

# Implementasi Algoritma Weighted Moving Average Pada Fuzzy EAs Untuk Peramalan Kalender Masa Tanam Berbasis Curah Hujan

Zahra Putri Augusta <sup>#1</sup>, Fhira Nhita <sup>#2</sup>

# *Jurusan Ilmu Komputasi, Fakultas Informatika  
Telkom University, Bandung*

<sup>1</sup> zahraputriagusta@gmail.com

<sup>2</sup> fhiranhita@telkomuniversity.ac.id

## Abstract

Forecasting is a process to estimate something systematically based on previous circumstances or facts. Weather forecasting especially rainfall information, provides benefits in several sectors one of them agriculture but events weather often changes and fluktuation so the need for a prediction of the weather conditions to come. On this research is conducted a research on the corn planting calendar forecasting based on the rainfall on Soreang region, Bandung district using one of the Soft Computing basic algorithms the most good for optimization problem namely Evolutionary Algorithms (EAs). The data is soreang region Bandung district rainfall data for the last 10 years (2006-2015) this data will first going through preprocessing with Weighted Moving Average (WMA). On individual representation, EAs has four algorithms the can be used, one of them is Grammatical Evolution (GE) which will be used on this research. Next on this final project will be using fuzzy logic for GE optimization, by defining some parameters on initial running, in order for the process to run well. The final produced result shows that fuzzy logic able to increase EAs performance and Fuzzy EAs made planting calendar forecasting performance about 76,93%.

**Keywords:** forecasting, rainfall, weighted moving average, fuzzy (EAs), planting calendar

## Abstrak

Peramalan merupakan proses memperkirakan sesuatu secara sistematis berdasarkan keadaan atau fakta sebelumnya. Peramalan cuaca khususnya curah hujan dapat memberikan manfaat di beberapa sektor seperti pertanian. Namun kondisi cuaca sering mengalami perubahan dan berfluktuatif sehingga diperlukannya suatu prediksi terhadap kondisi cuaca untuk yang akan datang. Pada penelitian ini dilakukan peramalan kalender masa tanam tanaman jagung yang berbasis curah hujan di wilayah Soreang Kabupaten Bandung menggunakan salah satu jenis algoritma dasar Soft computing (SC) yang paling bagus untuk masalah optimasi yakni Evolutionary Algorithms (EAs). Data yang digunakan adalah data curah hujan wilayah Soreang Kabupaten Bandung selama 10 tahun terakhir (2006-2015), data ini akan melalui preprocessing terlebih dahulu dengan Weighted Moving Average (WMA). Pada representasi individu, EAs memiliki empat algoritma yang bisa digunakan, salah satunya *Grammatical Evolution* (GE) yang akan digunakan pada penelitian ini. Selanjutnya, dalam penelitian ini digunakan logika *Fuzzy* untuk pengoptimasian GE, dengan cara mendefinisikan beberapa parameter pada awal running, agar proses dapat berjalan dengan baik. Hasil akhir yang didapat menunjukkan bahwa logika *Fuzzy* membantu meningkatkan performansi Eas dan Fuzzy EAs menghasilkan performansi peramalan kalender masa tanam sebesar 76,93%.

**Kata Kunci:** Indo-JC, journal, MS.Word template

## I. PENDAHULUAN

SEBAGIAN besar penduduk Indonesia bergerak dalam sektor agraris, sehingga karakter dari suatu iklim dan cuaca seperti curah hujan sangat berpengaruh terhadap keberlangsungan pendapatannya. Faktor iklim dan cuaca digunakan untuk salah satu pertimbangan pertanian terutama dalam penentuan kecocokan jenis tanaman yang akan dibudidayakan disuatu tempat. Namun kondisi dari cuaca sering mengalami perubahan, karena definisi cuaca itu sendiri mencangkup wilayah yang sempit dan pada waktu yang singkat, jadi setiap waktu akan berubah-ubah [1]. Oleh sebab itu diperlukannya suatu prediksi atau peramalan terhadap kondisi cuaca yang akan datang.

*Soft computing* (SC) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk kasus peramalan atau prediksi. *Soft Computing* memiliki algoritma dasar yakni *Fuzzy System*, *Artificial Neural Network* (ANN), dan *Evolutionary Algorithms* (EAs). Tiga algoritma ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. *Evolutionary Algorithms* (EAs) paling bagus untuk masalah optimasi [2]. Algoritma EAs dapat memecahkan kekurangan dari dua algoritma sebelumnya dalam pengoptimasian dan dapat melakukan proses learning yang cepat. Dalam representasi individu algoritma EAs dibagi kedalam empat jenis algoritma lagi [3], pada penelitian ini algoritma yang digunakan yakni *Grammatical Evolution* (GE). Algoritma ini mempunyai tingkat adaptif yang baik sehingga dapat memperoleh suatu model prediksi.

Pada penelitian ini akan dilakukan peramalan kalender masa tanam dengan studi kasus tanaman jagung berbasis curah hujan di Kabupaten Bandung dengan menggunakan algoritma *Evolutionary Algorithm* (EA) dan akan dioptimalkan dengan logika Fuzzy. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk peramalan kalender masa tanam berbasis curah hujan salah satunya jurnal dengan judul “Planting Calender Forecasting System Using Evolving Neural Network”, dengan menggunakan algoritma *Soft Computing* (SC) yaitu algoritma *Artificial Neural Networks* (ANN), algoritma ANN akan dioptimalkan dengan *Evolutionary Algorithms* (EAs) biasanya sering disebut algoritma *Evolving Neuran Network* (ENN)[5]. Perbedaan penelitian kali ini dengan yang telah dilakukan adalah pada data yang digunakan dan algoritma yang dipakai. Namun pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan akurasi dari sistem prediksi yang dibangun masih dibawah 75% sehingga diperlukannya penelitian lebih lanjut mengenai pembuatan kalender masa tanam menggunakan hybrid algoritma *Soft computing* lainnya agar akurasi sistem prediksi/peramalan yang dibangun mencapai lebih 75%.

Pada penelitian ini diusulkan penggunaan penggunaan logika fuzzy karena logika fuzzy dapat mengatur parameter-parameter optimal yang diperlukan pada proses evolusi EAs kombinasi dari fuzzy dan EAs ini yang disebut Fuzzy EAs. Selanjutnya untuk preprocessing data digunakan metode *Wiegthed Moving Average* (WMA), agar data yang akan diimplementasikan kedalam Fuzzy EAs layak dan baik untuk digunakan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

*Grammatical Evolution* adalah salah satu bagian dari *Evolutionary Algorithms* (EAs). *Grammatical Evolution* (GE) merupakan terusan *Genetic Programming* (GP), perbedaannya terletak pada representas individu. GE menggunakan representasi individu yang berupa *Backus Naur Form* (BNF) sehingga bisa digunakan untuk meng-“evolusi” program yang bebas bahasa selain itu BNF bisa dikodekan secara lebih mudah dan aman terhadap rekombinasi (*cross-over*). Sedangkan pada GP representasi individu khusus untuk Bahasa pemrograman LISP (*LIST Programming*) [2]. *Grammatical Evolution* menggunakan pemetaan genotype ke phenotype proses biologi di alam dan pendefinisian production rules BNF yang dapat dibangun

fleksibel sesuai dengan permasalahan. Pada Grammatical Evolution juga terjadi proses seleksi individu, sehingga pada akhir proses evolusi akan terpilih individu-individu terbaik sebagai solusi yang paling optimal.

