

Optimasi *Fuzzy Inference System* Mamdani Menggunakan Algoritme Genetika untuk Menentukan Lama Waktu Siram pada Tanaman Strawberry

Agung Nurjaya Megantara¹, Budi Darma Setiawan², Randy Cahya Wihandika³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹agungnurjayamegantara@gmail.com, ²budidarma@ub.ac.id, ³rendicahya@ub.ac.id

Abstrak

Tanah merupakan komponen yang penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Berbagai parameter digunakan untuk melakukan pengujian terhadap tanah, salah satunya adalah kelembapan tanah. Laboratorium Benih Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Timur adalah salah satu unit kerja yang memiliki tugas dalam melakukan pengkajian tanah untuk pembibitan tanaman. Namun dalam melakukan pengujian terhadap tanah, seringkali kelembapan tanah belum sesuai dengan hasil penelitian ketika diterapkan di lapangan karena alat yang digunakan dalam menyiram tanah untuk pembibitan tanaman masih sederhana dan belum dapat bekerja secara otomatis. Atas dasar permasalahan tersebut penulis melakukan penelitian untuk membuat komputasi cerdas yang nantinya bisa diterapkan pada sebuah alat yang dapat bekerja secara otomatis untuk menjaga kelembapan tanah. Pada penelitian ini metode *Fuzzy Inference System* Mamdani digunakan untuk menghitung lama waktu siram tanaman dengan dua variabel masukan yaitu kelembapan awal dan volume air. Untuk mendapatkan fungsi keanggotaan yang optimal digunakan metode algoritme genetika dengan mengoptimasi batas setiap fungsi keanggotaan. Hasil penelitian dapat menampilkan lama waktu siram terbaik. Dari hasil pengujian diperoleh nilai eror dari metode Mamdani sebesar 2,516651 perhitungan setelah dioptimasi memiliki nilai error yang lebih kecil daripada perhitungan sebelum dioptimasi yaitu sebesar 0,000121. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode *Fuzzy Inference System* Mamdani yang telah dioptimasi dengan algoritme genetika dapat diterapkan dalam menentukan lama waktu siram pada tanaman dan bisa mendapatkan hasil yang baik.

Kata kunci: Tanaman, fuzzy inference system, Mamdani, algoritme genetika, optimasi

Abstract

Soil is a crucial component for plant growth. There are many parameters that used for soil examination, and one of its parameter is soil's dampness. Soil Laboratory Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Timur is one of the work units that has a duty to examine the soil for plant nursery purpose. However, due to the conventional tools that they used sometimes the examination result is not as accurate as they expected. Because of that problem the author did some research to make a smart computing system that can be implemented on a tool that can maintain the soil's dampness automatically. Fuzzy Inference System Mamdani is used to calculate how long does it take to water the plants by using two variable inputs; initial dampness and water volume. Genetic algorithm is used to get an optimal membership function by optimizing the boundaries of each membership function. The output of this research will display the optimal time to water the plants. From the examination result we got an error value for about 2,516651, but after optimization the number is reduced to 0,000121. With that result we can conclude that using Fuzzy Inference System Mamdani and optimized with genetic algorithm is able to calculate how much time that it takes to water the plants and still able to get a good outcome.

Keywords: Plants, fuzzy inference system, Mamdani, genetic algorithm, optimization

1. PENDAHULUAN

Berbagai parameter digunakan untuk melakukan pengujian terhadap tanah. Salah satu

parameter yang diuji oleh Laboratorium Tanah BPTP Jatim adalah kelembapan tanah yaitu kadar air yang terkandung didalamnya. Dalam melakukan pengujian terhadap tanah,

laboratorium tanah BPTP Jatim menggunakan alat untuk mengukur kelembapan tanah sehingga menghasilkan data yang ideal. Namun alat yang digunakan untuk penerapan hasil penelitian kelembapan di lapangan masih sangat sederhana. Salah satu alat sederhana yang digunakan ketika melakukan penyiraman untuk menghasilkan kelembapan tanah yang ideal adalah serangkaian alat yang berbentuk paku dan dialiri air. Hal ini menjadi permasalahan dikarenakan alat belum bekerja secara otomatis, sehingga kelembapan tanah belum sesuai dengan hasil penelitian ketika diterapkan di lapangan. Maka dari itu dibutuhkan alat yang dapat menjaga kelembapan tanah secara otomatis sesuai dengan hasil penelitian BPTP Jatim. Sehingga petani juga dapat menerapkan alat tersebut pada lahan mereka.

Berdasarkan permasalahan diatas, peneliti ingin membuat komputasi cerdas yang nantinya dapat diterapkan pada seperangkat alat yang dapat bekerja secara otomatis agar dapat membantu BPTP Jatim dalam menerapkan hasil penelitian di lapangan. Kemudian alat tersebut akan menghasilkan luaran berupa penyiraman air pada lahan berdasarkan waktu dengan variabel masukkan kelembapan tanah dan volume air.

Untuk membuat komputasi cerdas tersebut dibutuhkan sebuah metode yang dapat mengoptimalkan waktu dengan kondisi yang tidak memungkinkan. Selain itu pula dibutuhkan sebuah metode untuk mengatasi ketika terjadi kesamaran pada parameter disekitar kondisi tanah, sehingga dapat digunakan untuk menentukan lama waktu siram berdasarkan masukan kelembapan tanah dan volume air. Metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah *Fuzzy Inference System Mamdani*. Menurut Hidayat, Putri dan Mahmudy (2014) metode *Fuzzy Inference System Mamdani* cocok digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ketidakpastian dikarenakan logika *fuzzy* memiliki karakteristik dan keunggulan dalam menangani masalah tersebut.

