

SISTEM PAKAR PENENTUAN KESESUAIAN LAHAN BERDASARKAN FAKTOR PENGHAMBAT TERBESAR (MAXIMUM LIMITATION FACTOR) UNTUK TANAMAN PANGAN

Nina Sevani¹, Marimin², Heru Sukoco³

¹Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Krida Wacana

Jl. Tanjung Duren Raya No. 4 Jakarta Barat 11470

²Jurusan Teknologi Industri Pertanian FATETA-IPB

³Departemen Ilmu Komputer FMIPA-IPB

Kampus IPB Darmaga, PO Box 220 Bogor

E-mail: nina_sevani@yahoo.com¹, marimin_07@yahoo.com², hsrkom@ipb.ac.id³

ABSTRAK: Pengetahuan para pelaksana pertanian dalam menentukan kesesuaian lahan dengan jenis tanaman yang akan ditanam tentunya akan dapat meminimalisasikan berbagai permasalahan panen yang dapat terjadi. Perubahan yang terjadi dalam bidang teknologi informasi dan era digital, juga telah mendukung dan merubah cara penyebaran informasi dan pengetahuan, antara lain melalui penggunaan sistem pakar. Sistem pakar ini menggunakan 19 parameter, termasuk parameter fisik dan kimia, serta faktor alam seperti suhu dan curah hujan, dalam menentukan kesesuaian lahan. Di antara seluruh parameter yang digunakan, terdapat 2 parameter pengganti yang dapat digunakan untuk menggantikan parameter tekstur, drainase, dan lereng. Objek yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 14 jenis tanaman pangan. Metode yang digunakan adalah *Fuzzy Inference Systems* (FIS), dimana pengguna dapat memilih jenis fungsi trapesium atau gauss yang akan digunakan untuk memproses data. Berdasarkan data aktual, sistem ini akan menentukan tingkat kesesuaian lahan yang akan digunakan oleh suatu jenis tanaman, berikut dengan faktor penghambat yang ada serta saran manajerial yang dapat diterapkan untuk mengatasi keberadaan faktor penghambat, dan lokasi yang sesuai untuk suatu jenis tanaman tertentu. Penentuan lokasi terbatas pada 2 propinsi di Jawa Timur.

Kata kunci: kesesuaian lahan, *fuzzy inference systems*, sistem pakar.

ABSTRACT: Knowledge about suitability of the land and the plants can minimize harvest plant problem. The spread of information technology and digital era also change the ways to explain and distribute information and knowledge used for recognize land suitability, with the creation of expert system. Process to recognize land suitability in this system using 19 parameter included physical and chemistry characteristics, and also nature factors such as temperature and rain fall. For all of these parameters, there are 14 complementary parameters to replace data about tekstur, drainase, and slope. Object in this research are 14 kinds of food plants. This system using *Fuzzy Inference Systems* (FIS) method for processing data. User can choose trapesium or Gauss function for fuzzify the data. Based on actual values of the land, this system will determine the suitability of the land for food plants and for specific kinds of food plants. This system also determines about limitation factors for the land and gives some managerial suggestion for handling those factors. The results of this system also included about plants grow requirement and suitability location on 2 districts at East Java Province.

Keywords: land suitability, *fuzzy inference systems*, expert system.

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan salah satu sektor industri yang mempunyai peranan penting dalam kehidupan manusia. Penyusutan luas lahan sawah irigasi di Jawa, pelandaian produksi dan produktivitas, perubahan iklim yang kurang mendukung, serta serangan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) merupakan ancaman bagi ketahanan pangan nasional [1]. *Food and Agriculture Organization* (FAO) juga telah memasukkan informasi sebagai salah satu dari lima strategi kunci yang kemudian ditetapkan sebagai FAO

Strategic Framework untuk mencapai tujuan mengatasi kekurangan pangan di dunia [2]. Oleh karena itu peningkatan kualitas dan komoditas pertanian harus dapat dilakukan dengan memanfaatkan lahan yang tersedia, apapun dan bagaimanapun kondisinya.

Peningkatan kualitas dan kuantitas komoditas pangan antara lain dapat dilakukan dengan melakukan evaluasi lahan. Evaluasi lahan dapat dilakukan dengan membandingkan persyaratan penggunaan lahan dengan kualitas (karakteristik) lahan [3]. Pengolahan lahan yang tidak sesuai dengan karakteristik lahan itu sendiri dapat menghambat proses bercocok tanam

yang dilakukan dan pada akhirnya dapat menjadi salah satu penyebab terjadinya gagal panen [4].

Kurangnya pengetahuan dan pemahaman petani akan karakteristik lahan yang akan diolah dan jenis tanaman pangan yang akan ditanam serta sulitnya memperoleh data yang benar tentang karakteristik lahan, dapat membuat petani kesulitan dalam menentukan kesesuaian lahannya. Untuk memperoleh semua pengetahuan yang diperlukan tentunya diperlukan waktu yang cukup lama dan biaya yang besar. Apabila dana dan waktu merupakan faktor pembatas, maka perlu adanya keberadaan suatu sistem penunjang pembuatan keputusan yang terkomputerisasi [5].

