

Technical Paper

Pendeteksian Kerapatan dan Jenis Gulma dengan Metode Bayes dan Analisis Dimensi Fraktal untuk Pengendalian Gulma secara Selektif

Weeds and Plants Recognition using Bayes Segmentation and Fractal Dimension Analysis for Selective Weed Control

Mohamad Solahudin¹, Kudang Boro Seminar², I Wayan Astika³, Agus Buono⁴

Abstract

Destructive impacts of herbicide usage on environment and water contamination have led to many researches oriented toward finding solutions for their accurate use. If density and weeds species could be correctly detected, patch spraying or spot spraying can effectively reduce herbicide usage. A precision automated machine vision for weed control could also reduce the usage of chemicals. Machine vision is a useful method for segmentation of different objects in agricultural applications, especially pattern recognition methods. Many indices have been investigated by researchers to perform weed segmentation based on color information of the images. But there is no research that aims to identify weed diversity and its influence on the consumption of herbicides. The purpose of this research is to build a system that can recognize weeds and plants. In this study the relation between three main components (red, green and blue) of the images and color feature extraction (Hue, Saturation, Intensity) used to define weeds and plants density. Fractal dimension used as the methode to define shape features to distinguish weeds and plants. Weeds and plants were segmented from background by obtaining H value and its shape was obtained by fractal dimension value. The results show fractal dimension value for weeds and plants has specific values. Corn plants have fractal dimension values in the range 1.148 to 1.268, peanut plants have fractal dimension values in the range 1.511 to 1.629, while the weeds have Fractal dimension values in the range 1.325 to 1.497

Keywords: image processing, machine vision, weed control, fractal dimension

Diterima: 26 Juli 2010; Disetujui: 4 Oktober 2010

Pendahuluan

Pada bidang pertanian, gulma dapat menurunkan kuantitas hasil tanaman. Penurunan kuantitas hasil tersebut disebabkan oleh adanya kompetisi gulma dengan tanaman dalam memperebutkan air tanah, cahaya matahari, unsur hara, ruang tumbuh dan udara yang menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat. Pertumbuhan tanaman yang terhambat akan menyebabkan hasil menurun. Besarnya penurunan hasil tanaman tergantung pada varietas tanaman, kesuburan tanah, jenis dan kerapatan gulma, lamanya kompetisi dan tindakan budidaya. Di Indonesia penurunan hasil akibat gulma diperkirakan mencapai 10% - 20%. Gulma juga dapat menurunkan kualitas hasil pertanian akibat tercampurnya biji-biji gulma dengan hasil panen

pada saat panen maupun akibat tercampurnya biji-biji gulma sewaktu pengolahan hasil. Gulma memiliki sifat umum yang dapat membedakan dengan tanaman budidaya antara lain: adaptasi yang tinggi terhadap lingkungan terganggu, jumlah biji yang dihasilkan banyak sekali, daya kompetisi tinggi, dormansi biji lama sekali, kesanggupan bertahan hidup pada keadaan lingkungan tumbuh yang tidak menguntungkan lebih besar, sanggup menyebar luas/berkembang biak secara vegetatif disamping pembiakan generatif.

Sebaran serangan gulma pada lahan pertanian, serangan penyakit atau kekurangan hara mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan hasil, seringkali hal tersebut ditunjukkan melalui pewarnaan daun yang luar biasa atau tidak teratur, pola kehitaman pada daun-daun tanaman. Sistem

¹ Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin & Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian-Institut Pertanian Bogor.
Email: msoul9@yahoo.com

² Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin & Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian-Institut Pertanian Bogor.
Email: kseminar@bima.ipb.ac.id

³ Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin & Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian-Institut Pertanian Bogor.
Email: wayanastika@ipb.ac.id

⁴ Staf Pengajar Departemen Ilkom, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam IPB

mesin visi (*machine vision systems*) memungkinkan pemantauan penyakit tanaman atau kekurangan hara untuk keperluan perlakuan yang tepat.

Berdasarkan kesamaan respon terhadap herbisida, gulma dibedakan menjadi tiga golongan yaitu gulma rumput-rumputan (*grasses*), gulma berdaun lebar (*broadleave*), dan gulma teki (*sedges*). Gulma rumputan atau disebut sebagai gulma berdaun pita merupakan gulma dari kelompok *graminae* yang memiliki ciri-ciri tulang daun sejajar tulang daun utama, panjang dan lebar daun jelas berbeda.