Fuzzy Inference System Mamdani ini sering digunakan untuk membangun sistem yang penalarannya menyerupai intuisi atau perasaan manusia. Jadi, penggunaan model Mamdani dapat merepresentasikan dugaan manusia contoh mengenai pergerakan harga minyak kelapa sawit. Pada metode *fuzzy*, pendefinisian fungsi keanggotaan yang optimal berbeda untuk masing-masing studi kasus. Pada sebagian

masalah, di mana terdapat seorang ahli yang sangat memahami tingkah laku variabel-variabel yang ada, maka pendefinisian fungsi keanggotaan dan aturan *fuzzy* bisa dilakukan dengan mudah dan cepat. Namun pada kasus ini, tidak ditemukan ahli yang sangat memahami variabel-variabel yang ada, maka harus ditentukan terlebih dahulu fungsi keanggotaan yang tepat melalui sebuah metode agar variabel output yang didapat optimal.

Untuk mendapatkan fungsi keanggotaan yang optimal maka digunakan Algoritme Genetika untuk mengoptimasi batas setiap fungsi keanggotaan. Selain itu juga bisa jadi hasil perhitungan yang didapat dari metode *Fuzzy Inference System Mamdani* tersebut memiliki akurasi yang kurang baik. Maka dibutuhkan algoritme genetika untuk mengoptimasi batasan tersebut. Karena algoritme genetika dapat menyelesaikan permasalahan yang kompleks sehingga batasan yang didapat menjadi solusi paling optimal (Mahmudy, Marian dan Luong, 2013a).

2. KELEMBABAN TANAH

Lengas tanah atau kelembapan tanah merupakan air yang terikat pada permukaan butir-butir tanah. Penyerapan air oleh perakaran bergantung pada ketersediaan kelembapan air dalam tanah. Kapasitas penyimpanan tanah tergantung pada tekstur, kedalaman dan struktur tanah. Adanya kelembapan dipengaruhi oleh potensial air, distribusi akar dan suhu. Kelembapan tanah sangat penting karena dapat menentukan keberhasilan budidaya tanaman oleh para petani karena dengan adanya kelembapan tanah maka proses penyerapan unsur hara dan respirasi pada tanaman dapat terjadi.

3. VOLUME AIR

Air merupakan hal yang sangat penting bagi tanaman. Fungsi air bagi tanaman dalam fase pertumbuhan dan perkembangannya yaitu :

- Air pada tanaman merupakan bahan penyusun utama dari protoplasma.
- Volume air yang tinggi membuat aktivitas fisiologis pada tumbuhan menjadi tinggi sedangkan volume air yang rendah membuat aktivitas fisiologis tumbuhan menjadi rendah.
- Air merupakan salah satu komponen utama untuk proses fotosintesis pada tanaman.

- d. Air merupakan pelarut bagi bahan-bahan kimia yang ada.
- e. Air digunakan untuk tanaman melakukan proses pertumbuhan.
- f. Secara tidak langsung air juga dapat menjaga suhu pada tanaman.

Persediaan air dalam tanah merupakan suatu bentuk dari kelembapan air yang dipengaruhi oleh curah hujan atau besarnya volume siraman yang diberikan pada tanah. Tujuan dari pemberian air terhadap tanah antara lain untuk menjaga dan meningkatkan kelembapan tanah agar tetap optimal. Akibat dari kekurangan air bagi tanah dapat menyebabkan terganggunya aktivitas fisiologi dan morfologis sehingga berdampak pada pertumbuhan tanaman yang ada. Kekurangan volume air pada tanah dapat pula berdampak kematian pada tanaman.

4. LOGIKA FUZZY

Konsep logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Profesor Lotfi A. Zadeh dari Universitas California tahun 1965, seorang guru besar di University of California, Berkeley, Amerika Serikat. Tujuan Profesor Lotfi A. Zadeh mengembangkan logika fuzzy karena ada beberapa permasalahan-permasalahan yang tidak dapat direpresentasikan menggunakan metode konvensional sehingga dapat diselesaikan oleh logika fuzzy (Karray & Silva, 2004).

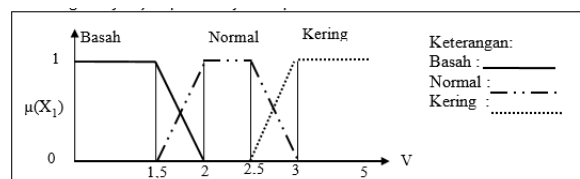
4.1. Himpunan Fuzzy

Menurut kusumadewi dan Purnomo (2004) dalam suatu himpunan tegas (*crisp*), nilai keanggotaan dapat ditulis dengan $\mu_A[x]$ artinya nilai keanggotaan objek x dalam himpunan A dan memiliki 2 kemungkinan, yaitu

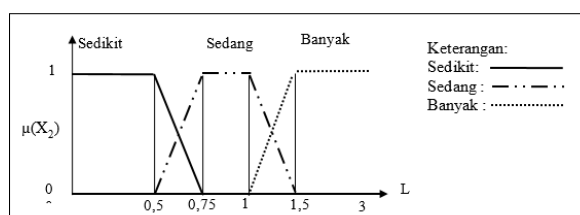
- Jika bernilai satu (1) maka item tersebut merupakan anggota dari himpunan.
- Jika bernilai nol (0) maka item tersebut bukan merupakan anggota dari himpunan.

