

IMPLEMENTASI ZONING DAN FITUR ARAH SEBAGAI EKSTRAKSI FITUR PADA PENGENALAN TULISAN TANGAN AKSARA BALI

I Komang Arya Ganda Wiguna¹, I Made Dwi Putra Asana²

^{1,2} Program Studi Teknik Informatika, STMIK STIKOM Indonesia
JL. Tukad Pakerisan No.97 Denpasar 80225 Bali, Indonesia

Received : January, 2021

Accepted : April, 2021

Published : April, 2021

Abstract

Character recognition is one of the most researched fields in computer science. Combining the field of digital image processing and pattern recognition is a challenge in determining the most optimal method combination to complete character recognition. Balinese script is one of the regional scripts used in Balinese literary. The challenge with Balinese script is that some of its characters have a degree of similarity. So far, several methods of feature extraction that have been studied for Balinese script are modified direction feature, template matching, image centroid zone and zone centroid zone, local binary pattern. In this research, we combine methods based on zoning and directional features. The methods used are ICZ, ZCZ and freeman chain code to find the characteristics of Balinese script handwriting. The addition of chain code method aims to determine the value around the foreground point. The results of feature extraction will be used as input in the Support Vector Machine for the classification process. The test result shows that the combination of the ICZ, ZCZ and freeman chain code methods produces an accuracy of 89.09%, while the combination of ICZ and ZCZ produces 88.06% of accuracy. The SVM kernels compared use linear kernels.

Keywords: SVM, zone extraction, chain code, Balinese script

Abstrak

Pengenalan karakter merupakan salah satu bidang ilmu yang banyak diteliti. Keterkaitan dengan bidang pengolahan citra digital dan pengenalan pola menjadi tantangan dalam melakukan penelitian untuk menentukan kombinasi metode yang optimal dalam menyelesaikan pengenalan suatu karakter. Aksara Bali adalah salah satu aksara daerah Bali yang digunakan dalam menulis karya sastra. Tantangan pada aksara Bali adalah pada beberapa karakter memiliki tingkat kemiripan tulisan. Terkait aksara Bali sendiri, beberapa metode ekstraksi fitur yang telah diteliti yaitu modified direction feature, template matching, image centroid zone (ICZ) dan zone centroid zone (ZCZ), local binary pattern. Pada penelitian ini digunakan metode berdasarkan zoning dan fitur arah. Metode yang digunakan adalah ICZ, ZCZ dan chain code dalam menemukan ciri tulisan tangan aksara Bali. Penambahan metode chain code digunakan untuk menentukan nilai disekitar titik foreground. Hasil ekstraksi fitur akan digunakan sebagai masukan pada Support Vector Machine (SVM) untuk proses klasifikasi. Hasil dari pengujian menunjukkan terjadinya peningkatan akurasi. Kombinasi metode ICZ, ZCZ dan chain code menghasilkan akurasi sebesar 89.09%. Hal ini dibandingkan dengan kombinasi ICZ dan ZCZ mendapatkan hasil akurasi sebesar 88.06%. Kernal SVM yang dibandingkan menggunakan kernel linear.

Kata Kunci: SVM, ekstraksi zona, chain code, aksara Bali

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki keberanekaragaman budaya karena terdiri dari negara kepulauan sehingga sesuai dengan daerahnya masing-masing. Kebudayaan kerap tertuang dalam karya sastra kuno yang diciptakan oleh nenek moyang Indonesia. Karya sastra ditulis dalam aksara daerah yang menggambarkan situasi budaya saat proses penciptaan karya sastra. Pemahaman aksara menjadi hal penting dalam menjaga kebudayaan sebagai warisan leluhur Indonesia.

