

6/1001  
2001  
0144

**PENGGUNAAN MODEL KURVA *FUZZY NONLINEAR*  
DAN METODE DEFUZIFIKASI *MAXIMUM OUTPUT*  
PADA PROTOTYPE SPELA TABUTRO**

**AGUNG EDDY PRABOWO**



**JURUSAN ILMU KOMPUTER  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2000**

## RINGKASAN

AGUNG EDDY PRABOWO. Penggunaan Model Kurva *Fuzzy Nonlinear* dan Metode Defuzifikasi *Maximum Output* pada Prototipe Spela Tabutro. (*The Using of Nonlinear Fuzzy Curve Model and Maximum Output Defuzzification Method for the Prototype of Spela Tabutro*). Dibimbing oleh AGUS BUONO dan WAHYUNING DIAH.

Sistem Pakar Evaluasi Lahan dengan menerapkan logika *fuzzy* dilakukan untuk menangani ketidakpastian nilai parameter-parameter pengevaluasian lahan. Dengan demikian sistem menjadi lebih fleksibel karena logika *fuzzy* membolehkan perbedaan pendapat melalui sistem *input* yang direpresentasikan dengan perbedaan derajat keanggotaan.

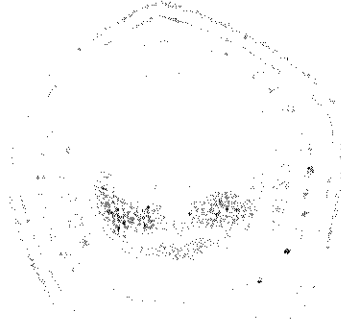
Penelitian mengenai penerapan teori *fuzzy* untuk sistem pakar evaluasi lahan telah dilakukan pada prototipe Sistem Pakar Evaluasi Lahan untuk Tanaman Buah Tropik (Spela Tabutro) oleh Oktavian (1999). Dalam Spela Tabutro, fungsi keanggotaan *fuzzy* yang diterapkan adalah model *linear* yaitu kurva *trapezoidal* dan metode defuzifikasi yang digunakan adalah *Center of Gravity (Centroid)*. *Output* yang dihasilkan dari prototipe tersebut sama dengan hasil *output* secara konvensional.

Penelitian ini menerapkan model fungsi keanggotaan *fuzzy nonlinear polynomial* serta metode defuzifikasi *Maximum Output* sebagai pengembangan lebih lanjut. Fungsi-fungsi keanggotaan *fuzzy* dibedakan oleh perubahan derajat keanggotaannya. Dengan metode defuzifikasi *Maximum Output* diharapkan akan membuat sistem menjadi lebih sederhana. Seperti pada prototipe Spela Tabutro, dalam penelitian ini juga digunakan data kelas karakteristik kesesuaian lahan untuk tanaman buah jeruk sebagai contoh kasus.

Dalam sistem pakar evaluasi lahan digunakan beberapa parameter pengukur. Dalam penelitian ini parameter yang diterapkan adalah parameter Suhu di antara kelas selang S1 (kondisi lahan sangat sesuai) dan selang S2 (kondisi lahan agak sesuai). Untuk tanaman buah jeruk, selang S1 berada di antara 20°C - 30°C, dan selang S2 di antara 18°C - 20°C. Nilai-nilai yang berada pada selang *overlap* di antara selang S1 dan S2 menjadi nilai-nilai *input* dalam proses inferensia *fuzzy* untuk memperoleh suatu nilai yang diinginkan. *Output* yang didapat dari proses inferensia *fuzzy* tersebut kemudian akan dibandingkan baik perbandingan secara kualitatif maupun kuantitatif.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini secara kualitatif ternyata sama dengan hasil pada prototipe Spela Tabutro. Namun secara kuantitatif, model kurva *fuzzy nonlinear* memberikan hasil yang akurat, karena persentase kualitas kesesuaian lahan lebih dekat ke nilai tengah selang kelas kesesuaian lahan. Untuk S1, nilai persentase 82% lebih dekat ke nilai tengah selang S1, yaitu 87.5%. Sedangkan untuk S2 diperoleh nilai persentase 68% yang lebih dekat ke nilai tengah selang S2, yaitu 62.5%.

**PENGGUNAAN MODEL KURVA *FUZZY NONLINEAR*  
DAN METODE DEFUZIFIKASI *MAXIMUM OUTPUT*  
PADA PROTOTYPE SPELA TABUTRO**



**AGUNG EDDY PRABOWO**

Skripsi  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Komputer  
pada  
Jurusan Ilmu Komputer

**JURUSAN ILMU KOMPUTER  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2000**

Judul : Penggunaan Model Kurva *Fuzzy Nonlinear* dan Metode Defuzifikasi *Maximum Output* pada Prototipe Spela Tabutro  
Nama : Agung Eddy Prabowo  
NIM : G06496034

Menyetujui,



Ir. Agus Buono, M.Si., M.Komp.  
Pembimbing I



Wahyuning Diah, S.Si.  
Pembimbing II



Mengetahui,

Dr. Ir. Abdurrauf Rambe, M.St.  
Ketua Jurusan

Tanggal Lulus : 02 NOV 2000

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 13 Desember 1976 sebagai anak pertama dari dua bersaudara, anak dari pasangan pasangan Suhartoyo dan Siti Nirbayati.

Pada tahun 1995, penulis lulus dari SMA Negeri 1 Cirebon dan pada tahun 1996, penulis masuk IPB melalui jalur Ujian Masuk Perguruan Tinggi Negeri (UMPTN) dengan memilih Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor (FMIPA IPB).

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini adalah pengambilan keputusan menggunakan logika *fuzzy* dengan judul Penggunaan Model Kurva *Fuzzy Nonlinear* dan Metode Defuzifikasi *Maximum Output* pada Prototipe Spela Tabutro.

Terima kasih penulis ucapkan kepada berbagai pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini, antara lain Bapak Ir. Agus Buono, M.Si., M.Komp., Ibu Wahyuning Diah, S.Si., dan Ibu Sri Nurdianti, M.Sc., selaku pembimbing, Bapak Dr. Ir. Budi Mulyanto, M.Sc. beserta seluruh staf Jurusan Tanah atas segala bantuan pengarahannya, dan rekan-rekan dari ilkomerz, Jurusan Tanah, Jurusan Matematika, Jurusan Statistika, Jurusan GFM atas segala bantuannya.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Bogor, November 2000

*Agung Eddy Prabowo*

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>PENDAHULUAN</b> .....	1
Latar Belakang .....	1
Tujuan .....	1
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	1
Sistem Pakar .....	1
Mesin Inferensia .....	2
Spela Tabutro .....	2
Gugus <i>Fuzzy</i> .....	2
Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i> .....	3
Gugus <i>Fuzzy Polynomial</i> .....	3
Sistem Inferensia <i>Fuzzy</i> .....	4
Evaluasi Kesesuaian Lahan.....	5
<b>BAHAN DAN METODE</b> .....	6
Bahan .....	6
<i>Data Overlapping</i> .....	6
Metode Pengevaluasian Lahan.....	6
Pendefinisian <i>Rule</i> .....	7
Proses Inferensia <i>Fuzzy</i> .....	7
Pengujian Hasil.....	7
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	7
Hasil Secara Kualitatif.....	7
Hasil Kuantitatif .....	12
Uji Nilai Tengah.....	13
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	13
Kesimpulan .....	13
Saran .....	14
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	14
<b>LAMPIRAN</b> .....	15

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
1. Kualitas dan karakteristik lahan untuk pengevaluasian kesesuaian lahan.....	6
2. Hasil kualitatif evaluasi lahan dengan model <i>fuzzy trapezoidal</i> dan <i>fuzzy polynomial</i> .	12
3. Hasil evaluasi lahan dengan metode defuzifikasi <i>Maximum Output</i> secara kualitatif ..	12
4. Hasil persentase tingkat evaluasi lahan dengan model <i>fuzzy trapezoidal</i> dan <i>fuzzy polynomial</i> .....	12
5. Hasil persentase tingkat evaluasi lahan dengan model <i>fuzzy trapezoidal</i> dan <i>fuzzy polynomial</i> pada kelas S1 .....	13
6. Hasil persentase tingkat evaluasi lahan dengan model <i>fuzzy trapezoidal</i> dan <i>fuzzy polynomial</i> pada kelas S2 .....	13

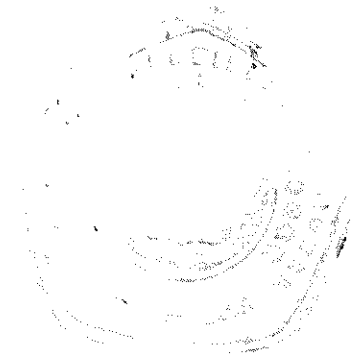
## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
1. Diagram sistem pada prototipe Spela Tabutro .....	2
2. Model fungsi keanggotaan <i>fuzzy linear</i> : (a) <i>Triangular</i> , (b) <i>Trapezoidal</i> .....	3
3. Model fungsi keanggotaan <i>fuzzy nonlinear (polynomial)</i> .....	3
4. Gugus <i>Fuzzy Polynomial</i> .....	3
5. Operator <i>Fuzzy</i> (AND dan OR) .....	4
6. Diagram sistem inferensia <i>fuzzy</i> .....	5
7. Grafik perbandingan hasil kuantitatif pada selang S1 .....	13
8. Grafik perbandingan hasil kuantitatif pada selang S2.....	13



## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
1. Struktur dasar sistem pakar .....	16
2. Penilaian kelas kesesuaian lahan untuk tanaman jeruk secara konvensional .....	17
3. Penilaian kelas kesesuaian lahan untuk tanaman jeruk secara <i>fuzzy</i> .....	18
4. Selang nilai karakteristik lahan untuk tanaman jeruk model <i>fuzzy polynomial</i> .....	19
5. <i>Rule</i> /Kaidah IF-THEN yang digunakan untuk pengevaluasian aturan .....	21



## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Konsep ketidakpastian dalam ilmu pengetahuan telah mengalami perubahan. Pandangan lama telah berubah menjadi pandangan baru dengan menganggap bahwa konsep ketidakpastian merupakan konsep yang memiliki fungsi yang sangat besar.

Konsep ketidakpastian yang baru adalah teori mengenai gugus *fuzzy* yang diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 (Pacini & Andrew, 1992). Gugus *fuzzy* merupakan gugus dengan batasan yang tidak pasti dan keanggotaannya lebih mengarah kepada tingkat atau derajat.

Teori gugus *fuzzy* paling banyak diterapkan pada sistem pakar (Pacini & Andrew, 1992). Teori gugus *fuzzy* merupakan metode yang relatif baru untuk menangani fakta serta informasi yang tidak pasti dalam sistem pakar, sehingga memungkinkan untuk membangun sistem pakar yang lebih merefleksikan dunia nyata. Di dalam gugus *fuzzy* dapat direpresentasikan suatu nilai yang kualitatif misalnya suatu hipotesis adalah sangat baik, baik, cukup, buruk, atau sangat buruk.

Penerapan teori *fuzzy* telah dilakukan pada prototipe sistem pakar evaluasi lahan untuk tanaman buah tropik (Spela Tabutro) pada penelitian yang dilakukan oleh Oktavian (1999). Sistem pakar evaluasi lahan sangat diperlukan karena teknik pengevaluasian lahan secara manual dilakukan melalui proses yang cukup lama terutama jika jumlah data yang akan dievaluasi banyak. Dengan demikian, sistem pakar digunakan untuk mempercepat kegiatan evaluasi lahan dan memberikan hasil yang *valid*.

Penerapan logika *fuzzy* pada prototipe Spela Tabutro memungkinkan seseorang atau beberapa orang dapat mengambil keputusan dari beberapa derajat keanggotaan. Spela Tabutro dikembangkan dengan pendekatan model *fuzzy trapezoidal* dan metode defuzifikasi yang digunakan adalah *Center of Gravity (Centroid)* untuk memperoleh satu nilai *output*. *Output* yang dihasilkan ini telah diuji, dan hasil pengujian telah dapat diterima, karena sistem *output* yang dihasilkan sama dengan sistem *output* secara konvensional.

Di dalam teori *fuzzy*, untuk mengekspresikan suatu nilai kepercayaan, selain menggunakan

model kurva *trapezoidal* yang termasuk model kurva *linear*, juga dapat digunakan model kurva yang lain, yaitu model kurva *nonlinear*. Sedangkan untuk menghasilkan satu sistem *output*, selain menggunakan metode *Centroid*, juga dapat diterapkan metode *Maximum Output*, agar sistem menjadi lebih sederhana dalam proses pengambilan keputusan.

### Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mempelajari penggunaan logika *fuzzy* untuk pengambilan keputusan dalam sistem pakar.
2. Melakukan uji coba terhadap Spela Tabutro dengan model *fuzzy polynomial* dan metode defuzifikasi *Maximum Output*.
3. Perbandingan model sebelumnya dengan model *fuzzy linear* dan metode defuzifikasi *Centroid*.
4. Menentukan metode *fuzzy* yang lebih sesuai untuk pengembangan sistem pakar evaluasi lahan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Sistem Pakar

Sistem pakar merupakan sistem perangkat lunak komputer yang menggunakan ilmu, fakta dan teknik berpikir dalam pengambilan keputusan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang biasanya hanya dapat diselesaikan oleh pakar dalam bidang yang bersangkutan (Marimin, 1992). Sistem pakar mencoba meniru proses pemikiran dan pengetahuan pakar dalam menyelesaikan berbagai tipe masalah (Turban, 1992). Ilmu yang digunakan dalam sistem pakar terdiri dari kaidah-kaidah atau informasi dari pengalaman tentang tingkah laku suatu elemen gugus persoalan. Kaidah-kaidah biasanya memberikan deskripsi tentang kondisi yang diikuti oleh akibat dari kondisi tersebut.

Tujuan dari sistem pakar adalah untuk mempermudah kerja atau bahkan mengganti tenaga ahli, menggabungkan ilmu dan pengalaman dari beberapa tenaga ahli, pelatihan tenaga ahli baru, dan menyediakan keahlian yang diperlukan oleh suatu proyek yang tidak mempunyai atau tidak mampu membayar tenaga ahli (Marimin, 1992).

Menurut Turban (1992) sistem pakar tersusun atas beberapa komponen yaitu fasilitas akuisisi pengetahuan, sistem berbasis pengetahuan, mesin inferensi, fasilitas untuk penjelasan dan justifikasi yang digunakan untuk memberikan rincian atau ringkasan dari tahapan yang dilakukan pada mekanisme inferensi dengan berbagai alasannya sampai pada suatu solusi atau kesimpulan, dan penghubung antara pengguna dan sistem pakar atau *user interface*. Struktur dasar komponen-komponen sistem pakar ini secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 1.

### Spela Tabutro

Spela Tabutro singkatan dari Sistem Pakar Evaluasi Lahan untuk Tanaman Buah Tropik merupakan suatu prototipe sistem pakar dengan menggunakan karakteristik lahan untuk tanaman jeruk sebagai sampel, yang dikembangkan menggunakan pendekatan *fuzzy* (Oktavian, 1999). Pendekatan *fuzzy* dimodelkan dalam bentuk *fuzzy trapezoidal*, dan untuk memperoleh satu keputusan dilakukan proses defuzifikasi menggunakan metode *Center of Gravity*.

Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses penyeleksian lahan, serta menunjukkan tingkat kesesuaian lahan dengan logika *fuzzy*.

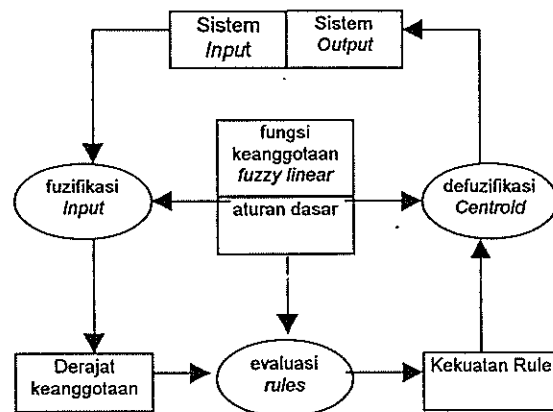
Spela Tabutro diimplementasikan dengan *expert system shell*, yaitu WinExsys 5.0.4 dan Microsoft Visual Basic 4. *Tools* tersebut bekerja dalam sistem operasi Windows 95/98.

Prototipe Spela Tabutro meliputi pula komponen-komponen dari sistem pakar (Lampiran 1) yang telah disebutkan di atas. Metode *fuzzy* yang dibahas dalam penelitian ini merupakan metode penalaran tidak pasti yang merupakan bagian dari komponen mesin inferensi. Diagram sistem prototipe Spela Tabutro dapat dilihat pada Gambar 1.

### Mesin Inferensi

Marimin (1992) mengemukakan bahwa mesin inferensi merupakan komponen terpenting dari sistem pakar. Sedangkan Siler (1997) menegaskan bahwa mesin inferensi merupakan tulang punggung dari sistem pakar. Di dalam mesin inferensi terjadi proses untuk memanipulasi dan mengarahkan kaidah, model dan fakta yang disimpan pada basis pengetahuan dalam rangka mencapai solusi atau kesimpulan. Dalam mesin

inferensi terdapat strategi penalaran yang terdiri dari strategi penalaran pasti (*Exact reasoning mechanism*) dan strategi penalaran tidak pasti (*Inexact reasoning mechanism*). Contoh strategi penalaran pasti adalah *modus ponens* dan *modus tollens*, sedangkan untuk strategi penalaran tidak pasti digunakan metode *fuzzy*, yang dapat berupa model *fuzzy linear* atau *nonlinear*.



Gambar 1. Diagram sistem pada prototipe Spela Tabutro

### Gugus Fuzzy

Logika *fuzzy* membuat model pengambilan alasan yang memungkinkan pembuatan keputusan yang relatif di dalam lingkungan ketidakpastian dan ketidaktepatan. Kemampuan ini tergantung kepada kemampuan untuk membuat jawaban perkiraan dari suatu pertanyaan yang didasarkan pada sekumpulan kondisi yang tidak tepat atau tidak jelas.

Gugus *fuzzy* berbeda dengan gugus klasik (*Crips Sets*). Dalam gugus klasik, untuk menunjukkan obyek mana yang merupakan anggota dari gugus terdapat dalam fungsi keanggotaannya. Jika suatu obyek merupakan elemen dari suatu gugus, maka fungsi keanggotaannya adalah 1, sedangkan jika obyek tersebut bukan merupakan elemen gugus, maka fungsi keanggotaannya adalah 0. Sehingga gugus klasik ini nilainya adalah  $\{0,1\}$ . Tipe pemikiran ini merupakan logika yang hanya mempunyai dua nilai kebenaran, yaitu benar (1) dan salah (0).

Gugus *fuzzy* merupakan pengembangan dari gugus klasik. Fungsi keanggotaannya tidak hanya memberikan nilai 1 atau 0, tapi nilai yang berada

pada suatu selang tertentu, yaitu dalam selang  $[0,1]$ . Nilai yang diberikan oleh fungsi keanggotaan disebut derajat keanggotaan.

Apabila  $U$  menyatakan gugus universal dan  $A$  adalah gugus fuzzy dalam  $U$ , maka  $A$  adalah gugus pasangan terurut sebagai berikut :

$$A = \{(u, \mu_A(u)) | u \in U\}$$

Dengan  $\mu_A(u)$  adalah fungsi keanggotaan yang memberikan nilai derajat keanggotaan  $u$  terhadap gugus fuzzy  $A$ , yaitu :

$$\mu_A : U \rightarrow [0,1]$$

Seperti gugus biasa, operasi-operasi terhadap gugus, yaitu kebalikan (*complement*), gabungan (*union*), dan irisan (*intersection*) terdapat juga dalam gugus fuzzy.

Kebalikan suatu gugus fuzzy  $A$ , dinotasikan sebagai  $\bar{A}$ , didefinisikan dengan fungsi keanggotaan :

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u), u \in U$$

Sedangkan irisan ( $\cap$ ) dan gabungan ( $\cup$ ) pada dua buah gugus fuzzy, yaitu gugus fuzzy  $A$  dan  $B$ , didefinisikan dengan fungsi keanggotaan berturut-turut sebagai berikut :

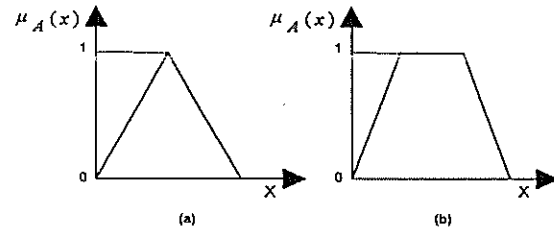
$$\mu_{(A \cap B)}(u) = \min[\mu_A(u), \mu_B(u)]$$

$$\mu_{(A \cup B)}(u) = \max[\mu_A(u), \mu_B(u)], u \in U$$

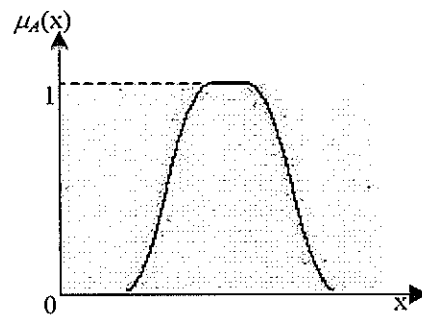
**Fungsi Keanggotaan Fuzzy**

Fungsi keanggotaan fuzzy adalah suatu kurva yang mendefinisikan tentang bagaimana setiap titik pada *input* dipetakan ke suatu nilai keanggotaan antara 0 dan 1 (Mathwork Inc., 1999). Fungsi keanggotaan dari sistem fuzzy dapat direpresentasikan dalam beberapa tipe, yang secara umum digolongkan ke dalam dua tipe, yaitu fungsi keanggotaan *linear* dan fungsi keanggotaan *nonlinear*. Fungsi keanggotaan *linear* adalah model *triangular* dan *trapezoidal*, sedangkan model *polynomial* termasuk fungsi keanggotaan *fuzzy nonlinear*. Model-model tersebut dibedakan oleh perubahan derajat keanggotaannya, seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3. Pada fungsi keanggotaan fuzzy, perubahan derajat keanggotaan dari suatu kondisi ke kondisi lainnya terjadi secara berangsur-

angsur, tidak secara terjadi tiba-tiba. Penentuan model fungsi keanggotaan fuzzy tergantung pada tingkat keakuratan yang diinginkan, dan juga berdasarkan pengalaman pakar (Ranst et al. 1996).



Gambar 2. Model fungsi keanggotaan linear : (a) *Triangular*, (b) *Trapezoidal*.



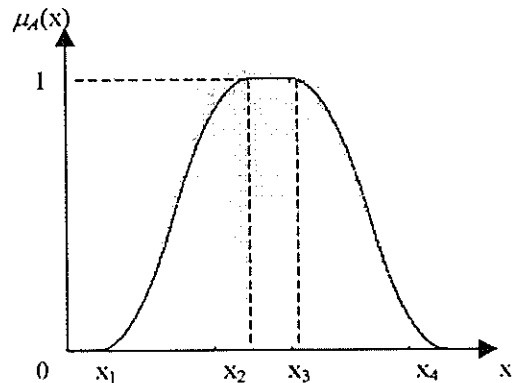
Gambar 3. Model fungsi keanggotaan fuzzy non-linear (*polynomial*).

**Gugus Fuzzy Polynomial**

Gugus Fuzzy Polynomial direpresentasikan dengan empat parameter :

$$A = (x_1, x_2, x_3, x_4)$$

Ilustrasinya adalah seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Gugus Fuzzy Polynomial.

Dari Gambar 4,  $\mu_A(x)$  merupakan fungsi keanggotaan dari gugus *fuzzy* yang memetakan elemen sebuah bilangan  $x$ , sehingga perumusannya adalah sebagai berikut :

$$\mu_A(x) = 0, \text{ untuk } x < x_1 \text{ dan } x > x_4$$

$$\mu_A(x) = 1, \text{ untuk } x_2 \leq x \leq x_3$$

$$\mu_A(x) = \frac{2(x-x_1)^2}{(x_2-x_1)^2}, \text{ untuk } x_1 \leq x \leq \frac{x_2-x_1}{2}$$

$$\mu_A(x) = 1 - \frac{2(x_2-x)^2}{(x_2-x_1)^2}, \text{ untuk } \frac{x_2-x_1}{2} \leq x \leq x_2$$

$$\mu_A(x) = 1 - \frac{2(x-x_3)^2}{(x_4-x_3)^2}, \text{ untuk } x_3 \leq x \leq \frac{x_4-x_3}{2}$$

$$\mu_A(x) = \frac{2(x_4-x)^2}{(x_4-x_3)^2}, \text{ untuk } \frac{x_4-x_3}{2} \leq x \leq x_4$$

### Sistem Inferensia Fuzzy

Sistem inferensia *fuzzy* merupakan suatu proses untuk pengambilan keputusan dengan menggunakan logika *fuzzy*. Proses yang terjadi merupakan formulasi pemetaan dari *input* yang diberikan ke suatu *output* (Mathwork Inc., 1999). Proses ini melibatkan semua bagian dari sistem *fuzzy* yaitu : fungsi keanggotaan, operator logika *fuzzy*, dan kaidah *fuzzy*. Proses inferensia *fuzzy* ini diterapkan pada sistem pakar untuk menangani masalah ketidakpastian.

