

SISTEM MONITORING TANAMAN CERDAS MENGGUNAKAN WIRELESS SENSOR NETWORK DAN EVOLUTIONARY FUZZY ASSOCIATION RULE MINING

(Smart Plant Monitoring System Using Wireless Sensor Network and Evolutionary Fuzzy Association Rule Mining)

Wirarama Wedashwara*, Andy Hidayat Jatmika, Ariyan Zubaidi
 Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Mataram
 Jl. Majapahit 62, Mataram, Lombok NTB, INDONESIA
 [wirarama, andy, zubaidi13]@unram.ac.id

Abstract

Plant conditions monitoring requires specific knowledge in agriculture. The knowledge includes decision support to describe between good (ideal) and bad conditions from each different plant. Fuzzy rules capable to describes plants bio signal in form of fuzzy membership function that usable for decision support. To simplify the decision support process, this research proposes the design and development of the smart monitoring system of plant conditions based on wireless sensor networks (WSN) and evolutionary fuzzy association rule mining (EFARM). Plant condition monitoring is carried out through sensors input by WSN and decision support algorithm is carried out by EFARM. The proposed method aims to be carried out on a sensor network with supervised learning from training data. The dataset will only be used to create default fuzzy membership functions and rules. Detailed optimization and classification of conditions will be carried out using the evolutionary process by tree based rule extractor from Genetic Programming (GP). The Evaluation has been carried out using three raspberry pi used as EFARM processor and storage, which separated into one central processor and two partial processor for two plants, Kaktus and Orchid. The simulation results show that the proposed method is able to extract rules from both plants and is able to measure significant differences between plants.

Keywords: *Wireless Sensor Network, Evolutionary Fuzzy Association Rule Mining*

*Penulis Korespondensi

1. PENDAHULUAN

Monitoring kondisi tanaman memerlukan pengetahuan yang spesifik dibidang pertanian. Pengetahuan tersebut berupa klasifikasi kondisi baik (ideal) dan tidak baik dari setiap tanaman yang berbeda. Hal tersebut sangat mempersulit pelaku pertanian maupun perkebunan dalam menjalankan proses sesuai kondisi ideal yang diharapkan.

Fuzzy rule dapat memetakan kondisi secara diskrit untuk melakukan klasifikasi dan dukungan keputusan. *Fuzzy rule* umumnya digunakan untuk mengkondisikan permasalahan yang bersifat relatif dan memerlukan pengukuran persamaan (*similarity measurement*) yang bertujuan pendukung keputusan dengan multiple object. Dalam kasus ini permasalahan multiple object diterapkan kondisi ideal yang berbeda untuk setiap jenis tanaman.

Untuk mempermudah proses dukungan keputusan bagi orang awam maka dalam penelitian ini diusulkan perancangan dan pembangunan sistem monitoring dan klasifikasi kondisi tanaman berbasis *wireless sensor network* (WSN) dan *evolutionary fuzzy association rule*

mining (EFARM). Monitoring kondisi tanaman dilakukan melalui jaringan sensor yang dipasang pada tanaman dan klasifikasi kondisi dilakukan oleh sistem cerdas yang menghasilkan dukungan keputusan berbasis web.

Sistem jaringan sensor akan menggunakan tiga *raspberry pi* yaitu satu sebagai pemroses EFARM dan dua lagi sebagai pencatat input sensor dari dua tanaman yang berbeda. Sensor yang akan digunakan mencakup kelembaban tanah, suhu tanah, suhu udara, kelembaban udara dan tekanan udara untuk mengukur kondisi tanaman serta sensor hujan dan cahaya untuk mengukur kondisi waktu dan lingkungan.

Tujuan utama dari algoritma EFARM ini adalah mengetahui perbedaan dan persamaan kondisi lingkungan antar tanaman yang berbeda dalam bentuk *fuzzy rule*. WSN bertujuan untuk merekap data secara *real time* dan sistem informasi bertujuan untuk memberi antar muka untuk monitoring dan *decision support*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pentingnya klasifikasi tanah yang berguna untuk perencanaan dan pengelolaan perkebunan telah diteliti

oleh Hartemink dkk pada tahun 2013. Penelitian berfokus pada permasalahan tanah yang berbeda memiliki komposisi yang berbeda pada sifat lingkungan dan jenis fisik tanaman yang berbeda. Warna tanah merupakan indikator yang komprehensif dari komposisi kimia dan fisik tanah dan sejumlah besar informasi tanah dapat secara efektif diperoleh dengan interpretasi warna tanah [1].

Klasifikasi jenis tanah menggunakan sensor warna tanah berbasis smartphone telah diteliti oleh Han dkk pada 2016. Metode berbasis computer vision untuk mengkalibrasi warna tanah diperoleh dan digunakan untuk mengubah gambar menjadi sinyal RGB pada saat yang sama [2].

Penelitian terkait tentang data mining adalah klasifikasi tanah dengan menggunakan decision tree oleh Shastry dkk pada 2014. Model ini diuji dengan data uji set sampel tanah. Tes membuktikan bahwa algoritma pohon keputusan yang dimodifikasi memiliki akurasi klasifikasi yang lebih tinggi bila dibandingkan metode C4.5 [3].