Dalam penelitian ini memiliki 3 himpunan *fuzzy* yaitu himpunan kelembapan tanah, himpunan volume air, dan himpunan lama waktu siram. Pada himpunan kelembapan tanah akan dibagi menjadi 3 kriteria yaitu kriteria kelembapan basah, sedang, dan kering. Himpunan volume air akan dibagi menjadi 3 kriteria juga yaitu volume air sedikit, sedang dan banyak. Dan pada himpunan lama waktu siram

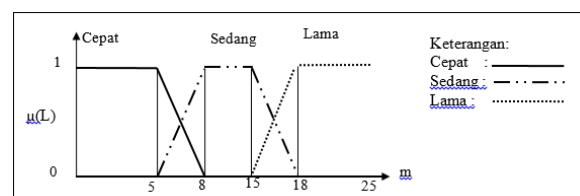
akan dibagi menjadi 3 kriteria yaitu lama waktu siram cepat, sedang, dan lama. Sehingga dapat himpunan *fuzzy* dapat digambarkan pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.



Gambar 1. Grafik himpunan *fuzzy* kelembapan



Gambar 2. Grafik himpunan *fuzzy* volume air



Gambar 3. Grafik himpunan *fuzzy* lama waktu siram

4.2. Fuzzy Inference System Mamdani

Metode Max-Min merupakan nama lain dari metode *Fuzzy Inference System* Mamdani atau dikenal juga sebagai metode Mamdani yang pada tahun 1975 diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani (Alavi, 2013). Untuk melakukan proses metode Mamdani sehingga didapatkan *output* terdiri dari beberapa tahapan, antara lain:

1. Pembentukan himpunan *fuzzy*.

Menurut Mohammad et al., (2015) *input* dan *output* variable pada metode Mamdani dapat dibagi menjadi beberapa kriteria pada himpunan *fuzzy*.

2. Aplikasi fungsi implikasi

Pada Metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min. Fungsi implikasi ini akan digunakan dalam pencarian nilai terkecil derajat keanggotaan pada setiap aturan yang telah dibuat. Untuk pembuatan aturan dilakukan dengan cara mengkonversi data latih kedalam himpunan *fuzzy* yang telah dibentuk sebelumnya. Bagi aturan yang sama hanya akan diambil satu aturan saja. Sehingga terbentuk 13 aturan yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Aturan Terbentuk dari Konversi Data Latih

No	Linguistic Input		Linguistic Output
	Kelembaban	Volume Air	Lama Waktu Siram
1	kering	sedang	sedang
2	kering	banyak	sedang
3	kering	banyak	lama
4	basah	sedikit	cepat
5	basah	sedikit	sedang
6	sedang	sedikit	cepat
7	sedang	sedikit	sedang
8	kering	sedikit	sedang
9	kering	sedang	lama
10	sedang	sedang	sedang
11	sedang	sedikit	lama
12	kering	sedikit	lama
13	sedang	sedang	lama

3. Komposisi aturan

Metode yang dapat digunakan dalam melakukan proses komposisi aturan pada *inference system fuzzy* yaitu metode *max*. Metode *Max* akan bekerja dengan cara mengambil nilai maksimum dari aturan yang memiliki kriteria sama pada variabel *output*. Sehingga nilai yang telah didapatkan berfungsi untuk mengambil kesimpulan baru dari daerah *output* pada himpunan *fuzzy*. Metode *Max* dapat dituliskan dalam Persamaan 1:

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i]) \quad (1)$$

dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai maksimum hasil *output* hingga aturan ke-i.

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai derajat keanggotaan variabel *input* hingga aturan ke-i.

4. Penegasan (defuzzifikasi)

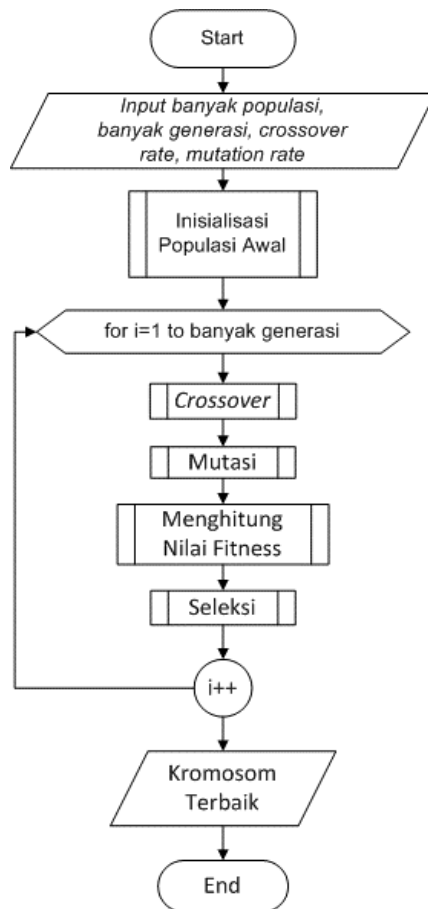
Menurut Tosun, Dincer & Baskaya (2011) penegasan atau defuzzifikasi merupakan tahap akhir dalam perhitungan menggunakan metode Mamdani, dimana pada proses defuzzifikasi ini akan dihasilkan *output* nilai dari daerah kesimpulan baru yang telah terbentuk hasil proses komposisi aturan. Penelitian ini menggunakan metode *centroid* dalam melakukan proses defuzzifikasi.