#### *Backus Naur Form (BNF)*

BNF didefinisikan sebagai notasi untuk mengekspresikan grammar suatu bahasa dalam bentuk production rules. Tata bahasa (grammar) pada BNF terdiri dari terminal dan non-terminal, sebagai berikut:

- a) Terminal, merupakan item-item atau operator yang dapat muncul dalam bahasa tersebut, antara lain; +, -, /, \* dan sebagainya.
- b) Non-terminal, dapat dikembangkan atau diperluas ke dalam satu atau lebih terminal dan non-terminal [2].

Suatu grammar dapat merepresentasikan tuple  $\{N, T, P, S\}$  dimana N adalah himpunan non-terminal, T adalah himpunan terminal, P adalah himpunan production rules yang memetakan elemen-elemen dalam N menjadi T, dan S adalah start symbol yang berupa satu symbol non-terminal (anggota N) [2]. Karena menggunakan representasi biner, maka GE menggunakan semua operator evolusi yang sama seperti yang ada pada *Genetic Algorithm (GA)* yakni sebagai berikut:

- a) Inisialisasi Populasi  
Proses ini merupakan proses awal yaitu membangkitkan nilai-nilai gen dalam kromosom secara acak.
- b) Dekode Kromosom  
Yaitu mengubah individu/kromosom atau solusi atau fungsi menggunakan production rule yang didefinisikan dalam grammar BNF.
- c) Evaluasi  
Solusi yang telah dihasilkan dari proses decode kromosom akan dikalkulasikan error prediksi dan nilai fitness.
- d) Elitisme  
Yaitu menggandakan kromosom yang memiliki nilai fitness tertinggi dari setiap populasi.
- e) Linear Fitness Ranking  
Melakukan penskalaan pada semua kromosom dalam populasi.
- f) Seleksi orang tua  
Pada proses GE orang tua terdiri dari dua individu, pemilihan dua individu ini dilakukan secara proporsional berdasarkan nilai-nilai *fitness-nya*. Salah satu algoritma yang bisa dipakai adalah *roulette-wheel*, algoritma ini menirukan permainan *roulette-wheel* dimana masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda *roulette* secara proporsional sesuai dengan nilai *fitness-nya* masing-masing.
- g) Rekombinasi  
Rekombinasi (*crossover*) atau pindah silang yakni merekombinasikan dua kromosom orang tua yang telah dipilih untuk menghasilkan dua anak. Pada rekombinasi terjadi kombinasi pewarisan gen-gen dari induknya (kromosom orang tua), gen-gen dari kedua induk dapat bercampur sehingga dihasilkan susunan kromosom yang baru.
- h) Mutasi  
Mutasi diperlukan untuk membalikan informasi bit yang hilang akibat *crossover*, mutasi mungkin terjadi secara acak pada setiap gen (bit) dan bersifat bebas (independent) pada setiap gen.
- i) Seleksi Survivor  
Survivor (kromosom yang bertahan hidup) atau *replacement* dilakukan secara sederhana dengan mengganti semua kromosom lama dengan semua kromosom baru yang dihasilkan dari proses rekombinasi dan mutasi.

#### *Fuzzy System*

Fuzzy system merupakan suatu sistem yang menggunakan himpunan fuzzy untuk memetakan suatu inputan menjadi output tertentu. Dengan logika fuzzy ini kita bisa menangani masalah ketidakpastian yang

dalam hal lain bisa berarti keraguan, ketepatan yang belum akurat, dan kebenaran yang belum sempurna. Suatu sistem yang berbasis aturan Fuzzy terdiri dari tiga komponen yaitu *Fuzzification Inference*, *Defuzzification*.

#### *Weighted Moving Average*

*Preprocessing* data dapat dilakukan dengan metode *smoothing*, *smoothing* adalah suatu proses yang dilakukan terhadap data sehingga memberikan data interpolasi lebih tepat untuk perhitungan selanjutnya. *Weighted moving average* (WMA) merupakan salah satu bagian teknik penghalusan data (*smoothing*) dari kelompok *moving average*. Definisi *Weighted Moving Average* (WMA) itu sendiri merupakan metode *moving average* atau rata – rata bergerak yang memiliki bobot. Namun pada *WMA* terdapat bobot yang digunakan pada setiap perubahan data, untuk data yang terbaru memiliki nilai bobot yang lebih besar, keuntungan WMA dibanding kelompok *moving average lain* adalah WMA dapat merapikan trend/ siklus yang ada pada data secara halus, banyak skema pemilihan *weighted* yang tepat, Berikut rumus metode *Weighted Moving Average* (WMA) [6]:

$$T_t = \sum_{-m}^m \alpha_j Y_{t+j} \quad (1)$$

$$\alpha_j = \frac{Q(j,m)}{\sum_{-m}^m q(i,m)} \quad (2)$$

$Y_{t+j}$  : data

$Q(j, m)$ : bobot yang diberikan pada data

$T_t$ : *WMA* untuk periode ke-I

$\sum q(i, m)$ = penjumlahan semua bobot

Dalam pengujian hasil akhir prediksi digunakan WMAPE (Weighted Mean Absolute Percentage Error) ialah salah satu pengukur kesalahan dalam kasus peramalan. WMAPE disebut juga dengan perhitungan kesalahan peramalan dengan MAPE yang berbobot, dimana nilai bobot ini berarti tingkat kepentingannya dengan nilai yang lain, berikut rumus yang digunakan untuk perhitungan WMAPE[7]:

$$WMAPE (\%) = \frac{\sum \left| \frac{D_i - F_i}{D_i} \right| * D_i}{\sum D_i} \quad (3)$$