Keberadaan sistem pakar dalam bidang pertanian dapat membantu petani untuk membuat keputusan melalui perencanaan yang baik sebelum mulai melakukan apapun terhadap lahan mereka [6]. Keberadaan *internet* yang memungkinkan sistem diakses secara *online*, akan dapat membantu petani untuk menentukan kesesuaian lahan mereka. Kehadiran sistem pakar *online* ini juga akan dapat membantu proses penyebaran informasi dan pengetahuan melalui aplikasi yang dapat diakses kapan saja dan dimana saja, serta dapat menjangkau daerah yang lebih luas. Pengolahan data pada sistem pakar dapat menggunakan *Fuzzy Inference System* (FIS), mengingat bahwa cukup banyak data karakteristik lahan yang nilainya mengandung ketidakpastian.

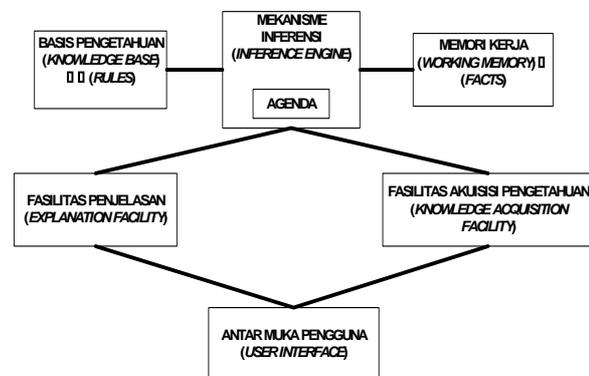
Tujuan utama dari penelitian ini adalah membuat sebuah sistem pakar *online* yang dapat menentukan kesesuaian lahan bagi tanaman pangan secara umum dan bagi suatu jenis tanaman pangan tertentu. Sistem pakar ini juga dapat mengidentifikasi faktor penghambat dan saran manajerial untuk mengatasi faktor penghambat, serta lokasi sesuai bagi tanaman pangan tertentu. Diharapkan melalui penelitian ini akan dapat membantu mengurangi resiko kesalahan pemilihan jenis tanaman pangan yang akan ditanam pada suatu lahan tertentu dengan cara membandingkan kondisi lahan dengan persyaratan tumbuh tanaman.

Penelitian ini dilakukan dengan sasaran pada 14 jenis tanaman pangan yang meliputi kelompok sereal, kacang-kacangan, dan umbi-umbian. Jumlah parameter yang digunakan sebanyak 19 parameter, yang meliputi parameter fisik dan kimia. Penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy Inference System* (FIS) untuk memproses data *fuzzy*, menggunakan dua pilihan rumus, yaitu trapesium (TRAPMF) dan Gauss (GAUSSMF). Penelitian ini juga hanya dapat memberikan saran manajerial untuk faktor penghambat yang ada serta hanya dapat menentukan lokasi berdasarkan dua kabupaten (Blitar dan Tulungagung) di Jawa Timur.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Pakar

Sistem pakar merupakan sistem komputer yang dapat melakukan emulasi terhadap kemampuan membuat keputusan dari seorang pakar. Pakar adalah seseorang yang mempunyai keahlian khusus atau keahlian dalam suatu bidang tertentu [7]. Penerapan sistem pakar dapat memberikan beberapa keuntungan, seperti kinerja yang tinggi, dapat merespon sesuatu dengan cepat, memiliki tingkat kehandalan yang tinggi, dapat memberikan penjelasan tentang tahapan yang dilalui, bersifat fleksibel, dan memberikan daftar alasan yang diperlukan untuk menghasilkan kesimpulan. Gambar 1 menunjukkan struktur dan elemen pada sistem pakar.



Gambar 1. Hubungan antar Elemen dalam Sistem Pakar

Akuisisi Pengetahuan

Tahap akuisisi pengetahuan merupakan tahap dimana akan dilakukan proses pengumpulan pengetahuan dari para pakar oleh *knowledge engineer* (KE), yang akan dimasukkan dalam sistem berbasis pengetahuan (*knowledge based system*). Proses akuisisi pengetahuan terdiri dari tiga tahap, yaitu komunikasi, formulasi atau implementasi parsial (permodelan pengetahuan), dan tahap validasi (keabsahan data sistem dan interpretasi pengetahuan) [8].

Representasi Pengetahuan

Representasi pengetahuan merupakan bagian yang memuat obyek-obyek pengetahuan serta hubungan yang dimiliki antar obyek tersebut. Obyek-obyek pengetahuan ini akan disimpan dalam basis pengetahuan (*knowledge based*). Basis pengetahuan merupakan sumber kecerdasan sistem yang dimanfaatkan oleh mekanisme inferensi untuk mengambil kesimpulan.

Mekanisme Inferensi

Mekanisme inferensi merupakan komponen terpenting dalam sistem pakar yang akan memanipulasi dan mengarahkan pengetahuan pada basis pengetahuan untuk mencapai kesimpulan. Kesimpulan atau solusi yang dihasilkan oleh sistem pakar diperoleh melalui pengujian fakta dan kaidah yang ada pada basis pengetahuan. Terdapat dua teknik pengendalian yang sering digunakan pada sistem pakar, yaitu mata rantai ke depan (*Forward Chaining*) dan mata rantai ke belakang (*Backward Chaining*).

