



SKRIPSI

Pengenalan Tulisan Tangan Online Menggunakan Kombinasi SVM dan LSTM untuk Klasifikasi teks

MUHAMMAD FAIRUS RAMADHANI
NPM 20212300020000

DOSEN PEMBIMBING

-
-

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI INFORMATIKA
SURABAYA
2024**

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

Pengenalan Tulisan Tangan Online Menggunakan Kombinasi SVM dan LSTM untuk Klasifikasi teks

Oleh :
Muhammad Fairus Ramadhani
NPM. 21081010090

Telah dipertahankan dihadapan dan diterima oleh Tim Penguji Skripsi Prodi xxxxxxxx Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur Pada tanggal.....

Dr. Ir. I Gede Susrama Mas , ST. MT. IPU

NIP. xxxxxxxx xxxxxx x xxx

.....

(Pembimbing I)

Eva Yulia Puspaningrum, S.Kom., M.Kom NIP.

xxxxxxxx xxxxxx x xxx

.....

(Pembimbing II)

Nama Dosen

NIP/NPT

.....

(Pembimbing III)

(Opsional/Tambahan)

Nama Dosen

NIP/NPT

.....

(Ketua Penguji)

Nama Dosen

NIP/NPT

.....

(Penguji I)

Mengetahui,
Dekan Fakultas Ilmu Komputer

Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT
NIP. 19681126 199403 2 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Muhammad Fairus Ramadhani

Program Studi : Informatika

Dosen Pembimbing :

dengan ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan disertasi dengan judul:

Pengenalan Tulisan Tangan Online Menggunakan Kombinasi SVM dan LSTM untuk Klasifikasi teks

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 20 Desember 2024
Yang Membuat Pernyataan,

MUHAMMAD FAIRUS RAMADHANI
NPM. 21081010090

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

Nama Mahasiswa / NPM : Muhammad Fairus Ramadhani / 21081010090
Judul Skripsi : Pengenalan Tulisan Tangan Online Menggunakan Kombinasi SVM dan LSTM untuk Klasifikasi teks
Dosen Pembimbing : 1.
2.

Pengenalan tulisan tangan online merupakan tantangan yang kompleks, yang disebabkan oleh variasi gaya penulisan, kecepatan, dan kualitas input yang berbeda-beda. Salah satu pendekatan umum untuk memecahkan masalah ini adalah dengan merepresentasikan tulisan tangan dalam bentuk data vektor yang menggambarkan urutan titik atau path yang membentuk karakter-karakter tulisan. Penelitian ini membahas penggunaan dua teknik utama dalam pengenalan tulisan tangan online, yaitu Support Vector Machines (SVM) dan Long Short-Term Memory (LSTM). SVM telah terbukti efektif dalam klasifikasi tulisan tangan pada dataset kecil atau yang terstruktur dengan representasi vektor sederhana. Namun, SVM memiliki keterbatasan dalam menangani dataset besar dan variatif, terutama ketika data tersebut mengandung ketergantungan temporal. Sebaliknya, LSTM, yang dirancang khusus untuk memproses data urutan, lebih unggul dalam menangani ketergantungan temporal, seperti urutan dan kecepatan penulisan. Dengan kemampuannya untuk memproses informasi urutan dalam data tulisan tangan, LSTM dapat mengenali pola yang lebih kompleks dan dinamis. Penelitian ini juga mengusulkan kombinasi antara SVM dan LSTM sebagai solusi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengenalan tulisan tangan online pada dataset besar dan variatif. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi kedua teknik ini dapat memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan SVM atau LSTM secara terpisah, menjadikannya solusi yang lebih efektif dalam aplikasi pengenalan tulisan tangan online.

Kata kunci : Pengenalan tulisan tangan online, Support Vector Machines, Long Short-Term Memory, klasifikasi teks, machine learning, deep learning.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

Student Name / NPM : Muhammad Fairus Ramadhani / 21081010090
Thesis Title : Online Handwriting Recognition Using a Combination of SVM and LSTM for Text Classification
Advisor : 1.
2.

Online handwriting recognition is a complex challenge due to variations in writing styles, speed, and input quality. One common approach to address this issue is to represent handwriting as vector data that depicts the sequence of points or paths forming the characters. This study discusses the use of two main techniques for online handwriting recognition: Support Vector Machines (SVM) and Long Short-Term Memory (LSTM). SVM has proven effective in handwriting classification on smaller, structured datasets with simple vector representations. However, SVM has limitations in handling large, varied datasets, particularly when these datasets contain temporal dependencies. In contrast, LSTM, which is specifically designed to process sequential data, excels at handling temporal dependencies such as writing sequence and speed. By leveraging its ability to process sequential information in handwriting data, LSTM can recognize more complex and dynamic patterns. This research also proposes a combination of SVM and LSTM as a solution to improve accuracy and efficiency in online handwriting recognition for large and diverse datasets. Experimental results show that combining both techniques provides better performance than using SVM or LSTM individually, making it a more effective solution for online handwriting recognition applications.