Guna menentukan pilihan cara pengendalian gulma yang tepat maka sangat diperlukan cara-cara menganalisis vegetasi gulma terlebih dahulu. Analisis vegetasi gulma beserta identifikasi spesies gulma dilakukan sebelum tindakan pengendalian dipilih dan diterapkan. Ketidaktepatan dalam analisis bisa menyebabkan pengendalian gulma menjadi tidak efektif dan efisien, karena memboroskan biaya, waktu dan tenaga.

Kerusakan yang ditimbulkan dari penggunaan herbisida pada lingkungan dan kontaminasinya pada air telah mendorong para peneliti untuk menemukan solusi untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Apabila kerapatan serangan gulma dan jenis gulma dapat diketahui dengan pasti, maka aplikasi pengendalian gulma yang efektif dan efisien dapat dilakukan dengan baik.

Penelitian *Real-time VRA* dengan teknologi sederhana telah dilakukan di Thailand dengan memanfaatkan webcam dan pengatur kerja pompa penyemprot. Hasil dari penelitian tersebut masih membuka peluang bagi penelitian lanjutan dengan menggunakan paradigma kerja sistem yang baru. Penggunaan kamera dengan lebar kerja yang lebih besar dan membagi citra menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, serta penggunaan aktuator ganda dapat meningkatkan ketelitian kinerja *Real-time VRA*.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah membangun sistem pengenalan gulma dan tanaman dengan komputasi cerdas.

Bahan dan Metode

Bahan dan Alat

Citra gulma dan tanaman pokok diperoleh dari dua lokasi, yaitu Laboratorium lapangan Leuwikopo dan lahan pertanian masyarakat di desa Cikarawang, Kabupaten Bogor. Jenis tanaman pokok yang dipilih adalah jagung manis dan kacang tanah berumur 23. Sedangkan jenis gulma yang dipilih adalah jenis rumput dan gulma yang memiliki bentuk seperti tanaman pokok. Pemilihan tanaman dilakukan secara acak di lahan, dan dilakukan pada kondisi hari yang cerah.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *image processing*, analisis dimensi fraktal, dan mekanisme kerja sistem.

a. Image Processing

1. Penentuan luas pengambilan citra
Penentuan luas citra dilakukan sebelum kegiatan pengambilan data citra gulma. Luas citra yang digunakan adalah 100 cm x 133cm. Landasan penentuan luas pengambilan citra adalah berdasarkan pada luas kerja alat penyemprot gulma (40 cm – 50 cm) dengan asumsi VRT (*Variable Rate Technology*) yang digunakan adalah dua buah penyemprot. Ukuran citra yang digunakan adalah 640x480 piksel dengan ukuran berkas 0.3 MB.
2. Pengambilan data kondisi lahan berupa citra gulma yang menggambarkan keragaman serangan gulma.
3. Pengolahan citra gulma.
Citra hasil akuisisi data dianalisa dengan pengolahan citra digital untuk memperoleh nilai parameter citra. Pengolahan citra yang dilakukan berupa analisis citra tunggal dan pemotongan menjadi 4 buah citra dengan ukuran sama 320 x 240 piksel.
4. Analisa sebaran serangan gulma
Pengelompokan masing-masing potongan citra kedalam tingkatan serangan gulma berdasarkan nilai warna tertentu.

