



EKSTRAKSI CITRA MENGGUNAKAN METODE LAPLACIAN DAN SVM (*SUPPORT VECTOR MACHINE*) UNTUK IDENTIFIKASI JENIS TANAMAN PAKU BERDASARKAN CITRA SPORA

Sufiatul Maryana¹⁾, Herfina²⁾, Arie Qur'ania³⁾, Herlinda⁴⁾

^{1,2,3}Ilmu Komputer, Universitas Pakuan

⁴Ilmu Komputer, Universitas Indraprasta

^{1,2,3}Jl. Raya Pakuan No 1, Bogor

⁴ TB. Simatupang Jl. Nangka Raya, Jakarta

Email: ¹sufiatul.maryana@unpak.ac.id, ²herfina@unpak.ac.id, ³qurania@unpak.ac.id, ⁴herlindsaid72@gmail.com

Abstract

Spores are a breeding tool for ferns (*Pteridophyta*) which are generally found under the surface of each leaf. Research on the characteristics of *Pteridophyta* spores is generally done by observing their size and shape to see the type of spore. The method that will be carried out in this study requires a lot of understanding, experience, accuracy and time to achieve high accuracy in determining the type. Based on these reasons, it is necessary to develop another technique with modeling to help identify the type of *Pteridophyta* in the spore. This paper discusses image extraction for fern identification based on spore images using the Laplacian method and SVM. Laplacian method is used to extract features from spore images, while SVM is used to classify ferns. This method requires a lot of understanding, experience, accuracy and time to achieve high accuracy in determining the type. Based on these reasons, it is necessary to develop another technique with modeling to help identify the type of *Pteridophyta* in the spore. The purpose of this research is to make Support Vector Machine (SVM) modeling to identify fern species based on spore images in Eigen space. The data used are spore images with four classes, each of which has 24 data per class with a total of 96 images. The method used in this research is Laplacian method for feature extraction and SVM for data classification using Gaussian RBF and Polynomial kernel function experiments. The result of this research is the accuracy of each extraction that has been tried. The best result lies in the RBF kernel function with 70% feature extraction and 10 parameters with an accuracy of 98.96%.

Keyword: *Pteridophyta*, Spora, Laplacian, SVM.

Abstrak

Spora merupakan alat perkembangbiakan tumbuhan paku (*Pteridophyta*) yang umumnya terdapat di bawah permukaan setiap daun. Penelitian tentang ciri-ciri spora *Pteridophyta* umumnya dilakukan dengan mengamati ukuran dan bentuknya untuk melihat jenis sporanya. Metode yang akan dilakukan pada penelitian ini membutuhkan banyak pemahaman, pengalaman, ketelitian dan waktu untuk mencapai ketelitian yang tinggi dalam menentukan jenisnya. Berdasarkan alasan tersebut, maka perlu dikembangkan teknik lain dengan pemodelan untuk membantu mengidentifikasi jenis *Pteridophyta* pada bagian spora. Makalah ini membahas tentang ekstraksi citra untuk identifikasi tanaman paku berdasarkan citra spora menggunakan metode laplacian dan SVM. Metode Laplacian digunakan untuk mengekstrak fitur dari citra spora, sedangkan SVM digunakan untuk melakukan klasifikasi tanaman paku. Metode ini membutuhkan banyak pemahaman, pengalaman, ketelitian dan waktu untuk mencapai ketelitian yang tinggi dalam menentukan jenisnya. Berdasarkan alasan tersebut, perlu dikembangkan teknik lain dengan pemodelan untuk membantu mengidentifikasi jenis *Pteridophyta* pada bagian spora. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat pemodelan *Support Vector Machine* (SVM) untuk mengidentifikasi spesies tumbuhan paku berdasarkan citra spora di ruang Eigen. Data yang digunakan adalah citra spora dengan empat kelas yang masing-masing memiliki 24 data per kelas dengan total keseluruhan data sebanyak 96 citra. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Laplacian untuk ekstraksi fitur dan SVM untuk klasifikasi data menggunakan percobaan fungsi kernel kernel *Gaussian RBF* dan *Polynomial*. Hasil dari penelitian ini adalah akurasi dari setiap ekstraksi yang telah dicoba. Hasil terbaik terletak pada fungsi kernel RBF dengan ekstraksi fitur 70% dan parameter 10 dengan akurasi 98,96%.

Kata Kunci: *Pteridophyta*, Spora, Laplacian, SVM.



1. PENDAHULUAN

Indonesia kaya akan keanekaragaman hayati baik flora maupun fauna, salah satu keanekaan hayati adalah tumbuhan paku atau Pteridophyta yang banyak tumbuh di daerah yang lembab [1], tanaman paku memiliki peran yang cukup besar baik secara ekologis maupun ekonomis, secara ekologis tanaman paku berperan dalam satu rantai makanan dan komponen yang berperan dalam siklus daun nitrogen. Secara ekonomis tumbuhan paku dapat berperan sebagai tanaman obat, tanaman hias, sayuran dan sebagai pelindung persemaian [2][3].