Sibigtroth (1992) mengemukakan bahwa secara umum ada tiga proses pengambilan keputusan dalam logika *fuzzy* yaitu fuzifikasi, pengevaluasian aturan (*rule*), dan defuzifikasi. Secara terinci, ada 5 tahap dalam proses inferensia *fuzzy* yaitu fuzifikasi dari variabel-variabel *input*, penerapan operator *fuzzy*, implikasi, agregasi dan defuzifikasi (Mathwork Inc., 1999). Penjelasannya adalah sebagai berikut:

#### 1. Fuzifikasi masukan

Fuzifikasi masukan merupakan tahap pertama dari proses inferensia *fuzzy*. Pada tahap ini data masukan diterima dan sistem menentukan nilai fungsi keanggotaannya. Fuzifikasi memperoleh suatu nilai dan mengkombinasikannya dengan fungsi keanggotaan untuk menghasilkan nilai *fuzzy* (Sibigtroth, 1992).

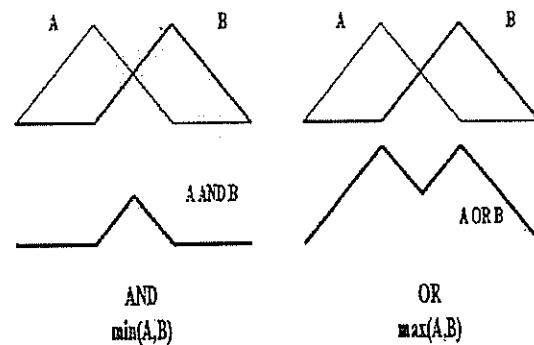
#### 2. Menerapkan operator *fuzzy*

Pada tahap ini dilakukan evaluasi kaidah menggunakan teknik yang disebut *min-max inference* untuk menentukan nilai akhir berdasarkan nilai sistem *input*.

Siler (1997) mengemukakan bahwa masing-masing kaidah memiliki bentuk pernyataan IF-THEN. Bagian IF dari suatu kaidah meliputi satu atau lebih kondisi, disebut *antecedent*, sedangkan bagian THEN meliputi satu atau lebih aksi, disebut *consequent*. Suatu *antecedent* dari kaidah terhubung langsung pada derajat keanggotaan (*fuzzy input*) ditentukan melalui proses fuzifikasi.

Setelah dilakukan proses fuzifikasi masukan, derajat keanggotaan untuk setiap bagian dari *antecedent* akan diperoleh untuk setiap kaidah. Jika *antecedent* dari suatu kaidah yang diberikan memiliki lebih dari satu bagian, maka operator *fuzzy* digunakan untuk menentukan nilai yang merepresentasikan hasil inferensia dari kaidah tersebut. Nilai tersebut kemudian akan digunakan untuk fungsi *output*.

Operasi yang berlaku dapat berupa operasi AND atau operasi OR yang identik dengan operasi logika standar. Pada Operasi AND menggunakan fungsi *min* dan pada operasi OR menggunakan fungsi *max*. Gambar 5 menggambarkan operasi dari *fuzzy operator*.



Gambar 5. Operator Fuzzy (AND dan OR).

#### 3. Proses implikasi

Untuk menjalankan proses implikasi, terlebih dahulu perlu diketahui bobot setiap aturan. Bobot memiliki nilai dalam selang [0,1].

Masukan dari proses implikasi adalah nilai yang dihasilkan oleh *antecedent* dan keluarannya adalah gugus *fuzzy*. Proses implikasi menghasilkan gugus yang dinyatakan dengan fungsi keanggotaan. Nilai gugus tersebut bersesuaian dengan sifat linguistiknya.

Metode implikasi dijalankan pada setiap kaidah dan operasi yang digunakan pada proses implikasi adalah operasi *product*.

#### 4. Proses agregasi

Agregasi adalah proses penggabungan keluaran setiap kaidah menjadi satu nilai *fuzzy*. Masukan dari proses agregasi adalah keluaran dari proses implikasi untuk setiap kaidah. Keluaran proses agregasi adalah gugus *fuzzy* tunggal untuk setiap variabel masukan yang kemudian akan dilakukan defuzifikasi.

#### 5. Defuzifikasi

Defuzifikasi menurut Sibigroth (1992) adalah suatu proses yang menggabungkan seluruh *fuzzy output* menjadi sebuah hasil yang spesifik. Defuzifikasi merupakan proses kebalikan dari fuzifikasi, dimana nilai keanggotaan dari suatu gugus *fuzzy* dikonversi ke dalam suatu bilangan *real* (Siler, 1997). Masukan dari proses defuzifikasi adalah gugus *fuzzy* (gugus *fuzzy* keluaran dari proses agregasi), dan keluarannya adalah nilai tunggal. Metode defuzifikasi standar yang digunakan adalah *Centroid* (*Center of Gravity*). Dalam metode *Centroid*, nilai dari variabel *output* dihitung dengan mengambil nilai dari posisi pusat dari kurva fungsi keanggotaan variabel *output* yang merupakan gabungan dari proses agregasi gugus *fuzzy output*. Formulasi metode tersebut adalah sebagai berikut:

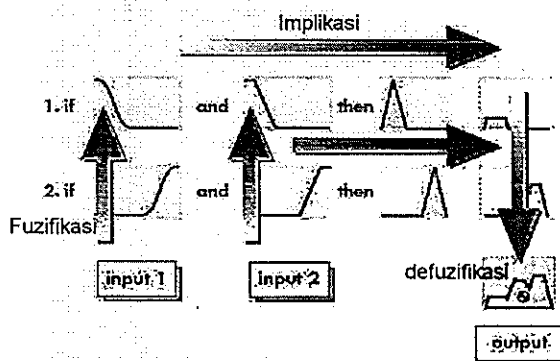
$$D = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \times S_i}{\sum_{i=1}^n F_i}$$

Dimana D merupakan *decision*,  $F_i$  melambangkan *fuzzy output* dari suatu sistem *output*,  $S_i$  adalah posisi pusat dari sistem *fuzzy output*, dan n merupakan jumlah label yang didefinisikan untuk sistem *output* yang sesuai.

Selain *Centroid*, metode defuzifikasi yang biasa digunakan adalah dengan mengambil *fuzzy output* yang terkuat sebagai hasil. Metode ini disebut sebagai *Maximum Output*. Metode

ini biasa digunakan karena lebih mudah dan sederhana dalam pengambilan keputusan.

Sistem inferensia *fuzzy* secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram sistem inferensia *fuzzy*.

#### Evaluasi Kesesuaian Lahan

Evaluasi kesesuaian lahan adalah proses pendugaan tingkat kesesuaian lahan untuk berbagai alternatif penggunaan seperti penggunaan untuk pertanian, kehutanan pariwisata, konservasi lahan, atau jenis penggunaan lainnya (Djaenuddin *et al.* 1994).

Untuk evaluasi lahan, sifat-sifat lahan dirinci dalam kualitas lahan dan karakteristik lahan. Kualitas lahan adalah sifat-sifat yang kompleks dari suatu lahan yang berpengaruh terhadap kesesuaiannya bagi penggunaan tertentu, sedangkan karakteristik lahan merupakan sifat-sifat lahan yang dapat diukur. Parameter-parameter yang digunakan dalam pengevaluasian lahan adalah karakteristik lahan seperti pada Tabel 1.

Kelas kesesuaian lahan dibagi menjadi lima kelas (CSR/FAO dalam Djaenuddin *et al.* 1994), yaitu lahan sangat sesuai (S1), lahan agak sesuai (S2), lahan hampir sesuai (S3), lahan tidak sesuai saat ini (N1), dan lahan tidak sesuai selamanya (N2).

Metode penilaian kesesuaian lahan dilakukan dengan membandingkan antara karakteristik lahan dengan persyaratan tumbuh tanaman.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data karakteristik lahan untuk tanaman buah jeruk sebagai *sample*. Data penilaian kelas kesesuaian lahan untuk tanaman buah jeruk dapat dilihat pada Lampiran 2. Data tersebut diperoleh berdasarkan CSR/FAO (CSR/FAO dalam Djaenuddin *et al.* 1994).

Tabel 1. Kualitas dan karakteristik lahan untuk pengevaluasian kesesuaian lahan.

Kualitas Lahan	Karakteristik Lahan
Regim Temperatur	- Suhu rata-rata tahunan
Ketersediaan Air	- Curah hujan tahunan - Bulan kering
Media Perakaran	- Drainase - Tekstur (debu, pasir, liat) - Kedalaman efektif - Gambut (kedalaman, kematangan, kadar abu)
Retensi hara	- KTK - PH - C organik
Ketersediaan hara	- N total - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> tersedia - K <sub>2</sub> O tersedia
Toksisitas	- Bahan sulfidik - Salinitas
Potensi mekanisasi	- Kemiringan lahan - Batu dipermukaan lahan - Singkapan batuan
Bahaya erosi	- Indeks bahaya erosi

### Data Overlapping

Data pada Lampiran 2 merupakan data penilaian kelas kesesuaian lahan secara konvensional dan berbentuk selang-selang yang terputus. Dalam sistem *fuzzy*, data berupa selang-selang yang *overlap*, yang proses *overlap*-nya dilakukan melalui *interview* dengan pakar yang berkompeten dalam bidang evaluasi lahan. Dengan tetap memperhatikan tingkat keabsahannya, pakar memberikan *overlap* berdasarkan pengalaman yang dimilikinya untuk masing-masing karakteristik lahan. Data penilaian kelas kesesuaian lahan untuk tanaman buah jeruk secara *overlap* dapat dilihat pada Lampiran 3.

Hasil penentuan *overlap* tersebut dimodelkan dengan model *fuzzy trapezoidal* dan *fuzzy polynomial* yang akan dibandingkan, sehingga didapatkan model untuk temperatur sebagai berikut :

```
[Input1]
Name='TEMPERATUR'
Range=[0 40]
N1A [0.0 0.0 17.5 18.5]
S2 [17.5 18.5 19.5 20.5]
S1 [19.5 20.5 29.5 30.5]
N1B [29.5 30.5 40.5 40.5]
```

yang berarti :

S1	$\mu_{S1}$
19.500000	0.000000
20.500000	1.000000
29.500000	1.000000
30.500000	0.000000
S2	$\mu_{S2}$
17.500000	0.000000
18.500000	1.000000
19.500000	1.000000
20.500000	0.000000
N1	$\mu_{N1}$
17.500000	1.000000
18.500000	0.000000
29.500000	0.000000
30.500000	1.000000

begitu pula dengan parameter-parameter evaluasi lahan yang lain, yang secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 4.

### Metode Pengevaluasian Lahan

Penilaian klasifikasi kesesuaian lahan dilakukan dengan membandingkan antara karakteristik lahan sebagai parameter dengan persyaratan tumbuh tanaman yang telah disusun dalam tabel penilaian kesesuaian lahan (Lampiran 2).

Prinsip dasar pengambilan keputusan dalam proses evaluasi lahan secara konvensional yaitu :

1. S1 jika semua nilai untuk masing-masing parameter berada pada selang S1.
2. S2 jika salah satu parameter berada pada selang S2.
3. S3 jika salah satu parameter berada pada selang S3, dan begitu juga seterusnya sampai N2

Prinsip tersebut juga diterapkan pada logika *fuzzy*.

#### *Pendefinisian Rule*

Menurut pakar, kaidah (*rule*) yang digunakan untuk merepresentasikan pengetahuan dalam proses pengevaluasian lahan adalah kaidah produksi, yang terdiri dari bagian IF dan bagian THEN, dengan menggunakan *fuzzy operator* AND. Sistem produksi ini merupakan sistem yang dapat membangkitkan fakta baru, yang pada dasarnya adalah sekumpulan pernyataan IF/THEN atau kaidah-kaidah (Turban, 1992).

Selanjutnya berdasarkan pengetahuan dari pakar evaluasi lahan, kaidah-kaidah yang akan digunakan untuk pengujian diformulasikan, sehingga didefinisikan sebanyak 21 kaidah (Lampiran 5).

#### *Proses Inferensia Fuzzy*

Setelah kaidah-kaidah yang akan digunakan dalam pengevaluasian lahan telah selesai diformulasikan, maka untuk memperoleh nilai *output* dilakukan proses inferensia *fuzzy*. Seperti yang telah dijelaskan dalam tinjauan pustaka, proses inferensia *fuzzy* melalui 5 tahap, yaitu proses fuzifikasi, penerapan operator *fuzzy*, proses implikasi, agregasi dan defuzifikasi. Proses inferensia *fuzzy* dimodelkan dengan *fuzzy trapezoidal* dan dengan model *fuzzy polynomial*, dan untuk proses defuzifikasi digunakan metode *Center of Gravity* dan metode *Maximum Output*.