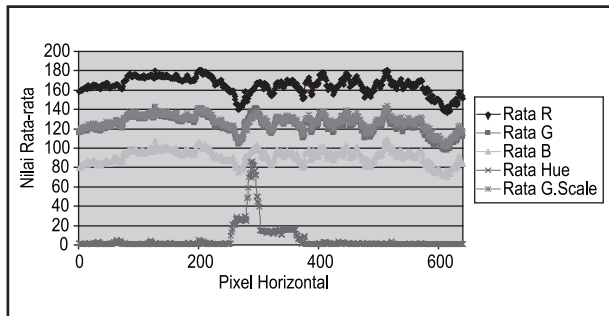
b. Analisis Dimensi Fraktal

Bentuk fraktal secara umum dapat dihubungkan ke karakteristik yang dikenal sebagai dimensi fraktal. Analisis dimensi Fraktal dilakukan dengan cara melakukan fragmentasi terhadap citra yang telah difilterisasi kedalam bentuk persegi panjang berukuran s . Selanjutnya dihitung jumlah bujursangkar $N(s)$ yang berisi warna putih (hasil filterisasi tanaman). Perhitungan ini diulangi dengan berbagai nilai s . Pada studi ini dilakukan fragmentasi dengan nilai $s = 5$ sampai dengan $s=40$ dengan interval 5 pixel. Langkah berikutnya adalah memplot nilai $\log N(s)$ terhadap nilai $\log (1/s)$ dan menentukan bentuk persamaan regresi linier $y = ax + b$. Dimensi Fraktal adalah nilai a pada persamaan regresi linier tersebut.

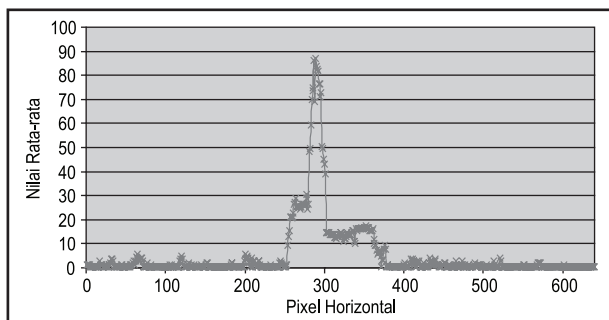
Citra yang telah diambil dianalisa untuk mengetahui komponen warna penyusunnya. Berdasarkan komponen warna tersebut selanjutnya ditentukan parameter filterisasi untuk memisahkan latar belakang citra dengan citra tanaman secara biner (hitam-putih). Data array pixel yang menyimpan nilai biner citra diolah menggunakan metode Analisis dimensi

Tabel 1. Nilai klasifikasi tingkat kepadatan gulma secara garis lurus.

KELAS	Rataan Nilai Hijau		Keterangan
	Batas Bawah	Batas Atas	
1	0.00	38.22	Tidak ada
2	38.20	76.45	Jarang
3	76.45	114.67	Sedang
4	114.67	255.00	Padat



Gambar 1. Hubungan nilai rata-rata warna merah, hijau, biru, Greyscale dan Hue serta posisi pixel horizontal



Gambar 2. Hubungan nilai rata-rata Hue dan posisi pixel horizontal



Fraktal. Selanjutnya dilakukan identifikasi citra berdasarkan nilai dimensi Fraktal guna membedakan citra gulma dan citra tanaman pokok.

c. Mekanisme Kerja Sistem

Mekanisme kerja sistem adalah mengikuti langkah-langkah berikut :

1. Penentuan luas pengambilan citra
2. Pengambilan data kondisi lahan (citra gulma atau citra kondisi serangan hama dan penyakit atau citra yang menggambarkan keragaman kesuburan tanaman)
3. Pengolahan citra (penentuan jumlah *grid*) oleh satu atau lebih *processor*
4. Klasifikasi tingkat serangan dengan Kecerdasan Buatan (Bayes)
5. Penentuan dosis aplikasi
6. Pembuatan peta aksi (penentuan waktu dan dosis aplikasi masing-masing *grid*)
7. Pengiriman peta aksi ke aktuator
8. Pemberantasan gulma atau hama dan penyakit tanaman

Hasil dan Pembahasan

Pengolahan Citra

Citra yang telah diambil dianalisa untuk mengetahui komponen warna penyusunnya. Citra hasil pemotretan dengan ukuran 640 x 480 piksel diproses untuk mendapatkan nilai rata-rata warna merah, hijau, biru, Greyscale, dan Hue. Berdasarkan komponen warna tersebut selanjutnya ditentukan parameter filterisasi untuk memisahkan latar belakang citra dengan citra tanaman secara biner. Penentuan nilai parameter pembatas dilakukan dengan cara memplotkan nilai rata-rata warna merah, hijau, biru, Greyscale, dan Hue dalam sebuah grafik. Berdasarkan grafik tersebut selanjutnya dipilih variabel yang menunjukkan



Gambar 3. Filterisasi citra dengan pembatas nilai rata-rata Hue

perubahan pola grafik secara signifikan pada posisi tanaman berada.