Sistem Fuzzy

Pada gugus *fuzzy* terdapat derajat keanggotaan dari suatu elemen *x* dari gugus universal *X*, tercakup di dalam gugus *fuzzy* *A*. Fungsi yang menyatakan derajat keanggotaan terhadap sebuah elemen *x* dalam sebuah gugus disebut fungsi keanggotaan (*membership function*). Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik masukan data ke dalam nilai keanggotaannya [9]. Beberapa fungsi keanggotaan yang umum digunakan adalah fungsi-S, fungsi- π , kurva segitiga, kurva trapesium, dan bentuk eksponensial [10].

Fungsi keanggotaan untuk kurva GAUSS adalah sebagai berikut:

$$G(x;k,\gamma) = e^{-k(\gamma - x)^2} \tag{1}$$

Rumus fungsi keanggotaan untuk kurva trapesium dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x < a \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x < b \\ 1; & b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c); & c \leq x < d \\ 0; & x \geq d \end{cases} \tag{2}$$

Keluaran *fuzzy* diperoleh melalui eksekusi dari beberapa fungsi keanggotaan *fuzzy*. Defuzzifikasi adalah proses untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi keluaran yang bernilai tunggal. *Centroid method* (*Center of Gravity/Center of Area*), mengambil nilai tengah dari seluruh fungsi keanggotaan keluaran *fuzzy* yang ada untuk dijadikan nilai defuzzifikasi.

Kesesuaian Lahan

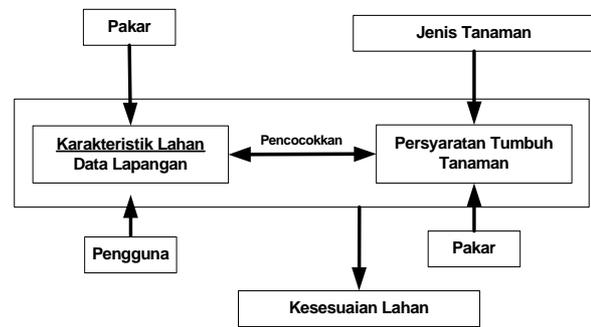
Kesesuaian lahan (*land suitability*) adalah potensi lahan yang didasarkan atas kesesuaian lahan untuk penggunaan pertanian secara lebih khusus, seperti

padi, tanaman palawija, tanaman perkebunan [3]. Kesesuaian lahan juga dapat diartikan sebagai tingkat kecocokan suatu bidang lahan untuk penggunaan tertentu [11].

METODOLOGI

Kerangka Pemikiran

Proses penentuan kesesuaian lahan dapat ditentukan dengan cara mencocokkan antara karakteristik (*land characteristic*) dan kualitas lahan (*land quality*) dengan persyaratan tumbuh tanaman yang akan ditanam. Skema proses pencocokkan ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Proses Pencocokkan antara Persyaratan Tumbuh Tanaman dengan Karakteristik Lahan

Penelitian ini menggunakan 19 parameter dalam menentukan kesesuaian lahan berupa karakter fisik dan kimia lahan, serta faktor iklim dan lingkungan. Kesembilan belas parameter tersebut adalah suhu, curah hujan, kedalaman efektif, kedalaman sulfidik, bahan kasar, KTK, kejenuhan basa, pH, C-Organik, salinitas, sodisitas, tekstur, drainase, lereng, kematangan dan ketebalan gambut, serta tinggi air tanah, serta dua parameter pengganti yaitu Tingkat Bahaya Erosi (TBE) dan bahaya banjir. Karakteristik lahan yang kurang baik dan dapat mengurangi kesesuaian lahan untuk suatu tanaman disebut sebagai faktor penghambat (*limitation factor*). Faktor penghambat dengan tingkat atau kadar paling tinggi yang pada akhirnya akan menentukan kesesuaian lahan tersebut terhadap jenis tanaman tertentu.

Kesulitan dan mahalnya biaya yang diperlukan untuk memperoleh berbagai macam informasi dan pengetahuan yang diperlukan seringkali membuat petani hanya mengandalkan kebiasaan dalam menentukan jenis tanaman yang akan ditanam. Hal ini terkadang dapat mengakibatkan gagal panen karena adanya ketidak sesuaian antara kondisi lahan dengan kebutuhan tanaman untuk dapat tumbuh dan