Proses inferensia *fuzzy* untuk memperoleh sistem *output* dapat dilakukan secara manual maupun dengan menggunakan suatu *tool* khusus yang menyediakan fasilitas untuk proses inferensia *fuzzy*. Contoh *Fuzzy tool* yang dapat digunakan adalah perangkat lunak Matlab *Fuzzy Toolbox* versi 5.3. Penggunaan *fuzzy tool* akan membuat proses inferensia *fuzzy* menjadi lebih cepat dan akurat dibandingkan dengan penghitungan secara manual untuk memperoleh suatu nilai *output* yang diharapkan

#### *Pengujian Hasil*

Setelah memperoleh sistem *output*, maka dilakukan pengujian hasil. Nilai-nilai *output* kuantitatif yang dihasilkan dari proses inferensia model *fuzzy trapezoidal* dibandingkan dengan sistem *output* yang dihasilkan dari model *fuzzy polynomial*. Kemudian hasil yang diperoleh dari sistem inferensia *fuzzy* yang menerapkan metode defuzifikasi *Maximum Output* juga dibandingkan secara kualitatif.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, untuk melakukan pengujian hasil, diberikan nilai-nilai *input* yang *overlap* pada parameter suhu di antara selang S1 dan S2, sehingga nilai-nilai *input* yang diberikan untuk parameter ini adalah di antara selang 19.5 °C sampai 20.5 °C. Untuk parameter lainnya diberikan nilai *input* yang berada dalam selang S1.

Hasil yang diperoleh dari sistem ini dibagi menjadi dua, yaitu hasil kualitatif dan nilai *output* kuantitatif. *Output* secara kualitatif diperoleh dengan membandingkan nilai persentase kesesuaian lahan dengan selang klasifikasi kesesuaian lahan, sedangkan nilai kuantitatif merupakan nilai persentase kesesuaian lahan itu sendiri.

#### **Hasil secara kualitatif**

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, hasil kualitatif diperoleh dengan membandingkan nilai kuantitatifnya dengan selang klasifikasi kesesuaian lahan. Untuk itu diperlukan dasar klasifikasi kesesuaian lahan yang dikemukakan oleh Ranst *et al.* (1996). Dasar klasifikasi kesesuaian lahan meliputi persentase dari S1 (75% – 100%), S2 (50% – 75%), S3 (25% – 50%), dan N1 (0% – 25%), sehingga didapatkan nilai tengah dari S1 adalah 87.5%, S2 adalah 62.5%, dan seterusnya. Misalnya diberikan nilai persentase dari kesesuaian lahan berada di antara selang 75% - 100%, maka *output* secara kualitatif adalah S1 (sangat sesuai).

Hasil kualitatif yang diperoleh dari model *fuzzy trapezoidal* dibandingkan dengan hasil *fuzzy polynomial*, dengan menggunakan nilai-nilai *input* yang telah dijelaskan sebelumnya.

Berikut ini merupakan beberapa contoh untuk memperoleh sistem *output* secara kualitatif yang



melalui proses inferensia *fuzzy*. Misalnya untuk contoh 1, nilai-nilai *input* yang diberikan adalah :

Average temperature (°C) = 20.4  
 Dry month = 2.5  
 Rainfall (mm/year) = 2000  
 Land drainage (days) = 50  
 Land texture for dust (%) = 60  
 Land texture for sand (%) = 30  
 Land texture for clayey (%) = 10  
 The effective root depth (cm) = 120  
 Turf overripeness (%) = 20  
 Turf thickness (cm) = 42  
 Land KTK (me/100 g) = 20  
 Land pH = 6  
 C-Organic (%) = 4  
 Salinity (mmhos/cm) = 1  
 Sulfide depth (cm) = 110  
 Availability of N (%) = 0.5  
 Availability of P2O5 (ppm) = 30  
 Availability of K2O (mg/100 g) = 30  
 Sloping land (%) = 1  
 Surface rock (%) = 1  
 Folded down of rock (%) = 1  
 Erosion danger (e) = 0.3

Dari contoh nilai-nilai *input* tersebut, ditunjukkan bahwa temperatur berada di antara selang S1 dan S2. Hal ini dapat ditentukan dengan merujuk pada Lampiran 4.

Fuzifikasi dilakukan dengan menghitung derajat keanggotaan yang ditentukan melalui *formula* yang telah didefinisikan sebelumnya pada tinjauan pustaka untuk *fuzzy polynomial*. Jika diketahui *input* (x) adalah 20.4,  $x_1 = 19.5$ , dan  $x_2 = 20.5$ , maka diperoleh *fuzzy input* untuk S1 :

$$\mu(20.4) = 1 - \frac{2 \times (20.5 - 20.4)^2}{(20.5 - 19.5)^2}$$

$$= 0.98$$

dan untuk S2 :

$$\mu(20.4) = \frac{2 \times (20.5 - 20.4)^2}{(20.5 - 19.5)^2}$$

$$= 0.02$$

Derajat keanggotaan untuk parameter lainnya bernilai 1 untuk S1.

Setelah diperoleh nilai *fuzzy input*, maka dilakukan pengevaluasian aturan. Berdasarkan fuzifikasi masukan pada contoh di atas, maka akan ada dua kaidah yang digunakan untuk pengevaluasian aturan, yaitu Kaidah 1 dan Kaidah 2 (Lampiran 5). Setelah dilakukan proses implikasi, maka hasilnya akan terlihat seperti berikut ini :

Implikasi Kaidah 1 :

IF:  
 Average temperature = (0.98)S1  
 and Dry month = S1 (1)  
 and Rainfall = S1 (1)  
 and Land drainage = S1 (1)  
 and Land texture for dust = S1 (1)  
 and Land texture for sand = S1 (1)  
 and Land texture for clayey = S1 (1)  
 and The effective root depth = S1 (1)  
 and Turf overripeness = S1 (1)  
 and Turf thickness = S1 (1)  
 and Land KTK = S1 (1)  
 and Land pH = S1 (1)  
 and C-Organic = S1 (1)  
 and Salinity = S1 (1)  
 and Sulfide depth = S1 (1)  
 and Availability of N = S1 (1)  
 and Availability of P2O5 = S1 (1)  
 and Availability of K2O = S1 (1)  
 and Sloping land = S1 (1)  
 and Surface rock = S1 (1)  
 and Folded down of rock = S1 (1)  
 and Erosion danger = S1 (1)  
 THEN: Output1 = (0.98)S1

Implikasi Kaidah 2 :

IF:  
 Average temperature = (0.02)S2  
 and Dry month = S1 (1)  
 and Rainfall = S1 (1)  
 and Land drainage = S1 (1)  
 and Land texture for dust = S1 (1)  
 and Land texture for sand = S1 (1)  
 and Land texture for clayey = S1 (1)  
 and The effective root depth = S1 (1)  
 and Turf overripeness = S1 (1)  
 and Turf thickness = S1 (1)  
 and Land KTK = S1 (1)  
 and Land pH = S1 (1)  
 and C-Organic = S1 (1)  
 and Salinity = S1 (1)  
 and Sulfide depth = S1 (1)  
 and Availability of N = S1 (1)  
 and Availability of P2O5 = S1 (1)  
 and Availability of K2O = S1 (1)  
 and Sloping land = S1 (1)  
 and Surface rock = S1 (1)  
 and Folded down of rock = S1 (1)  
 and Erosion danger = S1 (1)  
 THEN: Output1 = (0.02)S2

Keluaran dari proses implikasi untuk setiap kaidah di atas menjadi masukan untuk proses agregasi. Dari contoh ini, proses agregasi tidak perlu dilakukan karena hanya terdapat satu keluaran untuk setiap kondisi pada setiap kaidah hasil implikasi.

Untuk memperoleh satu keputusan dilakukan proses defuzifikasi. Dalam membandingkan hasil kualitatif kesesuaian lahan antara model *fuzzy trapezoidal* dengan *fuzzy polynomial* ini, metode defuzifikasi yang dilakukan adalah metode

Centroid dengan menggunakan persamaan *Center of Gravity* seperti berikut :

$$D = \frac{(\mu_{S1} \times 87.5) + (\mu_{S2} \times 62.5)}{\mu_{S1} + \mu_{S2}}$$

$$D = \frac{(0.98 \times 87.5) + (0.02 \times 62.5)}{0.98 + 0.02}$$

$$D = 87 \%$$

Berdasarkan kelas klasifikasi kesesuaian lahan, maka nilai *output* 87% termasuk dalam selang S1 (sangat sesuai), sehingga pada contoh di atas. S1 merupakan hasil defuzifikasi secara kualitatif. Hal ini berarti jeruk sangat sesuai ditanam pada lahan yang dievaluasi.

Selain dengan metode defuzifikasi *Centroid*, dalam penelitian ini juga diterapkan metode defuzifikasi dengan mengambil nilai *output* yang terkuat (*Maximum Output*) sebagai hasil. Pada contoh di atas dari hasil proses agregasi diperoleh *fuzzy output* untuk S1=0.98 dan S2=0.02, sehingga dengan metode *Maximum Output* diperoleh hasil kualitatifnya adalah S1, sama dengan hasil yang diperoleh dengan metode defuzifikasi *Centroid* di atas.

Proses inferensia *fuzzy* pada contoh yang telah dijelaskan di atas menggunakan model *fuzzy polynomial*. Untuk model *kurva trapezoidal*, proses yang dilakukan sama saja. Kedua model *fuzzy* tersebut hanya dibedakan oleh fungsi keanggotaan *fuzzy* yang digunakan. Dengan perumusan fungsi keanggotaan *fuzzy trapezoidal*, maka pada contoh di atas akan diperoleh hasil *fuzzy output* untuk S1=0.9 dan S2=0.1. Hasil agregasi ini kemudian juga didefuzifikasikan dengan metode *Centroid* dan *Maximum Output*. Dengan metode defuzifikasi *Maximum Output*, maka hasilnya secara kualitatif adalah dengan mengambil nilai *fuzzy output* yang terbesar, sehingga dalam ini hasilnya adalah S1.

Untuk metode defuzifikasi *Centroid* pada model *fuzzy trapezoidal*, perhitungannya adalah seperti berikut ini :

$$D = \frac{(\mu_{S1} \times 87.5) + (\mu_{S2} \times 62.5)}{\mu_{S1} + \mu_{S2}}$$

$$D = \frac{(0.9 \times 87.5) + (0.1 \times 62.5)}{0.9 + 0.1}$$

$$D = 85 \%$$

Berdasarkan kelas klasifikasi kesesuaian lahan, nilai *output* 85% termasuk dalam selang S1 (sangat sesuai), sehingga pada contoh di atas dengan model *fuzzy trapezoidal*, S1 merupakan hasil defuzifikasi secara kualitatif.

Contoh berikutnya dengan memberikan nilai *input* 19.6 untuk parameter suhu, sehingga secara keseluruhan nilai-nilai *input*-nya adalah sebagai berikut :

Average temperature (°C) = 19.6  
 Dry month = 2.5  
 Rainfall (mm/year) = 2000  
 Land drainage (days) = 50  
 Land texture for dust (%) = 60  
 Land texture for sand (%) = 30  
 Land texture for clayey (%) = 10  
 The effective root depth (cm) = 120  
 Turf overripe (%) = 20  
 Turf thickness (cm) = 42  
 Land KTK (me/100 g) = 20  
 Land pH = 6  
 C-Organic (%) = 4  
 Salinity (mmhos/cm) = 1  
 Sulfide depth (cm) = 110  
 Availability of N (%) = 0.5  
 Availability of P2O5 (ppm) = 30  
 Availability of K2O (mg/100 g) = 30  
 Sloping land (%) = 1  
 Surface rock (%) = 1  
 Folded down of rock (%) = 1  
 Erosion danger (e) = 0.3

Proses pengambilan keputusan dengan logika *fuzzy* untuk nilai-nilai *input* tersebut di atas sama seperti pada contoh pertama.