$D_i$  : Data aktual ke-i

$F_i$  : Data Prediksi ke-i

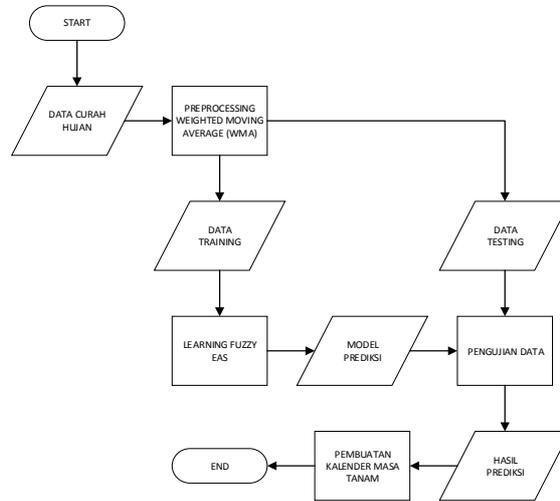
$D_i - F_i$  : Nilai kesalahan error pada periode ke –i

Selanjutnya perhitungan nilai error/kesalahan WMAPE, akan digunakan untuk menghitung performansi dengan rumus sebagai berikut,

$$\text{Performansi} = (1 - \text{WMAPE}) \times 100\% \quad (4)$$

### III. RESEARCH METHOD

Pada penelitian ini dibangun sebuah sistem untuk pembuatan kalender masa tanam dengan berbasis hasil prediksi curah hujan selama periode satu tahun (M+12). Sistem ini menggunakan salah satu jenis *Evolutionary Algorithms* (EAs) yakni *Grammatical Evolution* (GE) dan dioptimalkan dengan *Fuzzy Government* untuk melakukan prediksi curah hujan. Sebelum dilakukan perhitungan GE data di *Preprocessing* dengan metode *smoothing* memakai *Weighted Moving Average* (WMA). Berikut merupakan flowchart gambaran secara umum sistem yang akan dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 1. Flowchart Sistem Secara Umum

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan bulanan wilayah soreang Kabupaten Bandung dari bulan Januari 2006 sampai Desember 2015, data ini diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG Bandung).

TABEL I. SAMPLE DATA CURAH HUJAN KAB. BANDUNG 2006-2015

Bulan	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Januari	299.9	127	240.9	183.8	353.3	63	83	217	309	233.5
Februari	282.3	405.7	103.3	208.5	557.1	76.7	304	250	89	170
Maret	53.4	105.4	242.4	200.5	531	89.4	156	305	419	425.5
April	232.6	462	327.1	165.6	93	381.5	291	286	218	514.6
Mei	89.5	88.6	171.2	183.8	345	193.4	257	171	177	35.2
Juni	32.2	164.1	65.3	101	131.9	117.6	61	232	196	22
Juli	45	11	3.6	24.2	220.8	77.2	34	159	181	5.5
Agustus	0	0	58.6	0.5	106.1	3.1	0	74	120	20
September	0.3	44.1	41.5	24	424.4	102.8	27	172	1	5.5
Oktober	57.1	98.4	137	234.5	292.2	103.6	125	234	65	21
November	109.3	316.2	277.3	318.2	401.4	321.4	537	164	297	472.2
Desember	499.8	410.5	332.8	271.1	237.5	259	637	418	316	377.8

Pembagian data adalah tahap mempersiapkan dan membagi data ke dalam data *training* dan data *testing*.

- a) Data yang digunakan adalah data historis curah hujan bulanan wilayah Soreang Kabupaten Bandung sejak tahun 2006-2015 selama 10 tahun. Jumlah data yang digunakan sebanyak 120 bulan.
- b) Pengelompokkan data *training* dan *testing* dilakukan sebagai berikut: data *training* : 84 data (Januari 2006 – Desember 2012) dan data *testing* : 36 data (Januari 2013 – Desember 2015)

*Learning Fuzzy EAs*

*Grammatical Evolution (GE)* bertujuan untuk membangun model prediksi yang berupa fungsi yang nantinya akan di evaluasi dengan data training, fungsi ini untuk menghasilkan individu(kromosom) terbaik dari suatu populasi, dimana penentuan individu menggunakan nilai *fitness*, didalam proses GE akan dioptimasi dengan sistem *Fuzzy* untuk menentukan parameter PC dan PM, berikut merupakan tahap-tahap yang dilakukan dalam proses *training* pada *Fuzzy Eas (Grammatical Evolutionary)*[2].

#### *Inisialisasi Populasi*

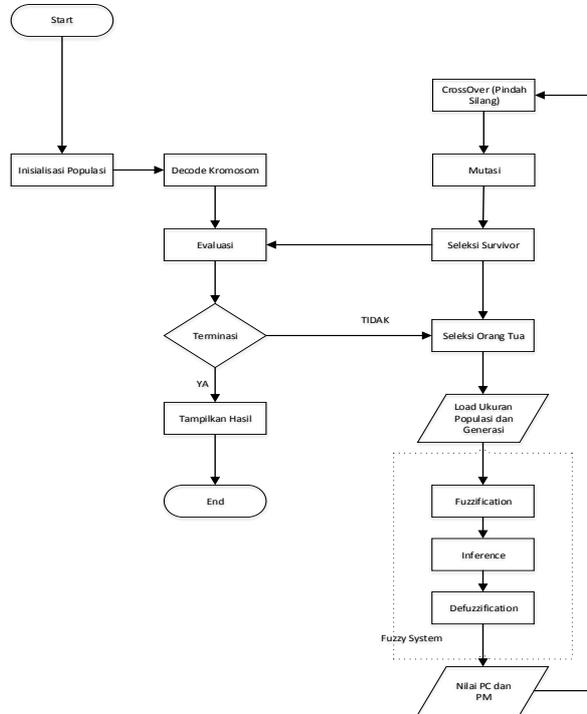
Populasi adalah sekumpulan kandidat solusi yang mungkin untuk suatu masalah yang sedang dihadapi, langkah-langkah pengerjaannya [7]:

- a) Pertama sekali melakukan pengkodean kandidat solusi kedalam kromosom, dimana tiap kromosom diisi gen hasil pembangkitan bilangan acak positif integer dengan nilai [1, 32767].
- b) Selanjutnya menetapkan ukuran populasi dan maksimum jumlah gen. Sedangkan penentuan panjang kromosom dilakukan dengan membangkitkan bilangan acak antara [1, maksimum jumlah gen].
- c) Informasi panjang kromosom akan digunakan untuk membangkitkan kromosom, sedang kan gen isi kromosom dibangkitkan dengan nilai acak antara [1-32767]. Proses-proses ini akan diulang sebanyak ukuran populasi yang telah ditetapkan pada tahap awal inisialisasi.

#### *Decode kromosom*

Proses decode kromosom yang berisi bilangan integer (inisialisasi populasi) dilakukan menggunakan *grammar* BNF yang telah berbentuk fungsi, berikut tahap-tahap decode kromosom [7]:

- a) Mendefinisikan *grammar* BNF yang akan digunakan.
- b) Melakukan proses translasi kromosom menjadi bentuk fungsi sesuai dengan *grammar* BNF.
- c) Melakukan pengecekan valid atau tidaknya kromosom, dimana jika kromosom tidak valid maka akan dilakukan *duplicate* pada kromosom secara acak, namun diberikan batasan sebanyak enam kali jika masih belum *valid* maka akan dibangkitkan kromosom yang baru.
- d) Melakukan *prune* pada gen-gen kromosom yang tidak terpakai ketika menghasilkan fungsi yang valid.