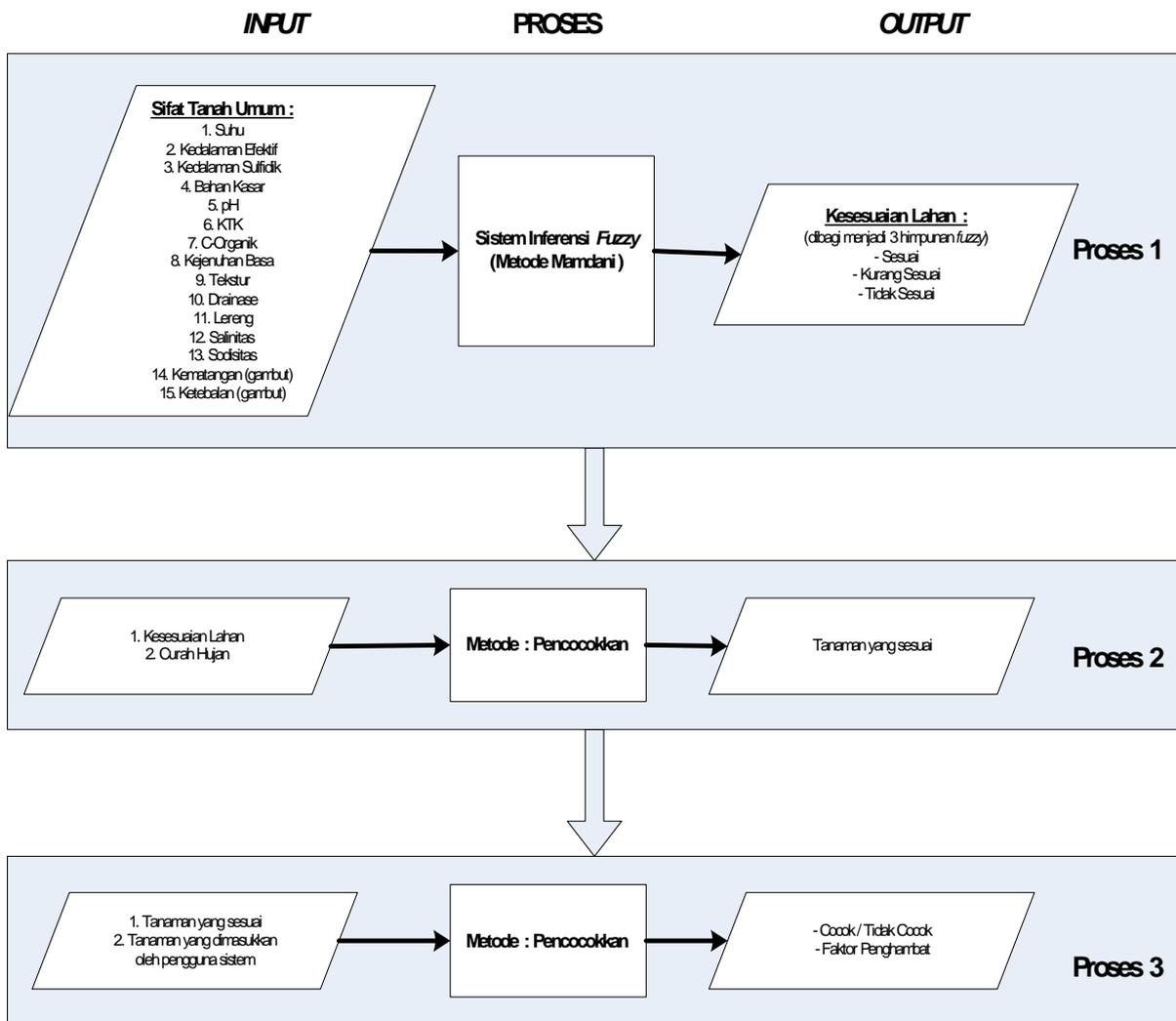
berproduksi. Oleh karena itu diperlukan keberadaan sistem pakar yang dapat memberikan masukan tentang kesesuaian lahan sebelum dilakukan proses penanaman. Untuk memperluas jangkauan penggunaannya maka sistem pakar ini dirancang sebagai sistem yang berbasis *web*, sehingga dapat diakses secara *online*.

Pengembangan Mesin Inferensi

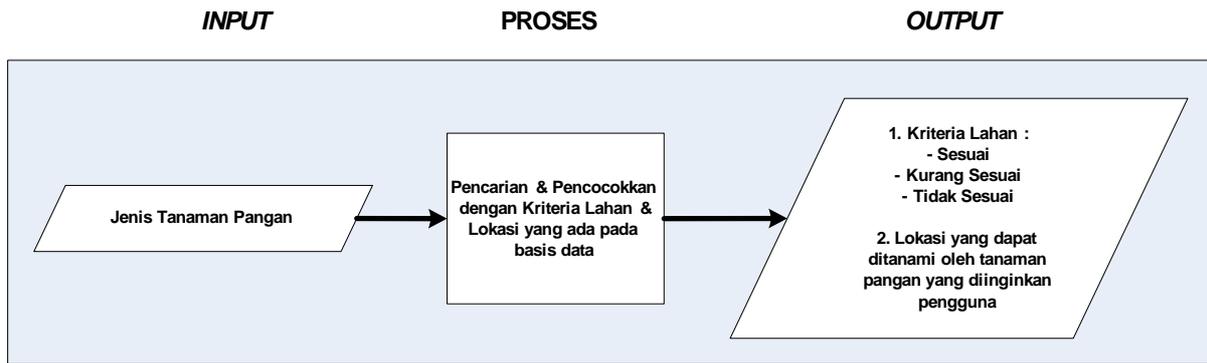
Sistem pakar pada penelitian ini juga dapat mengidentifikasi adanya faktor penghambat serta memberikan saran manajerial yang dapat diterapkan.

Seperti layaknya seorang pakar, sistem ini juga dapat memberikan informasi tentang persyaratan tumbuh tanaman pangan tertentu beserta lokasi yang dianggap sesuai untuk tanaman tersebut.

Dengan teknik pengendalian *forward chaining*, maka proses penentuan kesesuaian lahan dimulai dari sekumpulan fakta yang kemudian akan dianalisis dan digunakan untuk proses penarikan kesimpulan. Fakta berupa kejadian, yaitu nilai parameter yang dimasukkan oleh pengguna. Gambar 3 menunjukkan proses inferensi *forward chaining* dalam sistem pakar yang akan menentukan kesesuaian lahan berdasarkan data aktual tentang kondisi lahan yang akan digunakan.