2.1. Klasifikasi Kondisi Tanaman

Monitoring kondisi tanaman umumnya dilakukan dibidang teknologi pertanian untuk senantiasa memantau kondisi tanaman agar dalam kondisi optimal untuk target produksi. Monitoring kondisi dilakukan melalui proses klasifikasi terhadap variabel yang dapat diukur pada tanaman seperti kelembaban tanah, suhu tanah, suhu udara, kelembaban udara dan tekanan udara [4][5].

Klasifikasi kondisi tanaman dilakukan melalui pemantauan input jaringan sensor yang terpasang pada tanaman. Kondisi ideal berbeda-beda untuk setiap jenis tanaman, dimana kondisi tersebut yang menentukan lingkungan dari tanaman tersebut [6]. Klasifikasi kondisi tanaman melalui input sensor dapat menjadi sistem pendukung keputusan bagi proses produksi pertanian maupun perkebunan.

2.2. Evolutionary Computation

Evolutionary computation (EC) adalah bagian dari kecerdasan buatan yang lebih mengarah pada kecerdasan komputasi untuk menghitung solusi permasalahan yang ditanganinya berdasarkan teori evolusi terhadap solusi permasalahan. Turunan EC yang banyak dipakai adalah genetic algorithm(GA) [7], genetic programming(GP) [8] dan genetic network programming(GNP) [9].

Dalam penelitian ini metode evolutionary computation yang digunakan adalah genetic programming (GP) yang berbasis hirarki atau pohon. GP dipilih karena dapat memproses klasifikasi dengan variabel yang banyak, dimana tujuan klasifikasi lebih mengarah pada perbandingan (similarity measurement) bukan pada ekstraksi pola yang bervariasi. GP dalam penelitian ini menggunakan konsep label (jawaban) yang

disimbolkan dengan kotak dan pola (atribut) yang disimbolkan dengan lingkaran.

2.3. Fuzzy Object Oriented Database

Database fuzzy perluasan dari database umum di mana informasi yang bersifat tidak pasti atau tidak lengkap dapat direpresentasikan menggunakan logika fuzzy. Nilai Fuzzy diberikan pada atribut yang didefinisikan oleh aturan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang berbeda sesuai variasi atau yang dihasilkan oleh atribut tersebut. [10][11].

Fuzzy object oriented database (FOOD) adalah database dengan ekstensi keanggotaan fuzzy untuk membuat model database berorientasi objek yang memungkinkan nilai data menjadi aturan fuzzy dan angka. FOOD menganalisis efek nilai data yang tidak tepat pada struktur kelas dan menyederhanakan dengan model data berorientasi objek sehingga mempermudah proses penyimpulan maupun klasifikasi. [12][13][14][15].

2.4. Wireless Sensor Network

Wireless Sensor Network (WSN) adalah jaringan sensor yang terhubung secara nirkabel dengan tujuan khusus mendistribusikan input dari masing-masing sensor otonom untuk memantau kondisi fisik atau lingkungan, seperti suhu, suara, tekanan, dll dan kooperatif melewati data melalui jaringan ke lokasi utama [16].

Sistem jaringan sensor akan menggunakan raspberry pi sebagai pemroses evolutionary fuzzy rule mining dan wemos D1 sebagai microcontroller yang akan merekap input sensor. Sensor yang akan digunakan mencakup kelembaban tanah, suhu tanah, suhu udara, kelembaban udara dan tekanan udara untuk mengukur kondisi tanaman serta sensor hujan dan cahaya untuk mengukur kondisi waktu dan lingkungan [17].

3. METODE PENELITIAN

Model konseptual penelitian dalam penelitian ini adalah metode evolutionary association rule mining yang dikembangkan akan memproses data input sensor secara realtime untuk menyimpulkan pola data input pada sistem sensor. Keakuratan pemrosesan diukur dengan membandingkan support dan confidence yang dihasilkan oleh metode yang diproses secara real-time dengan fp-growth yang tidak memproses secara real-time.

3.1. Sistematika Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut : Pemrograman algoritma evolutionary association rule mining yang akan digunakan untuk melakukan analisa dan penyimpulan input data dan menghasilkan hirarki aturan-aturan yang mendukung pola data.

Pembuatan alat sensor dan pengambilan data training pada dua lokasi pencacatan data (sanur dan penebel).

Pengenalan pola data training menggunakan algoritma yang telah dibangun dalam raspberry pi. Masing-masing aturan akan diukur support-nya untuk mengetahui relevansi aturan terhadap data. Jarak antar aturannya dengan menggunakan euclidean distance untuk mendefinisikan hubungan hirarki antar aturan. Pengujian EFARM pada data pada sanur dan penebel tabanan selama 3 hari tanpa henti.

