2$ . Maka bentuk sub-himpunannya adalah sebagai berikut :

Tabel 1. sub-himpunan

Sub-himpunan	Batas bawah	Batas atas
$u_1$	1400000	1460082
$u_2$	1460082	1484194
.....	.....	.....
$u_{20}$	350621	400000

4.2 keanggotaan setiap data historis, terhadap masing-masing himpunan *fuzzy* yang telah ditentukan. Yaitu dengan cara menentukan apabila data masuk ke dalam interval sub-himpunan ke  $i$ , maka data tersebut akan

masuk ke dalam himpunan *fuzzy*  $i$ . Tabel fuzzifikasi akan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Fuzzifikasi Data Pemakaian Air

Bulan	Pemakaian air	Fuzzifikasi
Sep-09	1772154	A7
Okt-09	1732172	A7
.....	.....	.....
Agu-10	1820043	A10

4.3 Menentukan *Fuzzy Logical Relationship* (FLR) dan membentuk *Fuzzy Logical Relationship Group* (FLRG) sesuai dengan FLR yang sudah di dapatkan. Tabel FLR dan FLRG akan ditampilkan pada Tabel 3 dan 4.

P <sub>1</sub>	1460082	1484194	1618045	1628659	1634739	1635333	1682896	1790173	1799061	1829026
	1893993	1952642	1976014	1983040	2001933	2152659	2261425	2330503	2350621	
P <sub>2</sub>	1484316	1494533	1585013	1655655	1656069	1702098	1773172	1872123	2040909	2057830
	2058752	2101842	2189983	2226703	2243157	2294671	2309276	2385891	2387294	
P <sub>3</sub>	1409634	1422696	1502909	1506285	1533303	1575276	1600001	1634849	1780903	1796801
	1815578	1824030	1840183	2004382	2108949	2241182	2366000	2387108	2391940	

Gambar 2. Inisialisasi populasi awal

P <sub>1</sub>	1460082	1484194	1618045	1628659	1634739	1635333	1682896	1790173	1799061	1829026
	1893993	1952642	1976014	1983040	2001933	2152659	2261425	2330503	2350621	
P <sub>3</sub>	1409634	1422696	1502909	1506285	1533303	1575276	1600001	1634849	1780903	1796801
	1815578	1824030	1840183	2004382	2108949	2241182	2366000	2387108	2391940	
C <sub>1</sub>	1409634	1422696	1502909	1506285	1533303	1575276	1600001	1634849	1780903	1796801
	1893993	1952642	1976014	1983040	2001933	2152659	2261425	2330503	2350621	

Gambar 3. Proses *crossover*

P <sub>2</sub>	1484316	1494533	1585013	1655655	1656069	1702098	1773172	1872123	2040909	2057830
	2058752	2101842	2189983	2226703	2243157	2294671	2309276	2385891	2387294	
C <sub>2</sub>	1484316	1494533	1585013	1655655	1665952	1702098	1773172	1872123	2040909	2057830
	2058752	2101842	2189983	2226703	2243157	2294671	2309276	2385891	2387294	

Gambar 4. Proses mutasi

Tabel 3. Fuzzy Logical Relationship (FLR)

Bulan	FLR
Sep 09 -> Okt 09	A7->A7
Okt 09 -> Nov 09	A7->A6
.....	.....
Jul 10 -> Agu 10	A8->A8

Tabel 4. Fuzzy Logical Relationship Group (FLRG)

Current State	Next State
A7	A7,A6,A8
A8	A7,A9,A8

- 4.4 Dalam tahapan defuzzifikasi terdapat beberapa aturan diantaranya sebagai berikut :
- Apabila FLR dari  $A_i$  tidak ditemukan ( $A_i > \#$ ), maka  $F(t) = m_i$  yang merupakan nilai tengah dari  $u_i$
  - Apabila dalam satu himpunan fuzzy  $A_i$  hanya terdapat satu himpunan FLR atau FLRG  $A_i$  merupakan relasi *one-to-one* (misal  $A_i \rightarrow A_j$ ), maka  $F(t) = m_j$  yang merupakan nilai tengah dari  $u_j$ .
  - Jika terdapat himpunan FLR  $A_i \rightarrow A_{j1}, A_{j2}, \dots, A_{jk}$  atau disebut FLRG relasi *one-to-many* maka  $F(t) = m_{j1}, m_{j2}, m_{j3}, \dots, m_{jn}$  yang merupakan nilai tengah dari  $u_{j1}, u_{j2}, u_{j3}, \dots, u_{jn}$ .