Gambar 2. Proses Pencarian Individu Terbaik

*Evaluasi Individu*

Setiap kromosom dievaluasi dengan cara menghitung nilai *fitness*-nya menggunakan fungsi *f*, karena prediksi curah hujan ini masuk ke dalam permasalahan minimasi, maka rumus nilai *fitness* yang digunakan adalah

$$f = \frac{1}{(K+b)} \tag{5}$$

*f* : nilai *fitness*

*b* : bilangan yang sangat kecil (untuk menghindari pembagian dengan nol)

*K* : rata-rata kesalahan absolut prediksi untuk semua data aktual

Berikut penjelasan tahap pengerjaannya [7]:

- a) Di tahap evaluasi, parameter masukannya berupa fungsi yang diperoleh dari proses decode kromosom
- b) Selanjutnya melakukan perhitungan prediksi dengan memasukkan data aktual kedalam fungsi.
- c) Hitung *K* (rata-rata absolut kesalahan prediksi) dengan menggunakan rumus berikut,

$$K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |z - z^*| \tag{6}$$

*N*: jumlah keseluruhan data prediksi

*z*: data hasil prediksi

*z\**: data yang sebenarnya

- d) Setelah nilai *K* didapat, selanjutnya melakukan perhitungan *fitness* menggunakan rumus pada persamaan (6)

- e) Langkah selanjutnya menghitung kesalahan prediksi dengan WMAPE menggunakan persamaan (3), hal ini dilakukan untuk menghitung kesalahan prediksi dalam *range* nilai.
- f) Agar kromosom dengan nilai fitness tinggi tidak hilang ,maka akan dilakukan proses *Elitisme* yakni menyalin kromosom.
- g) Sebelum masuk ke proses seleksi orang tua, maka akan dilakukan *Linear Fitness Ranking* , pada proses ini individu dalam populasi diurutka secara *ascending* berdasarkan nilai *fitness* yang dihasilkan setiap fungsi menggunakan rumus berikut [3]:

$$f(i) = f_{\max} - (f_{\max} - f_{\min}) \left( \frac{R(i)-1}{N-1} \right) \quad (7)$$

$f_{\max}$ : Nilai fitness tertinggi

$f_{\min}$ : Nilai fitness terendah

R(i): Ranking individu,

R(i): 1 untuk individu dengan fitness tertinggi

R(i): N untuk individu dengan fitness terendah

I: indeks individu dalam populasi

N: jumlah individu dalam populasi, sehingga nilai *fitness* berada dalam interval [ $f_{\min}$ ,  $f_{\max}$ ]

#### *Seleksi Orang Tua*

Selanjutnya, dilakukan pemilihan kromosom orang tua secara proporsional berdasarkan nilai *fitness* yang telah diperoleh . Tahap ini menggunakan *roulette-wheel* yang diputar  $n$  kali sesuai jumlah kromosom yang berada dalam populasi[3].

#### *Parameter Grammatical Evolution (GE)*

Sebelum melakukan tahap rekombinasi (*CrossOver*) dan mutasi, akan digunakan *fuzzy government* untuk mengeluarkan nilai-nilai parameter *Grammatical Evolution*. Parameter-parameter yang menjadi output *fuzzy government* adalah probabilitas rekombinasi ( $P_c$ ) dan probabilitas mutasi ( $P_m$ ) tujuannya agar diperoleh solusi yang lebih cepat dan menghindari konvergensi prematur. Inputan pada fuzzy berupa jumlah generasi dan populasi. Untuk sistem inferensi fuzzy disini digunakan metode mamdani , dan secara rinci perancangan sistem *Fuzzy* sebagai berikut [8]:

#### *Fuzzification*

Sistem menerima *crisp* input berupa ukuran populasi dan generasi, sedangkan untuk himpunan aturan *fuzzy* menggunakan aturan *fuzzy* yang disampaikan oleh Xu dan para koleganya dalam[2].

TABEL II. HIMPUNAN ATURAN FUZZY UNTUK PENGONTROLAN PROBABILITAS *CROSSOVER* ( $P_c$ ) YANG DIPAKAI [2].

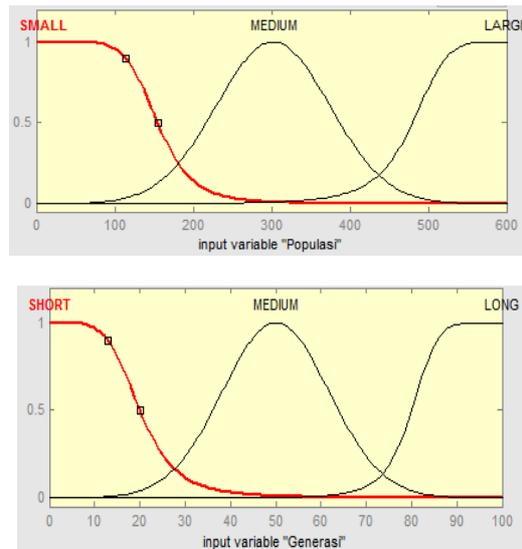
$P_c$	Population Size		
Generation	small	medium	large
short	medium	small	small
medium	large	large	medium
long	very large	very large	large

TABEL III. HIMPUNAN ATURAN FUZZY UNTUK PENGONTROLAN PROBABILITAS MUTASI ( $P_m$ ) YANG DIPAKAI [2].

$P_m$	Population Size		
Generation	small	medium	large

short	large	small	small
medium	medium	small	very small
long	small	very small	very small

Grafik fungsi keanggotaan yang dipakai pada proses fuzzification untuk variabel ukuran populasi dan generasi disajikan pada Gambar 3.



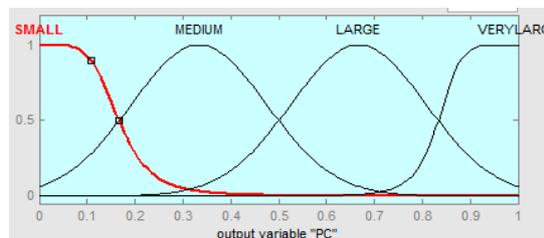
Gambar 3. Grafik Fungsi Keanggotaan untuk Variable Ukuran Populasi dan Generasi

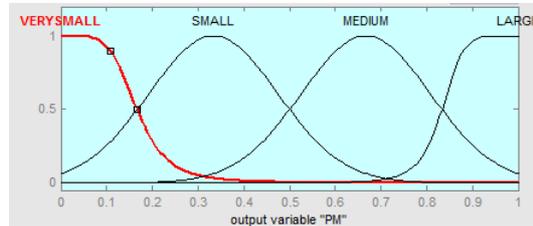
*Inference*

Proses *Inference* terbagi menjadi dua bagian , yaitu *inference* untuk probabilitas rekombinasi (PC) dan *inference* untuk probabilitas mutasi (PM). Metode yang digunakan pada proses ini adalah model inferensi mamdani, dimana keluaran yang dihasilkan berbentuk himpunan fuzzy yang berisi nilai linguistik dan derajat keanggotaan [9].