Pada model *fuzzy polynomial*, untuk memperoleh nilai *fuzzy output* digunakan fungsi keanggotaan *fuzzy polynomial* seperti pada contoh pertama, sehingga diperoleh *fuzzy input* untuk S1 :

$$\mu(19.6) = \frac{2 \times (19.6 - 19.5)^2}{(20.5 - 19.5)^2} = 0.02$$

dan untuk S2 :

$$\mu(20.4) = 1 - \frac{2 \times (19.6 - 19.5)^2}{(20.5 - 19.5)^2} = 0.98$$

Berdasarkan fuzifikasi masukan tersebut, maka juga ada dua kaidah yang digunakan untuk pengevaluasian aturan seperti pada contoh pertama, yaitu Kaidah 1 dan Kaidah 2 (Lampiran 5). Setelah dilakukan proses implikasi, hasilnya akan terlihat seperti berikut ini :

### Implikasi Kaidah 1 :

IF:  
 Average temperature = (0.02)S1  
 and Dry month = S1 (1)  
 and Rainfall = S1 (1)  
 and Land drainage = S1 (1)  
 and Land texture for dust = S1 (1)  
 and Land texture for sand = S1 (1)  
 and Land texture for clayey = S1 (1)  
 and The effective root depth = S1 (1)  
 and Turf overripeness = S1 (1)  
 and Turf thickness = S1 (1)  
 and Land KTK = S1 (1)  
 and Land pH = S1 (1)  
 and C-Organic = S1 (1)  
 and Salinity = S1 (1)  
 and Sulfide depth = S1 (1)  
 and Availability of N = S1 (1)  
 and Availability of P2O5 = S1 (1)  
 and Availability of K2O = S1 (1)  
 and Sloping land = S1 (1)  
 and Surface rock = S1 (1)  
 and Folded down of rock = S1 (1)  
 and Erosion danger = S1 (1)  
 THEN: Output1 = (0.02)S1

### Implikasi Kaidah 2 :

IF:  
 Average temperature = (0.98)S2  
 and Dry month = S1 (1)  
 and Rainfall = S1 (1)  
 and Land drainage = S1 (1)  
 and Land texture for dust = S1 (1)  
 and Land texture for sand = S1 (1)  
 and Land texture for clayey = S1 (1)  
 and The effective root depth = S1 (1)  
 and Turf overripeness = S1 (1)  
 and Turf thickness = S1 (1)  
 and Land KTK = S1 (1)  
 and Land pH = S1 (1)  
 and C-Organic = S1 (1)  
 and Salinity = S1 (1)  
 and Sulfide depth = S1 (1)  
 and Availability of N = S1 (1)  
 and Availability of P2O5 = S1 (1)  
 and Availability of K2O = S1 (1)  
 and Sloping land = S1 (1)  
 and Surface rock = S1 (1)  
 and Folded down of rock = S1 (1)  
 and Erosion danger = S1 (1)  
 THEN: Output1 = (0.98)S2

Proses agregasi tidak perlu dilakukan karena hanya terdapat satu keluaran untuk setiap kondisi pada setiap kaidah hasil implikasi. Metode defuzifikasi *Centroid* juga dilakukan untuk memperoleh *output* sehingga diperoleh :

$$D = \frac{(0.02 \times 87.5) + (0.98 \times 62.5)}{0.98 + 0.02} = 63\%$$

Berdasarkan kelas klasifikasi kesesuaian lahan, nilai *output* 63% termasuk dalam selang S2 (agak

sesuai), sehingga pada contoh ini, S2 merupakan hasil defuzifikasi secara kualitatif. Hal ini berarti jeruk agak sesuai ditanam pada lahan yang dievaluasi. Begitu pula dengan metode defuzifikasi *Maximum Output* hasil yang diperoleh adalah S2 karena *fuzzy output* untuk S2 lebih besar daripada *fuzzy output* untuk S1 ( $0.98 > 0.2$ ).

Untuk model *fuzzy trapezoidal*, dengan proses yang sama seperti pada contoh sebelumnya diperoleh *fuzzy output* untuk S1 adalah 0.1 dan *fuzzy output* untuk S2 adalah 0.9 sehingga proses defuzifikasi untuk metode *Maximum Output* hasilnya secara kualitatif adalah dengan mengambil nilai *fuzzy output* yang terbesar, sehingga dalam hal ini hasilnya adalah S2.

Untuk metode defuzifikasi *Centroid* pada model *fuzzy trapezoidal*, perhitungannya adalah seperti berikut ini :

$$D = \frac{(0.1 \times 87.5) + (0.9 \times 62.5)}{0.9 + 0.1} = 65\%$$

Berdasarkan kelas klasifikasi kesesuaian lahan, nilai *output* 65% termasuk dalam selang S2 (agak sesuai), sehingga pada contoh di atas dengan model *fuzzy trapezoidal*, S2 merupakan hasil defuzifikasi secara kualitatif.

Contoh berikutnya untuk menentukan kualitas lahan adalah dengan memberikan nilai *input* 20.0 untuk parameter suhu, sehingga secara keseluruhan nilai-nilai *input*-nya adalah sebagai berikut :

Average temperature (°C) = 20.0  
 Dry month = 2.5  
 Rainfall (mm/year) = 2000  
 Land drainage (days) = 50  
 Land texture for dust (%) = 60  
 Land texture for sand (%) = 30  
 Land texture for clayey (%) = 10  
 The effective root depth (cm) = 120  
 Turf overripeness (%) = 20  
 Turf thickness (cm) = 42  
 Land KTK (me/100 g) = 20  
 Land pH = 6  
 C-Organic (%) = 4  
 Salinity (mmhos/cm) = 1  
 Sulfide depth (cm) = 110  
 Availability of N (%) = 0.5  
 Availability of P2O5 (ppm) = 30  
 Availability of K2O (mg/100 g) = 30  
 Sloping land (%) = 1  
 Surface rock (%) = 1  
 Folded down of rock (%) = 1  
 Erosion danger (e) = 0.3

Proses pengambilan keputusan dengan logika fuzzy untuk nilai-nilai *input* tersebut di atas sama seperti pada kedua contoh sebelumnya. Untuk model *fuzzy polynomial*, *fuzzy input* untuk S1 adalah :

$$\mu(20.0) = \frac{2 \times (20.0 - 19.5)^2}{(20.5 - 19.5)^2} = 0.5$$

dan untuk S2 adalah :

$$\mu(19.6) = \frac{2 \times (20.5 - 20.0)^2}{(20.5 - 19.5)^2} = 0.5$$

Seperti pada contoh-contoh sebelumnya, pada kasus ini untuk pengevaluasian aturan digunakan dua kaidah, yaitu Kaidah 1 dan Kaidah 2 (Lampiran 5). Hasil proses implikasinya adalah :

Implikasi Kaidah 1 :

IF: Average temperature = (0.5)S1  
 and Dry month = S1 (1)  
 and Rainfall = S1 (1)  
 and Land drainage = S1 (1)  
 and Land texture for dust = S1 (1)  
 and Land texture for sand = S1 (1)  
 and Land texture for clayey = S1 (1)  
 and The effective root depth = S1 (1)  
 and Turf overripe = S1 (1)  
 and Turf thickness = S1 (1)  
 and Land KTK = S1 (1)  
 and Land pH = S1 (1)  
 and C-Organic = S1 (1)  
 and Salinity = S1 (1)  
 and Sulfide depth = S1 (1)  
 and Availability of N = S1 (1)  
 and Availability of P2O5 = S1 (1)  
 and Availability of K2O = S1 (1)  
 and Sloping land = S1 (1)  
 and Surface rock = S1 (1)  
 and Folded drown of rock = S1 (1)  
 and Erosion danger = S1 (1)  
 THEN: Output1 = (0.5)S1

Implikasi Kaidah 2 :

IF: Average temperature = (0.5)S2  
 and Dry month = S1 (1)  
 and Rainfall = S1 (1)  
 and Land drainage = S1 (1)  
 and Land texture for dust = S1 (1)  
 and Land texture for sand = S1 (1)  
 and Land texture for clayey = S1 (1)  
 and The effective root depth = S1 (1)  
 and Turf overripe = S1 (1)  
 and Turf thickness = S1 (1)  
 and Land KTK = S1 (1)  
 and Land pH = S1 (1)  
 and C-Organic = S1 (1)  
 and Salinity = S1 (1)

and Sulfide depth = S1 (1)  
 and Availability of N = S1 (1)  
 and Availability of P2O5 = S1 (1)  
 and Availability of K2O = S1 (1)  
 and Sloping land = S1 (1)  
 and Surface rock = S1 (1)  
 and Folded drown of rock = S1 (1)  
 and Erosion danger = S1 (1)  
 THEN: Output1 = (0.5)S2

Kemudian dilakukan defuzifikasi metode *Centroid* sebagai berikut :

$$D = \frac{(0.5 \times 87.5) + (0.5 \times 62.5)}{0.5 + 0.5} = 75\%$$

Berdasarkan kelas klasifikasi kesesuaian lahan, hasil persentase kesesuaian lahan sebesar 75% termasuk dalam selang S1 (sangat sesuai) atau S2 (agak sesuai). Jadi pada contoh ini hasil evaluasi lahan secara kualitatif bisa diklasifikasikan ke dalam S1 atau S2. Metode defuzifikasi *Maximum Output* juga memberikan hasil yang sama karena *fuzzy output* dari S1 nilainya sama dengan nilai *fuzzy output* dari S2 (75%).

Untuk model *fuzzy trapezoidal*, dengan proses yang sama seperti pada contoh-contoh sebelumnya diperoleh *fuzzy output* untuk S1 adalah 0.5 dan *fuzzy output* untuk S2 adalah 0.5 sehingga proses defuzifikasi untuk metode *Maximum Output* hasilnya secara kualitatif adalah dengan mengambil nilai *fuzzy output* yang terbesar. Dalam kasus ini, tidak ada *fuzzy output* yang terbesar karena nilai kedua *fuzzy output* tersebut sama, sehingga dalam hal ini hasilnya adalah S1 atau S2.

Untuk metode defuzifikasi *Centroid* pada model *fuzzy trapezoidal*, perhitungannya adalah seperti berikut ini :

$$D = \frac{(0.5 \times 87.5) + (0.5 \times 62.5)}{0.5 + 0.5} = 75\%$$

Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa pada contoh ini hasil evaluasi lahan secara kualitatif bisa diklasifikasikan ke dalam S1 atau S2.

Proses tersebut di atas juga dilakukan untuk nilai-nilai *input* lain yang diberikan di antara selang *overlap* S1 dan S2 pada parameter suhu, dan juga dengan model fungsi keanggotaan *fuzzy polynomial* dan *trapezoidal*, sehingga diperoleh hasil seperti pada tabel berikut :

Tabel 2. Hasil kualitatif evaluasi lahan dengan model *fuzzy trapezoidal* dan *fuzzy polynomial*.

T (°C)	FT	FP
20.4	S1	S1
20.3	S1	S1
20.2	S1	S1
20.1	S1	S1
20.0	S1/S2	S1/S2
19.9	S2	S2
19.8	S2	S2
19.7	S2	S2
19.6	S2	S2

Dengan T merupakan nilai *input* untuk parameter suhu, FT adalah hasil kualitatif kesesuaian lahan dengan model *fuzzy trapezoidal*, dan FP adalah hasil percobaan dengan model *fuzzy polynomial*.

Hasil pengujian yang terlihat pada Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai kualitatif *output* yang diperoleh dengan kedua model *fuzzy* memberikan hasil yang sama.

Kemudian dengan proses yang sama seperti pada ketiga contoh di atas, hasil kualitatif yang diperoleh dari percobaan yang dilakukan dengan metode defuzifikasi *Maximum Output* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengevaluasian lahan dengan metode defuzifikasi *Maximum Output* secara kualitatif.

T (°C)	Conv	MaxFT	MaxFP
20.4	S1	S1	S1
20.3	S1	S1	S1
20.2	S1	S1	S1
20.1	S1	S1	S1
20.0	S1/S2	S1/S2	S1/S2
19.9	S2	S2	S2
19.8	S2	S2	S2
19.7	S2	S2	S2
19.6	S2	S2	S2

Pada Tabel 3 di atas, *Conv* adalah hasil kualitatif yang diperoleh secara konvensional (*non-fuzzy*), *MaxFT* merupakan hasil kualitatif penerapan model *fuzzy trapezoidal* dan *MaxFP* hasil kualitatif dari *fuzzy polynomial* dengan menggunakan metode defuzifikasi *Maximum Output*. Percobaan tersebut menunjukkan bahwa proses defuzifikasi evaluasi lahan selain

menggunakan metode *Center of Gravity* (*Centroid*), ternyata juga dapat dilakukan dengan mengambil *fuzzy output* yang terkuat sebagai hasil (*Maximum Output*). Hal ini akan membuat sistem menjadi lebih sederhana dan cepat dalam proses pengambilan keputusan.

#### Hasil Kuantitatif

Sebelumnya telah diuraikan bahwa nilai kuantitatif merupakan nilai tingkat persentase dari kesesuaian lahan. Proses inferensia *fuzzy* untuk memperoleh hasil kuantitatif telah dijelaskan pada ketiga contoh di atas. Dengan memberikan nilai-nilai *input* yang sama seperti nilai *input* yang telah diberikan dan dengan proses yang sama, maka diperoleh sistem *output* secara kuantitatif seperti pada tabel berikut :

Tabel 4. Hasil persentase tingkat evaluasi lahan dengan model *fuzzy trapezoidal* dan *fuzzy polynomial*.

T (°C)	FT (%)	FP (%)
20.4	85.0	87.0
20.3	82.6	85.5
20.2	80.0	83.0
20.1	77.5	79.6
20.0	75.0	75.0
19.9	72.5	70.4
19.8	70.0	67.0
19.7	67.4	64.5
19.6	65.0	63.0

Dengan T merupakan nilai *input* untuk parameter suhu, FT adalah hasil kuantitatif kesesuaian lahan dengan model *fuzzy trapezoidal*, dan FP adalah hasil percobaan dengan model *fuzzy polynomial*.

Untuk mengolah data hasil proses inferensia *fuzzy* tersebut (Tabel 4), dilakukan perbandingan hasil, karena berdasarkan klasifikasi kelas kesesuaian lahan yang telah dijelaskan sebelumnya, didapatkan nilai tengah dari S1 adalah 87.5% S2 adalah 62.5%, sehingga *output* pada Tabel 4 akan dibandingkan untuk masing-masing kelas klasifikasinya, apakah data tersebut lebih dekat ke nilai tengah selang kelasnya atau tidak. Hasil perbandingan yang memperlihatkan bahwa data hasil percobaan lebih dekat ke nilai tengahnya menunjukkan bahwa model yang digunakan pada percobaan tersebut lebih baik daripada model lainnya.