Aksara Bali merupakan salah satu aksara daerah yang digunakan dalam menulis karya sastra. Beberapa karya sastra yang ditulis dalam aksara Bali yaitu geguritan, kekawin, sloka palawakya, dan satawa. Sebagai generasi muda memiliki peran aktif dalam melestarikan budaya daerah, salah satunya melestarikan karya sastra yang ditulis dalam aksara Bali. Kemampuan membaca aksara Bali menjadi salah satu permasalahan generasi muda dalam melestarikan budaya Bali, khususnya di daerah provinsi Bali. Pengembangan teknologi dalam melestarikan budaya daerah sangat diperlukan. Penerapan teknologi dalam memahami aksara Bali menjadi salah satu solusi membantu generasi muda dalam pelestarian budaya Bali. Hal ini juga didukung pada Peraturan Gubernur Bali Nomor 19 Tahun 2016 tentang Penyuluh Bahasa Bali dinyatakan bahwa upaya pelestarian adalah upaya untuk menjaga dan memiliki nilai-nilai budaya masyarakat Bali terutama Bahasa, Aksara dan Sastra Bali agar keberadaannya tetap terjaga dan berlanjut.

Pengenalan karakter merupakan salah satu bidang ilmu yang banyak diteliti. Keterkaitan dengan bidang pengolahan citra digital dan pengenalan pola menjadi tantangan dalam melakukan penelitian untuk menentukan kombinasi metode yang optimal dalam menyelesaikan pengenalan suatu karakter [1]. Pengenalan tulisan tangan adalah salah satu bagian dalam pengenalan karakter yang membuat komputer untuk dapat memahami sebuah karakter layaknya manusia mengenali sebuah tulisan. Sistem pengenalan sendiri dapat dilakukan secara online maupun offline [2]. Perbedaan terletak pada cara pengambilan data, untuk online dilakukan dengan cara menuliskan langsung (real time) pada sebuah perangkat (tablet) sedangkan untuk offline

dengan cara mengambil data digital. Tantangan dalam pengenalan tulisan tangan adalah variasi dan gaya penulisan yang berbeda-beda pada tiap orang. Banyak penelitian telah dilakukan terkait dengan pengenalan karakter dimana sistem terbaik ditentukan berdasarkan pada tingkat akurasi dan performa yang dihasilkan [3][4].

Pada pengenalan tulisan tangan, beberapa tahap yang perlu dilakukan mulai dari preprocessing, segmentasi, ekstraksi fitur, dan klasifikasi. Untuk tahap ekstraksi fitur pada karakter telah dilakukan penelitian terkait dengan metode yang dapat digunakan diantaranya template matching, zoning, projection histogram, geometri moment invariant dan gradient feature [5]. Pada penelitian ini akan berfokus pada metode zoning untuk melakukan ekstraksi fitur pada karakter. Metode zoning dianggap sudah efektif dalam melakukan pengenalan dimana dapat mengatasi masalah perbedaan gaya dan variasi penulisan [6].

Salah satu metode zoning yang telah digunakan dalam pengenalan karakter adalah image centroid zone (ICZ) dan zone centroid zone (ZCZ). Metode tersebut digunakan oleh Rajashekarandhya untuk pengenalan empat karakter Indian Script [5]. Hasil menunjukkan tingkat pengenalan yang tinggi, yaitu mencapai 95% dan 96% untuk Tamil dan Malayalam serta 99% untuk Kannada dan Telugu numerals.