Parameter filterisasi adalah konstanta yang ditentukan berdasarkan nilai variabel Hue yang merupakan batas signifikan antara latar belakang dan tanaman.

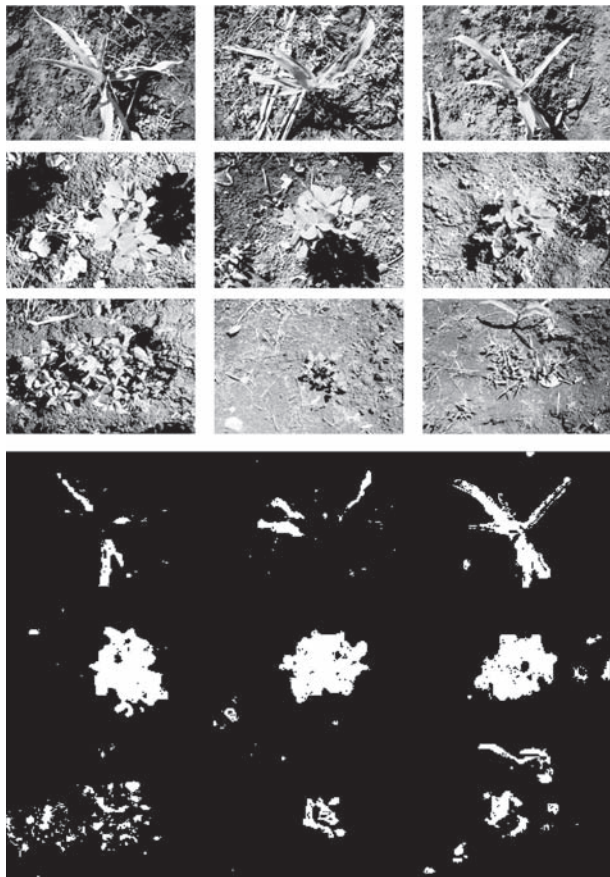
Analisis Kepadatan Serangan Gulma

Pendeteksian kepadatan serangan gulma dilahan dilakukan dengan cara menangkap citra kondisi lahan. Citra yang ditangkap selanjutnya difilterisasi dengan parameter Hue untuk memisahkan citra tanaman dan latar belakang sebagaimana.

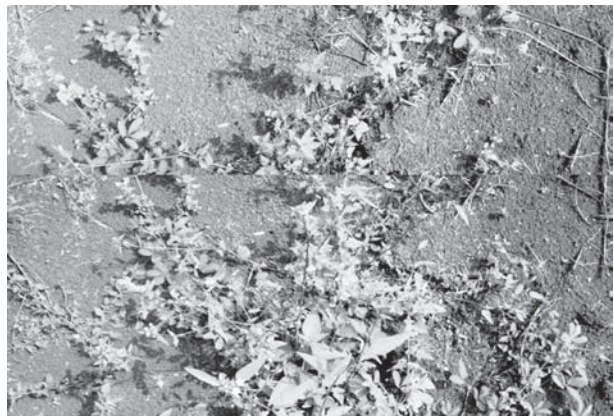
Citra hasil pemotretan dengan ukuran 640 x 480 piksel dibagi menjadi 4 buah citra terpisah dengan ukuran masing-masing 320 x 240 piksel (Gambar 6). Dari keempat gambar tersebut akan ditentukan nilai rata-rata dari nilai hijau yang ada pada setiap piksel penyusunnya.

Klasifikasi tingkat serangan gulma dilakukan dengan menganalisa nilai rata-rata warna hijau dari citra lahan. Semakin besar nilai rata-rata warna hijau maka tingkat serangan gulmanya semakin tinggi.

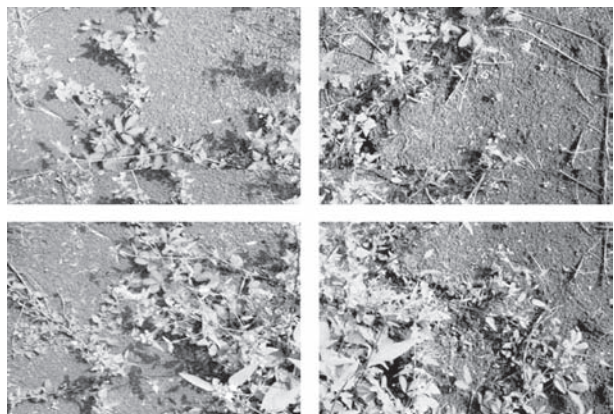
Kepadatan gulma sebagai hasil dari analisa filterisasi citra terbagi dalam empat kelompok dengan metode garis lurus. Rata-rata nilai hijau dari seluruh gambar yang diolah dibagi menjadi empat bagian dengan interval nilai yang sama. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.