*Defuzzification*

Setelah proses *inference* menghasilkan *fuzzy output*, selanjutnya *fuzzy output* tersebut akan digunakan pada proses *defuzzification* dengan Centroid Method [9]. Proses ini pada akhirnya akan menghasilkan *crisp output* berupa nilai untuk masing-masing parameter PC dan Pm, berikut grafik fungsi keanggotaan pada proses defuzzification untuk variabel pc dan pm disajikan pada Gambar 4.

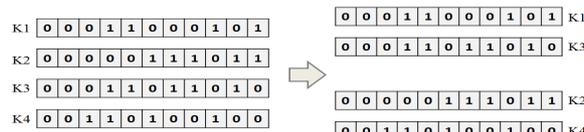




Gambar 4. Grafik Fungsi Keanggotaan pada Defuzzification

#### Rekombinasi (CrossOver)

Setelah kromosom dipilih, maka kromosom tersebut akan dimasukkan kedalam *mating pool*. Proses ini akan melakukan pengacakan posisi-posisi nomor kromosom untuk menentukan pasangan masing-masing. Misalkan, dari deretan kromosom [1,2,3,4] menghasilkan urutan baru [1,3,2,4]. Dimana terdapat dua pasang orang tua [1,3] dan [2,4]. Perhatikan Gambar 5 berikut[3].



Gambar 5. Proses Pengacakan Posisi Kromosom pada *Mating Pool*

Proses ini dilakukan jika nilai probabilitas bilangan acak kurang dari nilai probabilitas *CrossOver* ( $P_c$ ) yang telah ditentukan. Proses ini dilakukan dengan satu titik potong, proses *CrossOver* adalah sebagai berikut [7]:

- Menentukan nilai probabilitas *CrossOver* ( $P_c$ )
- Membangkitkan bilangan acak dengan interval [0,1]
- Jika nilai bilangan acak kurang dari  $P_c$ , maka,
  - Bangkitkan 1 titik potong secara acak dengan range nilai [1- panjang kromosom minimum dari kedua orang tua]
  - Potong kromosom orang tua 1 pada titik potong sehingga menjadi dua bagian
  - Potong kromosom orang tua 2 pada titik potong sehingga menjadi dua bagian
  - kombinasikan potongan pertama kromosom orang tua 1 dengan potongan kedua kromosom orang tua 2 sehingga menjadi kromosom anak 1
  - kombinasikan potongan pertama kromosom orang tua 2 dengan potongan kedua kromosom orang tua 1 sehingga menjadi kromosom anak 2

#### Mutasi

Proses berikutnya adalah melakukan mutasi pada setiap gen yang ada di kromosom anak hasil rekombinasi. Proses ini memperhatikan probabilitas mutasi ( $P_m$ ) yang diperoleh saat proses *fuzzy government*. Mutasi terjadi secara acak pada setiap *gen* kromosom dan tidak mempengaruhi kromosom lain.

#### Seleksi Survivor

Metode seleksi survivor akan digunakan keduanya yaitu *Steady State* dan *General Replacement*. Pada *General Replacement*, seluruh kromosom baru hasil tahap *CrossOver* dan Mutasi menggantikan seluruh kromosom lama tanpa memperhatikan usia dan nilai *fitness*. Sedangkan *Steady State* tidak semuanya diganti hanya dilakukan pada sejumlah kromosom/individu yang memiliki nilai *fitness* yang buruk[7].

IV. RESULTS AND DISCUSSION

Skenario pengujian , dilakukan dengan data curah hujan *preprocessing* WMA dengan 5 (bulan/periode) pengamatan disebut juga dengan 5 WMA dan menggunakan dua jenis seleksi survivor, yaitu *Generational Replacement* dan *Steady State*. Untuk algoritma pengujian menggunakan algoritma *Fuzzy Eas* (GE) dan Algoritma GE biasa, kombinasi parameter yang digunakan adalah sebagai berikut,

TABEL IV. KOMBINASI PARAMETER YANG DIPAKAI

Parameter	Keterangan
Representasi Kromosom	Biner-Integer
Ukuran Generasi	60
	80
	100
Ukuran Populasi	100
	300
	600
Mating Pool	100
Pc dan Pm [Fuzzy EAs]	10 Generasi [Perubahan nilai Pc dan Pm setiap 10 generasi]
Pc dan Pm [GE]	Pc= 0,5
	Pm= 0,1
Seleksi <i>Survivor</i>	General Replacement
	Steady State

Berdasarkan skenario pengujian diatas, telah dilakukan observasi untuk pengujian kombinasi parameter yang menggunakan dua seleksi survivor *Generational Replacement* dan *Steady State* serta menggunakan inputan data curah hujan hasil *preprocessing* (5 WMA) berikut ini ditampilkan hasil observasi untuk setiap skenario,

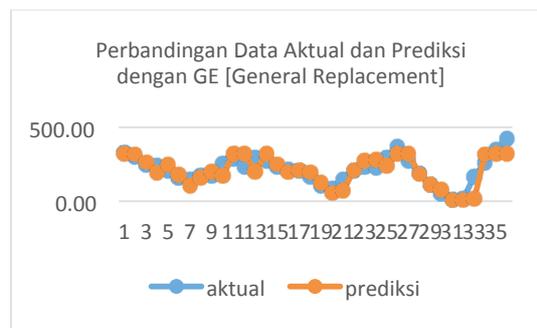
TABEL V. DATA HASIL PENGUJIAN MENGGUNAKAN EAS (GE) [GENERAL REPLACEMENT]

Uk pop	Uk gen	Pc	Pm	Terbaik WMAPE training	Terbaik WMAPE testing	Terburuk WMAPE training	Terburuk WMAPE testing	Best Average WMAPE
100	60	0,5	0,1	24,57%	21,72%	27,49%	24,36%	24,53%
	80	0,5	0,1	24,68%	21,70%	28,44%	27,77%	25,64%
	100	0,5	0,1	23,65%	19,27%	27,67%	24,59%	23,79%
300	60	0,5	0,1	20,50%	19,12%	23,60%	23,31%	21,63%
	80	0,5	0,1	21,52%	21,61%	24,63%	23,68%	22,86%
	100	0,5	0,1	21,84%	21,69%	24,01%	23,22%	22,69%
600	60	0,5	0,1	21,38%	18,97%	24,44%	21,94%	21,68%
	80	0,5	0,1	21,90%	19,24%	23,27%	24,80%	22,30%
	100	0,5	0,1	22,05%	20,83%	24,26%	24,49%	22,90%