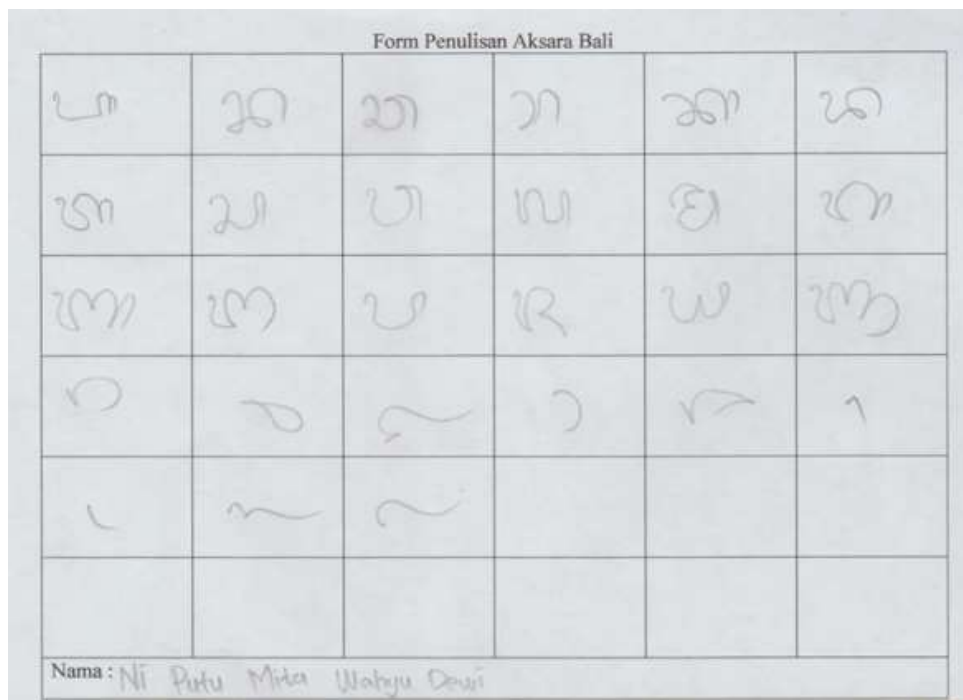
Terkait aksara Bali sendiri, beberapa metode ekstraksi fitur yang telah diteliti yaitu modified direction feature [6], template matching, ICZ dan ZCZ, local binary pattern [7]. Pada penelitian ini akan digunakan metode ICZ dan ZCZ dalam pengenalan tulisan tangan aksara Bali. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian Wiguna menunjukkan tingkat akurasi secara offline sebesar 72,31% [8]. Tingkat akurasi yang rendah dikarenakan karakter aksara Bali di beberapa karakter memiliki tingkat kemiripan yang tinggi.

Tujuan dari penelitian adalah menganalisis penggunaan metode ICZ dan ZCZ dalam pengenalan tulisan tangan aksara Bali dengan menambah fitur arah berdasarkan nilai disekitar titik foreground. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan metode ekstraksi fitur tulisan aksara Bali yang optimal sebagai dasar dalam

pengenalan aksara bali berbasis teknologi komputasi. Metode Support Vector Machine (SVM) digunakan untuk tahap klasifikasi data. Kelebihan dari SVM adalah kehandalan dalam memaksimalkan batas kelas/ hyperplane antar dua kelas [9]. Selain itu SVM mampu memodelkan hubungan antar variable tanpa asumsi yang ketat, efisien dan interpretasi yang mudah.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan dalam pengenalan tulisan aksara Bali yang akan diusulkan terdiri dari 5 tahap. Pertama dimulai dari akuisisi data. Salah satu keberhasilan dari sistem pengenalan karakter adalah pada data yang akan digunakan. Data akan dikumpulkan dari beberapa responden dari formulir yang sudah disediakan. Responden akan diminta untuk menuliskan sesuai dengan contoh yang diberikan. Gambar 1 menunjukkan contoh tulisan tangan aksara Bali dari responden.



Gambar 1. Data Tulisan Tangan Responden

Hasil kemudian di-scan untuk mendapatkan data digital dalam format jpg/png. Sehingga dibutuhkan sebuah *scanner* untuk melakukan proses ini. Setiap karakter pada hasil scanner dipisahkan masing-masing menjadi 1 file. Proses pemisahan dilakukan secara manual dengan melakukan pemotongan gambar per karakter aksara kemudian disimpan dengan format .jpg dan diberikan label. Gambar 2 menunjukkan kumpulan file aksara bali dalam bentuk digital. Kumpulan file tersebut menjadi data latih dalam membangun model sistem pengenalan tulisan tangan aksara bali.