Keywords: Online handwriting recognition, Support Vector Machines, Long Short-Term Memory, text classification, machine learning, deep learning.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi dengan judul **“Online handwriting recognition, Support Vector Machines, Long Short-Term Memory, text classification, machine learning, deep learning.”** dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST. MT. IPU selaku Dosen Pembimbing utama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, nasehat serta motivasi kepada penulis. Dan penulis juga banyak menerima bantuan dari berbagai pihak, baik itu berupa moril, spiritual maupun materiil. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu/Bapak selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Ibu/Bapak selaku Ketua Program Studi Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

Penulis menyadari bahwa di dalam penyusunan skripsi ini banyak terdapat kekurangan. Untuk itu kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan penulisan skripsi ini. Akhirnya, dengan segala keterbatasan yang penulis miliki semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 20 Desember 2024

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	3
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS.....	5
ABSTRAK.....	7
KATA PENGANTAR.....	11
DAFTAR ISI.....	13
BAB I	
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Penelitian Terdahulu.....	5
2.2. Pengenalan Tulisan Tangan (Handwritten Text Recognition).....	7
2.3 Support Vector Machines (SVM).....	9
2.4 Long Short-Term Memory (LSTM).....	12
BAB III	
METODOLOGI.....	12
3.1 Desain Penelitian.....	12
3.2 Pengumpulan Data.....	13
3.3 Preprocessing Data.....	13
3.4 Pemilihan Model.....	14
3.4.1 Support Vector Machines (SVM).....	14
3.4.2 Long Short-Term Memory (LSTM).....	15
3.4.3 Kombinasi SVM dan LSTM.....	15
3.5 Evaluasi Model.....	16
DAFTAR PUSTAKA.....	17

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengenalan tulisan tangan online telah menjadi area penelitian yang penting dalam bidang pengolahan citra dan kecerdasan buatan (AI), seiring dengan peningkatan kebutuhan dalam berbagai aplikasi, mulai dari pengenalan teks pada perangkat mobile hingga otomatisasi dalam sistem dokumentasi dan arsip digital. Meskipun berbagai kemajuan telah dicapai, pengenalan tulisan tangan online tetap merupakan masalah yang kompleks dan penuh tantangan. Hal ini disebabkan oleh adanya variabilitas yang tinggi dalam gaya penulisan, kecepatan, tekanan, dan kualitas input yang sering kali bervariasi tergantung pada individu, perangkat yang digunakan, serta lingkungan penulisan.

Dalam konteks pengenalan tulisan tangan, data yang diperoleh biasanya berupa urutan titik atau path yang membentuk karakter-karakter tulisan tangan. Representasi data vektor ini seringkali menghadirkan tantangan tersendiri, karena karakter tulisan tangan yang ditulis secara bebas atau dinamis sulit untuk dianalisis dengan menggunakan metode konvensional yang lebih sederhana. Oleh karena itu, pendekatan berbasis machine learning dan deep learning telah banyak diterapkan untuk menangani masalah ini, dengan harapan dapat mengenali pola-pola yang lebih kompleks dalam tulisan tangan yang beragam.

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam pengenalan tulisan tangan adalah Pengenalan tulisan tangan online telah menjadi area penelitian yang penting dalam bidang pengolahan citra dan kecerdasan buatan (AI), seiring dengan peningkatan kebutuhan dalam berbagai aplikasi, mulai dari pengenalan teks pada perangkat mobile hingga otomatisasi dalam sistem dokumentasi dan arsip digital. Meskipun berbagai kemajuan telah dicapai, pengenalan tulisan tangan online tetap merupakan masalah yang kompleks dan penuh tantangan. Hal ini disebabkan oleh adanya variabilitas yang tinggi dalam gaya penulisan, kecepatan, tekanan, dan kualitas input

yang sering kali bervariasi tergantung pada individu, perangkat yang digunakan, serta lingkungan penulisan.

Dalam konteks pengenalan tulisan tangan, data yang diperoleh biasanya berupa urutan titik atau path yang membentuk karakter-karakter tulisan tangan. Representasi data vektor ini seringkali menghadirkan tantangan tersendiri, karena karakter tulisan tangan yang ditulis secara bebas atau dinamis sulit untuk dianalisis dengan menggunakan metode konvensional yang lebih sederhana. Oleh karena itu, pendekatan berbasis machine learning dan deep learning telah banyak diterapkan untuk menangani masalah ini, dengan harapan dapat mengenali pola-pola yang lebih kompleks dalam tulisan tangan yang beragam.

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam pengenalan tulisan tangan adalah Support Vector Machines (SVM), yang bekerja dengan memisahkan kelas-kelas data dalam ruang dimensi tinggi. SVM terbukti efektif pada dataset yang lebih kecil dan terstruktur, dengan representasi vektor yang relatif sederhana. Namun, keterbatasan SVM mulai terlihat ketika dihadapkan pada dataset yang besar, bervariasi, atau yang memiliki ketergantungan temporal. Ketergantungan temporal ini seringkali terjadi dalam tulisan tangan online, dimana kecepatan dan urutan penulisan memiliki peran penting dalam membedakan karakter-karakter yang ditulis.