Metode *centroid* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk melakukan proses defuzzifikasi. Hasil solusi menggunakan metode *centroid* didapatkan dari hasil jumlah momen dibagi dengan jumlah luas pada daerah baru

yang terbentuk. Metode *centroid* atau metode pusat gravitasi dikembangkan oleh Sugeno pada tahun 1985 (Naaz, Alam, & Biswas, 2011). Dan menurut Naaz *et al* ketika fungsi keanggotaan kompleks maka akan sulit melakukan komputasi metode *centroid*.

5. ALGORITME GENETIKA

Algoritme genetika adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi. Contoh sederhana algoritme genetika pada permasalahan sehari-hari yaitu adalah masalah penjadwalan. Masalah penjadwalan ini seperti menentukan jadwal mengajar guru dalam satu sekolah. Masalahnya karena ruang kelas yang banyak dan jumlah guru yang banyak pula bagaimana menyesuaikan pembagian jadwal mengajar pada setiap kelas, dengan kondisi tidak boleh ada guru yang mengajar pada 2 kelas sekaligus dalam waktu yang bersamaan. Tentunya akan dihasilkan banyak kombinasi untuk mengatasi permasalahan tersebut sehingga didapatkan solusi yang paling optimal. Begitu juga dengan algoritme genetika dapat menyelesaikan permasalahan kompleks seperti pembagian jadwal mengajar seorang guru dengan solusi optimal (Mahmudy, Marian dan Luong, 2013a). Algoritme genetika akan diterapkan pada proses optimasi fungsi keanggotaan yang telah dijelaskan dipembahasan 4.1. Berikut diagram alir proses pada Gambar 4 mengenai penerapan metode dalam menyelesaikan permasalahan optimasi *Fuzzy Inference System* Mamdani menggunakan Algoritme Genetika untuk menentukan lama waktu siram pada tanaman *strawberry*.



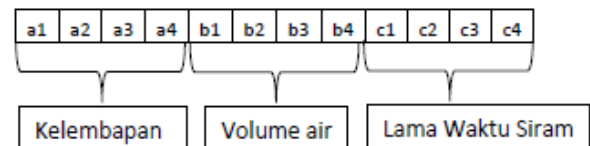
Gambar 4. Diagram Alir Algoritme Genetika

Dalam menyelesaikan masalah menentukan lama waktu siram menggunakan algoritme genetika ini, memerlukan beberapa tahap diantaranya adalah menentukan ukuran populasi, banyaknya generasi yang diinginkan, peluang *crossover* dan peluang mutasi. Apabila *offspring* yang dihasilkan sudah memenuhi ukuran *offspring* yang diinginkan maka akan dilanjutkan dengan perhitungan *fitness* dari masing-masing individu yang terbentuk termasuk individu *offspring*, sebaliknya apabila tidak memenuhi maka akan kembali dilakukan proses *crossover* dan mutasi hingga memenuhi ukuran *offspring*. Selanjutnya adalah melakukan tahapan seleksi. Pada penelitian ini, proses seleksi yang digunakan adalah *elitism selection*. Siklus yang dijelaskan pada Gambar 4 akan terus berulang hingga tercapainya ukuran banyak generasi yang diinginkan.

5.1. Inisialisasi Populasi Awal

Pada tahapan inisialisasi populasi awal, sebelumnya akan dijelaskan terlebih dahulu mengenai proses representasi kromosom. Representasi kromosom yang digunakan untuk

menentukan lama waktu siram pada tanaman *strawberry* adalah bilangan real, sehingga representasi kromosom yang digunakan yaitu *real-coded* (pengkodean real). Kromosom dibentuk dari batasan nilai interval pada setiap himpunan *fuzzy* yang telah dibentuk. Terdapat 12 gen pada satu kromosom, dimana setiap gen mewakili setiap batasan himpunan *fuzzy*. Representasi kromosom dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Representasi Kromosom

Nilai gen pada kromosom akan dibangkitkan secara acak dengan interval 0-1000. Setelah pembangkitan nilai acak akan dilakukan konversi kedalam interval batasan fungsi keanggotaan. Untuk melakukan konversi dapat dilihat pada Persamaan 2.

$$G = \frac{gen}{1000} x (maks - min) + min \quad (2)$$

Setelah proses konversi maka nilai gen akan diurutkan dari terkecil ke terbesar dalam setiap batasan himpunan *fuzzy*. Kromosom dengan nilai gen yang telah diurutkan dapat dilihat pada Gambar 6.

0,15	2,775	3,18	4,535	0,273	0,42	0,978	2,043	2,875	14,6	18,225	21,775
------	-------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	------	--------	--------

Gambar 6. Kromosom Terurut

5.2. Crossover

Proses *crossover* adalah memilih dua buah individu yang dipilih secara acak. Setelah memilih individu secara acak, dilakukan penjumlahan setiap gen dengan hasil perkalian α yang memiliki interval $[-0,25; 1,25]$ dan selisih antara gen pada individu 1 dan individu 2 ataupun sebaliknya. Pada permasalahan penelitian ini *crossover* yang digunakan adalah metode *Extended Intermediate Crossover*. Sehingga persamaan dapat ditulis dalam Persamaan 3, Persamaan 4, Persamaan 5.

$$offspring = pc \times popSize \quad (3)$$

$$C_1 = P_1 + \alpha(P_2 - P_1) \quad (4)$$

$$C_2 = P_2 + \alpha(P_1 - P_2) \quad (5)$$

Keterangan:

C_1 = *Offspring* yang dihasilkan dari individu pertama.