Gambar 2. Data Tulisan Tangan Aksara Bali Dalam Bentuk Digital

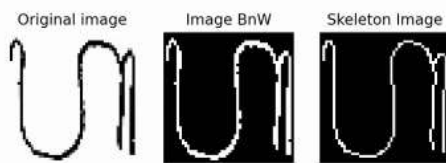
Tahap selanjutnya adalah melakukan *preprocessing*. Tahapan dalam proses *pre-processing* ditunjukkan pada Gambar 3. Data hasil scan akan diproses terlebih dahulu sebelum fitur diekstrak. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kualitas gambar sehingga informasi didapatkan secara efektif. Pada *preprocessing* dibagi lagi menjadi beberapa

tahap yaitu proses binerisasi gambar, segmentasi dan *thinning image*. Sebelum dilakukan proses binerisasi gambar diubah terlebih dahulu menjadi gambar *grayscale*. Hasil dari binerisasi adalah gambar yang hanya mempunyai dua nilai yaitu hitam dan putih saja. Dalam pengenalan karakter informasi warna tidak terlalu berpengaruh, karena yang terpenting adalah pola dari karakter. Selanjutnya gambar biner akan disegmentasi untuk mencari area karakternya (*region of interest*) dan terakhir adalah proses *thinning*. Hasil dari *thinning* adalah menghilangkan redundansi data pola sehingga dicari informasi yang penting saja.



Gambar 3. Tahapan *Preprocessing*

Proses *preprocessing* dilakukan dengan Bahasa pemrograman python menggunakan operasi morfologi *thinning*. Gambar 4 menunjukkan hasil penerapan tahapan *preprocessing* pada pemrograman.



Gambar 4. Hasil *Preprocessing*

Setelah tahap *preprocessing* selanjutnya gambar akan diekstrak fiturnya. Proses pengambilan ciri dari suatu karakter akan digunakan dalam proses pelatihan sehingga sistem yang dirancang dapat mengenali aksara Bali. Metode yang digunakan berdasarkan *zoning* untuk mendapatkan ciri jarak metrik dan fitur arah. Untuk fitur arah akan menggunakan *chain code* yang terdiri dari 8 konektivitas. Ketiga fitur akan digabungkan sebagai ciri dari masing-masing citra dan akan digunakan sebagai input dalam proses pelatihan.

Pengambilan ciri menggunakan metode *zoning* menggunakan metode ICZ dan ZCZ [10]. Pada metode ICZ pertama akan dihitung *centroid* dari citra input. Koordinat dapat dinyatakan dengan titik (x_c, y_c) .

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^x f(x,y)x_i}{\sum f(x,y)}, y_c = \frac{\sum_{i=1}^y f(x,y)y_i}{\sum f(x,y)} \quad (1)$$

Dengan $f(x, y)$ nilai pixel dari citra pada posisi tertentu. Lalu, citra akan di bagi menjadi n zona. Citra input berdimensi berukuran $m \times n$ akan dibagi menjadi n zona sehingga ukuran dari tiap zona adalah $m/n \times n/n$. Hasil dari tahap ini akan menghasilkan n fitur dari tiap karakter aksara Bali. Dengan menggunakan gabungan akan menghasilkan $2n$ fitur. Perbedaan dari ICZ dan ZCZ terletak pada titik *centroid* di tengah gambar dan titik *centroid* di masing-masing zona. Berikut algoritma untuk metode ICZ:

- Hitung *centroid* dari citra masukan
- Bagi citra menjadi n zona
- Hitung jarak *centroid* citra dengan tiap *pixel* yang ada di dalam zona
- Ulangi langkah (c) untuk semua *pixel* yang ada dalam zona
- Hitung jarak rata-rata antara titik tersebut
- Ulangi langkah (c) sampai (e) untuk semua zona secara berurutan
- Simpan n fitur untuk tahap selanjutnya

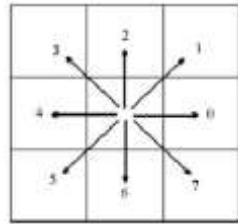
Perhitungan untuk fitur *zoning* ZCZ adalah sebagai berikut.