Tumbuhan paku adalah kelompok tumbuh-tumbuhan yang mempunyai jenis yang cukup banyak. Di Indonesia diperkirakan terdapat lebih dari 1.300 jenis tumbuhan paku dari 12.000 jenis yang ada di seluruh dunia [4]. Pengamatan spora di laboratorium dilakukan dengan menggunakan jarum preparat, sori daun tumbuhan paku yang fertil diambil dan disimpan dalam larutan alkohol 70% di atas obyek gelas. Agar sori tersebut terpisah menjadi banyak spora maka perlu diketuk-ketuk dengan batang gelas. Pada obyek gelas yang lain yang telah diberi glyserin, dengan bantuan jarum ose untuk menaburkan spora-spora di atasnya. Agar preparat siap diamati di bawah mikroskop elektron maka obyek gelas perlu ditutup dengan cover glass dan pada bagian tepinya harus diolesi dengan cat kuku. Pengamatan di bawah mikroskop elektron dilakukan dengan perbesaran 100x meliputi pengukuran panjang spora.

Penelitian menggunakan ciri spora untuk mengidentifikasi jenis Pteridophyta sudah dilakukan diantaranya mengidentifikasi bentuk spora dalam mendukung konsep takson [4], penelitian lain menggunakan variasi ukuran spora pada *Asiantum raddianum* untuk menganalisis derajat ploidi dan pengaruhnya [5].

Data spora didapat dari tumbuhan paku yang berada Kebun Raya Cibodas Bogor, yang terdiri atas empat famili yaitu *Thelypteridaceae*, *Aspleniaceae*, *Polypodiaceae*, *Aspidiaceae*, masing-masing famili mempunyai 24 citra. Total data pada penelitian ini berjumlah 96 citra dengan ukuran awal 960x1280 *pixel* kemudian ukuran citra diubah menjadi ukuran *pixel* yang disesuaikan pada kebutuhan penelitian.

Penelitian ciri spora pada *Pteridophyta* yang biasa dilakukan adalah melihat ukuran dan bentuk untuk melihat jenis spora[6]. Cara tersebut memerlukan pemahaman, pengalaman, ketelitian dan waktu untuk mencapai keakurasian dalam penentuan jenis. Berdasarkan hal tersebut maka perlu sebuah teknik lain dengan cara pemodelan untuk membantu mengidentifikasi jenis *Pteridophyta* pada bagian spora.

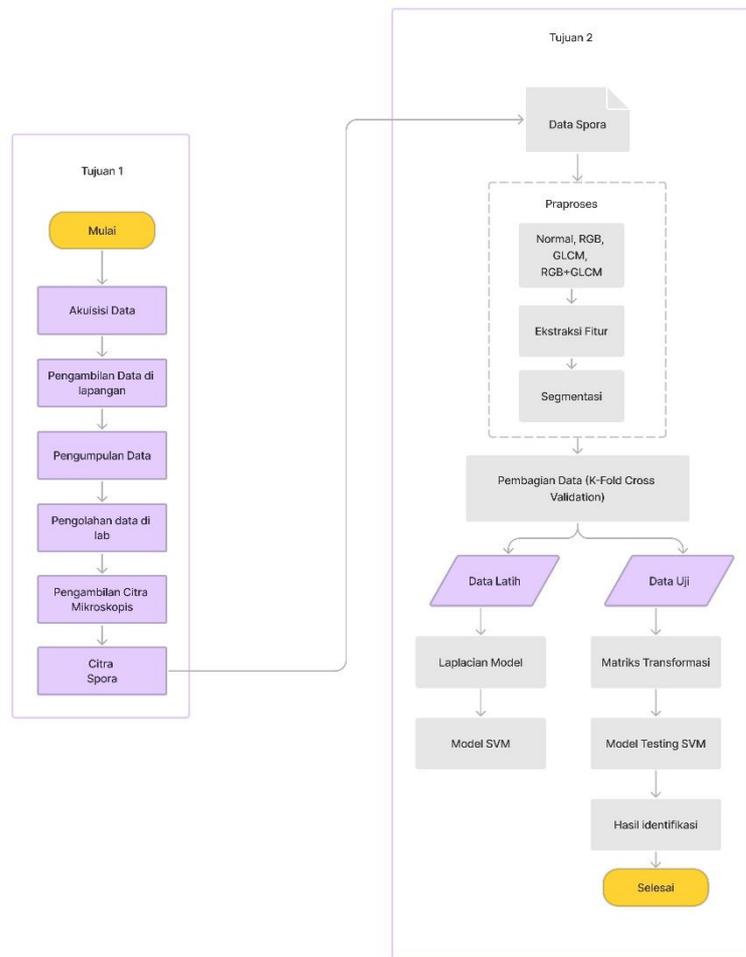
Laplacian Of Gaussian adalah salah satu operator deteksi tepi yang dikembangkan dari turunan kedua [7]. Operator Laplacian Of Gaussian ini mempunyai sifat omny directional (tidak horizontal dan tidak vertikal)[8]. Operator ini sangat sensitive terhadap noise yang terletak pada titik-titik tepi. Sebelum melakukan deteksi tepi terlebih dahulu dilakukan proses filter yang dapat melemahkan noise. Operator Laplacian Of Gaussian ini terbentuk dari proses Filter Gaussian yang diikuti operasi Laplacian[9][10].

