

DEEP LEARNING DALAM DIGITALISASI LONTAR BABAD LOMBOK BERBASIS *CAPSULE NETWORKS METHOD*

Muhammad Tajuddin¹, Anastasya Agustiarini²

¹Program Stud Ilmu Komputeri, Universitas Bumi Gora Mataram), Jl. Ismail Marzuki Karang Tapen
Mataram, Indonesia, 83131

²Program Studi Kebidanan, Universitas Qamarul Huda Baddarudin, Bagu Lombok Tengah, Indonesia, 83552

***Email korespondensi:** tajuddin@universitasbumigora.ac.id

Received: 27 05 2026 – Revised: 29 07 2026 - Accepted: 04 08 2026 - Published: 05 08 2026

Abstrak. Lontar Babad Lombok mengandung pengetahuan sejarah dan budaya yang tak ternilai harganya yang sangat membutuhkan pelestarian, namun materialnya yang rapuh menimbulkan tantangan yang signifikan. Metode digitalisasi tradisional membutuhkan banyak tenaga, mahal, dan terbatas aksesibilitasnya. Penelitian ini menyajikan Pembaca lontar Babad Lombok portabel berbasis Artificial Intelligence (AI) yang dirancang untuk digitalisasi yang efisien dan mudah diakses. Lontar Babad Lombok tidak seperti alternatif yang rumit dan mahal, perangkat mobile ini memungkinkan pembacaan dan digitalisasi secara *real-time* dengan mudah digunakan. Algoritma dengan menggunakan serangkaian teknik pemrosesan gambar yang dikurasi untuk mengabstraksi artefak dalam gambar manuskrip dan mengekstrak teks tertulis serta mendigitalkannya. Perangkat ini secara mahir memisahkan latar depan (piksel huruf) dari latar belakang sambil memotong dan menghilangkan bekas lubang *punch* dari gambar. Terletak dalam wadah hasil cetak 3D, perangkat ini menggabungkan prosesor, kamera, dan layar untuk menangkap, memproses, dan menampilkan isi Babad Lombok di layar, mencapai akurasi 95,2% melalui model CNN berbasis *Deep Learning* dengan jumlah kelas yang dikurangi secara strategis. Inovasi ini mengurangi biaya dan tenaga secara manual sekaligus menawarkan solusi yang dapat diskalakan untuk pelestarian budaya khususnya lontar Sasak. Mendemokratisasi akses ke teknologi digitalisasi, perangkat ini mendukung para peneliti, arkeolog, dan penggemar, memfasilitasi pelestarian jangka panjang manuskrip Babad Lombok yang tak ternilai harganya ini.

Kata kunci: *Deep learning*, lontar, babad, Lombok, *Capsule Networks*.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki dua tradisi manuskrip daun lontar utama di Lombok, Bali, Jawa Tengah dan Timur, Sunda (Jawa Barat), dan Madura juga pernah memiliki tradisi manuskrip lontar (Austin, 2014), tetapi seperti yang dibuktikan oleh jumlah manuskrip yang tersedia tampaknya tradisi tersebut kurang berkembang dibandingkan dengan tradisi di Lombok (Anwar et al., 2021). Lontar memiliki kontribusi untuk digunakan menulis manuskrip tak terlepas dari asal-usulnya (Muhammad Tajuddin, dkk, 2022). Lembar-lembar lontar yang akan ditulis, umumnya diberi garis dahulu agar tulisan tetap rapi, ditulis menggunakan pisau tulis yang disebut *pemaje* (Hadi et al., 2025). Lembar lembar lontar yang sudah selesai disatukan dengan sebuah tali melalui lubang tengah dan diapit dengan sepasang pengapit yang *Takepan Babad Lombok* (Tajuddin et al., n.d.) dapat dilihat dalam gambar dibawah ini.