Gambar 3. Proses Inferensi *Forward Chaining* Untuk Menentukan Kesesuaian Lahan



Gambar 4. Proses Inferensi *Backward Chaining* Untuk Menentukan Persyaratan Tumbuh dan Lokasi Tanaman

Proses penentuan persyaratan tumbuh tanaman dan lokasi yang sesuai menggunakan teknik pengendalian *backward chaining*, yang dimulai dari *input* jenis tanaman pangan. Gambar 4 menunjukkan proses *backward chaining* yang akan memberikan informasi tentang persyaratan tumbuh tanaman beserta lokasi yang dianggap sesuai untuk tanaman tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi Pengetahuan

Pembuatan sistem pakar ini mengakuisisi pengetahuan dan informasi dari *human expert* dan dari berbagai jenis buku dan dokumen serta laporan survei tanah. Metode yang digunakan untuk mengakuisisi pengetahuan dari *human expert* ini adalah wawancara dan diskusi masalah.

Melalui proses akuisisi pengetahuan ini ditentukan 19 parameter yang akan digunakan beserta *domain* dan *range* nilai setiap *domain*, beserta penetapan menjadi parameter *fuzzy* dan *non-fuzzy*, serta urutan parameter yang harus diisi. Gambar 5 menunjukkan diagram *input* parameter yang digunakan dalam sistem pakar pada penelitian ini berikut dengan satuannya masing-masing.

Proses akuisisi juga menghasilkan jenis tanah yang sesuai untuk penggunaan tanaman pangan, yaitu tanah gambut dan tanah mineral dengan kondisi tertentu. Penentuan urutan parameter ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan aplikasi dan menghemat waktu pengguna dalam mengetahui kesesuaian lahannya. Diantara parameter-parameter yang digunakan terdapat parameter penentu, yaitu parameter yang akan harus diisi pertama kali oleh pengguna dan dapat digunakan sebagai proses *filtering* pertama. *Filtering* tahap pertama digunakan untuk mengetahui apakah lahan tersebut masih mempunyai potensi digunakan untuk pertanian tanaman pangan. Parameter penentu untuk tanah

gambut adalah kedalaman dan kematangan gambut, serta tinggi air tanah. Parameter penentu untuk tanah mineral adalah lereng dan kedalaman efektif.

Selain parameter penentu, terdapat pula parameter pengganti yang diharapkan dapat membantu pengguna yang tidak mempunyai data untuk parameter yang sebenarnya. Parameter pengganti yang dapat digunakan adalah parameter Tingkat Bahaya Erosi (TBE) yang dapat menggantikan lereng, serta bahaya banjir yang dapat menggantikan tekstur dan drainase. Penggunaan parameter pengganti dapat membuat hasil proses sistem bisa tidak terlalu akurat, mengingat bahwa masih parameter pengganti tidak sepenuhnya dapat menggantikan fungsi parameter yang sebenarnya.

Dengan mengamati pola data yang dapat dimiliki oleh masing-masing parameter maka dapat diketahui bahwa fungsi trapesium (TRAPMF) yang sesuai dengan pola data yang ada. Selain fungsi trapesium, sistem juga memungkinkan proses data *input* menggunakan fungsi gauss (GAUSSMF). Kedua pilihan fungsi ini memungkinkan pengguna sistem untuk memiliki keleluasaan dalam menentukan jenis fungsi keanggotaan yang akan digunakan sekaligus menambah pengetahuan pengguna tentang keberadaan fungsi keanggotaan yang dapat digunakan dalam pembuatan sistem dengan metode FIS.

Di antara 19 parameter yang digunakan, 18 parameter digunakan dalam proses penentuan kesesuaian lahan secara umum, sedangkan 1 parameter lainnya, yaitu parameter curah hujan digunakan untuk menentukan kesesuaian lahan untuk tanaman pangan. Penetapan curah hujan sebagai parameter penentu kesesuaian lahan untuk tanaman pangan dilakukan setelah mengamati pola data setiap parameter untuk 14 jenis tanaman pangan. Dari hasil pengamatan diperoleh bahwa parameter curah hujan menunjukkan pola yang paling berbeda dengan pola dari parameter lainnya. Perbedaan pola ini ditunjukkan oleh perbedaan nilai yang paling signifikan untuk 14 jenis tanaman.

Proses penentuan persyaratan tumbuh bagi 14 jenis tanaman pangan ditentukan berdasarkan buku petunjuk evaluasi lahan untuk komoditas pertanian. Sedangkan lokasi yang dianggap sesuai ditentukan berdasarkan laporan kesesuaian lahan untuk Kabupaten Blitar dan Kabupaten Tulungagung di Propinsi Jawa Timur. Keterbatasan dokumentasi membuat penyebutan lokasi terbatas pada kecamatan dan serie tanah di dua kabupaten.