*Perbandingan Nilai Tengah S1 (87.5)*

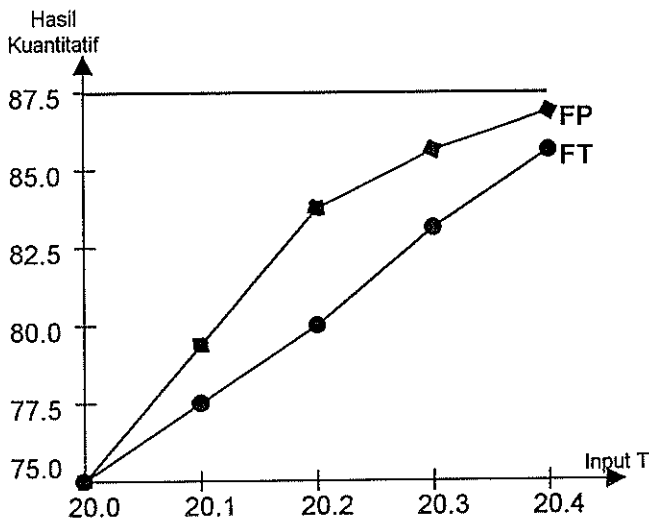
Dilihat pada Tabel 4, maka data yang termasuk dalam klasifikasi kelas S1 (75% – 100%) adalah seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil persentase tingkat evaluasi lahan dengan model *fuzzy trapezoidal* dan *fuzzy polynomial* pada kelas S1.

T (°C)	FT (%)	FP (%)
20.4	85.0	87.0
20.3	82.6	85.5
20.2	80.0	83.0
20.1	77.5	79.6
20.0	75.0	75.0

Dengan T merupakan nilai *input* untuk parameter suhu, FT adalah hasil kuantitatif kesesuaian lahan dengan model *fuzzy trapezoidal*, dan FP adalah hasil percobaan dengan model *fuzzy polynomial*.

Dari kedua model *fuzzy* tersebut akan dicari data mana yang lebih dekat ke nilai tengah selang S1 (87.5) dengan menggunakan grafik seperti pada Gambar 7.

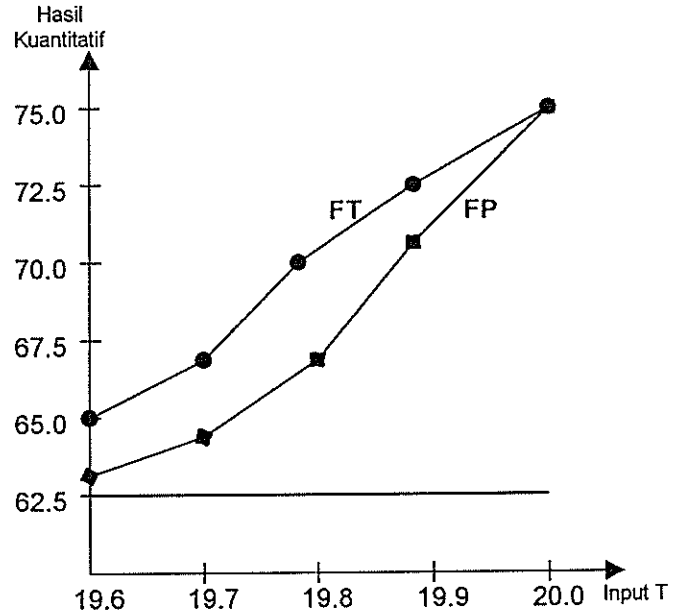


Gambar 7. Grafik perbandingan hasil kuantitatif antara model *trapezoidal* (FT) dan model *polynomial* (FP) dalam selang S1.

Grafik di atas memperlihatkan bahwa hasil yang diperoleh dengan model kurva *fuzzy polynomial* secara kuantitatif pada kelas S1 lebih dekat kepada nilai tengah selang kelas kesesuaian lahan, yaitu 87.5.

*Perbandingan Nilai Tengah S2 (62.5)*

Kemudian dengan merujuk data pada Tabel 6. perbandingan data persentase kesesuaian lahan hasil pengolahan dengan metode *fuzzy* pada selang S2 direpresentasikan oleh grafik di bawah ini :



Gambar 8. Grafik perbandingan hasil kuantitatif antara model *trapezoidal* (FT) dan model *polynomial* (FP) dalam selang S2.

Dari grafik terlihat bahwa hasil yang diperoleh dengan model kurva *fuzzy polynomial* secara kuantitatif pada kelas S2 lebih dekat kepada nilai tengah selang kelas kesesuaian lahan, yaitu 62.5.

Tabel 6. Hasil persentase tingkat evaluasi lahan dengan model *fuzzy trapezoidal* dan *fuzzy polynomial* pada kelas S2.

T (°C)	FT (%)	FP (%)
20.0	75.0	75.0
19.9	72.5	70.4
19.8	70.0	67.0
19.7	67.4	64.5
19.6	65.0	63.0

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Logika *fuzzy* dapat diterapkan pada pengembangan sistem pakar evaluasi lahan dan menghasilkan sistem *output* yang *valid*, karena hasil yang diperoleh sama dengan sistem *output* secara konvensional.

Proses pengambilan keputusan secara *fuzzy* secara umum ada tiga proses, yaitu fuzifikasi, pengevaluasian aturan (*rule*), dan defuzifikasi yang menghasilkan sistem *output* yang *valid*.

Selain model *fuzzy trapezoidal* yang telah diterapkan pada prototipe Spela Tabutro, model *fuzzy polynomial* dengan fungsi keanggotaan *nonlinear* juga dapat digunakan pada sistem pakar evaluasi lahan untuk tanaman buah tropik.

Hasil yang diperoleh dengan *fuzzy polynomial* secara kuantitatif lebih baik daripada model *fuzzy trapezoidal* karena hasil yang diperoleh lebih mendekati nilai tengah selang kelas kesesuaian lahan.

Selain penerapan metode defuzifikasi *Centroid*, penggunaan *fuzzy output* yang terkuat sebagai hasil juga dapat diterapkan pada sistem pakar evaluasi lahan.

### Saran

Pengujian dasar teori sistem pakar evaluasi lahan untuk tanaman buah tropik dengan logika *fuzzy* telah dilakukan, dan untuk menuju kesempurnaan, perlu dilakukan pengimplementasian sistem secara lengkap. Dengan semakin berkembangnya *internet*, Implementasi sistem berbasis *web* akan menjadi lebih baik, sehingga diharapkan sistem pakar ini akan benar-benar bermanfaat bagi para pengguna di mana saja yang membutuhkan.

Marimin. 1992. Struktur dan Aplikasi Sistem Pakar. Manajemen Pembangunan No. 1/1, Oktober.

Mathwork Inc., 1999. *Fuzzy Logic Toolbox for Use With Matlab*. The Mathwork Inc, Natick, USA.

Oktavian, R. 1999. Sistem Pakar Evaluasi Lahan untuk Tanaman Buah Tropik (Jeruk) Menggunakan Logika Fuzzy. Skripsi. Jurusan Ilmu Komputer, FMIPA IPB, Bogor.

Pacini, P. & Andrew T. 1992. *Fuzzy Logic Primer. A Brief Introduction to Fuzzy Logic*. Togai InfraLogic Inc, Irvine.

Ranst, E. V., H. Tang, R. Groenmans & S. Sinthurahat. 1996. Application of Fuzzy Logic to Land Suitability for Rubber Production in Peninsular Thailand. *Geoderma*, 70: 1-19.

Siler, W. 1997. Building Fuzzy Expert System. Alabama. [Http://users.aol.com/wsiler/](http://users.aol.com/wsiler/). (diakses bulan Juli 2000).

Sibigtroth, J. M. 1992. Implementing Fuzzy Expert Rules in Hardware. *AI Expert*, 7(4): 25-31.

Turban, E. 1992. *Expert Systems and Applied Artificial Intelligence*. Mac-Millan Publishing Company, New York.

Viot, G. 1993. Fuzzy logic: Concepts to constructs. *AI Expert*, 8(11): 26-33.

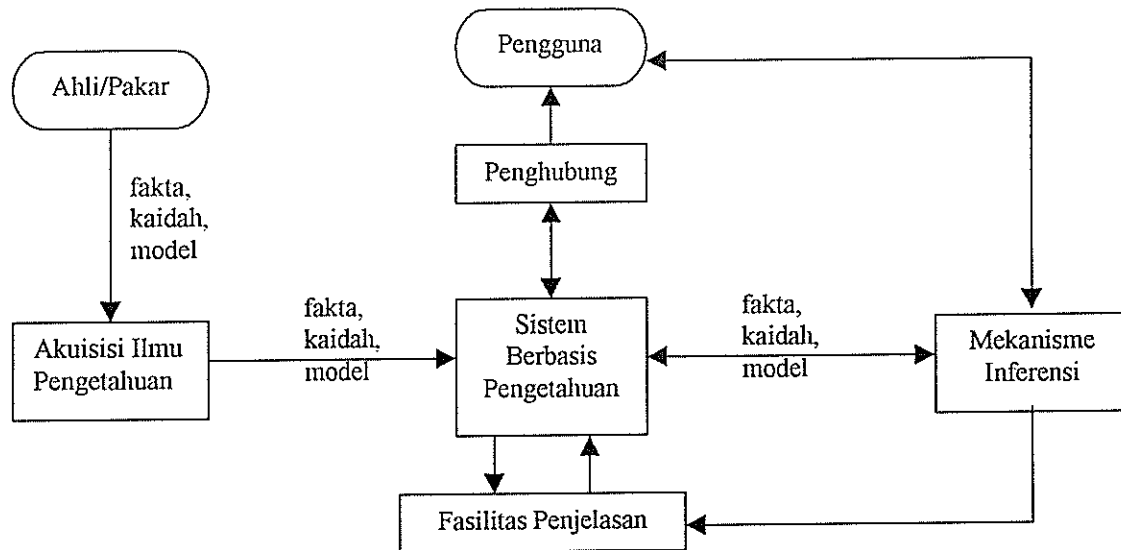
## DAFTAR PUSTAKA

Djacnuddin, D., Basuni, S. Hardjowigeno, H. Subagyo, M. Sukardi, I. Marsudi, N. Suharta, L. Hakim, Widagdo, J. Dai, V. Suwandi, S. Bachri & E. R. Jordens. 1994. Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Pertanian dan Tanaman Kehutanan. Center For Soil and Agroclimate Research, Bogor.

## LAMPIRAN



## Lampiran 1. Struktur dasar sistem pakar.



Lampiran 2. Penilaian kelas kesesuaian lahan untuk tanaman jeruk secara konvensional.

Karakteristik Lahan	Kelas Kesesuaian Lahan				
	S1	S2	S3	N1	N2
Temperatur (t) - Rata-rata tahunan (°C)	20 – 30	18 – 20	-	< 18; > 30	-
Ketersediaan Air (w) - Bulan Kering (< 60 mm) - Curah hujan / tahun (mm)	2 – 3 1500 – 2500	< 2: 3 – 4 2500 – 3000 1000 – 1500	4 – 6 800 – 1000 3000 – 3500	> 6 < 800; > 3500	- -
Media perakaran (r) - Drainase tanah (hari) - Tekstur - Kedalaman efektif (cm) - Gambut - Kematangan - Ketebalan (cm)	Cepat L. SiL. SCL >100 Saprik < 50	Agak cepat, agak lambat SiCL, SiC 100 – 75 Saprik – Hermik 50 – 75	Lambat LS. SC. C 75 – 50 Hermik 75 – 100	Sangat lambat Gr C < 50 Fibrik > 100	- - - -
Retensi hara (f) - KTK Tanah - pH Tanah - C-organik (%)	> Sedang 5.5 – 6.5 > Sedang	Rendah 6.5 – 7.0 5 – 5.5 Rendah	Sangat rendah 7 – 7.5 4.5 – 5.0 Sangat rendah	- > 7.5 < 4.5 -	- - -
Keragaman (c) - Salinitas (mmhos/cm)	< 2	2 – 6	6 – 10	10 – 25	> 25
Toksitas (x) - Kedalaman Sulfidik (cm)	> 100	75 – 100	50 – 75	< 50	-
Hara Tersedia (n) - Total N - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O	> Sedang > Sedang > Sedang	Rendah Rendah Rendah	Sangat rendah Sangat rendah Sangat rendah	- - -	- - -
Terrain/potensi mekanisasi (s/m) - Lereng (%) - Batuan permukaan (%) - Singkapan batuan (%)	< 3 < 3 < 3	3 – 8 3 – 5 3 – 5	8 – 15 5 – 15 5 – 15	15 – 25 15 – 25 15 – 25	> 25 > 25 > 25
Tingkat bahaya erosi (e)	SR	R	S	B	SB

Sifat Tanah	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
C (%)	< 1,00	1,00 – 2,00	2,01 – 3,00	3,01 – 5,00	> 5,00
N (%)	< 0,10	0,10 – 0,20	0,21 – 0,50	0,51 – 0,75	> 0,75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	< 10	10 – 15	16 – 25	26 – 35	> 35
K <sub>2</sub> O (mg/100 g)	< 10	10 – 20	21 – 40	41 – 60	> 60
KTK (me/100 g)	< 5	5 – 16	17 – 24	25 – 40	> 40

Keterangan:

S	: Pasir	Si	: Debu	SR	: Sangat ringan
L	: Lempung	SiL	: Lempung berdebu	R	: Ringan
C	: Liat	SiCL	: Lempung liat berdebu	S	: Sedang
Gr C	: Liat berbongkah	SiC	: Liat berdebu	B	: Berat
		LS	: Pasir berlempung	SB	: Sangat Berat
		SC	: Liat berpasir		

Lampiran 3. Penilaian kelas kesesuaian lahan untuk tanaman jeruk secara fuzzy.