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan sampel data melalui perangkat sensor dilakukan pada empat jenis tanaman yaitu anggrek, kamboja, kaktus dan teratai pada dua tempat yaitu kawasan jalan Teuku Umar, Denpasar barat dan kecamatan Penebel, Kabupaten Tabanan, Bali dipilih untuk masing-masing mewakili daerah dataran rendah dan tinggi. Waktu penelitian adalah dari bulan april hingga desember 2017.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut

4.1. Alur Penelitian dan Pengujian Hasil

Pemrograman algoritma evolutionary fuzzy rule mining yang akan digunakan untuk melakukan analisis, klasifikasi dan penyimpulan input data dan membandingkannya dengan aturan-aturan kondisi dari referensi pakar pertanian yang disesuaikan dengan jenis tanaman dan jenis lingkungan. Algoritma yang digunakan sebagai dasar adalah genetic programming dengan fitur online rule updating yang telah dikembangkan sebelumnya. Pemrograman aplikasi akan disesuaikan dengan kemampuan komputer raspberry pi 3 yang akan dihubungkan melalui internet dan terpasang sensor kelembaban tanah, suhu tanah, suhu udara, kelembaban udara dan tekanan udara untuk mengukur kondisi tanaman serta sensor hujan dan cahaya untuk mengukur kondisi waktu dan lingkungan.

Pembuatan perangkat jaringan sensor dan penyusunan data training yang bersal dari referensi pakar pertanian pada empat jenis tanaman dan dua lokasi pencacatan data (denpasar barat dan penebel). Pengambilan data dilakukan dengan metode simple random sampling dengan mencatat sensor kelembaban tanah, suhu tanah, suhu udara, kelembaban udara dan tekanan udara untuk mengukur kondisi tanaman serta sensor hujan dan cahaya untuk mengukur kondisi waktu dan lingkungan dengan rating pencatatan per detik selama 15 menit, dua kali pada jam 1 siang dan jam 7 malam.

Pengenalan pola data training menggunakan algoritma yang telah dibangun dalam raspberry pi. Tujuan dari proses ini adalah untuk dapat mengenali aturan-aturan sebagai berikut :

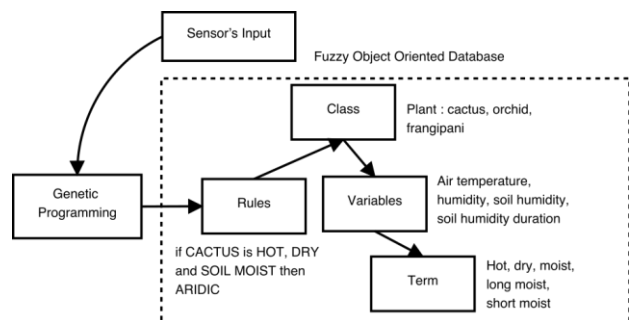
Aturan kondisi tanaman secara umum dari empat jenis tanaman yang digunakan yaitu anggrek, kamboja, kaktus dan teratai.

Aturan kondisi keempat tanaman secara umum dari kedua tempat sebagai perwakilan kondisi cuaca Bali. Aturan kondisi masing-masing keempat tanaman secara khusus dari masing-masing kedua tempat sebagai perwakilan dari kondisi cuaca pada dataran rendah dan tinggi di Bali dengan dipengaruhi perubahan cuaca.

Aturan khusus kondisi tanaman pada siang dan malam serta curah hujan pada masing-masing tempat. Masing-masing aturan akan diukur support dan confidence-nya untuk mengetahui relevansi aturan terhadap data. Jarak antar aturannya dengan menggunakan euclidean distance untuk mendefinisikan hubungan hirarki antar aturan.

Pengujian EFARM pada data pada denpasar barat dan penebel tabanan selama 14 hari tanpa henti. Pengujian ini bukan digunakan untuk melakukan pencatatan data melainkan untuk melakukan adaptasi aturan terhadap relevansi aturan-aturan yang telah terdefinisi pada rule pool algoritma. Semua training data dari sanur dan penebel digabung untuk mengetahui adaptasi aturan sebagai berikut :

Gambaran umum dari sistem yang akan dibangun ditampilkan oleh Gambar 1.