Gambar 1. Lontar Babad Lombok

Lontar Babad Lombok, bentuk catatan tertulis kuno memiliki nilai budaya, sejarah, dan intelektual yang signifikan terutama di pulau Lombok (Muhammad Tajuddin Ahmat Adil, 2025). Babad Lombok berisi teks keagamaan, pengetahuan medis, data astronomi (Alfareza et al., 2024), dan karya sastra, secara tradisional dibuat menggunakan alat tajam pada daun lontar kering (Muhammad Tajuddin, Endang Siti Astuti, Hamdani Husnan, 2016). Lontar Babad Lombok menghadapi risiko kerusakan akibat paparan unsur lingkungan, hama, dan penanganan yang tidak tepat, (Andi Sofyan Anas, dkk, 2024) yang mengancam pelestarian pengetahuan yang tak ternilai harganya (Tajuddin et al., 2023). Digitalisasi lontar Babad Lombok menawarkan solusi untuk melestarikan dan melindunginya bagi generasi mendatang, memungkinkan akses dan studi yang lebih luas (Anwar et al., 2021).

Lontar Babad Lombok melalui proses transkripsi manual membutuhkan banyak tenaga dan penuh tantangan (Muhammad Tajuddin, Ahmat Adil, 2025), seperti gaya tulisan tangan yang beragam, tulisan yang rusak atau tidak lengkap, dan format yang tidak standar untuk memperbaikinya menggunakan *artificial intelegence* (AI (Muhammad Tajuddin, Bermansyah, 2016)). AI dengan menggunakan teknik *indepth learning*,

khususnya Jaringan Kapsul (*CapsNets*), muncul sebagai alat yang menjanjikan untuk mengotomatiskan pengenalan dan interpretasi teks-teks kuno tersebut (Muhammad Tajuddin, dkk, 2019). Model pembelajaran mesin tradisional, seperti Jaringan *Neural Konvolusional (CNN)* (Alfareza et al., 2024), telah digunakan untuk pengenalan gambar, termasuk pengenalan karakter tulisan tangan (Hidayat et al., 2022).

Model-model ini seringkali kesulitan dengan hubungan data spasial yang kompleks dan struktur hierarkis yang melekat pada karakter dan simbol yang ditemukan dalam manuskrip lontar (Husain, 2018). Jaringan Kapsul merupakan metoda yang lebih maju dan baru dalam pembelajaran mendalam (Xiao et al., 2018), dirancang untuk mengatasi keterbatasan (Tajuddin Muahammad, Bermansyah, 2016). *CapsNets* sangat mahir dalam mengenali pola yang melibatkan hierarki spasial, memungkinkan mereka untuk menangani distorsi, rotasi (Ping ZHang, Ping Weil, 2020), dan data yang tidak lengkap merupakan tantangan umum ketika berurusan dengan manuskrip yang rusak atau pudar (Muhammad Tajuddin, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mengembangkan sistem berbasis pembelajaran mendalam untuk pengenalan lontar Babad Lombok secara otomatis menggunakan Jaringan Kapsul. Lontar Babad Lombok diintegrasikan dengan teknik pra-pemrosesan gambar dengan *CapsNets*, merupakan solusi yang mampu mengidentifikasi dan menafsirkan isi lontar Babad Lombok ini secara akurat (Anwar, 2019), bahkan ketika dihadapkan dengan gambar parsial atau terdistorsi. Sistem ini tidak hanya mampu mengenali karakter dan simbol individual tetapi juga memahami hubungan struktural di antaranya, meningkatkan akurasi transkripsi dan klasifikasi (Hidayat et al., 2020).

Sistem ini dapat diimplementasikan sebagai alat portabel dan mudah digunakan bagi para sarjana, arkeolog, dan peneliti warisan budaya, yang memungkinkan untuk mendigitalkan dan mengkatalogkan matar Sasak dengan cepat dan efektif (Anwar et al., 2021). Penelitian ini mengotomatiskan proses pengenalan, bertujuan untuk memfasilitasi konservasi lontar Babad Lombok, sehingga warisan budaya yang tak ternilai ini menjadi lebih mudah diakses oleh masyarakat global (Andi Sofyan Anas, dkk, 2024).

Penelitian ini memiliki signifikansi tidak hanya terletak pada potensi untuk melestarikan dan mendigitalkan lontar Babad Lombok, tetapi juga pada penerapan *Capsule Networks* teknik pembelajaran mendalam yang baru pada masalah dunia nyata dalam pelestarian warisan budaya. Pendekatan ini menandai langkah maju yang signifikan dalam

penggunaan AI untuk melindungi, menafsirkan, dan berbagi sejarah manusia yang terkode dalam bentuk pengetahuan yang terlupakan.