Karakteristik Lahan	Kelas Kesesuaian Lahan				
	S1	S2	S3	N1	N2
Temperatur (t) - Rata-rata tahunan (°C)	19.5 - 30.5	17.5 - 20.5	-	< 18.5; > 29.5	-
Ketersediaan Air (w) - Bulan Kering (< 60 mm) - Curah hujan / tahun (mm)	1.75 - 3.25 1450 - 2550	< 2.25; 2.75 - 4.25 2450 - 3050 950 - 1550	3.75 - 6.25 750 - 1050 2950 - 3550	> 5.75 < 850; > 3450	- -
Media perakaran (r) - Drainase tanah (hari)  - Tekstur - Kedalaman efektif (cm) - Gambut - Kemataangan - Ketebalan (cm)	7 - 104  L, SiL, SCL >95 <38 <55	83 - 277  SiCL, SiC 105 - 70 23 - 71 45 - 80	256 - 332  LS, SC, C 80 - 45 28 - 71 70 - 105	>318  Gr C <55 >61 >95	- - - -
Retensi hara (f) - KTK Tanah - pH Tanah - C-organik (%)	> Sedang 5.4 - 6.6 > Sedang	Rendah 6.4 - 7.1 4.9 - 5.6 Rendah	Sangat rendah 6.9 - 7.6 4.4 - 5.1 Sangat rendah	- >7.4 <4.6 -	- - -
Keragaman (e) - Salinitas (mmhos/cm)	< 2.5	1.5 - 6.5	5.5 - 10.5	9.5 - 25.5	> 24.5
Toksistasitas (x) - Kedalaman Sulfidik (cm)	> 100	75 - 100	50 - 75	< 50	-
Hara Tersedia (n) - Total N - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O	> Sedang > Sedang > Sedang	Rendah Rendah Rendah	Sangat rendah Sangat rendah Sangat rendah	- - -	- - -
Terrain/potensi mekanisasi (s/m) - Lereng (%) - Batuan permukaan (%) - Singkapan batuan (%)	< 3.5 < 3.5 < 3.5	2.5 - 8.5 2.5 - 5.5 2.5 - 5.5	7.5 - 15 4.5 - 15 4.5 - 15	14.5 - 25.5 14.5 - 25.5 14.5 - 25.5	> 24.5 > 24.5 > 24.5
Tingkat bahaya erosi (e)	< 0.51	0.49 - 1.25	0.75 - 4.25	3.75	> 9.75

Sifat Tanah	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
C (%)	=< 1,25	0,75 - 2,25	1,75 - 3,25	2,25 - 5,25	>= 4,25
N (%)	=< 0,125	0,075 - 0,225	0,175 - 0,525	0,475 - 0,775	>= 0,725
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	=< 11	9 - 16	16 - 25	26 - 35	>= 35
K <sub>2</sub> O (mg/100 g)	=< 12,5	7,5 - 22,5	17,5 - 42,5	37,5 - 62,5	>= 57,5
KTK (mc/100 g)	=< 6	4 - 17	15 - 25	23 - 41	>= 39

Lampiran 4. Selang nilai karakteristik lahan untuk tanaman jeruk dengan model *fuzzy polynomial*.

```
{Parameter1}
Name = 'TEMPERATUR'
Range = [0 40]
N1A [0.0 0.0 17.5 18.5]
S1 [17.5 18.5 19.5 20.5]
S2 [19.5 20.5 29.5 30.5]
N1B [29.5 30.5 40.0 40.5]
```

```
{Parameter2}
Name = 'BULAN KERING'
Range = [0 8]
S1A [0.0 0.0 1.75 2.25]
S1 [1.75 2.25 2.75 3.25]
S2E [2.75 3.25 3.75 4.25]
S3 [3.75 4.25 5.75 6.25]
N1 [5.75 6.25 8.00 8.00]
```

```
{Parameter3}
Name = 'CURAH HUJAN'
Range = [400 4000]
N1A [400 400 750 850]
S3A [750 850 950 1050]
S1A [950 1050 1450 1550]
S1 [1450 1550 2450 2550]
S2E [2450 2550 2950 3050]
S3E [2950 3050 3450 3550]
N1B [3450 3550 4000 4000]
```

```
{Parameter4}
Name = 'DRAINASE'
Range = [7 365]
S1 [7 7 83 104]
S2 [83 104 256 277]
S3 [256 277 328 342]
N1 [328 342 365 365]
```

```
{Parameter5}
Name = 'TEKSTUR LIAT'
Range=[0 100]
L [0 10 20 30]
S1L [0 0 20 30]
SCL [15 25 30 40]
S1CL [20 30 35 45]
SiC [35 45 55 65]
```

```
{Parameter6}
Name = 'TEKSTUR PASIR'
Range = [0 100]
L [20 30 45 55]
S1L [0 0 45 55]
SCL [40 50 75 85]
S1CL [0 0 15 25]
SiC [0 0 15 25]
```

```
{Parameter7}
Name = 'TESKTUR DEBU'
Range = [0 100]
L [25 35 45 55]
S1L [45 55 85 95]
SCL [0 0 25 35]
S1CL [35 45 70 80]
SiC [35 45 55 65]
```

```
{Parameter8}
Name = 'KEDALAMAN_EFEKTIF'
Range = [5 150]
N1 [5 5 45 55]
S3 [45 55 70 80]
S2 [70 80 95 105]
S1 [95 105 195 205]
```

```
{Parameter9}
Name='KEMATANGAN_GAMBUS'
Range=[0 100]
S1 [0 0 28 38]
S2 [23 33 61 71]
S3 [28 38 61 71]
N1 [61 71 100 100]
```

```
{Parameter10}
Name='KETEBALAN_GAMBUS'
Range=[40 120]
S1 [40 40 45 55]
S2 [45 55 70 80]
S3 [70 80 95 105]
N1 [95 105 120 120]
```

```
{Parameter11}
Name = 'KTK'
Range = [0 50]
S3 [0 0 4 6]
S2 [4 6 15 17]
S1 [15 17 50 50]
```

```
{Parameter12}
Name = 'pH'
Range = [2 8]
N1a 0.0 0.0 4.4 4.6]
S3A [4.4 4.6 4.9 5.1]
S2A [4.9 5.1 5.4 5.6]
S1 [5.4 5.6 6.4 6.6]
S2B [6.4 6.6 6.9 7.1]
S3B [6.9 7.1 7.4 7.6]
N1B [7.4 7.6 8.0 8.0]
```

```
{Parameter13}
Name = 'C'
Range = [0 6]
S3 [0.0 0.0 0.75 1.25]
S2 [0.75 1.25 1.75 2.25]
S1 [1.75 2.25 6.0 6.0]
```

```
{Parameter14}
Name = 'SALINITAS'
Range = [0 30]
S1 [0.0 0.0 1.5 2.5]
S2 [1.5 2.5 5.5 6.5]
S3 [5.5 6.5 9.5 10.5]
N1 [9.5 10.5 24.5 25.5]
N2 [24.5 25.5 30.0 30.0]
```

## Lampiran 4. (Lanjutan).

```
[Parameter15]
Name = 'SULFIDIK'
Range = [30 120]
N1 [30 30 45 55]
S3 [45 55 70 80]
S2 [70 80 95 105]
S1 [95 105 120 120]
```

```
[Parameter16]
Name = 'N'
Range = [0 1]
S3 [0.0 0.0 0.075 0.125]
S2 [0.075 0.125 0.175 0.225]
S1 [0.175 0.225 1.0 1.0]
```

```
[Parameter17]
Name = 'P2O5'
Range = [0 45]
S3 [0 0 9 11]
S2 [9 11 14 16]
S1 [14 16 45 45]
```

```
[Parameter18]
Name = 'K2O'
Range = [0 60]
S3 [0 0 7.5 12.5]
S2 [7.5 12.5 17.5 22.5]
S1 [17.5 22.5 60 60]
```

```
[Parameter19]
Name = 'KEMIRINGAN TANAH'
Range = [0 40]
S1 [0.0 0.0 2.5 3.5]
S2 [2.5 3.5 7.5 8.5]
S3 [7.5 8.5 14.5 15.5]
N1 [14.5 15.5 24.5 25.5]
N2 [24.5 25.5 40.0 40.0]
```

```
[Parameter20]
Name = 'BATUAN PERMUKAAN'
Range = [0 40]
S1 [0.0 0.0 2.5 3.5]
S2 [2.5 3.5 4.5 5.5]
S3 [4.5 5.5 14.5 15.5]
N1 [14.5 15.5 24.5 25.5]
N2 [24.5 25.5 40.0 40.0]
```

```
[Parameter21]
Name = 'SINGKAPAN BATUAN'
Range = [0 40]
S1 [0.0 0.0 2.5 3.5]
S2 [2.5 3.5 4.5 5.5]
S3 [4.5 5.5 14.5 15.5]
N1 [14.5 15.5 24.5 25.5]
N2 [24.5 25.5 40.0 40.0]
```

```
[Parameter22]
Name = 'BAHAYA EROSI'
Range = [0 15]
S1 [0.0 0.0 0.49 0.51]
S2 [0.49 0.51 0.75 1.25]
S3 [0.75 1.25 3.75 4.25]
N1 [3.75 4.25 9.75 10.25]
N2 [9.75 10.25 15.0 15.0]
```

Lampiran 5. Rule/Kaidah IF-THEN yang digunakan untuk pengevaluasian aturan.

**Kaidah 1 :**

IF:  
 Average temperature = S1  
 and Dry month = S1  
 and Rainfall = S1  
 and Land drainage = S1  
 and Land texture for dust = S1  
 and Land texture for sand = S1  
 and Land texture for clayey = S1  
 and The effective root depth = S1  
 and Turf overripe = S1  
 and Turf thickness = S1  
 and Land KTK = S1  
 and Land pH = S1  
 and C-Organic = S1  
 and Salinity = S1  
 and Sulfide depth = S1  
 and Availability of N = S1  
 and Availability of P2O5 = S1  
 and Availability of K2O = S1  
 and Sloping land = S1  
 and Surface rock = S1  
 and Folded down of rock = S1  
 and Erosion danger = S1  
 THEN:  
 Output = S1

**Kaidah 2 :**

IF:  
 Average temperature = S2  
 and Dry month = S1  
 and Rainfall = S1  
 and Land drainage = S1  
 and Land texture for dust = S1  
 and Land texture for sand = S1  
 and Land texture for clayey = S1  
 and The effective root depth = S1  
 and Turf overripe = S1  
 and Turf thickness = S1  
 and Land KTK = S1  
 and Land pH = S1  
 and C-Organic = S1  
 and Salinity = S1  
 and Sulfide depth = S1  
 and Availability of N = S1  
 and Availability of P2O5 = S1  
 and Availability of K2O = S1  
 and Sloping land = S1  
 and Surface rock = S1  
 and Folded down of rock = S1  
 and Erosion danger = S1  
 THEN:  
 Output = S2

**Kaidah 3 :**

IF:  
 Average temperature = S1  
 and Dry month = S2  
 and Rainfall = S1  
 and Land drainage = S1  
 and Land texture for dust = S1  
 and Land texture for sand = S1  
 and Land texture for clayey = S1  
 and The effective root depth = S1  
 and Turf overripe = S1  
 and Turf thickness = S1  
 and Land KTK = S1  
 and Land pH = S1  
 and C-Organic = S1  
 and Salinity = S1  
 and Sulfide depth = S1  
 and Availability of N = S1  
 and Availability of P2O5 = S1  
 and Availability of K2O = S1  
 and Sloping land = S1  
 and Surface rock = S1  
 and Folded down of rock = S1  
 and Erosion danger = S1  
 THEN:  
 Output = S2

**Kaidah 4 :**

IF:  
 Average temperature = S1  
 and Dry month = S1  
 and Rainfall = S2  
 and Land drainage = S1  
 and Land texture for dust = S1  
 and Land texture for sand = S1  
 and Land texture for clayey = S1  
 and The effective root depth = S1  
 and Turf overripe = S1  
 and Turf thickness = S1  
 and Land KTK = S1  
 and Land pH = S1  
 and C-Organic = S1  
 and Salinity = S1  
 and Sulfide depth = S1  
 and Availability of N = S1  
 and Availability of P2O5 = S1  
 and Availability of K2O = S1  
 and Sloping land = S1  
 and Surface rock = S1  
 and Folded down of rock = S1  
 and Erosion danger = S1  
 THEN:  
 Output = S2