- Bagi citra menjadi n zona
- Hitung *centroid* dari tiap zona
- Hitung jarak *centroid* zona dengan tiap *pixel* yang ada di dalam zona
- Ulangi langkah (c) untuk semua *pixel* yang ada dalam zona
- Hitung jarak rata-rata antara titik tersebut
- Ulangi langkah (b) sampai (e) untuk semua zona secara berurutan

Ciri berdasarkan fitur arah dalam penelitian ini menggunakan metode *freeman chain codes*. *Freeman chain code* adalah salah satu representasi bentuk yang digunakan untuk merepresentasikan batas dengan urutan yang terhubung dari segmen garis lurus dengan panjang dan arah yang ditentukan. Representasi ini didasarkan pada 4-konektivitas atau 8-konektivitas segmen.

Pada penelitian ini digunakan fitur *chain codes* dengan 8 konektivitas. Pada tahap awal dimulai pemindahan baris demi baris ke bawah dan mempertimbangkan piksel pertama dari gambar yang tepat memiliki nilai 1, selanjutnya akan sebagai titik awal *chain code*. Jika sebuah karakter tidak memiliki titik awal, maka *chain*

code akan di set 0. Setiap piksel gambar memiliki delapan ketetanggaannya.



Gambar 5. Chain Code 8 Konektivitas

Setelah menemukan titik awal dari *chain codes*, selanjutnya melakukan penentuan proses pindah ke piksel tetangga berikutnya yang juga menjadi bagian dari gambar. Saat melewati satu piksel ke piksel tetangganya, dimasukkan kode yang terkait dengan tetangga dalam *chain codes* gambar. Setelah mendapatkan kode *chain codes* untuk semua karakter, *chain codes* pada masing-masing karakter memiliki panjang yang berbeda-beda, tergantung dari ukuran dan pola karakter. Hal ini akan terjadi masalah juga jika panjang *chain codes* menjadi sangat besar, karena itu *chain codes* perlu dinormalkan dalam panjangnya tetap dan terbatas [10]. Berikut algoritma *chain codes* yang digunakan dalam penelitian ini.

- a) Telusuri gambar dari kiri atas hingga ditemukan piksel yang bernilai
- b) Cari keterangan piksel disekitar kotak berdasarkan searah jarum jam
- c) Lakukan penelusuran hingga akhir dari gambar
- d) Hitung frekuensi kemunculan berdasarkan 8 konektivitas yaitu kode 0 sampai 7
- e) Bagi frekuensi tiap kode dengan total nilai frekuensi
- f) Hasil fitur sejumlah 8

Ukuran data yang digunakan adalah 50x50 piksel. Perhitungan menggunakan metode zoning akan membagi tiap menjadi beberapa bagian/zona. Pada penelitian ini tiap data dibagi menjadi 50 bagian/zona dengan ukuran 5x10 piksel. Satu bagian akan menghasilkan 1 fitur sehingga terdapat 50 fitur untuk tiap data. Total fitur secara keseluruhan adalah menggabungkan hasil fitur dari metode ICZ sejumlah 50 fitur, ZCZ sejumlah 50 fitur dan *chain code* sejumlah 8 fitur menjadi satu baris data. Sehingga fitur untuk setiap data adalah 108.

$$f = [ic_z, zc_z, chain\ code] \quad (2)$$

Pada penelitian ini terdapat 27 karakter aksara Bali. Masing-masing karakter dikumpulkan sejumlah 60 data tulisan tangan dari tiap responden yang berbeda-beda. Total data yang diperoleh adalah 1620 data tulisan tangan aksara Bali. Hasil ciri dari seluruh data yang telah dikumpulkan akan dibagi menjadi dua dengan persentase 70% untuk proses pelatihan dan 30% untuk tahap pengujian. Data pengujian dan pelatihan menggunakan data yang berbeda. Semakin banyak data dan bervariasi sistem pengenalan akan semakin bagus. Namun jika variasi terlalu tinggi maka sebaran data menjadi tidak bagus. Pada proses pelatihan akan dilakukan beberapa pengujian parameter pada SVM dan metode ekstraksi ciri yang diusulkan dalam penelitian.