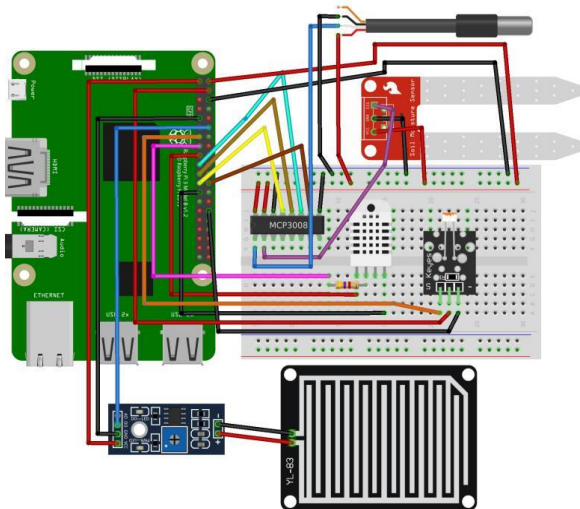


Gambar 1. Gambaran Umum Sistem

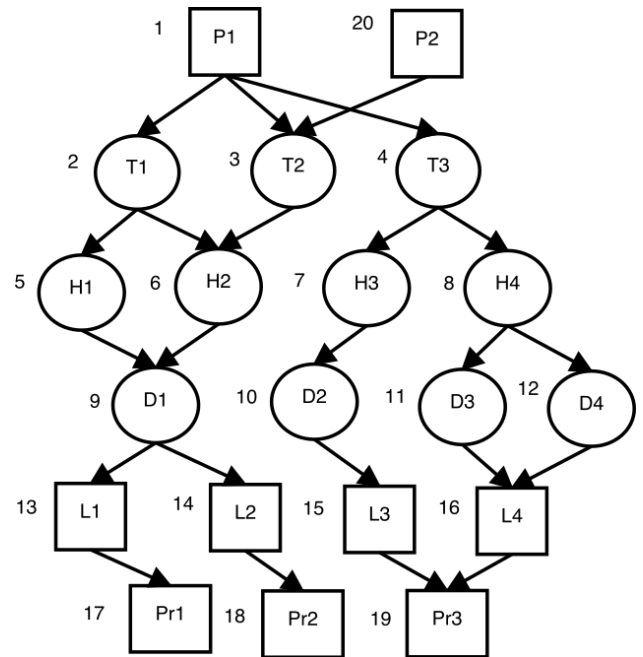
4.2. Perancangan Jaringan Sensor

Gambar 2 menjelaskan struktur breadboard raspberry pi dengan Analog to Digital Converter (ADC) yaitu MCP3008 untuk mengubah input analog menjadi digital pada sensor berbasis analog yang terhubung. Sensor yang terhubung secara digital adalah: DHT11 (kelembaban dan suhu udara) dengan resistor 4.7kOhm, KY1 (cahaya), YL83 (tetes hujan) dengan modul. Sedangkan sensor yang dihubungkan secara analog melalui MCP3008 adalah Soil Moisture Sensor (kelembaban tanah) dan Stainless DS1 (suhu tanah).

Sensor digital menggunakan sensor tegangan 3.3v dan analog menggunakan 5v.



Gambar 2. Jaringan Sensor Raspberry Pi 3



Gambar 3. Jaringan Sensor Raspberry Pi 3

4.3. Penerapan Algoritma Genetic Programming

Genetic programming digunakan untuk memproses input dari sensor secara online atau real-time. Struktur phenotype dan genotype dari GP ditunjukkan oleh Tabel II dan Gambar 3 Pada Gambar 2, setiap *node* memiliki penomoran sendiri dengan variabel *i*, dan pada informasi yang terdapat pada setiap node dijelaskan pada Tabel II. Keanggotaan fuzzy yang digunakan dalam algoritma penelitian adalah *asymmetric Gaussian* yang dijelaskan pada Persamaan (1). Asymmetric Gaussian dipilih untuk merepresentasikan jangkauan nilai dinamis dari atribut (input sensor) dengan struktur data yang sederhana.

$$f(x) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma_1^2}\right) & \text{if } x \leq \mu \\ \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma_2^2}\right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

dimana μ adalah nilai tengah dari Gaussian function, σ_1 sisi kiri dari standar deviasi dan σ_2 adalah sisi kanan dari standar deviasi. Struktur gen dari GP pada algoritma dibagi menjadi dua bagian seperti dijelaskan pada Gambar 3.

Bagian pohon: digunakan untuk menentukan struktur pohon GP. i Urutan node. C_i Koneksi dari node i , setiap node i memiliki koneksi ke node berikutnya yang dipanggil melalui urutan node tersebut.

Bagian keanggotaan fuzzy: digunakan untuk mendefinisikan parameter fungsi keanggotaan asymmetric Gaussian untuk setiap nodus penilaian. ATT_i indeks atribut yang ditunjukkan oleh fungsi keanggotaan fuzzy pada node i . μ_i mean fungsi Gaussian pada node i . σ_1 Deviasi standar sisi kiri dari fungsi Gaussian pada simpul i . σ_2 Deviasi standar sisi kanan dari fungsi Gaussian pada simpul i .

Ukuran program bergantung dari jumlah nodenya yang berpengaruh pada kerumitan program dan variasi aturan yang bisa dihasilkan. 1) Processing nodes (lingkaran) mensimbolkan titik awal dari rangkaian judgment nodes yang dieksekusi secara berurutan berdasarkan koneksinya. Penempatan yang jamak untuk processing nodes akan memungkinkan satu individu gen menghasilkan beberapa variasi yang berbeda. 2) Judgment nodes (heksagonal) merepresentasikan fungsi keanggotaan fuzzy yang disimbolkan dengan f_i (pada Tabel I) yang dibentuk oleh fuzzy database modeling pada proses sebelumnya. Rangkaian node mengalir hingga support untuk kombinasi berikut dari judgment node (fungsi keanggotaan fuzzy) tidak mampu memenuhi ketentuan yang diharapkan.