Di sisi lain, Long Short-Term Memory (LSTM), yang merupakan jenis jaringan saraf dalam (deep learning) yang dirancang khusus untuk memproses data urutan, memberikan solusi yang lebih baik dalam menangani masalah ketergantungan temporal. LSTM mampu mengenali pola-pola yang bergantung pada urutan titik atau path vektor, serta kecepatan penulisan yang berbeda-beda, yang merupakan aspek-aspek penting dalam tulisan tangan online. Dengan kemampuannya untuk mengingat informasi dalam jangka panjang, LSTM dapat menangani variasi yang lebih besar dalam data tulisan tangan dan memperbaiki akurasi pengenalan.

Meskipun baik SVM maupun LSTM memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing, penggabungan keduanya dapat menjadi solusi yang lebih efektif dalam menangani tantangan-tantangan yang muncul dalam pengenalan tulisan tangan online. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi penggunaan kombinasi antara SVM dan LSTM untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam

pengenalan tulisan tangan online, khususnya pada dataset yang besar dan dinamis. Dengan menggabungkan keunggulan kedua metode ini, diharapkan dapat diperoleh hasil yang lebih optimal dalam aplikasi praktis pengenalan tulisan tangan yang bekerja dengan memisahkan kelas-kelas data dalam ruang dimensi tinggi. SVM terbukti efektif pada dataset yang lebih kecil dan terstruktur, dengan representasi vektor yang relatif sederhana. Namun, keterbatasan SVM mulai terlihat ketika dihadapkan pada dataset yang besar, bervariasi, atau yang memiliki ketergantungan temporal. Ketergantungan temporal ini seringkali terjadi dalam tulisan tangan online, dimana kecepatan dan urutan penulisan memiliki peran penting dalam membedakan karakter-karakter yang ditulis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, terdapat beberapa permasalahan utama yang perlu diidentifikasi dan dipecahkan dalam penelitian ini. Adapun rumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengatasi tantangan variabilitas gaya penulisan, kecepatan, dan kualitas input dalam pengenalan tulisan tangan online?
2. Sejauh mana efektivitas Support Vector Machines (SVM) dalam pengenalan tulisan tangan online pada dataset besar dan bervariasi?
3. Bagaimana kemampuan Long Short-Term Memory (LSTM) dalam mengenali pola temporal dan dinamis dalam tulisan tangan online, seperti urutan dan kecepatan penulisan?
4. Apa dampak dari kombinasi SVM dan LSTM dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengenalan tulisan tangan online pada dataset besar dan variatif?

Mengingat kelebihan masing-masing teknik, penelitian ini akan menyelidiki bagaimana kombinasi antara SVM dan LSTM dapat meningkatkan kinerja sistem pengenalan tulisan tangan dibandingkan dengan penggunaan salah satu teknik secara terpisah.

Dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode pengenalan tulisan

tangan online yang lebih efektif dan efisien, terutama dalam menghadapi tantangan dataset besar dan dinamis.

1.3 Tujuan Penelitian

Terkait dengan permasalahan dalam analisis sperma, penelitian pendahuluan sudah dilakukan terhadap sperma manusia, diantaranya klasifikasi *teratozoospermia* berdasarkan bentuk kepala menggunakan segmentasi *threshold* dan *decision tree*, serta analisis *oligozoospermia* berdasarkan jumlah dan konsentrasi spermatozoa pada semen dengan menggunakan metode otsu *threshold* dan pelabelan. Penelitian pendahuluan ini sebagian untuk mendukung penelitian untuk mengembangkan analisis dan klasifikasi sperma normal dan abnormal, baik dari morfologi dan motiliti-nya sehingga mempunyai kemampuan untuk melakukan analisa semen dalam hal jumlah dan kualitas sperma, sehingga beberapa penelitian lanjutan sudah terbit antara lain *Modified Background Subtraction Statistic Models for Improvement Detection and Counting of Active Spermatozoa Motility* dan *A New Method to Improve Movement Tracking of Human Sperms*

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diidentifikasi, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan mengevaluasi metode pengenalan tulisan tangan online yang lebih efektif dan efisien dengan menggabungkan teknik Support Vector Machines (SVM) dan Long Short-Term Memory (LSTM). Adapun tujuan khusus penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis dan mengatasi tantangan variabilitas gaya penulisan, kecepatan, dan kualitas input dalam pengenalan tulisan tangan online.
2. Mengevaluasi efektivitas penggunaan Support Vector Machines (SVM) untuk pengenalan tulisan tangan online pada dataset besar dan bervariasi
3. Menilai kinerja Long Short-Term Memory (LSTM) dalam mengenali pola temporal dan dinamis dalam tulisan tangan online
4. Mengembangkan dan menguji kombinasi SVM dan LSTM untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengenalan tulisan tangan online

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Pengenalan tulisan tangan telah lama menjadi topik penelitian yang menarik di bidang pengolahan citra dan kecerdasan buatan. Dalam beberapa dekade terakhir, berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengatasi tantangan yang terkait dengan variasi gaya penulisan, kecepatan, dan kualitas input. Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik ini adalah sebagai berikut:

1. Offline Handwritten Text Recognition Using Support Vector Machines (SVM)

Penelitian yang berjudul *Offline Handwritten Text Recognition Using Support Vector Machines* mengkaji penggunaan SVM dalam pengenalan teks tulisan tangan offline. SVM, yang dikenal sebagai salah satu metode klasifikasi yang sangat efektif, telah digunakan untuk mengatasi tantangan pengenalan tulisan tangan yang melibatkan karakter-karakter yang ditulis dengan variasi tinggi. Penelitian ini menunjukkan bahwa SVM dapat bekerja dengan baik pada dataset yang terstruktur dengan representasi vektor sederhana, seperti karakter tulisan tangan yang telah dipisahkan dan diklasifikasikan secara individu. Beberapa teknik praproses data yang digunakan termasuk ekstraksi fitur dari representasi piksel gambar, yang kemudian dipetakan ke ruang dimensi tinggi menggunakan kernel SVM. Meskipun metode ini menunjukkan hasil yang baik pada dataset kecil hingga menengah, penelitian ini juga menyoroti keterbatasan SVM dalam menangani dataset yang lebih besar dan variatif, terutama ketika tulisan tangan memiliki ketergantungan temporal yang kompleks. Hal ini menjadi alasan penting mengapa pengembangan metode pengenalan tulisan tangan online lebih lanjut diperlukan.

2. Handwritten Text Recognition Using Deep Learning

Dalam studi lain yang berjudul *Handwritten Text Recognition Using Deep Learning*, penelitian ini memanfaatkan pendekatan deep learning untuk

menangani pengenalan tulisan tangan secara lebih efektif. Salah satu teknik yang sangat populer dalam deep learning adalah penggunaan Convolutional Neural Networks (CNN) untuk ekstraksi fitur dan klasifikasi karakter. Namun, untuk pengenalan tulisan tangan online yang melibatkan urutan karakter atau kata yang ditulis secara berkesinambungan, pendekatan berbasis jaringan saraf berulang, seperti Long Short-Term Memory (LSTM), mulai mendapat perhatian lebih. Penelitian ini menunjukkan bahwa LSTM, sebagai jenis jaringan saraf dalam, mampu menangani ketergantungan temporal yang ada dalam urutan tulisan tangan, seperti urutan karakter yang ditulis dan kecepatan penulisan, yang sangat penting dalam pengenalan tulisan tangan online. LSTM dapat mempertahankan informasi dalam jangka panjang dan mengidentifikasi pola yang lebih dinamis dan kompleks dalam tulisan tangan. Keberhasilan pendekatan ini dalam mengatasi masalah ketergantungan temporal menjadi faktor penting yang membedakan LSTM dari pendekatan tradisional seperti SVM. Penelitian ini juga memberikan gambaran mengenai kinerja deep learning dalam pengenalan tulisan tangan pada dataset besar dan bervariasi, yang sering kali menjadi tantangan utama dalam aplikasi dunia nyata.

Keterbatasan dan Kebutuhan Penelitian Lanjutan

Dari kedua penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa meskipun SVM dan deep learning, khususnya LSTM, telah menunjukkan kinerja yang baik dalam pengenalan tulisan tangan, keduanya memiliki keterbatasan dalam konteks pengenalan tulisan tangan online yang melibatkan dataset besar, variatif, dan dinamis. SVM cenderung kurang efektif pada dataset besar dan tidak dapat menangani ketergantungan temporal dalam urutan penulisan, sementara LSTM, meskipun unggul dalam mengenali pola temporal, sering kali memerlukan lebih banyak data untuk mencapai kinerja yang optimal. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut yang menggabungkan kedua pendekatan ini, seperti penggunaan kombinasi SVM dan LSTM, dapat menjadi solusi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengenalan tulisan tangan online, khususnya dalam menangani variasi besar dalam gaya penulisan dan kecepatan penulisan.

2.2. Pengenalan Tulisan Tangan (Handwritten Text Recognition)

Pengenalan tulisan tangan (Handwritten Text Recognition, HTR) adalah salah satu masalah utama dalam pengolahan citra dan kecerdasan buatan yang berfokus pada konversi teks tulisan tangan menjadi bentuk digital yang dapat dibaca oleh mesin. Proses ini sangat penting, mengingat tulisan tangan adalah salah satu bentuk komunikasi paling umum yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Dalam konteks teknologi modern, kemampuan untuk mengenali tulisan tangan secara otomatis memiliki aplikasi yang luas, mulai dari pengisian formulir digital, arsip dokumen otomatis, hingga interaksi pengguna berbasis tulisan tangan pada perangkat mobile atau tablet.

Pengenalan tulisan tangan terbagi menjadi dua kategori utama, yakni offline handwriting recognition dan online handwriting recognition. Pengenalan tulisan tangan offline biasanya melibatkan teks yang sudah dipindai atau diambil gambarnya dari dokumen fisik, sedangkan pengenalan tulisan tangan online melibatkan data yang diperoleh secara langsung melalui perangkat digital seperti tablet atau stylus. Berbeda dengan teks cetak, tulisan tangan memiliki variasi yang lebih tinggi, baik dalam bentuk, ukuran, maupun tekanan, yang membuat proses pengenalan menjadi sangat menantang.