$$F(t) = \frac{\sum_{i=1}^n m_{ji}}{n} \quad (4)$$

Dimana :  $m_{ji}$  = nilai tengah dari uji  
 $n$  = Jumlah himpunan fuzzy yang berelasi dengan  $A_i$

Hasil perhitungan defuzzifikasi akan ditampilkan pada Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Defuzzifikasi

Current	Next State	Defuzzifikasi
A7	A7,A6,A8	1746455,333
A8	A7,A9,A8	1838932,833

- 4.5 Prediksi merupakan proses pencarian nilai menggunakan data hasil defuzzifikasi berdasarkan tabel FLR. Hasil prediksi akan ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Prediksi

Bulan	Data Aktual	Hasil Prediksi
Okt-09	1732172	1746455,333
Nov-09	1694870	1746455,333
.....	.....	.....
Nov-09	1694870	1746455,333

- 4.6 Menghitung nilai *error* hasil prediksi menggunakan perhitungan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dengan rumus :

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{F_i - A_i}{A_i} \right| \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

$n$  = Jumlah data uji

$F_i$  = Nilai aktual yang sebenarnya pada data ke  $t$

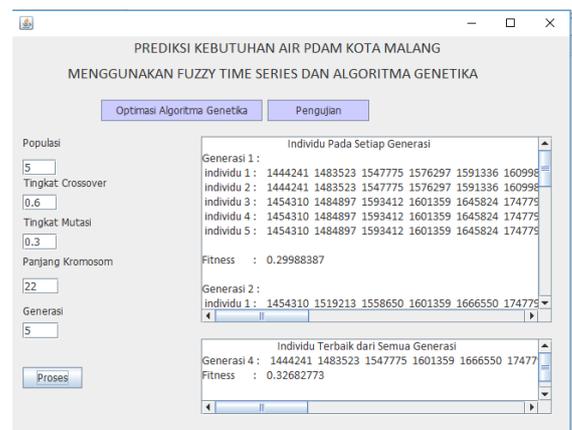
$A_i$  = Nilai hasil peramalam pada data ke

5. Proses seleksi menggunakan seleksi *elitism* yaitu seleksi kromosom berdasarkan nilai *fitness* yang tertinggi.

### 5 IMPLEMENTASI

Proses implementasi dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman java. Terdapat 2 antarmuka dari hasil implementasi yaitu antarmuka proses optimasi algoritma genetika dan antarmuka pengujian.

#### a. Antarmuka Optimasi Algoritma Genetika

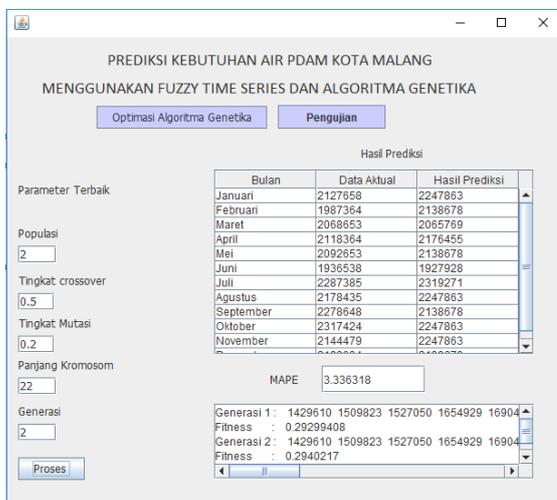


Gambar 5. Antarmuka Optimasi Algoritma Genetika

Pada Gambar 5 terdapat dua tampilan *text area* yang berisi individu pada setiap generasi dan individu terbaik dari semua generasi beserta dengan nilai *fitness* nya. Disebelah kiri *windows* terdapat 5 macam *textfield* yang berfungsi untuk menampung inputan parameter algoritma genetika. Parameter tersebut yaitu ukuran populasi, tingkat *crossover* (cr), tingkat mutasi (mr), panjang kromosom dan generasi. Pada bagian bawah parameter terdapat sebuah *button* proses yang berfungsi untuk menjalankan proses optimasi berdasarkan parameter yang telah dimasukkan.