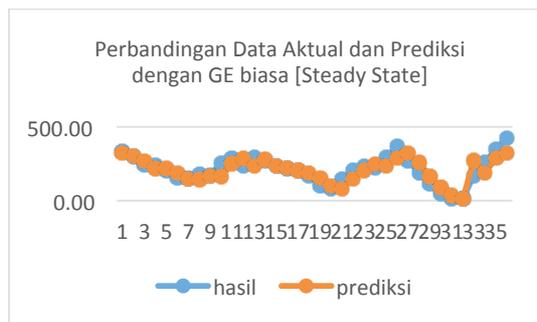
Berdasarkan Tabel V dan Tabel VI dapat dilihat bahwa hasil skenario dengan penggunaan seleksi survivor *General Replacement* menunjukkan nilai best WMAPE testing sebesar 19,12% sehingga nilai performansi didapatkan 80,88% hasil ini diperoleh pada ukuran populasi 300 dan generasi 60 serta nilai Pc 0,5 dan Pm 0,1, sedangkan untuk hasil skenario dengan penggunaan seleksi survivor *Steady State* menunjukkan nilai performansi yang paling baik pada ukuran populasi 600 dan generasi 60 dan pada nilai Pc 0.5 dan 0.1 yaitu dengan nilai best WMAPE testing sebesar 18,34% sehingga memiliki nilai performansi sebesar 81,66%.

TABEL VI. DATA HASIL PENGUJIAN MENGGUNAKAN EAS (GE) [*STEADY STATE*]

Uk pop	Uk gen	Pc	Pm	Terbaik WMAPE training	Terbaik WMAPE testing	Terburuk WMAPE training	Terburuk WMAPE testing	Best Average WMAPE
100	60	0,5	0,1	22,65%	19,49%	24,79%	22,61%	22,38%
	80	0,5	0,1	24,23%	21,57%	25,31%	24,01%	23,78%
	100	0,5	0,1	22,04%	20,71%	24,58%	22,39%	22,29%
300	60	0,5	0,1	21,51%	19,01%	23,83%	22,71%	21,76%
	80	0,5	0,1	21,17%	20,24%	24,40%	22,25%	22,01%
	100	0,5	0,1	20,45%	20,64%	23,30%	22,80%	21,79%
600	60	0,5	0,1	21,98%	18,34%	24,44%	21,94%	21,68%
	80	0,5	0,1	22,18%	20,64%	24,19%	23,14%	22,53%
	100	0,5	0,1	20,64%	19,37%	24,30%	21,97%	21,77%



Gambar 6. Perbandingan Data Aktual dan Prediksi GE biasa (General Replacement)



Gambar 7. Perbandingan Data Aktual dan Prediksi GE Biasa (Steady State)

Berdasarkan Tabel VII dan Tabel VIII dapat dilihat bahwa hasil skenario dengan penggunaan seleksi survivor *General Replacement* menunjukkan nilai best WMAPE testing sebesar 17,17% sehingga nilai performansi didapatkan 82,83% hasil ini diperoleh pada ukuran populasi 600 dan generasi 80 serta nilai Pc 0.4013 dan Pm 0.1455, sedangkan untuk hasil skenario dengan penggunaan seleksi survivor *Steady State*

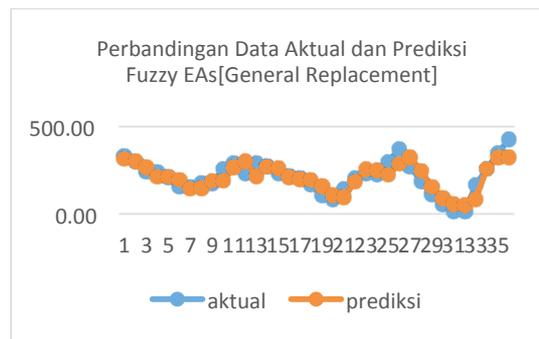
menunjukkan nilai performansi yang paling baik pada ukuran populasi 100 dan generasi 80 dan pada nilai Pc 0.6576 dan Pm 0.5986 yaitu dengan nilai best WMAPE testing sebesar 16,49% sehingga memiliki nilai performansi sebesar 83,51%.

TABEL VII. DATA HASIL PENGUJIAN MENGGUNAKAN FUZZY EAs[GENERAL REPLACEMENT]

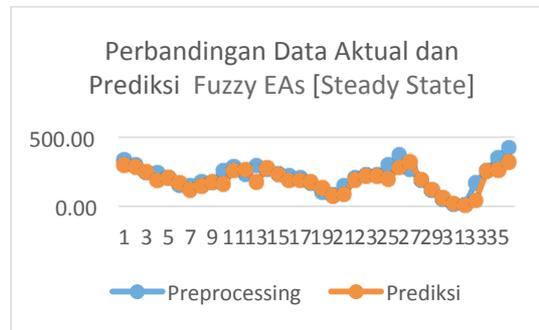
Uk pop	Uk gen	Pc	Pm	Terbaik WMAPE training	Terbaik WMAPE testing	Terburuk WMAPE training	Terburuk WMAPE testing	Best Average WMAPE
100	60	0.6601	0.6560	23,76%	20,96%	24,27%	22,04%	22,75%
	80	0.6576	0.5986	23,44%	21,30%	24,30%	22,97%	23,00%
	100	0.9035	0.3374	24,20%	21,08%	24,50%	23,00%	23,19%
300	60	0.1114	0.6601	21,39%	18,90%	23,54%	21,42%	21,31%
	80	0.6508	0.3491	21,06%	19,34%	22,24%	22,54%	21,29%
	100	0.8948	0.1108	18,91%	18,62%	22,81%	22,59%	20,73%
600	60	0.3371	0.1084	19,48%	18,72%	24,26%	21,61%	21,01%
	80	0.4013	0.1455	20,16%	17,17%	22,97%	21,64%	20,48%
	100	0.6626	0.1002	19,72%	20,30%	24,04%	22,48%	21,63%

TABEL VIII. DATA HASIL PENGUJIAN MENGGUNAKAN FUZZY EAs[STEADY STATE]