## Lampiran 5. (Lanjutan).

## Kaidah 5 :

```

IF:
    Average temperature = S1
    and Dry month = S1
    and Rainfall = S1
    and Land drainage = S2
    and Land texture for dust = S1
    and Land texture for sand = S1
    and Land texture for clayey = S1
    and The effective root depth = S1
    and Turf overripe = S1
    and Turf thickness = S1
    and Land KTK = S1
    and Land pH = S1
    and C-Organic = S1
    and Salinity = S1
    and Sulfide depth = S1
    and Availability of N = S1
    and Availability of P2O5 = S1
    and Availability of K2O = S1
    and Sloping land = S1
    and Surface rock = S1
    and Folded drown of rock = S1
    and Erosion danger = S1
THEN:
    Output = S2

```

## Kaidah 6 :

```

IF:
    Average temperature = S1
    and Dry month = S1
    and Rainfall = S1
    and Land drainage = S1
    and Land texture for dust = S2
    and Land texture for sand = S2
    and Land texture for clayey = S2
    and The effective root depth = S1
    and Turf overripe = S1
    and Turf thickness = S1
    and Land KTK = S1
    and Land pH = S1
    and C-Organic = S1
    and Salinity = S1
    and Sulfide depth = S1
    and Availability of N = S1
    and Availability of P2O5 = S1
    and Availability of K2O = S1
    and Sloping land = S1
    and Surface rock = S1
    and Folded drown of rock = S1
    and Erosion danger = S1
THEN:
    Output = S2

```

## Kaidah 7 :

```

IF:
    Average temperature = S1
    and Dry month = S1
    and Rainfall = S1
    and Land drainage = S1
    and Land texture for dust = S1
    and Land texture for sand = S1
    and Land texture for clayey = S1
    and The effective root depth = S2
    and Turf overripe = S1
    and Turf thickness = S1
    and Land KTK = S1
    and Land pH = S1
    and C-Organic = S1
    and Salinity = S1
    and Sulfide depth = S1
    and Availability of N = S1
    and Availability of P2O5 = S1
    and Availability of K2O = S1
    and Sloping land = S1
    and Surface rock = S1
    and Folded drown of rock = S1
    and Erosion danger = S1
THEN:
    Output = S2

```

## Kaidah 8 :

```

IF:
    Average temperature = S1
    and Dry month = S1
    and Rainfall = S1
    and Land drainage = S1
    and Land texture for dust = S1
    and Land texture for sand = S1
    and Land texture for clayey = S1
    and The effective root depth = S1
    and Turf overripe = S2
    and Turf thickness = S1
    and Land KTK = S1
    and Land pH = S1
    and C-Organic = S1
    and Salinity = S1
    and Sulfide depth = S1
    and Availability of N = S1
    and Availability of P2O5 = S1
    and Availability of K2O = S1
    and Sloping land = S1
    and Surface rock = S1
    and Folded drown of rock = S1
    and Erosion danger = S1
THEN:
    Output = S2

```

## Lampiran 5. (Lanjutan).

## Kaidah 9 :

```

IF:
  Average temperature = S1
  and Dry month = S1
  and Rainfall = S1
  and Land drainage = S1
  and Land texture for dust = S1
  and Land texture for sand = S1
  and Land texture for clayey = S1
  and The effective root depth = S1
  and Turf overripe = S1
  and Turf thickness = S2
  and Land KTK = S1
  and Land pH = S1
  and C-Organic = S1
  and Salinity = S1
  and Sulfide depth = S1
  and Availability of N = S1
  and Availability of P2O5 = S1
  and Availability of K2O = S1
  and Sloping land = S1
  and Surface rock = S1
  and Folded down of rock = S1
  and Erosion danger = S1
THEN:
  Output = S2

```

## Kaidah 10 :

```

IF:
  Average temperature = S1
  and Dry month = S1
  and Rainfall = S1
  and Land drainage = S1
  and Land texture for dust = S1
  and Land texture for sand = S1
  and Land texture for clayey = S1
  and The effective root depth = S1
  and Turf overripe = S1
  and Turf thickness = S1
  and Land KTK = S2
  and Land pH = S1
  and C-Organic = S1
  and Salinity = S1
  and Sulfide depth = S1
  and Availability of N = S1
  and Availability of P2O5 = S1
  and Availability of K2O = S1
  and Sloping land = S1
  and Surface rock = S1
  and Folded down of rock = S1
  and Erosion danger = S1
THEN:
  Output = S2

```

## Kaidah 11 :

```

IF:
  Average temperature = S1
  and Dry month = S1
  and Rainfall = S1
  and Land drainage = S1
  and Land texture for dust = S1
  and Land texture for sand = S1
  and Land texture for clayey = S1
  and The effective root depth = S1
  and Turf overripe = S1
  and Turf thickness = S1
  and Land KTK = S1
  and Land pH = S2
  and C-Organic = S1
  and Salinity = S1
  and Sulfide depth = S1
  and Availability of N = S1
  and Availability of P2O5 = S1
  and Availability of K2O = S1
  and Sloping land = S1
  and Surface rock = S1
  and Folded down of rock = S1
  and Erosion danger = S1
THEN:
  Output = S2

```

## Kaidah 12 :

```

IF:
  Average temperature = S1
  and Dry month = S1
  and Rainfall = S1
  and Land drainage = S1
  and Land texture for dust = S1
  and Land texture for sand = S1
  and Land texture for clayey = S1
  and The effective root depth = S1
  and Turf overripe = S1
  and Turf thickness = S1
  and Land KTK = S1
  and Land pH = S1
  and C-Organic = S2
  and Salinity = S1
  and Sulfide depth = S1
  and Availability of N = S1
  and Availability of P2O5 = S1
  and Availability of K2O = S1
  and Sloping land = S1
  and Surface rock = S1
  and Folded down of rock = S1
  and Erosion danger = S1
THEN:
  Output = S2

```



## Lampiran 5. (Lanjutan).

## Kaidah 13 :

IF:  
 Average temperature = S1  
 and Dry month = S1  
 and Rainfall = S1  
 and Land drainage = S1  
 and Land texture for dust = S1  
 and Land texture for sand = S1  
 and Land texture for clayey = S1  
 and The effective root depth = S1  
 and Turf overripe = S1  
 and Turf thickness = S1  
 and Land KTK = S1  
 and Land pH = S1  
 and C-Organic = S1  
 and Salinity = S2  
 and Sulfide depth = S1  
 and Availability of N = S1  
 and Availability of P2O5 = S1  
 and Availability of K2O = S1  
 and Sloping land = S1  
 and Surface rock = S1  
 and Folded down of rock = S1  
 and Erosion danger = S1  
 THEN:  
 Output = S2

## Kaidah 14 :

IF:  
 Average temperature = S1  
 and Dry month = S1  
 and Rainfall = S1  
 and Land drainage = S1  
 and Land texture for dust = S1  
 and Land texture for sand = S1  
 and Land texture for clayey = S1  
 and The effective root depth = S1  
 and Turf overripe = S1  
 and Turf thickness = S1  
 and Land KTK = S1  
 and Land pH = S1  
 and C-Organic = S1  
 and Salinity = S1  
 and Sulfide depth = S2  
 and Availability of N = S1  
 and Availability of P2O5 = S1  
 and Availability of K2O = S1  
 and Sloping land = S1  
 and Surface rock = S1  
 and Folded down of rock = S1  
 and Erosion danger = S1  
 THEN:  
 Output = S2

## Kaidah 15 :

IF:  
 Average temperature = S1  
 and Dry month = S1  
 and Rainfall = S1  
 and Land drainage = S1  
 and Land texture for dust = S1  
 and Land texture for sand = S1  
 and Land texture for clayey = S1  
 and The effective root depth = S1  
 and Turf overripe = S1  
 and Turf thickness = S1  
 and Land KTK = S1  
 and Land pH = S1  
 and C-Organic = S1  
 and Salinity = S1  
 and Sulfide depth = S1  
 and Availability of N = S2  
 and Availability of P2O5 = S1  
 and Availability of K2O = S1  
 and Sloping land = S1  
 and Surface rock = S1  
 and Folded down of rock = S1  
 and Erosion danger = S1  
 THEN:  
 Output = S2

## Kaidah 16 :

IF:  
 Average temperature = S1  
 and Dry month = S1  
 and Rainfall = S1  
 and Land drainage = S1  
 and Land texture for dust = S1  
 and Land texture for sand = S1  
 and Land texture for clayey = S1  
 and The effective root depth = S1  
 and Turf overripe = S1  
 and Turf thickness = S1  
 and Land KTK = S1  
 and Land pH = S1  
 and C-Organic = S1  
 and Salinity = S1  
 and Sulfide depth = S1  
 and Availability of N = S1  
 and Availability of P2O5 = S2  
 and Availability of K2O = S1  
 and Sloping land = S1  
 and Surface rock = S1  
 and Folded down of rock = S1  
 and Erosion danger = S1  
 THEN:  
 Output = S2

## Lampiran 5. (Lanjutan).

## Kaidah 17 :

IF:  
 Average temperature = S1  
 and Dry month = S1  
 and Rainfall = S1  
 and Land drainage = S1  
 and Land texture for dust = S1  
 and Land texture for sand = S1  
 and Land texture for clayey = S1  
 and The effective root depth = S1  
 and Turf overripe = S1  
 and Turf thickness = S1  
 and Land KTK = S1  
 and Land pH = S1  
 and C-Organic = S1  
 and Salinity = S1  
 and Sulfide depth = S1  
 and Availability of N = S1  
 and Availability of P2O5 = S1  
 and Availability of K2O = S2  
 and Sloping land = S1  
 and Surface rock = S1  
 and Folded drown of rock = S1  
 and Erosion danger = S1  
 THEN:  
 Output = S2

## Kaidah 18 :

IF:  
 Average temperature = S1  
 and Dry month = S1  
 and Rainfall = S1  
 and Land drainage = S1  
 and Land texture for dust = S1  
 and Land texture for sand = S1  
 and Land texture for clayey = S1  
 and The effective root depth = S1  
 and Turf overripe = S1  
 and Turf thickness = S1  
 and Land KTK = S1  
 and Land pH = S1  
 and C-Organic = S1  
 and Salinity = S1  
 and Sulfide depth = S1  
 and Availability of N = S1  
 and Availability of P2O5 = S1  
 and Availability of K2O = S1  
 and Sloping land = S2  
 and Surface rock = S1  
 and Folded drown of rock = S1  
 and Erosion danger = S1  
 THEN:  
 Output = S2

## Kaidah 19 :

IF:  
 Average temperature = S1  
 and Dry month = S1  
 and Rainfall = S1  
 and Land drainage = S1  
 and Land texture for dust = S1  
 and Land texture for sand = S1  
 and Land texture for clayey = S1  
 and The effective root depth = S1  
 and Turf overripe = S1  
 and Turf thickness = S1  
 and Land KTK = S1  
 and Land pH = S1  
 and C-Organic = S1  
 and Salinity = S1  
 and Sulfide depth = S1  
 and Availability of N = S1  
 and Availability of P2O5 = S1  
 and Availability of K2O = S1  
 and Sloping land = S1  
 and Surface rock = S2  
 and Folded drown of rock = S1  
 and Erosion danger = S1  
 THEN:  
 Output = S2

## Kaidah 20 :

IF:  
 Average temperature = S1  
 and Dry month = S1  
 and Rainfall = S1  
 and Land drainage = S1  
 and Land texture for dust = S1  
 and Land texture for sand = S1  
 and Land texture for clayey = S1  
 and The effective root depth = S1  
 and Turf overripe = S1  
 and Turf thickness = S1  
 and Land KTK = S1  
 and Land pH = S1  
 and C-Organic = S1  
 and Salinity = S1  
 and Sulfide depth = S1  
 and Availability of N = S1  
 and Availability of P2O5 = S1  
 and Availability of K2O = S1  
 and Sloping land = S1  
 and Surface rock = S1  
 and Folded drown of rock = S2  
 and Erosion danger = S1  
 THEN:  
 Output = S2



**Lampiran 5. (Lanjutan).****Kaidah 21 :**

IF:

Average temperature = S1  
and Dry month = S1  
and Rainfall = S1  
and Land drainage = S1  
and Land texture for dust = S1  
and Land texture for sand = S1  
and Land texture for clayey = S1  
and The effective root depth = S1  
and Turf overripe = S1  
and Turf thickness = S1  
and Land KTK = S1  
and Land pH = S1  
and C-Organic = S1  
and Salinity = S1  
and Sulfide depth = S1  
and Availability of N = S1  
and Availability of P2O5 = S1  
and Availability of K2O = S1  
and Sloping land = S1  
and Surface rock = S1  
and Folded drom of rock = S1  
and Erosion danger = S2

THEN:

Output = S2