**b. Antarmuka Pengujian**

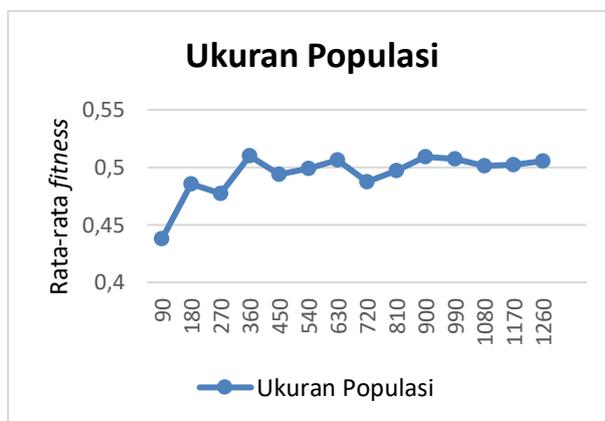
Pada antarmuka pengujian terdapat tabel yang berisi hasil prediksi kebutuhan air PDAM kota Malang. Hasil tersebut dipengaruhi oleh sub-himpunan *fuzzy time series*. Sub-himpunan diperoleh dari individu terbaik pada proses algoritma genetika, yang menerapkan parameter-parameter terbaik. Didalam *windows* juga terdapat *textfield* yang berisi nilai *error* hasil prediksi menggunakan perhitungan MAPE. Setelah perhitungan MAPE, terdapat sebuah *textarea* yang berisi individu terbaik pada setiap generasi beserta nilai *fitness* nya. Implementasi antarmuka pengujian akan ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Antarmuka Pengujian

**6 PENGUJIAN DAN ANALISIS**

**a. Uji Coba dan Analisis Ukuran Populasi**



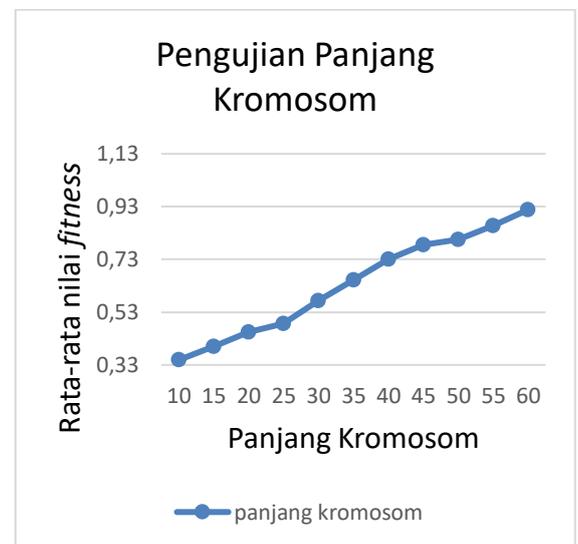
Gambar 7. Grafik hasil pengujian ukuran populasi

Pengujian yang pertama kali dilakukan yaitu uji coba terhadap ukuran populasi, untuk menganalisa pengaruh ukuran populasi terhadap nilai *fitness*. Batas maksimum ukuran populasi yang akan diuji yaitu sebesar 1500. Grafik yang menampilkan hasil uji coba ukuran populasi ditunjukkan pada Gambar 7.

Dari proses pengujian diperoleh ukuran populasi terbaik yaitu 360 dengan rata-rata *fitness* sebesar 0,50985. Dari garis grafik dapat dilihat bahwa bertambahnya ukuran populasi tidak menjamin akan bertambahnya pula nilai *fitness* pada suatu percobaan. Namun semakin besar ukuran populasi yang diuji, akan memiliki peluang lebih besar untuk mendapatkan nilai *fitness* terbaik.

**b. Uji Coba dan Analisis Panjang Kromosom**

Pengujian yang kedua yaitu uji coba panjang kromosom, terhadap nilai *fitness* yang dijadikan pembanding. Jumlah kromosom yang di uji coba yaitu 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 dan 60. Hasil uji coba panjang kromosom akan ditampilkan pada Gambar 8.



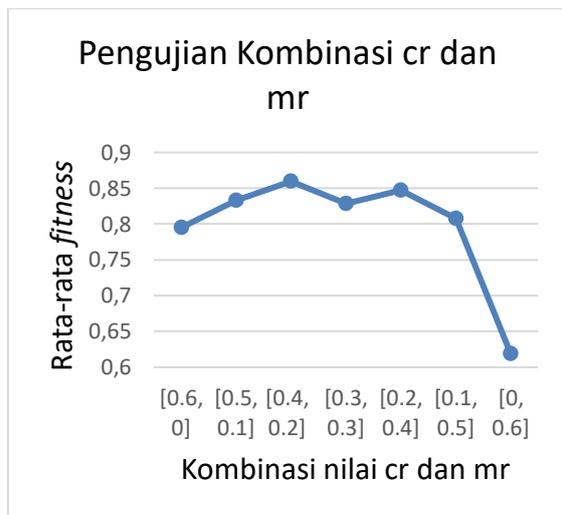
Gambar 8. Grafik hasil pengujian panjang kromosom