Tahap Klasifikasi adalah tujuan akhir ketika sistem yang akan dirancang dapat melakukan pengenalan aksara Bali. Metode yang digunakan adalah Support Vector Machine (SVM). Keunggulan dari algoritma SVM akan menghasilkan *hyperplane* optimal dan memaksimalkan margin antara 2 kelas. SVM digunakan karena kehandalan dalam melakukan pengelompokan data non-linear [11]. Untuk mengatasi permasalahan pada SVM karena dalam penelitian terdapat 27 kelas maka diterapkan metode kernel. Fungsi kernel memungkinkan untuk memetakan fitur pada ruang dimensi yang lebih tinggi. Diharapkan menjadi *linearly separable* pada ruang dimensi yang baru. Beberapa kernel SVM yang digunakan yaitu *Linear*, *Polynomial*, *Sigmoid* dan *Radial Basis Function* (RBF).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian berdasarkan metode ekstraksi ciri dan kernel SVM. Hasil dievaluasi berdasarkan nilai akurasi pengenalan. Kernel SVM yang digunakan terdiri dari empat yaitu *Linear*, RBF, *Polynomial* dan *Sigmoid*. Proses pembentukan model pengenalan tulisan aksara menggunakan 1.620 data. Data tersebut didistribusikan ke dalam data pelatihan dan pengujian dengan persentase 70:30. Data pelatihan sebanyak 1134 data dan data pengujian sebanyak 486 data.

Tabel 1 menunjukkan nilai akurasi pengujian pengenalan dengan SVM. Eksplorasi model

pengenalan SVM dilakukan dengan menguji ciri gambar menggunakan beberapa kernel yaitu Linear, RBF, Polynomial, dan Sigmoid. Metode ekstraksi terdiri dari ICZ, ZCZ, IZC digabungkan dengan ZCZ dan yang terakhir menggabungkan fitur antara IZC, ZCZ dan CC. Proses

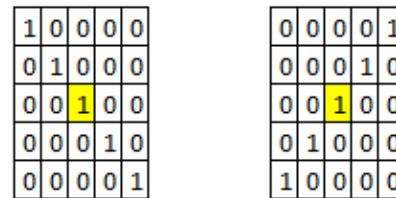
menggabungkan dilakukan dengan melakukan merger menjadi 1 baris data fitur.

Tabel 1: Pengujian Kernel SVM dan Metode Ekstraksi Ciri

Metode Ekstraksi	Kernel SVM				
	Linear	RBF	Polynomial	Sigmoid	Rata-rata
ICZ	77.98%	64.81%	76.13%	34.36%	63.32%
ZCZ	87.03%	76.54%	87.03%	63.16%	78.44%
IZC, ZCZ	88.06%	20.58%	86.83%	54.32%	62.45%
IZC, ZCZ, CC	89.09%	20.58%	87.24%	54.94%	62.96%
Rata-rata	85.54%	45.63%	84.31%	51.70%	

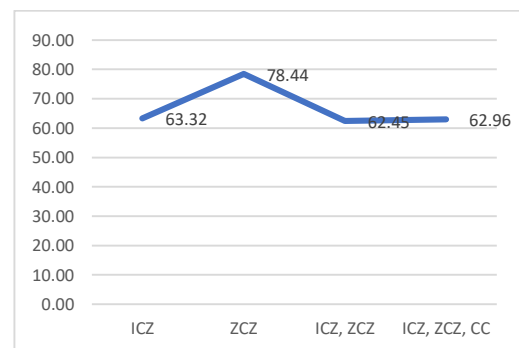
Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, akurasi tertinggi ditunjukkan pada metode ekstraksi IZC, ZCZ, dan CC dengan kernel Linear sebesar 89.09%. Nilai akurasi terendah dihasilkan pada metode ekstraksi IZC, ZCZ, CC dengan kernel RBF sebesar 20.58%. Pengenalan karakter aksara bali dengan nilai akurasi rata-rata tertinggi ditunjukkan oleh kernel Linear sebesar 85.54%, kedua dengan kernel Polynomial sebesar 84.31%. Peringkat ketiga adalah kernel Sigmoid sebesar 51.70%. Nilai terendah ditunjukkan oleh kernel RBF yaitu 45.64%.