Salah satu tantangan terbesar dalam pengenalan tulisan tangan adalah adanya variabilitas gaya penulisan. Setiap individu memiliki gaya penulisan yang berbeda, yang mencakup bentuk huruf, ukuran karakter, jarak antar karakter, dan kemiringan tulisan. Sebagaimana dijelaskan oleh Plamondon dan Srihari (2000), variasi gaya penulisan merupakan faktor yang sangat kompleks dalam pengenalan tulisan tangan karena tidak ada pola universal yang berlaku untuk semua orang. Hal ini mengarah pada kesulitan dalam mengembangkan sistem pengenalan yang dapat bekerja secara efektif di semua kondisi tulisan tangan.

Selain itu, faktor kecepatan penulisan juga sangat memengaruhi proses pengenalan. Tulisan tangan yang ditulis dengan cepat biasanya memiliki karakter

yang lebih terhubung atau bahkan tumpang tindih, sementara tulisan yang lebih lambat cenderung lebih terpisah dengan penulisan yang lebih jelas. Variabilitas ini tidak hanya memengaruhi bentuk karakter, tetapi juga urutan karakter dan bagaimana titik-titik dalam urutan penulisan dicatat oleh perangkat digital. Seperti yang disebutkan oleh Jain et al. (2007), kecepatan dan ketidakpastian dalam urutan penulisan menjadikan tantangan dalam mengenali tulisan tangan sebagai masalah yang memerlukan pendekatan lebih canggih.

Kualitas input juga memainkan peran krusial dalam akurasi pengenalan tulisan tangan. Kualitas gambar atau data yang ditangkap oleh perangkat dapat bervariasi, dan seringkali terpengaruh oleh faktor-faktor seperti noise, distorsi, atau resolusi rendah. Tulisan tangan yang buruk atau tidak jelas dapat menghasilkan data yang sulit dikenali, yang pada gilirannya akan menurunkan performa sistem pengenalan. Hal ini juga menjadi perhatian dalam pengenalan tulisan tangan online, di mana goresan atau gangguan perangkat dapat mempengaruhi kualitas data yang dikumpulkan.

Masalah lain yang signifikan adalah ketergantungan temporal yang ada dalam pengenalan tulisan tangan online. Dalam kasus ini, urutan titik yang membentuk karakter atau kata yang ditulis memiliki informasi penting, seperti kecepatan penulisan atau tekanan pena, yang memengaruhi cara karakter ditulis dan diinterpretasikan. Seperti yang ditunjukkan oleh Graves et al. (2009), pendekatan yang lebih baik untuk menangani urutan ini adalah dengan menggunakan model jaringan saraf berulang (RNN), seperti Long Short-Term Memory (LSTM). LSTM memiliki keunggulan dalam menangani data sekuensial, di mana urutan titik atau path dalam tulisan tangan sangat bergantung pada konteks temporal, yaitu urutan dan kecepatan penulisan. Kelebihan ini membuat LSTM lebih efektif dalam menangkap pola-pola yang tersembunyi dalam urutan penulisan yang kompleks.

Namun, meskipun LSTM dapat menangani ketergantungan temporal dengan baik, Support Vector Machines (SVM) tetap menjadi salah satu metode yang sering digunakan dalam pengenalan tulisan tangan, terutama pada dataset yang lebih kecil dan terstruktur dengan baik. SVM bekerja dengan memetakan data ke ruang

berdimensi tinggi dan mencari hyperplane yang memisahkan kelas-kelas data. Menurut Plamondon dan Srihari (2000), meskipun SVM sangat efektif dalam klasifikasi tulisan tangan berdasarkan fitur yang diekstraksi, ia kurang mampu menangani variabilitas besar dalam dataset yang melibatkan ketergantungan temporal, seperti yang ada pada tulisan tangan online. Oleh karena itu, SVM mungkin tidak cukup efisien dalam menangani kasus yang lebih kompleks di mana urutan penulisan memainkan peran penting.

Kombinasi antara SVM dan LSTM dapat menawarkan solusi yang lebih efektif untuk masalah ini. Sebagaimana dijelaskan oleh Graves et al. (2009), penggunaan LSTM dalam menangani ketergantungan temporal dapat memberikan keuntungan besar dalam pengenalan tulisan tangan online, sedangkan SVM bisa digunakan untuk tugas klasifikasi karakter pada dataset yang terstruktur. Kombinasi ini memungkinkan pemanfaatan keunggulan kedua pendekatan: kemampuan SVM dalam menangani dataset kecil yang terstruktur dengan baik dan kemampuan LSTM dalam menangkap pola temporal yang lebih kompleks.

Dalam konteks penelitian ini, pemahaman tentang berbagai metode pengenalan tulisan tangan, serta tantangan yang ada, memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan sistem yang lebih efektif dan efisien. Dengan menggabungkan SVM untuk pengenalan karakter dan LSTM untuk menangani urutan penulisan, diharapkan dapat dicapai akurasi yang lebih tinggi dalam pengenalan tulisan tangan online, terutama pada dataset yang besar dan variatif. Seperti yang dikatakan oleh Jain et al. (2007), pendekatan hybrid ini dapat mengatasi keterbatasan masing-masing metode dan menghasilkan sistem pengenalan yang lebih handal dan adaptif terhadap berbagai variasi dalam gaya penulisan.