Uk pop	Uk gen	Pc	Pm	Terbaik WMAPE training	Terbaik WMAPE testing	Terburuk WMAPE training	Terburuk WMAPE testing	Best Average WMAPE
100	60	0.6601	0.6560	20,95%	18,46%	24,26%	21,61%	21,32%
	80	0.6576	0.5986	18,57%	16,49%	22,37%	20,38%	19,45%
	100	0.9035	0.3374	18,67%	17,48%	22,94%	21,30%	20,09%
300	60	0.1114	0.6601	19,13%	17,50%	22,42%	21,97%	20,25%
	80	0.6508	0.3491	19,17%	19,17%	23,74%	22,84%	21,23%
	100	0.8948	0.1108	19,23%	18,65%	22,34%	22,58%	20,70%
600	60	0.3371	0.1084	22,06%	18,34%	24,32%	21,02%	21,43%
	80	0.4013	0.1455	21,11%	18,41%	24,15%	22,21%	21,47%
	100	0.6626	0.1002	20,34%	19,01%	24,15%	22,51%	21,50%



Gambar 8. Perbandingan Data Aktual dan Prediksi Fuzzy EAs (General Replacement)



Gambar 9. Perbandingan Data Aktual dan Prediksi *Fuzzy EAs* (Steady State)

Keseluruhan skenario yang dilakukan, dan dari tiap-tiap data diperoleh fungsi prediksi terbaik untuk masing-masing seleksi survivor sebagai berikut,

TABEL IX. PARAMETER OBSERVASI DAN SKENARIO TERBAIK

Metode	Seleksi Survivor	Ukuran Populasi	Ukuran Generasi	PC	PM	Fungsi Prediksi Optimal
GE	General Replacement	300	60	0,5	0,1	$(x4 * 2) - (\cos(y2) * x3)$
	Steady State	600	60	0.5	0.1	$(( (x1 / \cos(\cos(x2))) - (0.2 + \cos(\sin(\sin(0.1/y1)))) + 0.4/0.4) - \sin(\sin(\cos(x3)))) / (x2 - (y2/0.3 / 0.4 / \sin(y2))) + x4$
Fuzzy EAs	General Replacement	600	80	0.4013	0.1455	$x4 + 0.4 * \cos(\sin((\sin(x2) + 0.5)) + 0.7) / 0.5$
	Steady State	100	80	0.6576	0.5986	$x4 * (\cos((0.8 * (0.4 - x3/x4))) / \cos(\cos((\cos(0.5) + x1) * x3) * \cos((x3 + x4))))$

Pada Tabel IX, menjelaskan bahwa variable  $x4$  yang merupakan curah hujan ke M merupakan variable yang paling mempengaruhi curah hujan bulan ke M+1. Hal ini disebabkan nilai curah hujan bulan berikutnya bisa diamati dengan bulan sebelumnya.

TABEL X. HASIL AKURASI PENGUJIAN SISTEM

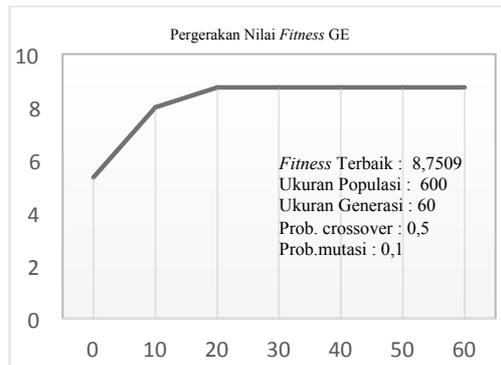
Algoritma	Seleksi Survivor	Performansi
GE	General Replacement	80,88%
	Steady Steate	81,66%.

Fuzzy EAs	General Replacement	82,83%
	Steady State	<b>83,51%.</b>

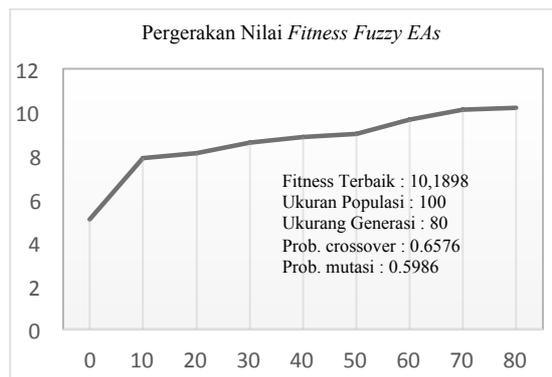
Pada Tabel X, nilai performansi yang paling tinggi didapat saat algoritma *Fuzzy EAs* dan pada metode seleksi *survivor Steady State* yaitu senilai 83,51 %. Aturan pembuatan kalender masa tanam berbasis curah hujan, yakni menggunakan hasil prediksi curah hujan yang memiliki performansi yang paling optimal, maka berdasarkan hal tersebut hasil prediksi curah hujan pada saat populasi 100 dan generasi 80 metode *Steady State Fuzzy EAs* dijadikan acuan pembuatan kalender masa tanam tanaman jagung.

*Analisis Perbandingan Performansi Algoritma Fuzzy EAs dengan GE*

Pada pengujian yang telah dilakukan, terlihat bahwa performansi Algoritma *Fuzzy EAs* lebih baik daripada Algoritma GE. Karena pada *Fuzzy EAs* menutupi kelemahan Algoritma GE yang sering mengalami konvergensi prematur dimana mengalami stagnansi dan tidak dapat memperoleh nilai *fitness* yang lebih baik lagi. Hal ini dapat dilihat pada grafik pergerakan nilai *fitness* berikut ini:



Gambar 10. Algoritma GE Mengalami Stagnansi pada Generasi ke-20an, dan Tidak Dapat Mencapai Nilai *Fitness* Lebih Tinggi Lagi Pada Generasi Berikutnya



Gambar 11. Algoritma *Fuzzy EAs* Mampu Menghindari Stagnansi pada Generasi ke-20an dan Mampu Mencapai Nilai *Fitness* yang Lebih Tinggi pada Generasi-Generasi Setelannya.

Pada GE nilai  $P_c$  dan  $P_m$  selalu sama, hal ini mengakibatkan tidak adanya perubahan pada proses rekombinasi dan mutasi, sehingga membuat peluang terjadinya proses rekombinasi dan mutasi selalu sama, sehingga tingkat variasi individu/kromosom menjadi kecil. Berbeda dengan *Fuzzy EAs* menggunakan logika *Fuzzy* pada setiap generasinya, sehingga proses rekombinasi dan mutasi menjadi proses utama dan dapat berubah-ubah di tiap generasinya. Pada grafik terlihat bahwa hampir disetiap sepuluh generasi *Fuzzy EAs* terjadi peningkatan nilai *fitness*.