TABLE I STRUKTUR GENETIK PADA GNP

Tree			Fuzzy Membership			
i	NTi	Ci	ATTi	μ_i	σ_1	σ_2
1	L	2,3,4	P	-	-	-
2	A	5,6	T	30	28	35
3	A	6	T	25	22	29
4	A	7,8	T	21	15	22
5	A	9	H	800	700	1000
6	A	9	H	650	500	720
7	A	10	H	400	380	550
8	A	11	H	350	300	400
9	A	13,14	D	36	24	48
10	A	15	D	18	8	25
11	A	16	D	4	1	9
12	A	16	D	1	0.5	1.5
13	L	17	L	90	85	98
14	L	18	L	75	65	87
15	L	19	L	45	35	67
16	L	19	L	25	18	38
17	L	-	Pr	67	54	84
18	L	-	Pr	45	37	58
19	L	-	Pr	26	38	18
20	L	3	P	-	-	-

TABLE II. HASIL EKSTRAKSI ATURAN PADA GP

Rules	Conf	Sup	Scr
P1∧ T1∧ H1∧ D1→ L1∧ Pr1	0.78	0.67	11.15
P1∧ T1∧ H1∧ D1→ L2∧ Pr2	0.32	0.28	4.6
P1∧ T1∧ H2∧ D1→ L1∧ Pr1	0.48	0.33	6.45
P1∧ T1∧ H2∧ D1→ L2∧ Pr2	0.89	0.57	11.75
P1∧ T2∧ H2∧ D1→ L1∧ Pr1	0.76	0.76	11.4
P1∧ T2∧ H2∧ D1→ L2∧ Pr2	0.89	0.56	11.7
P1∧ T3∧ H3∧ D2→ L3∧ Pr3	0.26	0.24	3.8
P1∧ T3∧ H4∧ D3→ L4∧ Pr3	0.43	0.36	6.1
P1∧ T3∧ H4∧ D4→ L4∧ Pr3	0.67	0.57	9.55
P2∧ T2∧ H2∧ D1→ L1∧ Pr1	0.88	0.67	12.15
P2∧ T2∧ H2∧ D1→ L2∧ Pr2	0.37	0.37	5.55
Average			8.56

4.4. Evaluasi Aturan Penyimpulan Pola Sensor

Aturan yang diekstrak oleh rangkaian node pada GP ditunjukkan oleh Tabel II Nilai fungsi keanggotaan fuzzy dilah dikalkulasi oleh fuzzy feature selection, sehingga GNP tidak akan mengulang kalkulasi untuk menghitung support dari input sensor. Berdasarkan nilai rata-rata keanggotaan fuzzy, setiap kandidat aturan dapat dievaluasi berdasarkan nilai support yang dihasilkannya. Support dari aturan r dihitung melalui rata-rata nilai keanggotaan yang ada pada perumusan berikut.

$$\text{sup}(r) = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^N m_x(r) \tag{2}$$

dimana N merupakan jumlah data sebelumnya yang tercatat sebagai data training dan $m_x(r)$ menunjukkan

nilai keanggotaan r (atribut dari aturan) untuk pencacatan input sensor x.

Setelah mendapatkan nilai support dari aturan, maka sekor dari aturan yang dihasilkan dihitung berdasarkan support dan panjang aturan yang dihasilkan.

$$\text{Score of rule } r = \begin{cases} 0 & \text{if } \text{sup}(r) = 0 \\ \text{sup}(r) + (l(r) - 1) & \text{sup}(r) > 0 \end{cases} \tag{3}$$

dimana $l(r)$ panjang dari aturan r. Nilai support dan sekor dari setiap aturan yang diekstrak ditunjukkan pada tabel II. Setelah menghitung nilai support sekor dari semua kandidat aturan pengenalan pola, selanjutnya nilai fitness dari individu gen GNP dihitung melalui rumus 7. Kalkulasi fitness berdasarkan total dari support dan panjang aturan yang dihasilkan dan sekor tambahan diberikan saat aturan baru dihasilkan.

$$\text{fitness} = \sum_{r \in R} [\text{support}(r) + (\text{rule length} - 1) + \alpha_{\text{new}}] \tag{4}$$

dimana $\alpha_{\text{new}}(r)$ nilai tambahan jika aturan r merupakan aturan yang belum terdefinisi sebelumnya.

4.5. Struktur Sistem Informasi

Diagram kelas pada Gambar 4 menunjukkan kelas yang menggambarkan proses, atribut dan hubungan antar kelas. Secara umum variabel bersifat *private* dan antar kelas diakses pada fungsi *public* yang bertujuan sebagai pemroses sekaligus *getter*. Struktur variabel yang bersifat *array* diakses dalam bentuk *protected* untuk dapat diubah oleh class yang menjadi *array* tersebut. Setiap kelas digambarkan sebagai berikut:

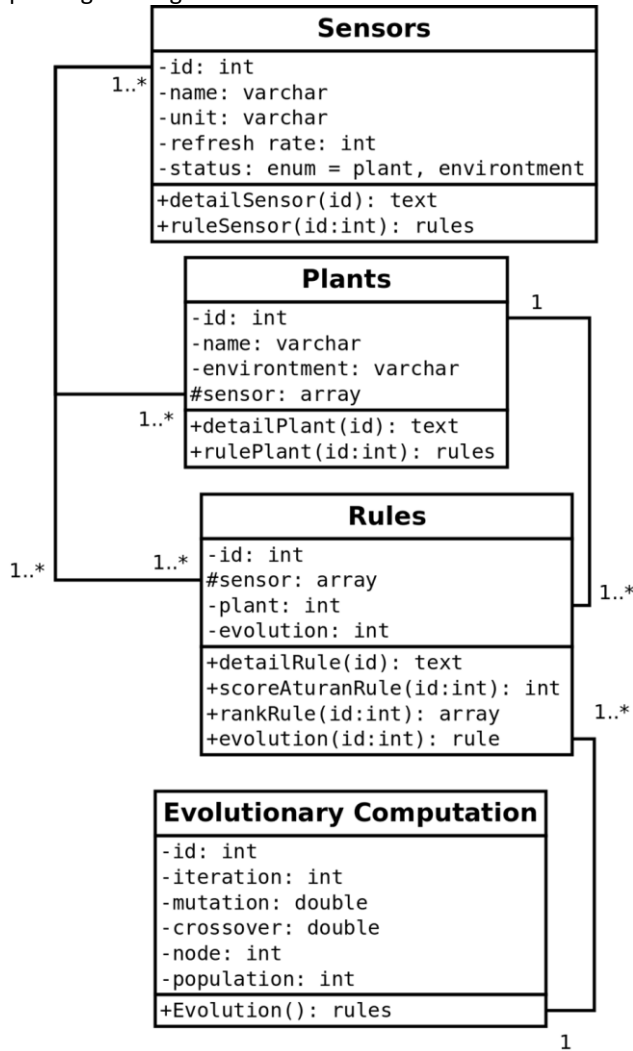
Plant Classes bertujuan untuk menangani proses yang berhubungan dengan tanaman yang menjadi objek utama dalam sistem. Data tanaman yang terkait dengan peraturan sebagai aturan umum atau khusus yang hanya berlaku untuk pabrik. Tanaman juga berhubungan langsung dengan kelas sensor sebagai rangkaian rentang input sensor (suhu, kelembaban dll) yang terjadi di tanaman.

Rule Classes bertujuan untuk mencatat peraturan yang berlaku untuk pabrik berdasarkan masukan sensor, sehingga kelas aturan memiliki hubungan langsung dengan kelas *crop and sensor*. Aturan tersebut terdiri dari dua sumber, yaitu oleh ahli pertanian dan proses evolusioner. Perhitungan evolusioner berfungsi untuk menyesuaikan aturan ahli yang tidak sesuai dengan kondisi tanaman. Kelas aturan juga merupakan masukan kunci untuk proses sistem.

Sensor Classes bertujuan sebagai penanda sensor yang digunakan dalam WSN. Kelas sensor terdiri dari sensor tanaman dan lingkungan. Kelas sensor berhubungan langsung dengan tanaman dan aturan untuk menandakan persamaan dan perbedaan antar tanaman.

Evolutionary Computation Classes bertujuan untuk memproses kembali aturan pada tanaman agar sesuai

dengan kondisi yang ada pada tanaman di petani. Ini memiliki parameter input untuk perhitungan evolusioner secara umum yaitu persentase mutasi dan crossover, batas iterasi dan populasi dan jumlah node dalam pemrograman genetika.



Gambar 4. Diagram Kelas

4.6. Analisis Hasil Pemrosesan

Simulasi yang dilakukan dengan menggunakan seperangkat sensor termasuk sensor lingkungan adalah DHT11 (kelembaban dan suhu udara), KY1 (cahaya), YL83 (tetes hujan). Sedangkan sensor tanaman adalah Soil Moisture Sensor (kelembaban tanah) dan Stainless DS1 (suhu tanah) digunakan sebagai label klasifikasi. Tiga raspberry pi digunakan sebagai alat pengolah dan penyimpan WSN, yang merupakan satu jaringan sensor tengah dan dua untuk dua tanaman, kaktus dan anggrek. Setiap perangkat mengumpulkan data dalam waktu tiga bulan di Renon, Denpasar, Bali. Tabel III menjelaskan jumlah data, atribut dan standar deviasi yang dikumpulkan dari kedua tanaman pengambilan data, kaktus dan anggrek.

TABEL III STANDAR DEVIASI SETIAP ATRIBUT SECARA UMUM

Plant	Data	Attr	Std Dev
Kaktus	20190	5	0.367
Anggrek	20831	5	0.536
Std Dev antar tanaman			0.586

Ringkasan data per atribut yang menggunakan masukan sensor dari kedua pabrik di Renon, Denpasar, Bali ditunjukkan pada Tabel IV Penyimpangan standar, nilai minimum dan maksimum setiap atribut yang dikumpulkan oleh jaringan sensor untuk kedua lokasi yang dijelaskan pada Tabel IV. Data untuk masing-masing tanaman menurut periode waktu juga dijelaskan pada Tabel V dan VI Pada kedua tabel tersebut, dapat dilihat kecenderungan pola data pada periode waktu yang berbeda dari kedua lokasi.

TABEL IV STANDAR DEVIASI SETIAP ATRIBUT PADA KEDUA TANAMAN SECARA UMUM

Attribute	Min	Max	Std dev
Suhu Udara(C)	24.297	35.278	0.267
Kelembaban Udara (%)	23.656	86.333	0.621
Suhu Tanah(C)	14.279	33.135	0.527
Kelembaban Tanah (%)	0.987	91.279	0.872
Waktu Lembab (h)	0.25	52.15	0.675
Cahaya (Lux)	140	918	0.867
Curah Hujan (%)	0	72.00%	0.724

Tabel V dan VI menunjukkan suhu dan kelembaban sangat dipengaruhi oleh waktu siang dan malam karena kurangnya sinar matahari yang meningkatkan penguapan air. Tekanan udara tidak terpengaruh secara signifikan oleh waktu namun lebih dipengaruhi oleh ketinggian tanaman. Intensitas dan curah hujan tidak diukur berdasarkan periode waktu seperti atribut lainnya namun berdasarkan basis harian.