Penelitian yang akan dilakukan adalah Ekstraksi Citra menggunakan Metode Laplacian dan SVM (*Support Vector Machine*) untuk Identifikasi Jenis Tanaman Paku Berdasarkan Citra Spora,

2. METODE PENELITIAN

2.1 Langkah-langkah Penelitian

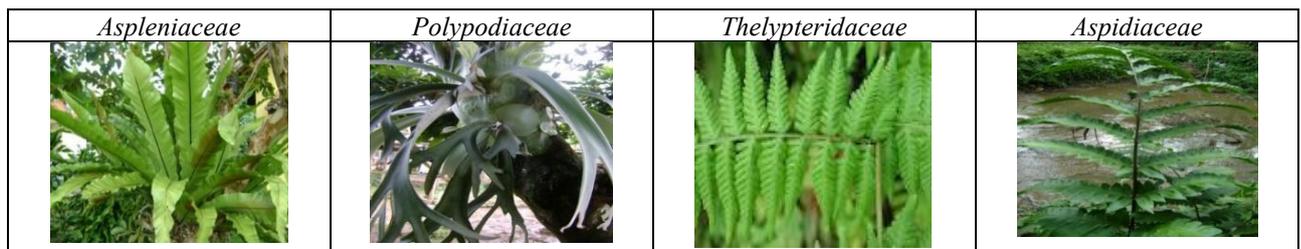
Metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan Laplacian untuk deteksi tepi dari citra spora dan SVM sebagai klasifikasi dari object data pembelajaran yang jaraknya paling dekat dengan object tersebut[11]. Pada isi Metode Penelitian akan ditampilkan Langkah-langkah atau scema dari penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

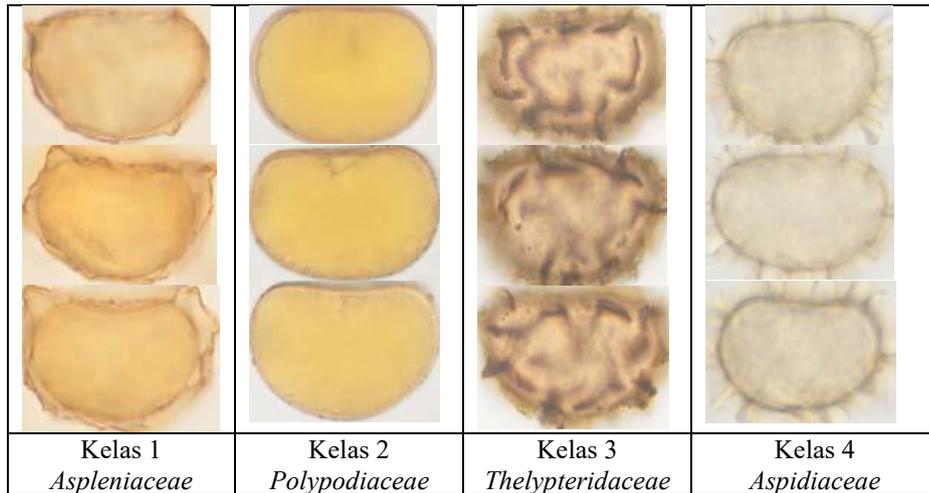
3.1. Akuisisi Data

Data spora pada jenis tumbuhan *Pteridhopyta* pada penelitian ini diambil sample dari kebun raya Cibodas Kecamatan Cianjur Jawa Barat, pengambilan data tumbuhan paku dipilih empat jenis diantaranya *Aspleniaceae*, *Polypodiaceae*, *Thelypteridaceae*, *Aspidiaceae*, data diolah di laboratorium dan diambil citra mikroskopis untuk diolah dan diidentifikasi.



Gambar 2. Tumbuhan Paku

Sebanyak empat jenis tumbuhan paku dikelompokkan menjadi empat kelas yang berbeda, masing-masing kelas mempunyai citra sebanyak 24 sehingga citra keseluruhan memiliki 96 citra. Seperti terlihat pada Gambar 3



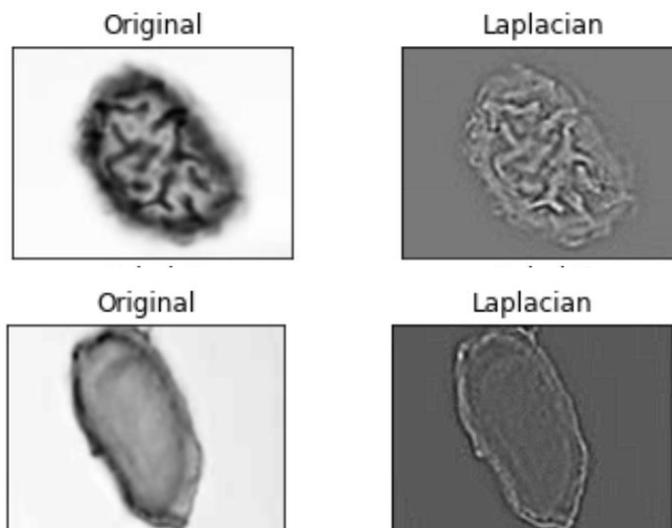
Gambar 3 Jenis citra spora *Pteridhopyta*