#### Kalender Masa Tanam

Berdasarkan hasil prediksi curah hujan, performansi terbaik didapat saat menggunakan *learning Fuzzy Eas* (*Grammatical Evolution* dioptimasi *Fuzzy*) dan seleksi survivor *Steady State*, dengan WMAPE sebesar 16,49% atau nilai performansi learning 83,51%. Hasil peramalan curah hujan tersebut yang kemudian dijadikan acuan pembuatan kalender masa tanam Oktober 2014 sampai Oktober 2015. Pada penelitian ini, studi kasus tanaman yang diprediksi adalah tanaman jagung. Tanaman jagung membutuhkan intensitas curah hujan 85-200 mm/bulan dan distribusi hidup jagung 86-96 hari [2], dari karakteristik tersebut akan dibandingkan dengan hasil prediksi untuk memperlihatkan layak atau tidak untuk ditanam, berikut hasil prediksi kalender masa tanam berbasis curah hujan (Oktober 2014 – Oktober 2015):

TABEL XI. KELAYAKAN PENANAMAN JAGUNG TAHUN 2015

Bulan	Data Asli BMKG		Data Peramalan	
	Curah Hujan (milimeter)	Kelayakan	Curah Hujan (milimeter)	Kelayakan
Oct-14	65	Tidak	190	Ya
Nov-14	297	Tidak	219	Tidak
Dec-14	316	Tidak	215	Tidak
Jan-15	233.5	Tidak	198	Ya
Feb-15	170	Ya	193	Ya
Mar-15	425.5	Tidak	323	Tidak
Apr-15	514.6	Tidak	280	Tidak
May-15	35.2	Tidak	123	Ya
Jun-15	22	Tidak	61	Tidak
Jul-15	5.5	Tidak	22	Tidak
Aug-15	20	Tidak	6	Tidak
Sep-15	5.5	Tidak	43	Tidak
Oct-15	21	Tidak	253	Tidak

Terdapat perbedaan kelayakan tanam tiga bulan antara data aktual dengan data peramalan yaitu pada bulan Oktober 2014, Januari 2015 dan Mei 2015. Oleh sebab itu diperoleh *error* kalender tanam dengan data asli BMKG sebesar 23.07% dengan performansi sebesar 76.93%.

Pada hasil yang didapatkan, curah hujan yang sesuai dengan karakteristik tanaman jagung dan layak untuk ditanam adalah pada bulan Oktober 2014, Januari 2015, Februari 2015, dan Mei 2015. Namun, berdasarkan hasil tersebut bulan yang layak untuk penanaman jagung setelah dicocokkan dengan distribusi hidup jagung, dimana distribusi hidup jagung dari awal masa tanam sampai siap untuk dipanen sekitar (86-96 hari) atau (2,5-

3 bulan) adalah bulan Januari 2015 sampai Februari 2015 dengan catatan untuk memasuki bulan ketiga, perlunya pengurangan intensitas air dengan memberi perlindungan terhadap tanaman saat hujan.



Gambar 12. Keluaran Kalender Masa Tanam di Program Java

Berdasarkan dari hasil parameter observasi terbaik yang diperoleh, maka dapat digunakan dalam peramalan curah hujan M+1 yaitu pada tahun 2016. Berikut merupakan hasil peramalan curah hujan di tahun 2016:

TABEL XII. HASIL PERAMALAN CURAH HUJAN TAHUN 2016

Bulan	Curah Hujan (mm)
Jan-16	248
Feb-16	322
Mar-16	322
Apr-16	241
May-16	132
Jun-16	78
Jul-16	27
Aug-16	6
Sep-16	18
Oct-16	320
Nov-16	322
Dec-16	322

Berdasarkan Tabel XII, peneliti dapat memberikan garansi *error* peramalan terhadap data asli BMKG tidak lebih dari 23.07 %. Hasil tersebut juga dapat digunakan sebagai acuan dalam pembuatan kalender masa tanam tahun berbasis curah hujan tahun 2016.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian yang telah dilakukan, Implementasi *Weighted Moving Average* mampu memberikan interpolasi data yang lebih halus untuk dipakai pada proses evolusi *Fuzzy EAs* sehingga peramalan kalender masa tanam berbasis curah hujan menggunakan algoritma *Fuzzy EAs* menghasilkan performansi yang baik dan dapat dikatakan layak dalam peramalan kalender masa tanam sebesar 76,93 %. Algoritma *Fuzzy EAs* menunjukkan performa yang lebih bagus dari pada EAS (GE) biasa hal ini terbukti dari hasil-pencapaian nilai *fitness* maksimum dari hasil pengujian. Pada proses evolusi EAs seleksi *survivor* dengan metode *Steady State* lebih memberikan hasil performansi yang besar, hal ini dikarenakan *Steady State* separuh individu

terbaik pada generasi sebelumnya masih dimasukkan ke generasi berikutnya. Pada penelitian ini curah hujan menjadi satu-satunya acuan dalam pembuatan kalender masa tanam, sebaiknya ditambah dengan variabel lain yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman (kelembaban, kecepatan angin dll) agar hasil prediksi semakin akurat.

#### REFERENCES

- [1] Anshari, S.A.: Perancangan Prediktor Cuaca Maritim Berbasis Logika Fuzzy Menggunakan User Interface Android. *Jurnal Teknis Pomits* 2(2), pp. 2337-3539, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya (2013).
- [2] Suyanto. (2008). *Soft Computing "Membangun Mesin Ber-IQ Tinggi"*, Bandung: INFORMATIKA.
- [3] Suyanto. (2008). *Evolutionary Computation "Komputasi Berbasis Evolusi dan Genetika"*, Bandung: INFORMATIKA.
- [4] Syafuan, Suyanto.: Prediksi Churn Terhadap Data Pelanggan Pada Operator Telekomunikasi Menggunakan Fuzzy Evolutionary Algorithm (Fuzzy EA). *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi* 12, pp. 36-40, STTTelkom, Bandung (2007).
- [5] Nhita, F., Adiwijaya, Wisesty, U.N., Ummah I.: Planting Calendar Forecasting System Using Evolving Neural Network. *Far East Journal of Electronics and Communications* 14(2), pp. 81-92, Pushpa Publishing House, Allahabad (2015).
- [6] Spyros Makridakis, Steven Wheelwright (1987). *Forecasting "Methods and Applications"* (3rd ed.) newyork: Prentice Hall.
- [7] Nhita, F.; Adiwijaya, "A rainfall forecasting using fuzzy system based on genetic algorithm," in *Information and Communication Technology (ICoICT), 2013 International Conference of*, vol., no., pp.111-115, 20-22 March 2013
- [8] Muzid, S (2008). *Pemanfaatan Algoritma Fuzzy Evolusi untuk Penyelesaian Kasus Travelling Salesman Problem*. Tugas Akhir. Program Sarjana Institut Teknologi Telkom, Bandung.
- [9] Muhammad Fachri, Sri Widowati, Ahmad Tri Hanuranto (2012). *Implementasi Fuzzy Evolutionary Algorithm Untuk Penentuan Posisi Base Transceiver Station (BTS)*. Laporan Tugas Akhir. Program Sarjana Institut Teknologi Telkom, Bandung.