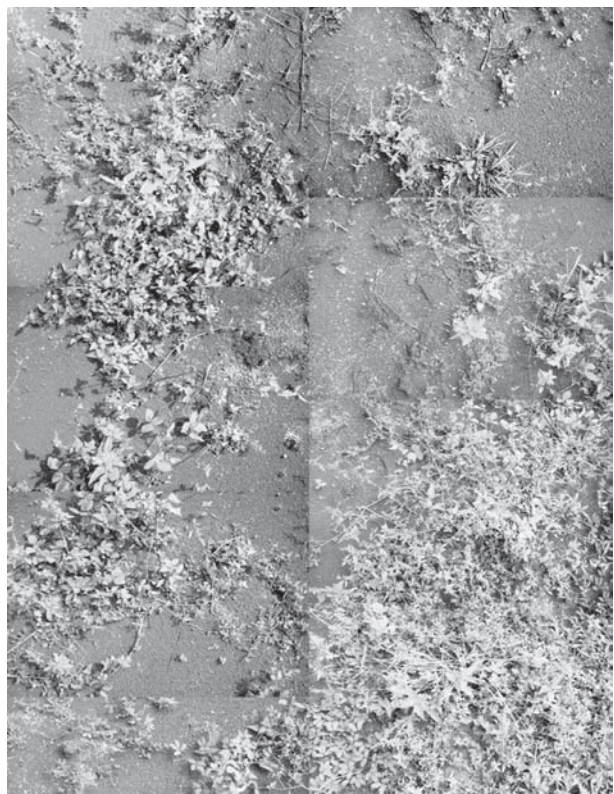
Gambar 4. Hasil filterisasi biner pada berbagai jenis tanaman



Gambar 5. Citra tunggal dengan ukuran 100 cm x 133 cm



Gambar 6. Potongan citra gulma dengan ukuran 50 cm x 66.7 cm



Gambar 7. Citra hasil penggabungan 8 buah citra tunggal

Nilai 1 sampai 4 diberikan pada bagian citra sebagai hasil dari klasifikasi kepadatan gulma berdasarkan nilai rata-rata hijau dari warna citra. Nilai 1 untuk kondisi lahan bersih dari gulma, nilai 2 untuk serangan gulma jarang, nilai 3 untuk serangan gulma sedang, dan nilai 4 untuk serangan gulma padat.

Klasifikasi Tingkat Kepadatan Gulma Metode Nonparametrik Bayes.

Klasifikasi tingkat serangan gulma dengan metode Nonparametrik Bayes dilakukan menggunakan data yang sama dengan yang digunakan pada metode klasifikasi garis lurus. Perbedaannya terdapat pada jumlah variabel yang digunakan sebagai penentu klasifikasi. Pada metode klasifikasi garis lurus hanya digunakan nilai rata-rata warna hijau, sedangkan pada klasifikasi dengan metode Bayes digunakan 3 variabel (3 dimensi) yaitu : (a) rata-rata warna hijau, (b) rata-rata warna merah, dan (c) rata-rata warna biru.

Proses perhitungan dengan metode Nonparametrik Bayes diawali dengan melakukan training dengan menggunakan data hasil klasifikasi garis lurus yang diambil secara acak. Data training terdiri dari 14 data pada kelas serangan "Tidak ada", 15 data pada kelas serangan "Jarang", 12 data pada kelas serangan "Sedang", dan 11 data pada kelas serangan "Padat". Sebagian data yang lain digunakan sebagai data untuk validasi.

Hasil training dengan metode Nonparametrik Bayes menghasilkan ketelitian 100%, dan ketelitian yang diperoleh dari validasi dengan data citra yang lain menunjukkan ketelitian sebesar 94%. Gambar 8 menunjukkan perbandingan perbedaan klasifikasi garis lurus dan klasifikasi metode Nonparametrik Bayes.