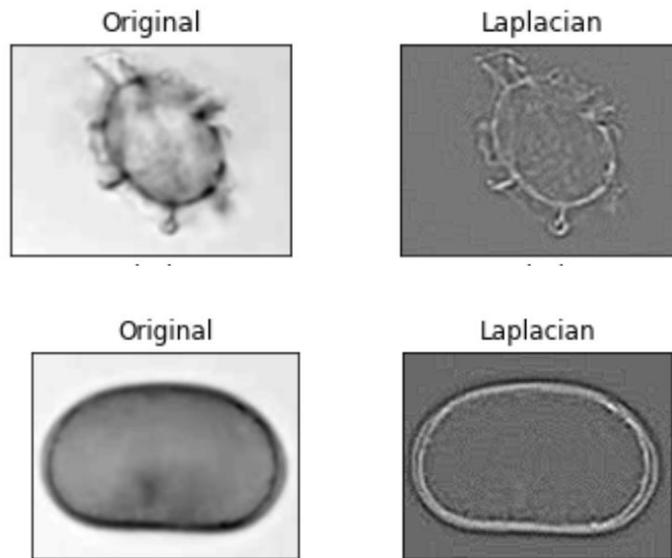
3.2. Praproses

Secara garis besar sistem terdiri atas dua bagian, yaitu proses pembelajaran citra dan proses pengujian citra[12][13]. Pada proses pembelajaran dan pengujian citra spora masing-masing berukuran 96x128 *pixel* dari ukuran asal 960x1280 diperoleh dari hasil memodifikasi secara manual. Maksudnya adalah setelah file citra spora diperoleh, proses *cropping*, *resize* dan penyesuaian citra untuk menyamakan dimensi citra dilakukan secara manual.

3.3. Deteksi Tepi Laplacian pada citra spora *Pteridhopyta*.

Citra awal dari spora pada penelitian ini mempunyai dimensi 96 x 128 seperti terlihat pada Gambar 10, citra spora diubah dari RGB menjadi bentuk grayscale, kemudian dilakukan ekstraksi fitur citra spora *Pteridhopyta* menggunakan Laplacian menjadi beberapa seperti terlihat pada Gambar 4.





Gambar 4. Hasil deteksi tepi menggunakan Laplacian pada citra spora

3.4. Pembentukan Persamaan SVM Multiclass.

Dalam kasus SVM multiclass, jumlah persamaan yang dibentuk sesuai dengan jumlah kelas [11][14]. Sebagai contoh, dalam penelitian ini memiliki kasus empat kelas, akan dibentuk empat persamaan, yaitu $f_1(x)$, $f_2(x)$, $f_3(x)$ dan $f_4(x)$. Persamaan-persamaan ini digunakan untuk data training, dengan data dalam kelas 1 diberi label +1 dan data dalam kelas 2, 3 dan 4 diberi label -1. Dengan demikian, proses pembentukan persamaan menjadi dua kelas.

Adapun tahapan pembentukan persamaan SVM dengan kernel Gaussian RBF dengan menggunakan software Python versi 10 adalah sebagai berikut :

1. Membagi data latih dan data uji dari keseluruhan data yang berjumlah 94. Data latih digunakan sebagai pemodelan adalah sebanyak 72 dan data uji untuk prediksi sebanyak 24 citra.
2. Metode yang digunakan pada SVM multiclass ini adalah kernel RBF dengan parameter yang digunakan adalah $\sigma = 2$ dan $C = 1$, sedangkan kernel Polynomial menggunakan parameter $d = 2$, $C=1$
3. Jika kernel telah ditentukan, maka parameter digunakan untuk memetakan data training menggunakan kernel Gaussian RBF berikut:

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right) \dots \dots \dots (1)$$

Atau fungsi kernel Polynomial sebagai berikut :

$$K(x, x_i) = (1 + x^T \cdot x_i)^2 \dots \dots \dots (2)$$

4. Jika data latih telah dipetakan menggunakan fungsi kernel dan telah mendapatkan nilai α dan b , selanjutnya digunakan pada persamaan SVM untuk memprediksi klasifikasi data uji.

Contoh pada persamaan SVM kernel Gaussian RBF adalah sebagai berikut :

$$f(x) = w^T \cdot x + b$$

$$\text{Dimana } w^T \cdot x + b = \alpha^T y^T K(x_{training}, x_{Testing}) + b$$

Untuk persamaan $f_1(x)$ adalah sebagai berikut

$$f_1(x) = \alpha^T y^T K(x_{training}, x_{Testing}) + b$$

$$= \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \vdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -1 \end{bmatrix} K(x_{training}, x_{testing})_{72 \times 24} + 0$$

72×1 72×72



$$\begin{aligned} \text{Dengan } K(x_{\text{training}}, x_{\text{Testing}}) &= \exp\left(-\frac{\|x_{\text{training}} - x_{\text{testing}}\|^2}{2(2)^2}\right) \\ &= \exp\left(-\frac{\|x_{\text{training}} - x_{\text{testing}}\|^2}{8}\right) \end{aligned}$$