Aturan umum dari training data yang tetap memiliki dukungan data dari kondisi ideal masing-masing tanaman menurut referensi pada kedua lokasi pengambilan data seperti suhu minimum, kelembaban maksimum dan sebagainya.

Aturan khusus tanaman yaitu penyimpangan kondisi yang diukur berdasarkan kondisi ideal dari referensi pakar pertanian yang hanya berlaku di masing-masing tanaman pada kedua lokasi pengambilan data yang mewakili daerah dataran tinggi dan rendah.

TABEL V STANDAR DEVIASI SETIAP ATRIBUT BERDASARKAN WAKTU PADA KAKTUS

Attr	Waktu	Min	Max	Std dev
Suhu Udara(C)	0-8	22.281	27.28	0.346
	8-16	29.128	36.238	0.238
	16-24	23.839	28.327	0.352
Kelembaban Tanah (%)	0-8	54.233	87.633	0.345
	8-16	23.656	86.333	0.621
	16-24	45.299	79.233	0.549
Curah Hujan (%)	0-8	1517.20	17.333	0.145
	8-16	21.203	24.279	0.253
	16-24	14.582	20.129	0.328
Suhu Tanah(C)	0-8	88.192	91.279	0.072
	8-16	82.534	84.829	0.098
	16-24	89.028	90.025	0.056
Cahaya (Lux)	0-8	50.1	52.15	0.012
	8-16	46.2	51.15	0.034
	16-24	50.1	52.15	0.018

Aturan khusus lingkungan yang tidak tercover atau menyimpang jauh dari kondisi ideal dari referensi pakar pertanian data dari masing-masing training data karena keterbatasan waktu pengambilan data. Aturan pada training data yang tidak relevan pada fase pengujian. Perbandingan akurasi aturan dengan metode konvensional FP-growth dengan definisi aturan yang dihasilkan oleh training data dan pengujian.

TABEL VI STANDAR DEVIASI SETIAP ATRIBUT BERDASARKAN WAKTU PADA ANGGREK

Attr	Waktu	Min	Max	Std dev
Suhu Udara(C)	0-8	22.456	27.246	0.379
	8-16	28.982	37.012	0.287
	16-24	24.002	27.983	0.356
Kelembaban Tanah (%)	0-8	54.233	87.633	0.345
	8-16	23.656	86.333	0.621
	16-24	45.299	79.233	0.549
Curah Hujan (%)	0-8	1812.50	25.633	0.435
	8-16	24.203	33.135	0.645
	16-24	22.235	24.353	0.523
Suhu Tanah(C)	0-8	12.279	88.123	0.872
	8-16	0.987	80.039	0.898
	16-24	9.827	90.333	0.824
Cahaya (Lux)	0-8	0.5	1.45	0.351
	8-16	0.15	1.27	0.275
	16-24	0.52	1	0.024

4.7. Hasil EFARM

Hasil pemrosesan algoritma EFARM dapat dilihat pada Tabel VII. Tabel VII menunjukkan jumlah rule yang

berlaku pada kedua tanaman yaitu atural umum dan rule yang hanya berlaku pada masing-masing tanaman yaitu aturan khusus. Hanya rule dengan pencapaian score (lihat Persamaan 3) diatas 7 yang ditampilkan pada Tabel VII.

TABEL VII RULE YANG DIHASILKAN

Plant	Aturan	
	Umum	Khusus
Kaktus	3	3
Anggrek		4

Rule yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel VIII. Tabel VIII menampilkan rule umum dan khusus yang ada pada kedua tanaman melalui pemrosesan algoritma EFARM sesuai Tabel VII.

TABLE VIII. PENJABARAN RULES HASIL EFARM

Rules	Scr	Sifat
H1∧ D1→ L1∧ Pr1	11.15	Umum
T1∧ H1∧ D1→L2∧ Pr2	4.6	
H2∧ D1→L1∧ Pr1	6.45	
P1∧ T1∧ H2∧ D1→L2∧ Pr2	11.75	Khusus kaktus
P1∧ T2∧ H2∧ D1→L1∧ Pr1	11.4	
P1∧ T2∧ H2∧ D1→L2∧ Pr2	11.7	Khusus Anggrek
P3∧ T3∧ H2∧ D1→L2	3.8	
P3∧ T3∧ D1→L1∧ Pr1	6.1	
P3∧ T2∧ H2∧ D1→L2∧ Pr2	9.55	
T2∧ H2∧ D1→L1∧ Pr1	12.15	

Tabel VIII menunjukkan aturan umum didominasi oleh persamaan kondisi udara yaitu suhu dan kelembaban udara serta curah hujan dan intensitas cahaya. Sedangkan tanaman anggrek memiliki aturan yang lebih banyak pada kondisi durasi kelembaban tanah karena memiliki penyerapan yang lebih bervariasi dibandingkan kaktus.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Metode yang diusulkan bertujuan untuk dilakukan pada jaringan sensor dengan pembelajaran diawasi dari data pelatihan. Jadi dataset hanya akan digunakan untuk menciptakan fungsi dan aturan keanggotaan FOOD default. Optimalisasi dan klasifikasi kondisi rinci akan dilakukan dengan menggunakan proses evolusi struktur node pohon dari GP. Metode ini juga mengusulkan untuk mengukur kesamaan dan ketidaksamaan berbagai kondisi antara tanaman yang berbeda.