Berdasarkan hasil clusterisasi pada citra ukuran 640 x 480 piksel dan citra yang sama dengan ukuran 320 x 240 piksel menunjukkan bahwa clusterisasi dengan ukuran citra yang telah dibagi (sesuai ukuran aplikator cair) yaitu ukuran 320 x 240 piksel menghasilkan peta yang lebih baik. Hasil peta yang lebih sesuai dengan kondisi lahan akan menjamin penggunaan dosis dan lokasi penyemprotan sesuai dengan kebutuhan, sehingga dapat meminimalkan residu herbisida yang tertinggal di lahan.

Berdasarkan Gambar 9. dapat dilihat bahwa pembagian citra menjadi 4 bagian (ukuran 320x240 piksel) dapat memberikan hasil yang berbeda dibandingkan dengan klasifikasi citra tunggal (ukuran 640x480 piksel). Hanya satu citra yang memiliki nilai sama antara ukuran citra tunggal dan citra yang dibagi empat, selebihnya menunjukkan perbedaan antara hasil klasifikasi citra tunggal dengan citra yang dibagi empat. Bahkan pada nilai rata-rata klasifikasi yang sama bentuk pola klasifikasi pada citra yang dibagi empat memiliki pola yang belum tentu sama.

Mengacu pada hasil penelitian Tangwokit,

4	3	2	1
4	2	2	1
4	3	1	4
4	3	1	2
4	3	1	2
3	2	1	2
4	4	3	2
4	4	1	2
3	1	1	2
2	1	1	1
3	2	1	1
2	2	2	1
3	2	2	2
4	3	2	3
1	2	1	1
1	2	1	2
4	3	2	1
3	3	2	1
2	3	2	3
2	3	3	3
3	2	3	1
2	1	2	1
3	1	4	4
3	1	3	4
2	4	2	2
2	4	1	2

(a) Metode garis lurus

4	3	3	1
4	2	2	1
4	3	1	3
4	3	1	2
4	3	1	2
3	2	1	2
4	4	3	2
4	4	1	2
3	1	1	2
2	1	1	1
3	2	1	1
2	2	2	1
3	2	2	2
4	3	2	3
1	2	1	1
1	2	1	2
4	3	2	1
3	3	2	1
2	3	2	3
2	3	3	3
3	2	3	1
2	1	2	1
3	1	4	4
3	1	4	4
2	4	2	2
1	4	1	2

(b) metode Bayes

Gambar 8. Peta sebaran gulma metode garis lurus dan metode Bayes.

R. dan kawan-kawan dari Asian Institute of Technology (2006) apabila akan digunakan VRT hasil penelitian mereka, maka peta yang digunakan adalah peta hasil pengelompokan dengan ukuran citra 640 x 480 piksel. Penggunaan peta tersebut memiliki konsekuensi terhadap hasil VRA yang dilakukan, mengingat bahwa hasil pemetaan tersebut tidak mewakili kondisi nyata. Kondisi ini dapat diatasi dengan mengaplikasikan aktuator ganda yang memungkinkan penggunaan peta hasil pengelompokan dengan ukuran 320 x 240 piksel.

Aplikasi Dimensial Fraktal untuk Identifikasi Gulma

Identifikasi keberadaan gulma diantara tanaman pokok dapat dilakukan dengan cara mengevaluasi suatu nilai tertentu yang bersifat khas antara gulma dan tanaman pokok. Apabila nilai khas tersebut nyata-nyata berbeda di antara gulma dan tanaman pokok, maka nilai khas yang dimaksud dapat digunakan sebagai acuan bagi pengenalan bentuk fisik gulma atau tanaman pokok.

Pada contoh studi dengan tanaman jagung dan kacang tanah yang dilakukan di desa Cikarawang, metode dimensi Fraktal mampu mengidentifikasi dengan baik keberadaan gulma di lahan. Hal ini dapat dilihat dari kisaran nilai dimensi Fraktal yang diperoleh.