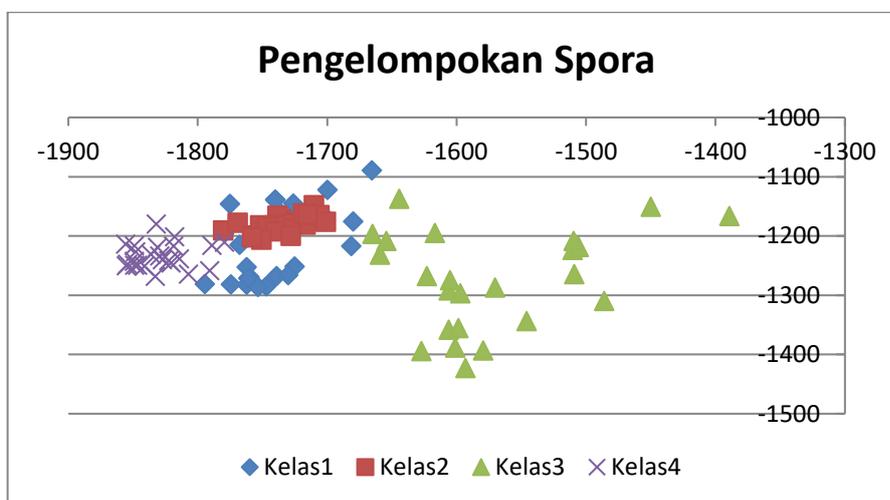
Dari perhitungan dengan kernel Gaussian RBF dengan menggunakan $f_1(x)$ didapatkan vector baris dengan ukuran 1 x 24 atau sebanyak data uji yang merupakan prediksi klasifikasi sementara. Perhitungan selanjutnya untuk membentuk persamaan berikutnya $f_2(x)$, $f_3(x)$ dan $f_4(x)$, ikuti langkah yang sama seperti persamaan $f_1(x)$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan indentifikasi masing-masing jenis spora dimana dipisahkan menjadi 4 jenis. Output yang akan ditampilkan berupa nilai akurasi dari percobaan, tabel dan grafik dari hasil percobaan, ekstraksi fitur dan pengujian skenario.

3.1. Pengelompokan data spora

Penelitian ini menggunakan data citra spora yang memiliki 4 kelas yaitu kelas 1 (*Aspleniaceae*), kelas 2 (*Polypodiaceae*), kelas 3 (*Thelypteridaceae*) dan kelas 4 (*Aspidiaceae*). Data keseluruhan dikelompokkan berdasarkan kelas yang telah ditentukan menggunakan data yang telah ditransformasikan seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Pengelompokan data spora

Gambar 5 menunjukkan bahwa setiap data mengumpul sesuai dengan kelasnya masing-masing, pada kelas 3 berkelompok di area kelas 1, sementara pada kelas 4 dan kelas 3 berkelompok pada masing-masing kelas. Hal ini menandakan bahwa kelas-kelas tersebut dapat di klasifikasikan.

3.5. Data Latih dan Data Uji

Data citra spora *Pteridhopyta* untuk 4 jenis mempunyai jumlah keseluruhan 96 data, dengan masing-masing jenis berjumlah 24 data. Data citra spora pada masing-masing jenis pada penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu data latih (18 data) dan data uji (4 data). Pengambilan data mengikuti pola 4 *cross validation*, dimana data diujikan kedalam 4 pola yang terdiri atas pola 1 hingga pola 4 dengan rincian seperti pada Tabel 1

Tabel 1 Susunan data latih dan data uji

Pola	Citra Data Latih	Citra Data Uji
1	7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24	1,2,3,4,5,6
2	1,2,3,4,5,6,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24	7,8,9,10,11,12
3	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,19,20,21,22,23,24	13,14,15,16,17,18



4	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18	19,20,21,22,23,24
---	--	-------------------

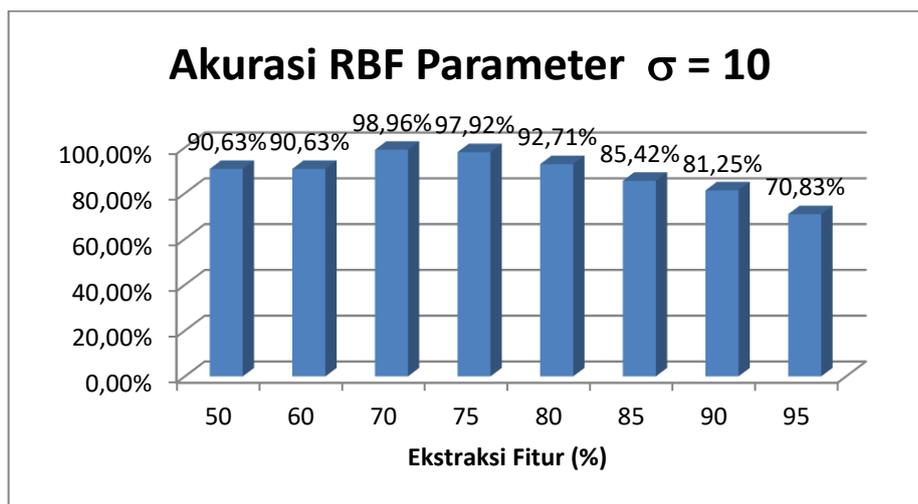
3.6. Identifikasi Spora menggunakan Gaussian RBF