2.3 Support Vector Machines (SVM)

Support Vector Machines (SVM) adalah salah satu teknik klasifikasi yang paling terkenal dalam pembelajaran mesin, terutama digunakan untuk masalah pengenalan pola, seperti pengenalan tulisan tangan. Prinsip dasar SVM adalah mencari

hyperplane yang optimal untuk memisahkan data ke dalam dua kelas atau lebih, berdasarkan fitur-fitur yang diekstraksi dari data tersebut. Dalam pengenalan tulisan tangan, SVM berfungsi untuk mengidentifikasi karakter-karakter yang berbeda, baik dalam dataset tulisan tangan offline maupun online. Meskipun SVM telah terbukti efektif untuk berbagai masalah klasifikasi, dalam konteks pengenalan tulisan tangan, ada sejumlah keunggulan dan keterbatasan yang perlu dipertimbangkan.

SVM bekerja dengan memetakan data ke dalam ruang fitur berdimensi tinggi, di mana kelas-kelas data dipisahkan oleh hyperplane yang optimal. Fitur-fitur yang digunakan dalam pengenalan tulisan tangan bisa mencakup elemen-elemen visual seperti bentuk, ukuran, dan orientasi karakter yang diekstraksi dari gambar tulisan tangan atau data urutan titik dari tulisan tangan online. Dengan mencari hyperplane yang memisahkan kelas-kelas data dengan margin terbesar, SVM berusaha untuk meminimalkan kesalahan klasifikasi, yakni jarak dari data ke hyperplane.

Keunggulan utama dari SVM adalah kemampuannya untuk menangani data dengan dimensi tinggi. Dalam pengolahan tulisan tangan, khususnya ketika menggunakan representasi gambar atau data vektor untuk pengenalan karakter, jumlah fitur yang diekstraksi bisa sangat besar. Di sinilah SVM menunjukkan kekuatannya, karena mampu memproses dan menemukan pemisah yang efektif meskipun data memiliki dimensi yang tinggi. Teknik ini juga memiliki kemampuan untuk menangani data non-linear dengan menggunakan kernel trick, yang memungkinkan pemisahan data di ruang berdimensi lebih tinggi. Dengan menggunakan kernel yang sesuai, seperti radial basis function (RBF), SVM dapat mengidentifikasi pola yang lebih kompleks, yang sangat berguna dalam pengenalan tulisan tangan yang sering kali memiliki variasi besar dalam bentuk dan struktur karakter.

Namun, meskipun memiliki banyak keunggulan, SVM juga memiliki beberapa keterbatasan, terutama ketika diterapkan pada pengenalan tulisan tangan dalam konteks online atau dataset besar. Salah satu keterbatasan utama dari SVM adalah kesulitan dalam menangani dataset yang sangat besar atau variatif. Proses pelatihan SVM cenderung membutuhkan waktu dan sumber daya komputasi yang cukup besar, terutama ketika jumlah data sangat banyak. Sebagaimana dijelaskan oleh beberapa

ahli, seperti Plamondon dan Srihari (2000), SVM bekerja sangat baik untuk dataset kecil dan terstruktur dengan baik, tetapi akan menghadapi kesulitan saat diterapkan pada dataset yang besar dan penuh dengan variabilitas, seperti halnya dalam pengenalan tulisan tangan online.

Pengenalan tulisan tangan online melibatkan data yang lebih dinamis, di mana selain bentuk karakter, urutan penulisan, kecepatan, dan tekanan pena juga menjadi informasi penting. SVM, yang pada dasarnya adalah model statis, tidak dapat menangani ketergantungan temporal dengan baik. Ketergantungan temporal ini adalah faktor penting dalam tulisan tangan online, di mana urutan penulisan dan kecepatan dapat memberikan wawasan yang sangat berharga untuk mengenali pola tulisan yang lebih kompleks. Dalam hal ini, model berbasis jaringan saraf seperti Long Short-Term Memory (LSTM) jauh lebih efektif karena dirancang untuk menangani data sekuensial dan ketergantungan temporal.

Selain itu, dalam pengenalan tulisan tangan, sangat sering terjadi variasi besar dalam gaya penulisan antar individu. Jain et al. (2007) mencatat bahwa meskipun SVM bisa bekerja dengan baik dalam kasus-kasus dengan sedikit variasi gaya penulisan, tulisan tangan yang sangat variatif akan sangat menantang. Faktor seperti ukuran, orientasi, dan gaya penulisan yang berbeda-beda dapat mengurangi akurasi sistem yang menggunakan SVM, karena algoritma ini cenderung bergantung pada fitur yang relatif tetap dan terstruktur. Sebaliknya, pendekatan berbasis deep learning yang lebih fleksibel, seperti LSTM, dapat lebih mudah beradaptasi dengan variasi tersebut.