Berdasarkan hasil pengujian, panjang kromosom terbaik yaitu 60, dengan nilai *fitness* sebesar 0,91818. Grafik menjelaskan bahwa semakin panjang kromosom, maka akan menghasilkan nilai *fitness* yang semakin tinggi. Karena panjang kromosom yang semakin besar akan membangkitkan interval antar gen yang relatif kecil. Sehingga ketika data aktual masuk ke dalam interval tersebut, data aktual berada

pada interval yang bersifat spesifik dengan range yang tidak terlalu panjang.

**c. Uji Coba dan Analisis Kombinasi cr dan mr**

Pengujian terhadap kombinasi nilai tingkat *crossover* (cr) dan tingkat mutasi (mr), dilakukan sebanyak 5 kali percobaan. Kombinasi tingkat *crossover* dan mutasi menggunakan nilai pada interval 0-0,6 dengan selisih 0,1. Hasil pengujian kombinasi cr dan mr dapat dilihat pada Gambar 9.

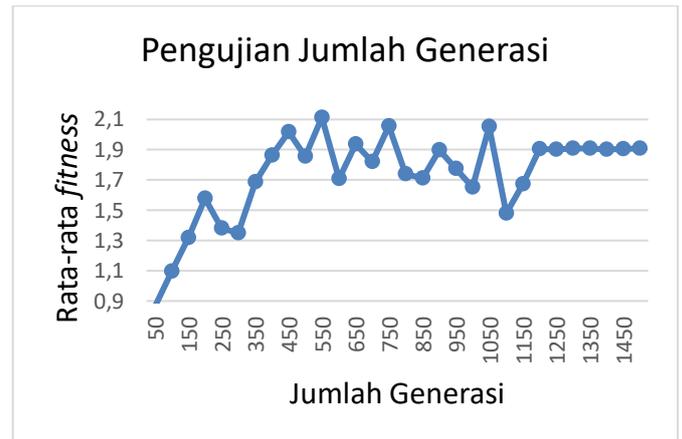


Gambar 9. Grafik hasil pengujian kombinasi cr dan mr

Berdasarkan hasil uji coba kombinasi cr dan mr, dapat dilihat bahwa kombinasi cr=0,4 dan mr=0,2 memiliki nilai rata-rata *fitness* yang paling tinggi. Nilai *fitness* terendah terdapat pada kombinasi cr=0,6 dan mr=0, dikarenakan gen pencarian yang terbatas yang sudah dijelajahi oleh induk dan juga sulit untuk menemukan gen yang baru karena tidak ada mutasi genetik. Setelah kombinasi nilai cr=0.4 dan mr=0,2, maka pada kombinasi selanjutnya nilai *fitness* terus menurun dikarenakan nilai mr yang terus meningkat. Hal ini membuktikan bahwa apabila mr terlalu besar maka akan terjadi gangguan acak yang terlalu banyak, sehingga anak akan kehilangan kemiripan dengan induknya (Kusumadewi, 2003). Berdasarkan pengujian ini dapat disimpulkan bahwa kombinasi cr = 0,4 dan mr = 0,2, merupakan kombinasi yang mendekati solusi optimal dalam optimasi *fuzzy time series* dengan algoritma genetika. Hal ini dikarenakan gen pencarian yang luas tetapi tidak kehilangan kemiripan dengan induknya, serta adanya mutasi genetik untuk menjaga keragaman populasi.

**d. Uji Coba dan Analisis Jumlah Generasi**

Pengujian jumlah generasi dilakukan sebanyak 5 kali percobaan, jumlah generasi yang di uji coba yaitu 100-800 dengan kelipatan 100. Parameter algoritma genetika lainnya yang digunakan yaitu sesuai dengan hasil terbaik pengujian sebelumnya yaitu ukuran populasi 360, panjang kromosom 60, kombinasi cr dan mr yaitu 0,4 dan 0,2 . Hasil pengujian jumlah generasi akan ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik hasil pengujian jumlah generasi