Penelitian ini menggunakan menggunakan citra spora untuk mengidentifikasi jenis *Pteridhopyta* kedalam 4 kelas. Penelitian ini melakukan beberapa macam percobaan dengan menggunakan SVM dengan metode *One Against All* (Christianini, et. al.(2000))pada fungsi kernel RBF dengan parameter $\sigma = 5, 10, 15, 20,$ dan 25 dan dengan ekstraksi fitur = 50%, 60%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90% dan 95%. Percobaan untuk data training terlihat pada Tabel 2, dimana model yang dibentuk untuk memprediksi data latih itu sendiri mendapatkan akurasi 100% yang memiliki arti bahwa kelas dapat diklasifikasi tepat sesuai dengan kelas aslinya dengan galat error sebesar 0%. Terlihat pada Tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Percobaan Akurasi RBF pada Data Latih

Ekstaksi (%)	RBF (σ)				
	5	10	15	20	25
50	100	100	100	100	100
60	100	100	100	100	100
70	100	100	100	100	100
75	100	100	100	100	100
80	100	100	100	100	100
85	100	100	100	100	100
90	100	100	100	100	100
95	100	100	100	100	100

Percobaan selanjutnya dilakukan dengan menggunakan data testing sebagai prediksi, dengan nilai parameter $\sigma = 10$ dengan ekstraksi fitur = 50%, 60%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90% dan 95%.disajikan pada Gambar 6



Gambar 6 Hasil akurasi kernel RBF dengan parameter : $\sigma = 10$

Gambar 6 menunjukkan pada ekstraksi fitur meningkat dari ekstraksi ciri 50% sampai dengan 70%, sedangkan hasil menurun mulai dari ekstraksi ciri 75% sampai dengan 95%. Hal ini menunjukkan bahwa data teridentifikasi optimal menggunakan SVM ketika berada pada ekstraksi 70% dengan parameter $\sigma = 10$ menghasilkan akurasi 98,96%. Hasil kesalahan pada percobaan menggunakan kernel RBF parameter sigma = 10 dengan ekstraksi 70% dijabarkan menggunakan *confusion matrix* ditunjukkan pada Tabel 3



Tabel 3. *Confusion matrix* percobaan RBF dengan parameter = 10

AKTUAL	PREDIKSI			
	Kelas	Kelas	Kelas	Kelas
	1	2	3	4
Kelas 1	23	1	0	0
Kelas 2	0	24	0	0
Kelas 3	0	0	24	0
Kelas 4	0	0	0	24

Tabel 3 menunjukkan klasifikasi pada kelas 2 (*Polypodiaceae*), kelas 3(*Thelypteridaceae*) dan kelas 4 (*Aspidiaceae*) terklasifikasi 100% sedangkan pada kelas 1 (*Aspleniaceae*) ada satu data yang teridentifikasi oleh kelas prediksi yaitu kelas 2 (*Polypodiaceae*). Data yang salah diklasifikasikan ditunjukkan pada Tabel 4

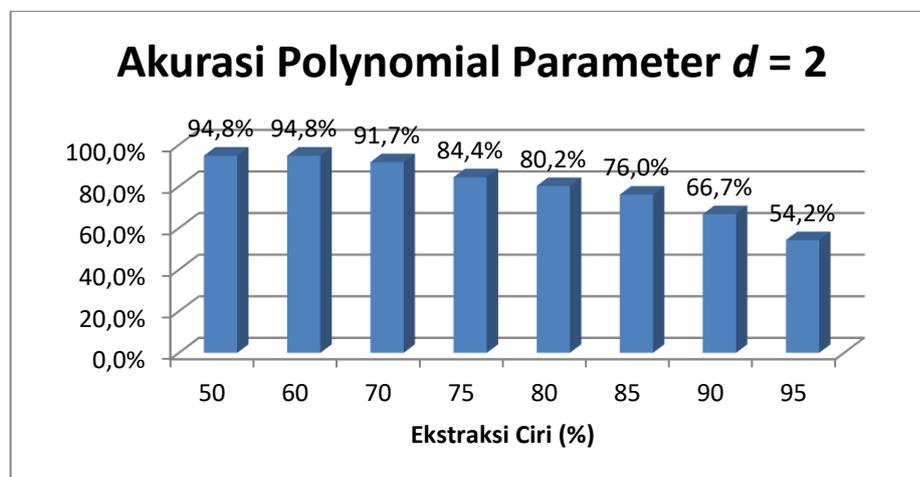
Tabel 4 Data yang salah diklasifikasikan

Aktual (Data Uji)		Prediksi
Kelas/Jenis	Data Ke	Kelas/Jenis
<i>Aspleniaceae</i>	77	<i>Polypodiaceae</i>

Tabel 4 menunjukkan bahwa kesalahan klasifikasi antara kelas 1 (*Aspleniaceae*) dan kelas 2 (*Polypodiaceae*) terletak pada urutan data ke-77, dengan demikian data yang terdapat pada percobaan menggunakan parameter sigma = 10 dengan ekstraksi ciri 70% hampir seluruhnya teridentifikasi.