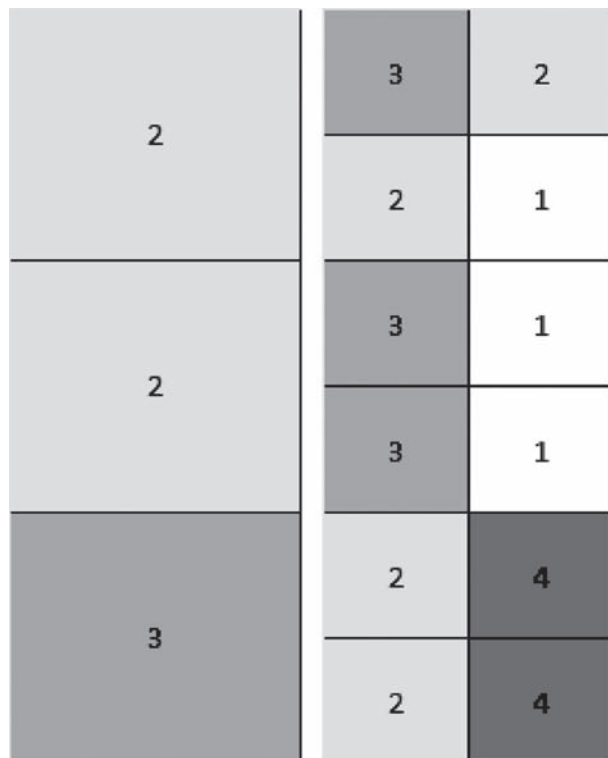
Hasil analisis dimensi Fraktal menunjukkan bahwa masing-masing tanaman memiliki nilai dimensi Fraktal yang khas. Tanaman jagung berumur 23 hari memiliki nilai dimensi Fraktal pada

Tabel 3. Hasil analisis dimensi Fraktal pada berbagai jenis tanaman

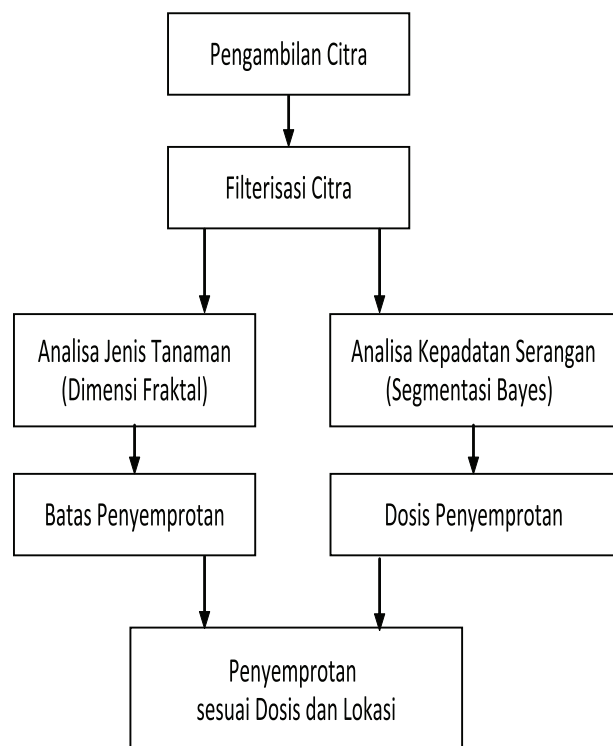
No.	Jenis tanaman	Nilai dimensi fraktal
1	Kacang 1	1.6161565
2	Kacang 2	1.5436468
3	Kacang 3	1.5113127
4	Kacang 4	1.5410119
5	Kacang 5	1.6296334
6	Kacang 6	1.6170775
7	Jagung 1	1.2681550
8	Jagung 2	1.1484379
9	Jagung 3	1.2616879
10	Jagung 4	1.1903126
11	Gulma 1	1.4978239
12	Gulma 2	1.3253546
13	Gulma 3	1.3695416

kisaran 1.148 sampai 1.268, tanaman kacang tanah berumur 23 hari memiliki nilai dimensi Fraktal pada kisaran 1.511 sampai 1.629, sedangkan gulma memiliki nilai dimensi Fraktal pada kisaran 1.325 sampai 1.497.

Nilai dimensi fraktal yang berbeda antara tanaman pokok dan gulma dapat dijadikan panduan untuk menentukan lokasi penyemprotan, sehingga penyemprotan herbisida dapat dilakukan tepat pada lokasi dimana gulma berada.



Gambar 9. Perbedaan pola klasifikasi pada nilai rata-rata yang sama.