Penggabungan metode ICZ dan ZCZ menghasilkan akurasi yang lebih rendah daripada metode yang diusulkan yaitu kombinasi ICZ, ZCZ, dan CC. Metode ICZ merupakan metode ekstraksi ciri global, mengambil ciri-ciri dari citra secara keseluruhan berdasarkan centroid dari citra. Sedangkan metode ZCZ merupakan ekstraksi ciri lokal, mengambil ciri dari citra secara lokal berdasarkan informasi tiap zona sehingga ciri yang diambil lebih mendetail. Namun terdapat kendala pada metode zoning dengan algoritma ICZ dan ZCZ karena mengambil nilai dari tiap zona dengan menghitung rata-rata jarak centroid dengan koordinat pixel yang memiliki nilai 1. Sehingga yang digunakan hanya jarak saja tanpa memperhitungkan arah dari pola citra. Sebagai contoh yaitu zona 1 memiliki pola garis melintang dari sudut kiri atas sampai sudut kanan bawah dan zona 2 memiliki pola garis melintang dari sudut kanan atas sampai sudut kiri bawah, nilai dari kedua zona ini akan bernilai sama (Gambar 6).



Gambar 6. Pengambilan Ciri pada Zona

Gambar 7 memperlihatkan grafik rata-rata akurasi dari metode ekstraksi terhadap kernel SVM. Metode ekstraksi yang diusulkan yaitu penggabungan antara metode IZC, ZCZ dan CC menghasilkan nilai rata-rata akurasi sebesar 62.96%. Hal ini disebabkan karena hasil akurasi yang diperoleh dengan menggunakan kernel RBF sangat rendah, bahkan pada hasil pengujian dengan menggunakan kernel RBF metode ekstraksi penggabungan antara metode ICZ, ZCZ dan CC memiliki hasil akurasi terendah jika dibandingkan dengan ketiga metode ekstraksi yang lain.

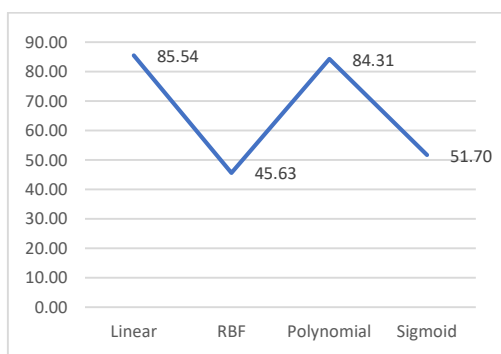


Gambar 7. Grafik Rata-rata Akurasi Metode Ekstraksi

Sehingga berdasarkan hasil pengujian seluruh metode ekstraksi terhadap kernel SVM, pada

kernel RBF diperlukan penyesuaian lagi terhadap nilai parameter yang digunakan untuk lebih meningkatkan akurasi yang diperoleh.

Pada Gambar 8 menunjukkan grafik rata-rata akurasi setiap kernel. Nilai rata-rata akurasi per kernel diperoleh hasil kernel *Linear* mempunyai rata-rata akurasi tertinggi dengan nilai 85.54%. Pengujian menggunakan kernel *Polynomial* dengan rata-rata akurasi 84.31%. dan kernel *Sigmoid* menghasilkan nilai rata-rata 51.70% dan yang terakhir dan terendah adalah kernel RBF dengan nilai rata-rata 45.63%. Hal ini menunjukkan kernel *linear* tepat digunakan untuk permasalahan tulisan tangan aksara bali.