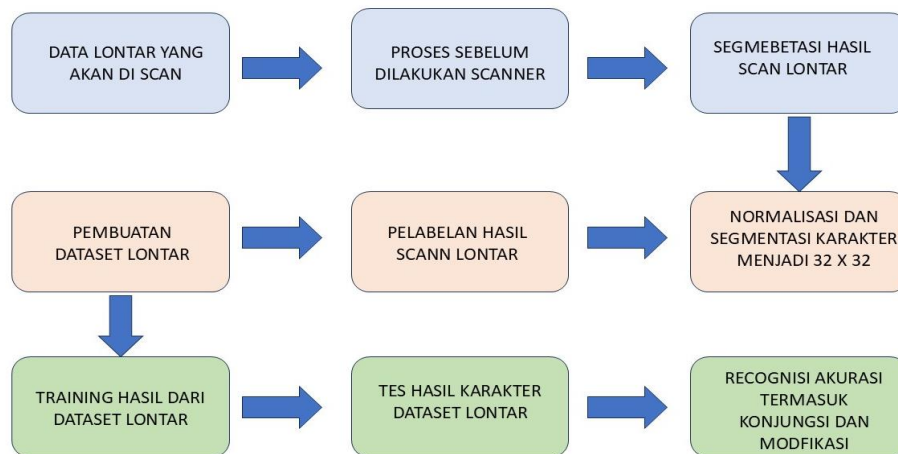
MASALAH

1. Bagaimana menggunakan metode berbasis transformasi untuk meningkatkan citra digital lontar Babad Lombok yang memiliki warna latar belakang pivot yang dipilih secara dinamis dalam transformasi linier untuk meningkatkan keterbacaan teks latar depan.
2. Bagaimana melakukan kombinasi dua teknik pemrosesan citra lainnya untuk normalisasi histogram dan normalisasi latar belakang yang dikembangkan dalam penelitian dengan Algoritma yang digabungkan secara matematis menjadi satu atau dua transformasi untuk efisiensi komputasi
3. Bagaimana mengintegrasikan *self-attention* ke dalam *CapsNet* berpotensi meningkatkan pengenalan karakter dan simbol dalam lontar Babad Lombok yang memiliki hierarki spasial yang sensitif terhadap orientasi dan degradasi.
4. Bagaimana melakukan pendekatan *Efficient-CapsNet* dapat mengatasi tantangan ini dan mencapai model yang lebih kuat dan efisien untuk pengenalan lontar Babad Lombok.

METODE PELAKSANAAN

Metodologi untuk mengenali lontar Babad Lombok menggunakan *CapsNet* terdiri dari beberapa langkah kunci, termasuk pengumpulan data, anotasi dan segmentasi gambar, implementasi model, dan evaluasi. Penelitian adalah setiap langkah yang sangat penting dalam memastikan akurasi pengenalan yang tinggi, mengingat kompleksitas lontar Babad Lombok, yang meliputi ligatur, pengubah, dan variasi gaya tulisan tangan untuk dirubah kedalam bentuk digital dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Diagram Alur Riset



Gambar 2. diagram alir proses penelitian

Metodologi untuk mengenali tulisan tangan lontar Babad Lombok menggunakan aksara Sasak Baluk Olas (delapan belas) dalam teks yang ada pada lontar Babad Lombok. penggunaan *CapsNet* terdiri dari beberapa langkah kunci, termasuk pengumpulan data, anotasi dan segmentasi gambar, implementasi model, dan evaluasi. Langkah langkah ini sangat penting dalam memastikan akurasi pengenalan yang tinggi, mengingat kompleksitas aksara Sasak dalam Babad Lombok yang mencakup ligatur, pengubah, dan variasi gaya tulisan tangan.

2. Pengumpulan Data

Manuskrip Lontar Babad Lombok dikumpulkan dari gambar disimpan dalam basis data untuk mendokumentasikan karakter target. Secara total, 314 gambar teks daun palem kursif dikumpulkan. Gambar 3 menampilkan contoh teks Lontar Babad Lombok yang dikumpulkan. Kumpulan data ini ditingkatkan dan diuji coba dengan berbagai metode, yang akan dijelaskan pada bagian berikut. Lontar Babad Lombok didigitalkan menggunakan pemindaian resolusi tinggi, dan total 7.500 karakter individual diekstrak dan diberi label untuk pelatihan dan pengujian. Dataset dirancang untuk mencakup berbagai gaya tulisan tangan, memastikan kemampuan model untuk melakukan generalisasi di berbagai bentuk lontar Babad Lombok.