Berdasarkan hasil pengujian menjelaskan bahwa generasi 550 menghasilkan rata-rata *fitness* tertinggi yaitu sebesar 2,11375. Jumlah generasi sangat berpengaruh terhadap nilai *fitness* dikarenakan jumlah generasi yang besar akan menghasilkan area pencarian yang luas, namun membutuhkan waktu pencarian yang lebih lama. Dengan bertambahnya jumlah generasi maka akan meningkatkan nilai *fitness*. Namun jika jumlah generasi terlalu besar, nilai *fitness* juga akan mengalami penurunan pada titik tertentu dikarenakan area pencarian sudah menjauhi solusi optimal. Dapat dilihat pada generasi 250 nilai *fitness* mulai menurun, lalu kemudian mengalami peningkatan kembali pada generasi 350. Berdasarkan pengujian ini dapat disimpulkan bahwa jumlah generasi sebesar 550 adalah parameter terbaik untuk menghasilkan solusi optimal dalam optimasi *fuzzy time series* dengan algoritma genetika.

**e. Analisis Hasil Pengujian Optimasi Model Fuzzy Time Series dengan Algoritma Genetika**

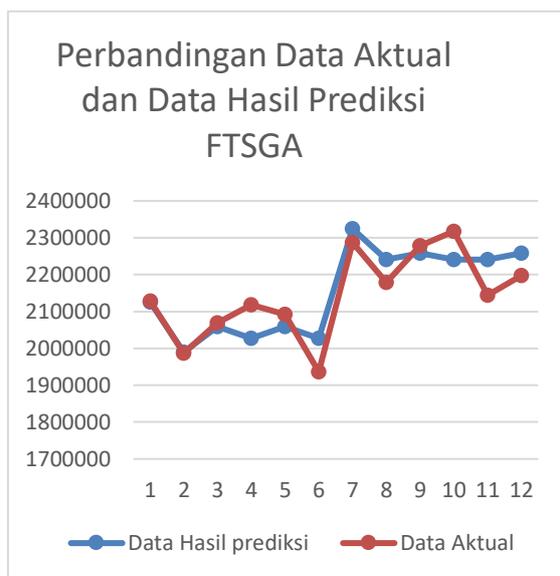
Berdasarkan pengujian sebelumnya, diperoleh parameter-parameter algoritma genetika terbaik, yaitu ukuran populasi sebesar 360, panjang kromosom 60, cr dan mr = 0,4 dan

0,2 serta jumlah generasi 550. Parameter tersebut akan digunakan untuk pengujian keakurasian hasil prediksi menggunakan *fuzzy time series* dengan algoritma genetika. Data uji yang digunakan yaitu data pemakaian air bulan Januari-Desember 2013. Hasil dari pengujian berupa nilai *error* dari hasil prediksi yang dihitung menggunakan perhitungan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*. Hasil prediksi model FTSGA akan ditampilkan pada Tabel 7 beserta dengan nilai MAPE nya.

Tabel 7. Hasil prediksi dan nilai MAPE model FTSGA

Bulan	Data Aktual	Hasil Prediksi	Nilai <i>error</i> ramalan (MAPE)
Jan-13	2127658	2124688	0,139590103
Feb-13	1987364	1989768	0,120964252
Mar-13	2068653	2059041	0,464650185
Apr-13	2118364	2027370	4,295484629
Mei-13	2092653	2059041	1,606190802
Jun-13	1936538	2027370	4,690432101
Jul-13	2287385	2324443	1,620103306
Agu-13	2178435	2240151	2,833042987
Sep-13	2278648	2258489	0,884691273
Okt-13	2317424	2240151	3,334435131
Nov-13	2144479	2240151	4,461316711
Des-13	2198034	2258489	2,750412414
Rata-rata MAPE			2.266776

Hasil prediksi pada Tabel 7, akan digambarkan dalam bentuk grafik perbandingan antara data aktual dan data hasil prediksi. Grafik tersebut ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik hasil perbandingan data aktual dan data hasil prediksi

## 7 KESIMPULAN

Berdasarkan serangkaian tahapan yang telah dilakukan, dimulai dari perancangan, implementasi dan pengujian, maka diperoleh kesimpulan yaitu penerapan model *fuzzy time series* dengan algoritma genetika untuk memprediksi kebutuhan air PDAM Kota Malang dilakukan dengan cara mengoptimasi sub-himpunan *fuzzy time series* menggunakan algoritma genetika. Batas interval sub-himpunan *fuzzy times series* dapat dioptimasi dengan menerapkan metode *crossover one-cut-point*, *uniform mutation* dan seleksi *elitism*. Sub-himpunan yang optimal digunakan pada tahap pengujian yang menjalankan 5 proses *fuzzy time series* yaitu fuzzifikasi, pembentukan FLR dan FLRG, defuzzifikasi, prediksi dan menghitung nilai *error (MAPE)*.