Gambar 8. Grafik Rata-Rata Akurasi Kernel

4. KESIMPULAN

Ekplorasi metode ekstraksi ICZ, ZCZ, dan *chain code* pada model pengenalan menggunakan SVM telah dilakukan. Hasil pengujian menunjukkan kombinasi ekstraksi ICZ dan ZCZ menghasilkan nilai lebih kecil dibandingkan dengan metode yang diusulkan yaitu kombinasi ICZ, ZCZ, dan CC. Kombinasi ICZ dan ZCZ mendapatkan hasil akurasi sebesar 88.06%. Penambahan *freeman chain code* (CC) pada ekstraksi fitur zoning menunjukkan peningkatan kualitas pengenalan. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil nilai akurasi pada Tabel 1. Kombinasi metode ICZ, ZCZ dan *freeman chain code* (CC) menghasilkan akurasi sebesar 89.09%. Perbaikan nilai akurasi dilakukan dengan ditambahkan fitur arah berdasarkan nilai disekitar titik *foreground* menggunakan metode *freeman chain code* yang terdiri dari 8 konektivitas.

PERNYATAAN PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi atas hibah penelitian dalam pelaksanaan program Penelitian Dosen Pemula yang diterima

sehingga penulis bisa melaksanakan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada STMIK STIKOM Indonesia atas dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Boukharouba and A. Bennia, "Novel feature extraction technique for the recognition of handwritten digits," *Appl. Comput. Informatics*, 2017, doi: 10.1016/j.aci.2015.05.001.
- [2] M. Mohan, "Handwritten Character Recognition: A Comprehensive Review on Geometrical Analysis," *IOSR J. Comput. Eng. Ver. IV*, 2015.
- [3] R. Mouhcine, A. Mustapha, and M. Zouhir, "Recognition of cursive Arabic handwritten text using embedded training based on HMMs," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, 2018, doi: 10.1016/j.jesit.2017.02.001.
- [4] X. Y. Zhang, Y. Bengio, and C. L. Liu, "Online and offline handwritten Chinese character recognition: A comprehensive study and new benchmark," *Pattern Recognit.*, vol. 61, pp. 348–360, 2017, doi: 10.1016/j.patcog.2016.08.005.
- [5] S. V. Rajashekararadhya, "Efficient Zone Based Feature Extration Algorithm for Handwritten Numeral Recognition of Four Popular South Indian Scripts," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, 2008.
- [6] N. M. A. Pratiwi, W. Hapsari, and T. H. R., "PENGENALAN AKSARA BALI DENGAN PENDEKATAN METODE DIRECTION FEATURE DAN AREA BINARY OBJECT FEATURE," *J. Inform.*, 2013, doi: 10.21460/inf.2013.91.142.
- [7] I. A. D. P. Sari, D. Dr. Ir. Bambang Hidayat, and M. . Unang Sunarya, S.T., "Pengenalan Aksara Bali Dengan Metode Local Binary Pattern Bali Script Recognition With Local Binary Pattern Method," *e-Proceeding Eng.*, 2015.
- [8] I. K. A. G. Wiguna and A. Muliantara, "Introduction of Balinese Script Handwriting Using Zoning and Multilayer Perceptron," *ACSIE (International J. Appl. Comput. Sci. Inform. Eng.)*, 2019, doi: 10.33173/acsie.34.
- [9] A. S. Nugroho, A. B. Witarto, and D. Handoko, "Application of Support Vector Machine in Bioinformatics," in

- Proceeding of Indonesian Scientific Meeting in Central Japan, 2003.*
- [10] M. Pratibha, V. Waje, M. Rai, and R. S. Patil, "Recognition of Marathi Handwritten Numerals by Using Support Vector Machine," *Int. J. Eng. Res. Dev.*, 2012.
- [11] M. R. Phangtriasu, J. Harefa, and D. F. Tanoto, "Comparison between Neural Network and Support Vector Machine in Optical Character Recognition," in *Procedia Computer Science*, 2017, doi: 10.1016/j.procs.2017.10.061.