Gambar 10. Blok diagram pengendalian gulma.

'Konsep Aplikasi Komputasi Cerdas untuk Pengendalian Gulma.

Pengendalian gulma dengan sensor kamera digital memerlukan beberapa perangkat komputasi cerdas pada kegiatan filterisasi, identifikasi tanaman, dan identifikasi kepadatan serangan gulma. Konsep prosedur kegiatan pengendalian gulma adalah sebagaimana digambarkan pada Gambar 10.

Pada kegiatan pengendalian gulma tahapan kegiatan diawali dengan penangkapan citra serangan gulma, kemudian dilanjutkan dengan filterisasi citra untuk memisahkan citra tanaman dengan latar belakangnya. Citra hasil filterisasi kemudian dianalisa dengan dimensi fraktal pada masing-masing obyeknya untuk mengetahui jenis tanaman apa yang ada di dalamnya. Setelah diketahui identitas masing-masing tanaman yang ada di dalam citra, maka dilakukan analisa Bayes untuk mengetahui kepadatan serangan gulma yang terjadi.

Selain dipakai pada konsep pengendalian gulma, sistem ini juga dapat digunakan dalam pengendalian penyakit yang gejala serangan penyakitnya terlihat pada penampakan daun tanaman.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil clusterisasi pada citra ukuran 640 x 480 piksel dan citra yang sama dengan ukuran 320 x 240 piksel menunjukkan bahwa clusterisasi dengan ukuran citra yang telah dibagi (sesuai ukuran aplikator cair) yaitu ukuran 320 x 240 piksel menghasilkan peta yang lebih baik.

Proses segmentasi menggunakan Hue thresholding. Nilai Hue 46.50 yang digunakan untuk membedakan lahan dan gulma pada citra dapat bekerja dengan hasil yang baik.

Penentuan tingkat kepadatan gulma menggunakan nilai rata-rata warna hijau dari setiap citra. Citra dibagi dalam 4 kelas kepadatan yaitu tidak ada, jarang, sedang, dan padat masing-masing dengan interval nilai rata-rata warna hijau 0.00-38.22, 38.22-76.45, 76.45-114.67, dan 114.67-255 secara berurut. Nilai kelas kepadatan dari seluruh citra yang diolah nantinya akan menjadi

dasar dalam pembuatan peta kepadatan gulma pada lahan terbuka.

Hasil segmentasi Bayes menunjukkan ketelitian training 100% dan ketelitian validasi 90%. Nilai kelas kepadatan dari seluruh citra yang diolah menjadi dasar dalam pembuatan peta perlakuan.

Hasil analisis dimensi Fraktal menunjukkan bahwa masing-masing tanaman memiliki nilai dimensi Fraktal yang khas. Tanaman jagung berumur 23 hari memiliki nilai dimensi Fraktal pada kisaran 1.148 sampai 1.268, tanaman kacang tanah berumur 23 hari memiliki nilai dimensi Fraktal pada kisaran 1.511 sampai 1.629, sedangkan gulma memiliki nilai dimensi Fraktal pada kisaran 1.325 sampai 1.497.

Nilai dimensi fraktal yang berbeda antara tanaman pokok dan gulma dapat dijadikan panduan untuk menentukan lokasi penyemprotan, sehingga penyemprotan herbisida dapat dilakukan tepat pada lokasi dimana gulma berada.

Daftar Pustaka

- Lauwerier H. 1991. *Fractals, Endlessly Repeated Geometrical Figures*. Princeton University Press, Princeton-New Jersey.
- Ming W.H., C.J. Hou. 2004. *Cluster analysis and visualization, Workshop on Statistics and Machine Learning*, Institute of Statistical Science, Academia Sinica
- Steward B. L. and Tian L. F. 1996. *Real Time Machine Vision Weed-Sensing*. Department of Agricultural Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign USA.
- Tangkowit, R., V. Salokhe, H. Jayasuria. 2006. *Development of Tractor Mounted Real-time Variable Rate Herbicide Applicator for Sugarcane Planting*. *Agricultural Engineering International : the CIGR Ejournal* Vol. VIII, June, 2006.
- Wolf SA, Wood SD. 1997. *Precision farming : environmental legitimation, commodification of information, and industrial coordination*. *The Rural Sociological Society. Rural Sociology* 62(2):180-206.