C_2 = *Offspring* yang dihasilkan dari individu kedua.

P_1 = Nilai gen pada individu pertama.

P_2 = Nilai gen individu kedua.

α = Nilai acak interval $[-0,25;1,25]$.

5.3. Mutasi

Menurut Mahmudy (2015) mutasi digunakan untuk menjaga keragaman populasi tetapi hanya sebagai operator tambahan saja. Pada satu kali proses mutasi akan dihasilkan satu *offspring*. Pada penelitian ini metode yang akan digunakan untuk melakukan proses mutasi adalah metode *random mutation*. Metode *random mutation* ini sering digunakan untuk representasi kromosom *real code*. Rumus untuk *random mutation* pada Persamaan 6.

$$x_i' = x_i + r(\max_i - \min_i) \quad (6)$$

Keterangan:

x_i' = nilai gen terpilih yang baru.

r = nilai acak antara -0.1 sampai dengan 0.1.

$\max_i$ = nilai maksimum dari gen variable x_i .

$\min_i$ = nilai minimum dari gen variable x_i .

5.4. Menghitung Nilai Fitness

Dalam menyelesaikan permasalahan dalam menghitung lama waktu siram tanaman ini menggunakan *fuzzy Mamdani* dilakukan untuk menghitung nilai *fitness* dengan dimulai pembentukan himpunan *fuzzy* terlebih dahulu.

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara menghitung nilai *centroid* (nilai Z) pada daerah *fuzzy*. Di mana dari nilai Z ini dapat ditentukan kelas dari data yang telah diproses tadi. Setelah nilai Z didapatkan akan dihitung nilai *error* menggunakan RMSE. Dimana nilai *error* ini akan didapat dari selisih data lama waktu siram dengan nilai Z hasil proses *fuzzy*. Kemudian nilai *error* akan digunakan dalam perhitungan nilai *fitness* nantinya. Sehingga persamaan fungsi *fitness* dapat ditulis dalam Persamaan 7.

$$Fitness = \frac{1}{RMSE+1} \quad (7)$$

5.5. Seleksi

Proses seleksi adalah proses memilih suatu individu sebanyak ukuran populasi dari kumpulan populasi yang ada dan *offspring* yang telah didapatkan dari proses *crossover* dan mutasi untuk tetap bertahan hidup untuk proses genetik pada generasi selanjutnya. Salah satu

metode untuk melakukan seleksi adalah metode *elitism*. Cara kerja metode *elitism* adalah mengurutkan setiap individu berdasarkan nilai *fitness* tertinggi lalu akan diambil individu dengan nilai *fitness* tertinggi sejumlah populasi (Mahmudy, 2015).

6. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis yaitu melakukan pengujian terhadap parameter algoritme genetika dalam melakukan optimasi. Selain itu juga dilakukan untuk mencari akurasi sistem setelah diimplementasikan kedalam kode program. Adapun skenario dalam melakukan pengujian metode dan sistem yaitu:

1. Pengujian ukuran populasi.
2. Pengujian kombinasi *crossover rate* (cr) dan *mutation rate* (mr).
3. Pengujian jumlah generasi.
4. Pengujian tingkat nilai eror.

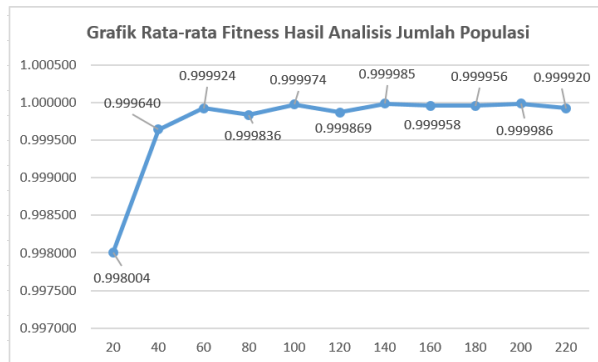
6.1. Pengujian dan Analisis Ukuran Populasi

Pengujian populasi bertujuan untuk mendapatkan ukuran populasi dengan nilai *fitness* terbaiknya. Pengujian populasi akan dilakukan sebanyak lima kali percobaan dengan ukuran populasi 20 sampai dengan 220 dengan kelipatan 20. Selain itu ada beberapa parameter lain sebagai masukan untuk mengukur populasi yaitu generasi, *crossover rate*, dan *mutation rate*. Pada masukan generasi akan diberi nilai 500, Cr bernilai 0,5 dan Mr bernilai 0,5. Angka tersebut akan digunakan untuk mengukur semua ukuran populasi. Sehingga hasil pengujian ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Ukuran Populasi

Banyak Populasi	Nilai Fitness Percobaan Ke-				Rata-rata <i>fitness</i>
	1	2	.....	5	
20	0,999591	0,999304	.....	0,998332	0,998004
40	0,999708	0,999862	.....	0,999056	0,99964
60	0,999977	0,999972	.....	0,999972	0,999924
80	0,999773	0,99975	.....	0,999739	0,999836
100	0,999931	0,999998	.....	0,999944	0,999974
120	0,999999	0,999742	.....	0,99987	0,999869
140	0,999993	0,999991	.....	0,999952	0,999985