Proses prediksi menghasilkan nilai *error (MAPE)* sebesar 2.266776%. Nilai *error* dipengaruhi oleh sub-himpunan terbaik, yang dihasilkan dari proses algoritma genetika, dengan menerapkan parameter-parameter terbaik hasil pengujian. Parameter tersebut yaitu ukuran populasi sebesar 360, panjang kromosom sebesar 60, kombinasi nilai *cr* dan *mr* adalah 0,4 dan 0,2, serta jumlah generasi sebanyak 550. Nilai *error* yang didapatkan termasuk dalam kategori rendah. Sehingga optimasi interval sub-himpunan *fuzzy time series* menggunakan algoritma genetika, dapat dikatakan efektif untuk menghasilkan hasil prediksi yang lebih akurat.

Sistem optimasi *fuzzy time series* dengan algoritma genetika dapat dikembangkan dengan mengimplementasikan perhitungan bobot FLR menggunakan *weight determined*, pada saat proses defuzzifikasi pada *fuzzy time series* pada penelitian selanjutnya. Selain itu juga dapat menggunakan metode *crossover*, mutasi dan seleksi lainnya pada algoritma genetika, untuk mendapatkan hasil prediksi yang lebih baik.

## 8 DAFTAR PUSTAKA

- Aladag, c. H., Yolcu, U., Bas, E. & Egrioglu, E., 2012. Fuzzy lagged variable selection in fuzzy time series with genetic algorithms. *Elsevier*, 22(1568-4946), p. 465–473.
- Berutu, S. S., Sediyo, E. & Sasongko, P. S., 2015. Peramalan Penjualan dengan Metode Fuzzy Time Series Ruyey Chin

- Tsaur. *Jurnal HimsyaTech*, 11(1907-2074), pp. 1-10.
- BPPSPAM, 2010. *Performance Evaluation of PDAMs in Indonesia*. Jakarta: s.n.
- Cai, Q., Zhang, D. & Wu, B., 2013. A novel stock forecasting model based on fuzzy time series and genetic algorithm. *Elsevier*, 18(1877-0509), p. 1155 –
- Irawan, A. F., Dewi, C. & cholissodin, I., 2015. *Implementasi Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Pada Peramalan kebutuhan Air PDAM Kota Malang*. Malang : PTIIK, Universitas Brawijaya.
- Kurniawati, E., 2009. Analisis Rasio Keuangan untuk Menilai Kinerja Perusahaan Daerah Air Minum (studi kasus pada pdam di kota sorong). *Analisis*, 6(2), pp. 112-122.
- Kusumadewi, S., 2003. *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Mahmudy, W. F., 2013. Algoritma Evolusi. Dalam: W. FM, penyunt. *Modul Matakuliah Algoritma Evolusi*. Malang : <http://wayanfm.lecture.ub.ac.id>, pp. 1-57.
- Mutakhir, I., Saptono, F., Hasanah, N. & Wiryadinata, R., 2007. Pemanfaatan Metode Heuristik dalam Pencarian Jalur Terpendek Dengan Algoritma Semut dan Algoritma Genetika. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi*, 1(1907-5022), pp. 33-39.
- P., 2017. *Info Perusahaan PDAM Kota Malang*, malang:<http://www.pdamkotamalang.com>.
- Song, Q. & Chissom, B. S., 1994. Forecasting enrollment with fuzzy time series - Part II. *elsevier*, 62(0165-0114), pp. 1-8.
- UNICEF, 2012. *AIR BERSIH, SANITASI, KEBERSIHAN*. s.l.:s.n.
- Uslu, V. R., Bas, E., Yolcu, U. & Egrioglu, E., 2014. A fuzzy time series approach based on weights determined by the number of recurrences of fuzzy relations. *Elsevier*, 15(2210-6502), pp. 19-26.
- Xihao, S. & Yimin, L., 2008. Average-based fuzzy time series models for forecasting Shanghai compound Index. *World Journal of Modelling and Simulation*, 4(1746-7233), pp. 104-111.
- Zahra, A. P. & Nhita, F., 2016. Implementasi Algoritma Weighted Moving Average Pada Fuzzy EAs Untuk Peramalan Kalender Masa Tanam Berbasis Curah Hujan. *Journal on Computing*, 1(1), pp. 77-94.