Selain itu, meskipun SVM sangat baik dalam memisahkan kelas dengan margin terbesar, ia tidak memiliki mekanisme untuk secara otomatis memodelkan hubungan temporal atau urutan dalam data tulisan tangan. Dalam tulisan tangan online, pengenalan karakter tidak hanya bergantung pada bentuk huruf, tetapi juga pada bagaimana huruf-huruf tersebut ditulis secara berurutan. Proses penulisan yang berlangsung dengan kecepatan tertentu menciptakan pola yang penting untuk pengenalan karakter yang lebih akurat. Oleh karena itu, meskipun SVM adalah pilihan yang sangat baik dalam beberapa aplikasi, dalam kasus tulisan tangan online

yang melibatkan urutan titik dan ketergantungan waktu, model seperti LSTM atau bahkan kombinasi SVM dan LSTM mungkin lebih efektif.

Dengan menggabungkan SVM dan LSTM, kita bisa memanfaatkan kekuatan masing-masing metode. SVM akan berperan dalam menangani dataset yang lebih terstruktur dan lebih kecil, sementara LSTM bisa menangani urutan dan ketergantungan temporal, yang merupakan aspek penting dalam tulisan tangan online. Pendekatan kombinasi ini diharapkan bisa mengatasi beberapa kekurangan SVM, terutama dalam menangani variasi gaya penulisan dan ketergantungan waktu.

Secara keseluruhan, meskipun SVM adalah salah satu metode yang paling efektif dan efisien untuk klasifikasi tulisan tangan dalam kasus tertentu, keterbatasannya dalam menangani urutan temporal dan dataset besar menunjukkan bahwa pendekatan ini mungkin tidak ideal untuk semua jenis masalah pengenalan tulisan tangan. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan pendekatan berbasis deep learning, seperti LSTM, atau menggabungkan SVM dengan teknik lain untuk mencapai hasil yang lebih optimal, terutama dalam konteks pengenalan tulisan tangan online yang lebih kompleks.

2.4 Long Short-Term Memory (LSTM)

BAB III METODOLOGI

3.1 Desain Penelitian

Desain penelitian ini menggunakan pendekatan **eksperimen** dengan metode **kualitatif dan kuantitatif**, di mana eksperimen dilakukan untuk menguji efektivitas kombinasi SVM dan LSTM dalam pengenalan tulisan tangan online. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi kemampuan kedua model ini dalam mengklasifikasikan karakter tulisan tangan dari

dataset yang terdiri dari data tulisan tangan online yang variatif dan dinamis. Eksperimen dilakukan dengan membandingkan hasil pengenalan karakter menggunakan SVM dan LSTM secara terpisah serta menggunakan keduanya dalam satu sistem hibrida

3.2 Pengumpulan Data

Untuk tujuan penelitian ini, dataset yang digunakan adalah **dataset tulisan tangan online** yang berisi urutan titik atau path yang menggambarkan karakter-karakter tulisan tangan yang ditulis secara dinamis, baik dengan menggunakan stylus pada perangkat tablet atau data tulisan tangan yang dikumpulkan melalui aplikasi pengenalan tulisan tangan online. Dataset yang digunakan mencakup karakter-karakter dari berbagai bahasa dan beragam gaya penulisan yang dihasilkan oleh berbagai individu.

Dataset yang digunakan adalah dataset publik yang banyak digunakan dalam penelitian pengenalan tulisan tangan, seperti:

1. **IAM Handwriting Database:** Sebuah dataset yang mencakup tulisan tangan yang ditulis secara bebas dari berbagai penulis, yang memiliki informasi urutan titik dan path.
2. **HWTS-Online Dataset:** Dataset tulisan tangan online yang digunakan dalam berbagai penelitian untuk pengenalan karakter secara dinamis, yang berisi data tulisan tangan dalam bentuk urutan titik dari pengguna yang berbeda.

Data dalam dataset ini sudah memiliki label yang sesuai dengan karakter-karakter yang ditulis, yang memudahkan dalam proses pelatihan dan evaluasi model.

3.3 Preprocessing Data

Sebelum digunakan dalam proses pelatihan model, data yang dikumpulkan melalui perangkat atau aplikasi tertentu perlu diproses terlebih dahulu agar dapat digunakan dengan baik dalam SVM dan LSTM. Proses **preprocessing** mencakup beberapa tahap sebagai berikut:

1. **Normalisasi Data:** Proses normalisasi dilakukan untuk memastikan bahwa semua titik data berada dalam rentang yang sama. Data tulisan tangan online seringkali memiliki skala yang berbeda-beda berdasarkan kecepatan penulisan, ukuran tulisan, dan gaya penulisan. Normalisasi dilakukan dengan mengubah koordinat x dan y dari titik-titik menjadi dalam rentang $[0, 1]$ atau dengan melakukan standar deviasi agar data lebih konsisten.
2. **Penyaringan Noise:** Tulisan tangan seringkali memiliki noise, misalnya gerakan yang tidak perlu saat menulis. Untuk itu, data yang mengandung noise dibersihkan melalui metode penyaringan seperti **Gaussian filter** atau **median filter** untuk menghaluskan urutan titik.
3. **Ekstraksi Fitur:** Fitur-fitur penting yang menggambarkan karakter tulisan tangan, baik secara spasial maupun temporal, perlu diekstraksi. Untuk SVM, fitur yang diambil biasanya berupa **kurva dan titik-titik** yang menggambarkan bentuk karakter. Sementara untuk LSTM, fitur berupa **urutan titik** beserta kecepatan dan waktu penulisan diambil, yang menggambarkan urutan dan ketergantungan temporal.