Representasi Pengetahuan

Pengetahuan hasil akuisisi yang akan digunakan untuk memproses data, direpresentasikan dalam bentuk aturan-aturan untuk kemudian di implementasikan dalam komputer. Representasi akan ditulis dalam bentuk *IF* (kondisi) *THEN* (aksi). Dalam sebuah sistem berbasis *fuzzy* maka kondisi dan aksi tersusun dari *fuzzy statement* yang terkait dengan konsep ganda, yaitu implikasi *fuzzy* dan komposisi aturan untuk proses pengambilan kesimpulan [12].

Terdapat 144 aturan untuk tanah gambut dan 104 aturan untuk tanah mineral. Aturan-aturan tersebut dapat menghasilkan kesesuaian lahan sesuai, kurang sesuai, dan tidak sesuai. Berikut ini adalah contoh aturan yang digunakan untuk menentukan kesesuaian lahan bagi tanaman pangan :

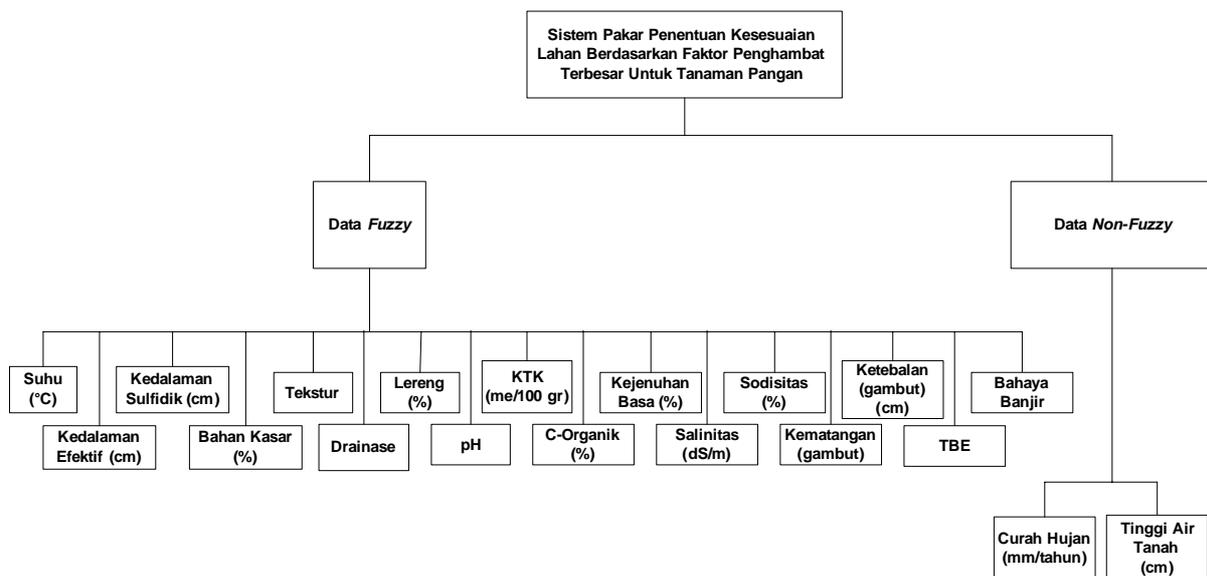
IF (Ketebalan = Tipis) AND (Kedalaman_Sulfidik = Tinggi) AND (Lereng = Sangat Datar) AND (Salinitas = Rendah) AND (Sodisitas = Rendah) AND (pH = Sedang) AND (Suhu = Sedang) AND (Bahan_Kasar = Sedikit) AND (Tekstur = Halus) AND (Drainase = Baik) AND (Kejenuhan_Basa = Sedang) AND (Kedalaman_Efektif = Sedang) AND (KTK = Sedang) AND (C_Organik = Sedang) THEN Kesesuaian_Lahan = Sesuai.

Penentuan kesesuaian lahan untuk tanaman pangan berdasarkan kesesuaian lahan untuk tanaman pangan dan curah hujan akan dituliskan dalam 10 aturan, dengan contoh aturan berikut ini:

IF (Kesesuaian_Lahan = Kurang Sesuai) AND (Curah_Hujan = Rendah) THEN Tanaman = Kacang Arab, Kacang Tanah, Kacang Hijau, Kacang Tunggak, Sorgum, Jagung, Gandum, Kedelai.

Proses Inferensi

Inferensi dilakukan berdasarkan data aktual, yaitu data lahan yang dimasukkan oleh pengguna. Berdasarkan aturan yang terdapat pada basis pengetahuan, data pengguna ini akan diproses dengan metode *fuzzy* untuk menghasilkan sebuah kesimpulan. Proses penalaran dengan metode *fuzzy* menggunakan 5 langkah sebagai berikut: (1) fuzzifikasi dengan fungsi trapesium dan gauss, (2) mengaplikasikan operator *fuzzy* dengan operator AND dan OR, (3) mengaplikasikan metode implikasi dengan metode maksimum, (4) komposisi semua keluaran dengan metode maksimum, (5) defuzzifikasi dengan metode *centroid*, mengingat bahwa metode ini merupakan metode yang banyak digunakan. Tahap fuzzifikasi akan mengubah variabel masukan *fuzzy* menjadi peubah *fuzzy* yang disajikan dalam bentuk himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang digunakan [13]. Teknik pengendalian yang digunakan untuk menentukan kesesuaian lahan adalah mata rantai ke depan (*forward chaining*). Sistem ini mendukung dua fungsi yang dapat digunakan untuk memproses data *fuzzy*, yaitu fungsi gauss (GAUSSMF) dan juga fungsi trapesium (TRAPMF). Berikut ini adalah contoh fungsi trapesium untuk parameter lereng pada