160	0,999952	0,999991	.....	0,999959	0,999958
180	0,999943	0,999913	.....	0,999963	0,999956
200	0,999982	0,999999	.....	0,999984	0,999986



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Ukuran Populasi

Dari hasil pengujian pada Tabel 2 dan Gambar 7 dapat dilihat rata-rata nilai *fitness* terbaik terdapat pada ukuran populasi 200 dengan nilai *fitness* sebesar 0,999986. Sedangkan rata-rata nilai *fitness* terkecil terdapat pada ukuran populasi 20 dengan nilai *fitness* sebesar 0,998004. Maka dapat disimpulkan dari hasil pengujian ukuran populasi semakin besar ukuran populasi kemungkinan mendapat kromosom terbaik dan semakin optimal dengan nilai *fitness* yang tinggi. Namun ukuran populasi yang semakin besar akan juga dapat mengakibatkan waktu komputasi dari sistem semakin lama. Semakin besar nilai populasi juga belum tentu mendapatkan kromosom yang semakin optimal dikarenakan tidak terlalu banyak peningkatan bahkan bisa saja menurun.

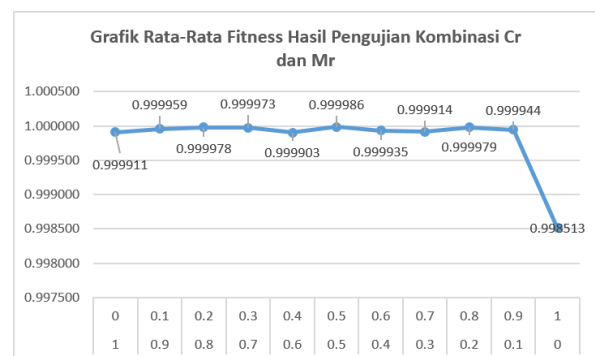
6.2. Pengujian dan Analisis Kombinasi Crossover Rate dan Mutation Rate

Pengujian kombinasi *crossover rate* dan *mutation rate* bertujuan untuk mendapatkan kombinasi *crossover rate* dan *mutation rate* yang optimal dengan nilai *fitness* terbaik. Pengujian kombinasi *crossover rate* dan *mutation rate* akan dilakukan sebanyak lima kali percobaan. Pengujian kombinasi *crossover rate* *input* nilai akan dimulai 0 hingga 1 dan *mutation rate* mulai 1 hingga 0 dengan masing-masing interval 0,1. Selain itu ada beberapa parameter lain sebagai masukkan untuk mengukur kombinasi *crossover rate* dan *mutation rate* yaitu populasi terbaik hasil pengujian pada Tabel 2, dan generasi yang sama ketika menguji ukuran populasi. Pada masukkan populasi telah didapatkan populasi terbaik yaitu 200,

sedangkan pada generasi akan tetap bernilai 500. Angka tersebut akan digunakan untuk mengukur semua kombinasi dari *crossover rate* dan *mutation rate*. Sehingga hasil pengujian kombinasi *crossover rate* dan *mutation rate* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kombinasi Cr dan Mr

Banyak Populasi	Nilai Fitness Percobaan Ke-				Rata-rata <i>fitness</i>
	1	2	.....	5	
20	0,999591	0,999304	.....	0,998332	0,998004
40	0,999708	0,999862	.....	0,999056	0,99964
60	0,999977	0,999972	.....	0,999972	0,999924
80	0,999773	0,99975	.....	0,999739	0,999836
100	0,999931	0,999998	.....	0,999944	0,999974
120	0,999999	0,999742	.....	0,99987	0,999869
140	0,999993	0,999991	.....	0,999952	0,999985
160	0,999952	0,999991	.....	0,999959	0,999958
180	0,999943	0,999913	.....	0,999963	0,999956
200	0,999982	0,999999	.....	0,999984	0,999986



Gambar 8. Grafik Pengujian Kombinasi cr dan mr

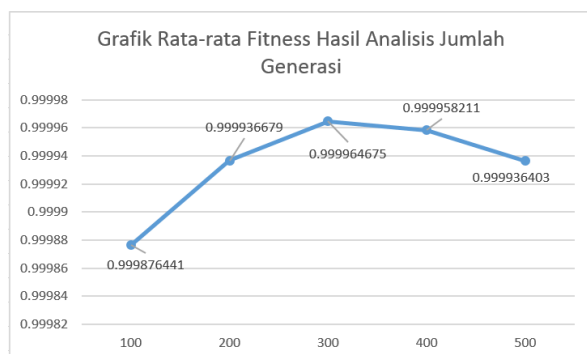
Dari hasil pengujian pada Tabel 3 dan Gambar 8 dapat dilihat rata-rata nilai *fitness* terbaik terdapat pada kombinasi cr 0,5 dan mr 0,5 dengan nilai *fitness* sebesar 0,999986. Sedangkan rata-rata nilai *fitness* terkecil terdapat pada kombinasi cr 0 dan mr 1 dengan nilai *fitness* sebesar 0,998513. Pada Gambar 8 terjadi kenaikan dan penurunan nilai *fitness* bisa saja diakibatkan oleh pembangkitan nilai secara acak pada setiap kali proses algoritme genetika. Maka dapat disimpulkan dari hasil pengujian kombinasi *crossover rate* dan *mutation rate* sangat mempengaruhi nilai *fitness* pada setiap kali percobaan. Kombinasi cr dan mr yang semakin seimbang akan menghasilkan nilai *fitness* yang semakin tinggi.