3.7. Identifikasi Spora menggunakan Polynomial

Penelitian melakukan percobaan dengan fungsi kernel *Polynomial* menggunakan ekstraksi ciri 50% hingga 90% dengan parameter order 2. Percobaan dengan fungsi kernel *Polynomial* menghasilkan tingkat kesalahan 5,2% pada ekstraksi ciri 50% dan 60%. Jumlah data yang salah diklasifikasikan sebanyak 5 data dari 96 data. Hasil percobaan menggunakan fungsi kernel *Polynomial* tersaji pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil akurasi kernel polynomial dengan parameter order = 2



Gambar 7 menunjukkan hasil akurasi tertinggi berada pada ekstraksi ciri 50% dan 60% sebesar 94,8% sedangkan percobaan pada parameter $d=2$ menunjukkan ekstraksi ciri dari 50% sampai dengan 95% terjadi penurunan akurasi hingga 54% pada ekstraksi ciri 95%. Hal ini menunjukkan bahwa data teridentifikasi optimal menggunakan SVM ketika berada pada ekstraksi 50% dan 60% dengan parameter $d = 2$ menghasilkan akurasi 94,8%. Hasil kesalahan pada percobaan menggunakan kernel Polynomial parameter $d = 2$ dengan ekstraksi 60% dijabarkan menggunakan *confusion matrix* ditunjukkan pada Tabel 5

Tabel 5 *Confusion matrix* percobaan *Polynomial* dengan parameter $d = 2$

AKTUAL	PREDIKSI			
	Kelas	Kelas	Kelas	Kelas
	1	2	3	4
Kelas 1	24	0	0	0
Kelas 2	0	24	0	0
Kelas 3	0	4	20	0
Kelas 4	1	0	0	23

Tabel 5 menunjukkan klasifikasi pada kelas 1 (*Aspleniaceae*) dan kelas 2 (*Polypodiaceae*) teridentifikasi 100% sedangkan pada kelas 3 (*Thelypteridaceae*) ada empat data yang teridentifikasi oleh kelas prediksi yaitu kelas 2 (*Polypodiaceae*) dan pada kelas 4 (*Aspidiaceae*) ada satu data yang teridentifikasi oleh kelas prediksi yaitu kelas 1 (*Aspleniaceae*). Data yang salah diklasifikasikan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Data yang salah diklasifikasikan

Aktual (Data Uji)		Prediksi
Kelas/Jenis	Data Ke	Kelas/Jenis
<i>Thelypteridaceae</i>	13,15, 38,39	(2) <i>Polypodiaceae</i>
(4) <i>Aspidiaceae</i>	69	<i>Aspleniaceae</i>

Tabel 6 menunjukkan bahwa kesalahan klasifikasi antara kelas 3 (*Thelypteridaceae*) dan kelas 2 (*Polypodiaceae*) terletak pada urutan data ke-13, 15, 38 dan 39, dan kesalahan klasifikasi antara kelas 4 (*Aspidiaceae*) dan kelas 1 (*Aspleniaceae*) terletak pada urutan data ke-69. Hal ini menunjukkan bahwa pada percobaan menggunakan parameter $d=2$ dengan ekstraksi ciri 60% mempunyai kesalahan sebesar 5,2% dari 96 data.

4. KESIMPULAN

Identifikasi tumbuhan paku berbasis spora pada penelitian ini menggunakan ekstraksi ciri Laplacian dan SVM sebagai pemodelannya. Pada pemodelan SVM menggunakan fungsi kernel RBF dan kernel Polynomial dengan metode *one againt all*. Pada pengujian dengan menggunakan data uji sebanyak 24 citra dari total keseluruhan 96 citra dengan ekstraksi fitur mulai dari 50%, 60%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90% dan 95%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diperoleh kesimpulan bahwa percobaan dengan menggunakan percobaan RBF dengan parameter $\sigma = 10$ dengan kernel Polynomial menggunakan parameter $d=2$ mendapatkan hasil yang terbesar adalah menggunakan kernel RBF dengan akurasi 98,96%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan Puji Syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kekuatan, kelancaran untuk menyelesaikan