Evaluasi EFARM dilakukan dengan menggunakan tiga raspberry pi yang digunakan sebagai alat pengolah dan penyimpanan WSN, yang merupakan satu jaringan sensor sentral dan dua untuk dua tanaman, Kaktus dan Anggrek.

WSN melakukan klasifikasi masukan untuk kondisi tanaman dan lingkungan dengan menggunakan beberapa sensor. Setiap perangkat mengumpulkan data dalam 31 hari di Renon, Denpasar, Bali. Hasil simulasi menunjukkan metode yang diusulkan mampu mengekstrak aturan dari kedua tanaman dan mampu mengukur perbedaan signifikan antara tanaman.

Di masa depan, metode yang diusulkan harus disimulasikan dengan menggunakan rancangan WSN yang lebih rumit dan juga dievaluasi dengan menggunakan evaluasi jaringan data untuk mengukur efisiensi yang akurat yang dicapai dengan metode yang diusulkan. Komparasi dengan metode klasifikasi lainnya juga diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. E. Hartemink, P. Krasilnikov, and J. G. Bockheim, "Soil maps of the world," *Geoderma*, vol. 207, pp. 256–267, 2013.
- [2] X. Zhao, W. Liu, Z. Cai, B. Han, T. Qian, and D. Zhao, "An overview of preparation and applications of stabilized zero-valent iron nanoparticles for soil and groundwater remediation," *Water Res.*, vol. 100, pp. 245–266, 2016.
- [3] C. Science, "A Novel Data Mining Approach for Soil Classification K Aditya Shastry!, Sanjay," no. Iccse, pp. 1–6, 2014.
- [4] A. Kulmatiski, K. H. Beard, J. M. Norton, J. E. Heavilin, L. E. Forero, and J. Grenzer, "Live long and prosper: plant–soil feedback, lifespan, and landscape abundance covary," *Ecology*, vol. 98, no. 12, pp. 3063–3073, 2017.
- [5] F. G. Arcella, F. H. Bednar, J. J. Schreurs, and J. M. Forker, "Online valve diagnostic monitoring system." Google Patents, 1994.
- [6] P. P. Ling, G. A. Giacomelli, and T. Russell, "Monitoring of plant development in controlled environment with machine vision," *Adv. Sp. Res.*, vol. 18, no. 4–5, pp. 101–112, 1996.
- [7] D. E. Goldberg, J. Richardson, and others, "Genetic algorithms with sharing for multimodal function optimization," in *Genetic algorithms and their applications: Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms, 1987*, pp. 41–49.
- [8] J. R. Koza, F. H. Bennett, and O. Stiffelman, "Genetic programming as a Darwinian invention machine," in *European Conference on Genetic Programming, 1999*, pp. 93–108.
- [9] H. Katagiri, K. Hirasama, and J. Hu, "Genetic network programming-application to intelligent agents," in *Smc 2000 conference proceedings. 2000 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. 'Cybernetics Evolving to Systems, Humans, Organizations, and Their Complex Interactions'* (cat. no. 0, 2000, vol. 5, pp. 3829–3834.
- [10] J. Galindo, A. Urrutia, and M. Piattini, *Fuzzy databases: Modeling, design, and implementation*. 2006.
- [11] J. T. Cadenas, N. Marín, and M. A. Vila, "Context-Aware Fuzzy Databases," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 25, pp. 215–233, 2014, doi: 10.1016/j.asoc.2014.09.020.
- [12] K. Gibert, M. Sánchez-Marrè, and V. Codina, "Choosing the right data mining technique: classification of methods and intelligent recommendation," 2010.
- [13] B. Sowan, K. Dahal, M. a. Hossain, L. Zhang, and L. Spencer, "Fuzzy association rule mining approaches for enhancing prediction performance," *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 17, pp. 6928–6937, 2013, doi: 10.1016/j.eswa.2013.06.025.
- [14] J. Alcalá-Fdez, R. Alcalá, M. J. Gacto, and F. Herrera, "Learning the membership function contexts for mining fuzzy association rules by using genetic algorithms," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 160, pp. 905–921, 2009, doi: 10.1016/j.fss.2008.05.012.
- [15] G. Bordogna and G. Pasi, "Graph-Based Interaction in a Fuzzy Object Oriented Database," vol. 16, pp. 821–841, 2001.
- [16] E. H. Callaway Jr, *Wireless sensor networks: architectures and protocols*. CRC press, 2003.
- [17] I. F. Akyildiz and M. C. Vuran, *Wireless sensor networks*, vol. 4. John Wiley & Sons, 2010.