6.3. Pengujian dan Analisis Ukuran Generasi

Pengujian generasi bertujuan untuk mendapatkan jumlah generasi dengan nilai *fitness* terbaiknya. Pengujian generasi akan dilakukan sebanyak lima kali percobaan dengan generasi 100 hingga 500 interval 100. Selain itu ada beberapa parameter lain sebagai masukan untuk mengukur generasi yaitu populasi terbaik hasil pengujian sebelumnya, *crossover rate*, dan *mutation rate*. Pada masukan populasi telah didapatkan populasi terbaik sebesar 140, Cr bernilai 0,5 dan Mr bernilai 0,5. Angka tersebut akan digunakan untuk mengukur semua generasi. Sehingga hasil pengujian ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Ukuran Generasi

Banyak Generasi	Nilai Fitness Percobaan Ke-				Rata-rata <i>fitness</i>
	1	2	.....	5	
100	0,999863	0,999999	.....	0,999733	0,999876
200	0,999969	0,999952	.....	0,999976	0,999937
300	0,999977	0,999898	.....	0,999979	0,999965
400	0,999993	0,999803	.....	0,999999	0,999958
500	0,999954	0,999997	.....	0,999927	0,999936



Gambar 9. Grafik Hasil Pengujian Ukuran Generasi

Gambar 9 menampilkan grafik rata-rata *fitness* hasil analisis jumlah generasi yang telah dilakukan. Pola yang didapatkan pada pengujian jumlah generasi cenderung naik pada rentang 100 hingga 300 generasi kemudian pada generasi 400 hingga 500 terjadi penurunan. Hal ini dapat diakibatkan karena proses algoritme genetika sudah mencapai solusi optimalnya pada generasi 300 sehingga grafik cenderung konvergen atau menurun. Dari grafik pada Gambar 9 dapat diketahui bahwa perubahan pada jumlah populasi sangat berpengaruh

terhadap besarnya *fitness* yang tercapai. Generasi dengan *fitness* yang paling kecil dihasilkan oleh angka 100 generasi, *fitness* yang kecil dipengaruhi oleh jumlah generasi yang kecil juga karena area pencarian yang dilakukan oleh algoritme genetika masih tergolong sempit. Hal ini didukung dengan hasil percobaan pada generasi antara 200 hingga 300 yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai *fitness*. Nilai *fitness* tertinggi yaitu 0,999964675 didapatkan pada percobaan dengan generasi sebesar 300.

Dari percobaan jumlah generasi dapat disimpulkan bahwa peningkatan jumlah generasi seiring dengan peningkatan jumlah *fitness*. Namun pada titik tertentu mengalami penurunan karena area pencarian sudah menjauhi area optimal. Selain itu jumlah generasi yang terlalu besar memerlukan waktu pencarian yang lebih panjang dan tidak menjamin solusi yang dihasilkan dapat lebih mendekati optimal.

6.4 Pengujian Tingkat Nilai Error

Dari hasil pengujian parameter pada algoritme genetika didapatkan parameter terbaik berdasarkan nilai *fitness* tertinggi. Parameter ukuran populasi memiliki ukuran optimal pada populasi 200. Parameter kombinatori cr dan mr memiliki kombinasi optimal pada cr 0,5 dan mr 0,5. Dan jumlah generasi terbaik didapatkan pada 300 generasi. Setelah didapatkan parameter yang optimal lalu akan dimasukkan kembali ada proses algoritme genetika untuk mendapatkan kromosom terbaik yang nantinya akan digunakan untuk mendapatkan lama waktu siram. Perbandingan nilai lama waktu siram pada tanaman *strawberry* berdasarkan metode *fuzzy inference system* Mamdani sebelum dioptimasi dan setelah dioptimasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Analisis Sistem Lama Waktu Siram

No	Lama Waktu Siram (m)	Metode Fuzzy Mamdani	Metode Optimasi
1	11,08	16,14363	14,84480
2	17,50	15,61592	17,88382
3	11,75	15,63564	17,30081
4	7,33	14,01807	12,99267
5	3,56	12,82760	11,06414
6	2,22	11,83429	9,97838
7	13,75	12,37474	10,64422
8	10,50	12,69764	11,00369
9	10,22	12,38826	10,64388
10	11,33	13,03674	10,96100
11	14,17	13,54659	11,29846

12	19,33	13,94944	11,45653
13	8,50	13,63307	11,08155
14	21,67	13,96232	11,28781
15	16,50	14,23990	11,33771
16	4,22	14,13405	10,85286
17	9,33	13,96936	10,66080
18	4,22	13,82442	10,30123
19	9,56	13,60126	10,07980
20	12,00	13,83554	10,27809
21	10,50	14,04484	10,42345
22	4,67	13,95287	10,14506
23	15,11	13,94152	10,10645
24	17,33	14,08817	10,47105
25	13,17	14,22832	10,46483
26	15,83	14,34815	10,78990
27	15,00	14,45668	11,09411
28	5,11	14,38904	10,84262
29	12,58	14,46308	10,96645
30	14,17	14,54060	10,96240
RMSE		2,516651	0,000121

Dari Tabel 5 dapat dilihat perbandingan lama waktu siram tanaman *strawberry* antara data aktual dengan hasil perhitungan metode *fuzzy inference system* Mamdani sebelum dioptimasi dan setelah dioptimasi menggunakan algoritme genetika. Nilai *error* yang dihasilkan metode *fuzzy inference system* Mamdani sebelum dioptimasi adalah 2,516651. Sedangkan nilai *error* yang dihasilkan setelah metode Mamdani dioptimasi adalah 0,000121. Hasil yang diperoleh setelah dioptimasi didapatkan nilai *error* yang lebih kecil setelah metode dioptimasi karena fungsi keanggotaan yang sudah optimal. Maka dapat disimpulkan dalam menyelesaikan permasalahan optimasi *fuzzy inference system* Mamdani menggunakan algoritme genetika untuk menentukan lama waktu siram pada tanaman *strawberry* menghasilkan solusi yang lebih baik daripada menggunakan metode *fuzzy interference system* Mamdani saja.

7. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh melalui hasil pengujian yang telah dilakukan mengenai optimasi *fuzzy inference system* Mamdani menggunakan algoritme genetika untuk menentukan lama waktu siram pada tanaman *strawberry* yaitu sebagai berikut:

1. Algoritme genetika dapat diimplementasikan dalam mengoptimasi *fuzzy inference system* Mamdani. Proses optimasi pada penelitian ini terjadi pada interval himpunan fungsi keanggotaan. Dimana

setiap batasan akan menjadi gen yang akan direpresentasikan dalam kromosom. Panjang gen terdiri dari 12 gen. Dengan terbagi menjadi 3 segmen. Segmen pertama mengandung 4 gen yaitu merupakan batasan fungsi keanggotaan untuk daerah himpunan kelembapan awal. Segmen kedua mengandung 4 gen yaitu merupakan batasan fungsi keanggotaan untuk daerah volume air. Dan yang terakhir segmen ketiga mengandung 4 gen merupakan batasan fungsi keanggotaan untuk daerah lama waktu siram tanaman. Panjang satu buah kromosom ditentukan berdasarkan kriteria masing-masing.

2. Dalam melakukan optimasi *fuzzy inference system* Mamdani menggunakan algoritme genetika, terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi proses optimasi seperti jumlah populasi atau *popsize*, banyak generasi, *crossover rate* dan *mutation rate*. Pengaruh parameter ini terbukti dengan didapatkannya nilai *fitness* yang semakin tinggi. Pada pengujian jumlah populasi didapatkan populasi optimal yaitu sebanyak 200 dengan nilai *fitness* sebesar 0,999986. Pada pengujian kombinasi *cr* dan *mr* didapatkan kombinasi optimal dengan nilai *cr* 0,5 dan *mr* 0,5 serta nilai *fitness* sebesar 0,999986. Dan pada pengujian jumlah generasi didapatkan generasi optimal yaitu 300 dengan nilai *fitness* 0,999964675.
3. Dari hasil penelitian mengenai optimasi *fuzzy inference system* Mamdani menggunakan algoritme genetika untuk menentukan lama waktu siram pada tanaman *strawberry*, dapat disimpulkan bahwa setelah metode *fuzzy* dioptimasi menghasilkan nilai *error* 0,000121 lebih kecil dibandingkan dengan metode *fuzzy* sebelum dioptimasi dengan nilai *error* 2,516651. Hal ini membuktikan bahwa metode FIS Mamdani yang telah dioptimasi algoritme genetika dapat diterapkan dalam menyelesaikan permasalahan menentukan lama waktu siram pada tanaman *strawberry*.

Dari hasil penelitian mengenai optimasi *fuzzy inference system* Mamdani menggunakan

algoritme genetika untuk menentukan lama waktu siram pada tanaman *strawberry*, masih terdapat kekurangan sehingga dapat diberikan beberapa saran untuk mencapai hasil yang lebih baik.

1. Penambahan variabel masukan tidak hanya kelembapan awal tanah dan volume air saja, dapat ditambahkan beberapa variabel lain seperti debit keran, suhu dan variabel lainnya. Sehingga mungkin saja didapatkan hasil yang lebih optimal lagi.
2. Penelitian berikutnya disarankan tidak terfokus hanya pada satu tanaman saja melainkan semua jenis tanaman yang sesuai dengan pembibitan di Balai Teknologi Pertanian Jawa Timur (BPTP Jatim). Sehingga dapat membantu BPTP dalam pembibitan semua jenis tanaman yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Alavi, N. (2013). Quality Determination of Mozafati Dates Using. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 137-142.
- Karray, F. O., & Silva, C. D. (2004). *Soft Computing and Intelligent System Design: Theory, Tools, and Applications*. Edinburgh: Pearson Education Limite.
- Kusumadewi, S., & Purnomo, H. (2004). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Mahmudy, Marian dan Luong. (2013a). Real coded genetic algorithms for solving flexible job-shop scheduling problem – Part II: optimization.
- Mahmudy, W. F. (2015). *Algoritma Evolusi*. Malang: Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (PTIIK) Universitas Brawijaya.
- Naaz, S., Alam, A., & Biswas, R. (2011). Effect of different defuzzification methods in a fuzzy based load balancing application. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*.
- Rezaei, M., Asadizadeh, M., Majdi, A., & Hossaini, M. F. (2015). Prediction of representative deformation modulus of longwall panel roof. *International*

Journal of Mining Science and Technology, 23-30.

- Tosun, M., Dincer, K., & Baskaya, S. (2011). Rule-based Mamdani-type fuzzy modelling of thermal performance of multi-layer precast concrete panels used in residential buildings in Turkey. *Expert Systems with Applications*, 5553-5560.