penelitian dan laporan kemajuan hibah internal ini. Tidak lupa pula Kami ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini. Terima kasih kepada LPPM Universitas Pakuan yang telah memberikan dukungan secara finansial dan fasilitas untuk penelitian ini, Kami ucapkan terima kasih juga kepada Sekolah Vokasi, Program Studi Teknik Komputer, Program Studi Manajemen Informatika dan Program Studi Ilmu Komputer Universitas Pakuan atas dukungan dan kerjasamanya yang baik, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dan Kami ucapkan terima kasih kepada para mahasiswa yang telah banyak berkontribusi pada saat proses penelitian hingga selesai. Semoga penelitian ini dapat menjadi masukan dan referensi yang baik bagi peneliti-peneliti setelahnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. A. Besar, "2017_Identifikasi Tumb Paku di Tahura Pocut Meurah," vol. 05, pp. 22–31, 2017.
- [2] P. T. Leki, Y. Makaborang, and Y. Ndjoeroemana, "Keanekaragaman Tumbuhan Paku (Pteridophyta) Di Daerah Aliran Sungai Pepuwatu Desa Prai Paha Kabupaten Sumba Timur Sebagai Sumber Belajar Biologi," *BIOEDUKASI (Jurnal Pendidik. Biol.*, vol. 13, no. 1, p. 42, 2022, doi: 10.24127/bioedukasi.v13i1.5304.
- [3] M. Turot, B. Polii, and W. Hengki D, "POTENSI PEMANFATAN TUMBUHAN PAKU *Diplazium esculentum* Swartz (Studi Kasus) Di KAMPUNG AYAWASI , DISTRIK AIFAT UTARA , KABUPATEN Margaretha Turot Bobby Polii This study aims to analyze : (1) productivity ; And (2) some ecological aspects of nail plan," *Agri-SosioEkonomi Unsrat*, vol. 12, no. 3, pp. 1–10, 2016.
- [4] D. N. Aini, H. Hanifa, D. S. Mulfa, and T. M. Linda, "Pengaruh Bioaktivator Selulolitik untuk Mempercepat Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.)," *Biota J. Ilm. Ilmu-Ilmu Hayati*, vol. 6, no. 2, pp. 1–7, 2021, doi: 10.24002/biota.v6i1.3023.
- [5] M. S. Pranita, H. S., Mahanal, S. and Sari, "Karakteristik spora tumbuhan paku asplenium kawasan Hutan Raya R. Soerjo," *J. Pendidik. Teor. Penelitian, dan Pengembangan.*, vol. 2, no. 4, pp. 454–458, 2017.
- [6] A. A. Marpung, N. Sofiyanti, and D. Iriani, "Morfologi Spora Paku Pteridaceae di Hutan PT. CPI Rumbai Riau," *J. Riau Biol.*, vol. 1, no. 2, pp. 149–154, 2016, [Online]. Available: <https://jrb.ejournal.unri.ac.id/index.php/JRB/article/view/3775>.
- [7] F. Farida and R. R. Muhima, "Image Retrieval Batik Klasik Parang Rusak Menggunakan Ekstraksi Fitur Geometric Invariant Moment, Sobel Dan K-Nn," *Netw. Eng. Res. Oper.*, vol. 4, no. 1, pp. 15–21, 2018, doi: 10.21107/nero.v4i1.107.
- [8] M. Tai, M. Kudo, A. Tanaka, H. Imai, and K. Kimura, "Kernelized Supervised Laplacian Eigenmap for Visualization and Classification of Multi-Label Data," *Pattern Recognit.*, vol. 123, p. 108399, 2022, doi: 10.1016/j.patcog.2021.108399.
- [9] K. Abdullah, A. A. Riadi, and E. Evanita, "Klasifikasi Kelayakan Beras Menggunakan Metode Laplacian of Gaussian," *Jurasik (Jurnal Ris. Sist. ...)*, vol. 6, pp. 312–320, 2021, [Online]. Available: <http://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jurasik/article/view/353%0Ahttp://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jurasik/article/viewFile/353/332>.
- [10] E. Suharto, M. Y. Simargolang, M. N. H. Siregar, and A. P. Windarto, "Identifikasi Objek Menggunakan Proses Deteksi Tepi Metode Laplacian of Gaussian Dan Canny Terhadap Citra Sidik Jari," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 6, no. 1, p. 294, 2022, doi: 10.30865/mib.v6i1.3459.
- [11] D. I. Pushpita Anna Octaviani, Yuciana Wilandari, "Penerapan Metode SVM Pada Data Akreditasi Sekolah Dasar Di Kabupaten Magelang," *J. Gaussian*, vol. 3, no. 8, pp. 811–820, 2014.
- [12] M. V. Applalanaidu and G. Kumaravelan, "A review of machine learning approaches in plant leaf disease detection and classification," *Proc. 3rd Int. Conf. Intell. Commun. Technol. Virtual Mob. Networks, ICICV 2021*, no. Icicv, pp. 716–724, 2021, doi: 10.1109/ICICV50876.2021.9388488.
- [13] Soe Moe Myint | Moe Moe Myint | Aye Aye Cho, "Handwritten Signature Verification System using Sobel Operator and KNN Classifier," *Int. J. Trend Sci. Res. Dev. Classif. Publ. Int. J. Trend Sci. Res. Dev.*, vol. 3, no. 5, pp. 1776–1779, 2019, doi: <https://doi.org/10.31142/ijtsrd27825>.



- [14] D. P. Pamungkas, "Ekstraksi Citra menggunakan Metode GLCM dan KNN untuk Identifikasi Jenis Anggrek (Orchidaceae)," *Innov. Res. Informatics*, vol. 1, no. 2, pp. 51–56, 2019, doi: 10.37058/innovatics.v1i2.872.