Gambar 5. Diagram Input

himpunan *fuzzy* sangat datar dan datar yang digunakan untuk proses inferensi:

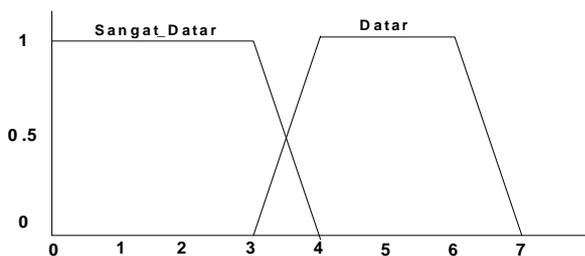
$$\mu_{\text{LERENG-SANGAT DATAR}}(x) = \begin{cases} 1; & 0 \leq x \\ (4-x); & 3 \leq x < 4 \\ 0; & x \geq 4 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{\text{LERENG-DATAR}}(x) = \begin{cases} 0; & x < 3 \\ (x-3); & 3 \leq x < 4 \\ 1; & 4 \leq x < 6 \\ (7-x); & 6 \leq x < 7 \\ 0; & x \geq 7 \end{cases} \quad (4)$$

Contoh fungsi gauss untuk parameter lereng pada himpunan *fuzzy* datar yang digunakan untuk proses inferensi dilihat berikut ini:

$$\mu_{\text{LERENG-DATAR}}(x) = e^{-2(5-x)^2} \quad (5)$$

Fuzzifikasi lereng pada himpunan *fuzzy* sangat datar dan datar dengan fungsi trapesium disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Fuzzifikasi dengan Fungsi Trapesium

Contoh tampilan *web* dimana pengguna dapat melakukan *input* data karakteristik lahan untuk kemudian diproses dengan metode *fuzzy* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan Web Input Data Karakteristik Lahan

Untuk proses penentuan persyaratan tumbuh tanaman dan penentuan lokasi proses inferensi yang digunakan adalah mata rantai ke belakang (*backward chaining*). Berasal dari jenis tanaman yang dimasukkan oleh pengguna, sistem akan menentukan persyaratan yang diperlukan oleh tanaman tersebut untuk dapat tumbuh dan berproduksi, serta lokasi yang dianggap sesuai. Gambar 8 merupakan contoh tampilan untuk proses inferensi *backward chaining*.



Gambar 8. Tampilan Web Untuk Inferensi Backward Chaining

Verifikasi dan Validasi

Verifikasi dilakukan untuk mengetahui apakah program komputer yang dibuat sudah benar dalam implementasinya, dalam arti dapat memberikan hasil yang ditentukan dalam kondisi seperti apapun. Validasi dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi hasil yang diberikan oleh sistem berikut keterkaitannya dengan tujuan sistem. Verifikasi dilakukan secara dinamis dengan menjalankan sistem menggunakan berbagai macam jenis data, baik data berupa bilangan bulat, bilangan pecahan, sampai dengan data bernilai negatif. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa sistem akan menolak dan menampilkan pesan kesalahan kepada pengguna pada saat data *input* bernilai negatif dan pada saat pengguna tidak memasukkan nilai parameter yang digunakan dalam proses penentuan kesesuaian lahan secara umum. Data yang digunakan untuk proses verifikasi ini merupakan data yang diperoleh dari laporan survei tanah semi detail dan buku petunjuk teknis evaluasi lahan (2003). Verifikasi juga dilakukan terhadap tanah mineral dan tanah gambut, baik dengan menggunakan rumus trapesium (TRAPMF) maupun dengan rumus Gauss (GAUSSMF).

Digunakan 17 data percobaan pada tanah gambut untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara keluaran sistem dengan pendapat pakar. Proses menggunakan fungsi TRAPMF menghasilkan *error* 11,76%,

sedangkan untuk fungsi GAUSSMF menghasilkan *error* 41,18%. Pada 12 percobaan pada tanah mineral dengan menggunakan fungsi TRAPMF diperoleh tingkat *error* sebesar 0% dan tingkat *error* sebesar 16,67% pada saat menggunakan fungsi GAUSSMF. Tingkat *error* yang masih tinggi ini disebabkan antara lain karena adanya proses pembulatan akumulasi hasil perhitungan yang dialami pada rangkaian proses pengolahan data dengan menggunakan tahapan pada FIS.

Penelitian ini menggunakan beberapa teknik validasi yang dikemukakan oleh Sargent [14], seperti *extreme condition test*, *face validity*, *historical data validation*. *Extreme condition test* pada penelitian ini ditunjukkan dengan adanya parameter penentu untuk tanah mineral dan gambut. Pada saat nilai parameter penentu ini melebihi batas nilai yang ditentukan oleh pakar, maka sistem akan langsung memberikan kesimpulan bahwa lahan tidak sesuai untuk tanaman pangan. *Historical data validation* akan diuji menggunakan kisaran nilai karakter tanah yang terdapat pada laporan survei tanah. Hasil pengolahan sistem akan dibandingkan dengan nilai kesesuaian lahan yang terdapat pada laporan survei tanah. Berdasarkan kisaran nilai yang ditunjukkan pada laporan survei tanah, maka sistem akan menghasilkan kesesuaian lahan kurang sesuai pada saat menggunakan nilai *default* yang disediakan sistem. *Face validity* ditentukan dengan cara wawancara dengan pakar dari Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian dan Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. *Face validity* akan dilakukan dengan cara membandingkan keluaran sistem dengan pendapat pakar. Faktor yang akan dibandingkan adalah kesesuaian lahan untuk penggunaan tanaman pangan secara umum dan keberadaan faktor penghambat sesuai dengan jenis tanaman dan data lahan dari pengguna sistem, serta kriteria lahan untuk tanaman.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh berkaitan dengan proses perancangan dan implementasi aplikasi sistem pakar ini adalah:

1. Penggunaan metode maksimum pada proses inferensi untuk tahap pengaplikasian metode implikasi dan komposisi semua keluaran membuat sistem akan selalu mengambil nilai terbesar dari seluruh nilai yang ada.
2. Sesuai dengan prinsip-prinsip perancangan *user interface* untuk mempermudah pengguna dalam mengoperasikan aplikasi, maka sistem ini dilengkapi dengan adanya keterangan yang menjelaskan

range nilai yang dapat dimasukan untuk setiap parameter beserta satuannya. Selain itu sistem ini juga dilengkapi dengan nilai *default* untuk setiap parameter, serta adanya pesan kesalahan pada saat pengguna memasukan nilai parameter yang melebihi *range* nilai yang ditentukan.

3. Selama pengguna langsung menggunakan nilai *default* parameter yang disediakan maka akan dihasilkan nilai kesesuaian lahan kurang sesuai.
4. Sistem akan dapat langsung memberikan keluaran bahwa lahan tidak sesuai digunakan untuk tanaman pangan dan pengguna tidak perlu melanjutkan pengisian nilai untuk parameter lainnya apabila nilai parameter penentu pada masing-masing jenis tanah melebihi persyaratan yang ditentukan. Hal ini tentunya akan dapat meningkatkan efisiensi waktu dalam menggunakan sistem.

Saran

Sehubungan dengan adanya kelemahan dalam perancangan dan implementasi sistem pakar pada penelitian ini, maka dapat diberikan beberapa saran yang dapat dijadikan sebagai masukan untuk perbaikan sistem. Saran-saran tersebut adalah:

1. Sistem pakar penentuan kesesuaian lahan berdasarkan faktor penghambat terbesar ini sekiranya dapat dikembangkan sehingga dapat digunakan pada tanaman pertanian lainnya seperti buah-buahan dan sayuran.
2. Penentuan hasil kesesuaian lahan dapat menggunakan lebih banyak parameter, baik yang terdiri dari parameter fisik maupun parameter kimia, sehingga diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih akurat lagi dalam penentuan kesesuaian lahan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Mulyani, A et al, *Peluang Pemanfaatan Lahan Tidur Untuk Meningkatkan Produksi Tanaman Pangan di Indonesia*, Jurnal Litbang Pertanian, 2001, vol. 20, no. 1, 9-16.
2. Salokhe, G et al, *FAO's Role in Information Management and Dissemination Challenges, Inovation, Success, Lesson Learned*, (<http://www.fao.org/>), 2004, akses Desember 2007.
3. Hardjowigeno, S., *Ilmu Tanah*, Jakarta: Akademi Pressindo, 2007.
4. Prasetyo, B. H. dan Suriadikarta, B. A., *Karakteristik, Potensi, dan Teknologi Pengelolaan Tanah Ultisol Untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia*, 2006, vol. 25, no. 2, 39-46.

5. Amien, I., Sosiawan, H., dan Susanti, E., *Agroe-kologi dan Alternatif Pengembangan Pertanian di Kalimantan*, Prosiding Temu Konsultasi Sumberdaya Lahan Untuk Pembangunan Wilayah Kalimantan, November 1997, 93-114.
6. Wai, K. S. et al., *Expert System in Real World Applications*. (<http://www.generation5.com/>), 2005, akses Maret 2008.
7. Giarratano, J dan Riley, G., *Expert Systems Principles and Programming*, Third Edition, USA: PWS Publishing Company, 1998.
8. Marimin, *Teori dan Aplikasi Sistem Pakar Dalam Teknologi Manajeria*, Bogor: IPB Press, 2007.
9. Kusumadewi, S. et al, *Fuzzy Multi-Attribute Decision Making (Fuzzy MADM)*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
10. Yan, J., Ryan, M., Power, J., *Using Fuzzy Logic*. UK : Prentice Hall International. 1994.
11. Djaenudin, D. et al. *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan Untuk Komoditas Pertanian*. Bogor: Balai Penelitian Tanah, Puslitbangtanah. 2003.
12. Herrera, F., *Genetic Fuzzy System: Status, Critical Considerations, and Future Directions*, International Journal of Computational Intelligence Research, 2005, vol. 1, no. 1, 59-67.
13. Thendean, H. dan Sugiarto, M., Penerapan Fuzzy IF-THEN Rules Untuk Peningkatan Kontras Pada Citra Hasil Mammografi, Jurnal Informatika, 2008, vol. 9, no. 1, 1-7.
14. Sargent, Robert G., *Verification and Validation of Simulation Models*, Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 1998, 121-130.