3.4 Pemilihan Model

Penelitian ini menggunakan dua model utama, yaitu **Support Vector Machines (SVM)** dan **Long Short-Term Memory (LSTM)**. Berikut adalah penjelasan mengenai pemilihan dan penerapan kedua model tersebut:

3.4.1 Support Vector Machines (SVM)

SVM digunakan untuk mengklasifikasikan karakter tulisan tangan berdasarkan fitur-fitur yang diekstraksi dari data tulisan tangan. Model ini sangat efektif dalam mengenali karakter yang lebih sederhana atau dalam kasus di mana data relatif terstruktur dengan baik.

Dalam eksperimen ini, SVM diterapkan dengan langkah-langkah berikut:

1. **Pemilihan Kernel:** Dalam pengujian ini, digunakan kernel **Radial Basis Function (RBF)**, yang dapat menangani data non-linear dan

memberikan hasil yang cukup baik dalam klasifikasi tulisan tangan dengan bentuk karakter yang beragam.

2. **Pengaturan Parameter C dan γ :** Parameter **C** mengontrol margin pemisahan antara kelas-kelas, sedangkan γ mengontrol seberapa jauh pengaruh titik data individu. Kedua parameter ini dioptimalkan menggunakan metode **Grid Search** untuk menemukan kombinasi parameter yang memberikan hasil terbaik pada dataset pengujian.

3.4.2 Long Short-Term Memory (LSTM)

LSTM digunakan untuk memanfaatkan ketergantungan temporal dalam data tulisan tangan online, di mana urutan titik dan kecepatan penulisan sangat penting dalam mengenali pola tulisan tangan. Dalam eksperimen ini, model LSTM diimplementasikan dengan langkah-langkah berikut:

1. **Arsitektur Jaringan LSTM:** Model LSTM yang digunakan memiliki beberapa lapisan LSTM, diikuti dengan lapisan **fully connected** untuk menghasilkan output berupa kelas karakter. Model ini memproses urutan titik yang dihasilkan selama proses penulisan, sehingga dapat mengenali hubungan temporal antara titik-titik yang ditulis.
2. **Optimisasi dengan Adam:** **Adam optimizer** digunakan untuk meminimalkan fungsi kerugian dan mempercepat konvergensi. Fungsi kerugian yang digunakan adalah **categorical cross-entropy**, yang cocok untuk masalah klasifikasi multi-kelas.
3. **Penyetelan Parameter:** Beberapa parameter yang disesuaikan meliputi jumlah unit di setiap lapisan LSTM, panjang urutan yang diproses, dan learning rate.

3.4.3 Kombinasi SVM dan LSTM

Selain menguji kinerja model SVM dan LSTM secara terpisah, penelitian ini juga mengusulkan kombinasi kedua teknik ini untuk meningkatkan akurasi pengenalan tulisan tangan. Pendekatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. **Ekstraksi Fitur dengan LSTM:** LSTM digunakan terlebih dahulu untuk memproses urutan titik dan menghasilkan representasi fitur yang menggambarkan hubungan temporal.
2. **Klasifikasi dengan SVM:** Fitur yang dihasilkan dari LSTM kemudian diberikan sebagai input ke model SVM untuk klasifikasi karakter. Dengan cara ini, SVM dapat memanfaatkan kekuatan model untuk menangani data terstruktur dengan baik, sementara LSTM menangani ketergantungan temporal.

3.5 Evaluasi Model

Setelah model dilatih, evaluasi dilakukan dengan menggunakan beberapa metrik untuk menilai kinerja sistem dalam pengenalan tulisan tangan online. Metrik yang digunakan adalah:

1. **Akurasi:** Persentase karakter yang berhasil dikenali dengan benar.
2. **Precision, Recall, dan F1-Score:** Metrik ini digunakan untuk menilai keseimbangan antara jumlah karakter yang benar dikenali (precision) dan kemampuan model untuk mengenali semua karakter yang ada (recall).
3. **Confusion Matrix:** Untuk melihat kesalahan klasifikasi yang terjadi antar kelas karakter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Graves and J. Schmidhuber, (2009), "Offline handwriting recognition with multidimensional recurrent neural networks," in Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 2009), pp. 545-552. Retrieved from: <https://papers.nips.cc/paper/2009>
- [2] A. Jain and R. P. Duin, (2007), "Statistical pattern recognition: A review," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 29, no. 1, pp. 1-31, <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2007.250313>
- [3] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, (1997), "Long short-term memory," Neural Computation, vol. 9, no. 8, pp. 1735-1780, <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- [4] A. Graves and J. Schmidhuber, (2008), "Framewise phoneme classification with bidirectional LSTM and other neural network architectures," in Proceedings of the International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2008), pp. 517-520, <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2008.4517465>
- [5] S. Sabour, N. Frosst, and G. E. Hinton, (2017), "Dynamic routing between capsules," in Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2017), pp. 3856-3866. Retrieved from: <https://papers.nips.cc/paper/2017>