Gambar 3. Gambar *Image* lontar babad Lombok



Gambar 4. Gambar *Image* lontar babad Lombok

3. Praproses Citra lontar Babad Lombok.

Citra lontar babad Lombok yang telah didigitalkan memiliki warna daun gelap sebagai latar belakang dan teks di latar depan. Kehadiran noise *pickup* pada citra lontar babad Lombok yang terjadi saat pemindaian atau pengambilan foto menggunakan kamera digital dapat dikurangi dengan penajaman atau menggunakan metode morfologi. Contoh citra noise digital ditunjukkan pada Gambar 4.

Penghapusan noise merupakan langkah penting untuk mendapatkan informasi yang berguna dari citra teks digital. lontar babad Lombok praproses, latar belakang diubah menjadi hitam dan teks latar depan menjadi putih dengan warna dari rentang 0 hingga 255 menjadi 0 dan 1 saja sehingga karakter sangat jelas dan mudah diproses. Penghapusan latar belakang dan operasi morfologi adalah metode untuk meningkatkan citra agar sesuai untuk segmentasi garis teks. Sesuai dengan bentuk lontar, citra diproses dengan operasi morfologi, di mana elemen struktur diterapkan pada citra masukan dan diperoleh citra keluaran dengan ukuran yang sama. Di MATLAB, elemen struktur yang disebut *strel* disertakan untuk operasi ini, dan akhirnya, output diperoleh. Dengan menggunakan operasi ini, noise dan tekstur yang disebabkan oleh thresholding sederhana dihilangkan secara efisien.



Gambar 5. Praprosesing lontar babad Lombok



Gambar 6. Hasil Praprosesing lontar babad Lombok

Metode Binerisasi Tetap dinyatakan dalam bentuk hubungan. Latar belakang manuskrip daun palem dapat dianggap hitam dengan 0 dan teks latar depan sebagai putih dengan 1. Dimana, T menunjukkan nilai ambang batas global 50. Setelah penghapusan latar belakang, gambar keluaran sampel yang telah diproses sebelumnya ditunjukkan pada Gambar 4(b) untuk gambar masukan yang dipertimbangkan pada

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } f(x, y) \geq T, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

4. Anotasi dan Segmentasi Gambar

Manuskrip yang dikumpulkan memerlukan pra-pemrosesan untuk menghilangkan noise dan mensegmentasi karakter individual. Pertama, penyaringan *Gaussian* diterapkan untuk menghaluskan gambar dan mengurangi noise latar belakang. Ambang batas Otsu digunakan untuk binarisasi, mengubah gambar skala abu-abu menjadi format hitam-putih.

Ekualisasi histogram meningkatkan kontras, membuat karakter yang pudar lebih mudah dibedakan. Segmentasi dilakukan menggunakan profil proyeksi horizontal untuk segmentasi garis, analisis komponen terhubung untuk ekstraksi kata, dan deteksi kotak pembatas untuk isolasi karakter. Gambar yang dianotasi diberi label menggunakan *Microsoft VoTT*, menghasilkan dataset terstruktur untuk pelatihan.

5. Implementasi

CapsNet dipilih untuk pengenalan lontar Babad Lombok karena kemampuannya untuk mempertahankan hubungan spasial antara komponen karakter, tidak seperti model *CNN*. Arsitektur model terdiri dari tiga lapisan utama: lapisan konvolusional untuk ekstraksi fitur, kapsul utama yang mengubah fitur menjadi representasi vektor, dan kapsul digit yang merangkum hubungan spasial. Algoritma perutean dinamis memastikan bahwa kapsul berfokus pada komponen karakter yang relevan, meningkatkan akurasi pengenalan, terutama untuk lontar Babad Lombok tulisan tangan di mana karakter sering tumpang

tindih atau terhubung. Model ini diimplementasikan menggunakan *Python*, *TensorFlow*, dan Keras, dilatih dengan *optimizer Adam* pada learning rate 0,001, dengan ukuran batch 64 dan dijalankan selama 30 epoch.

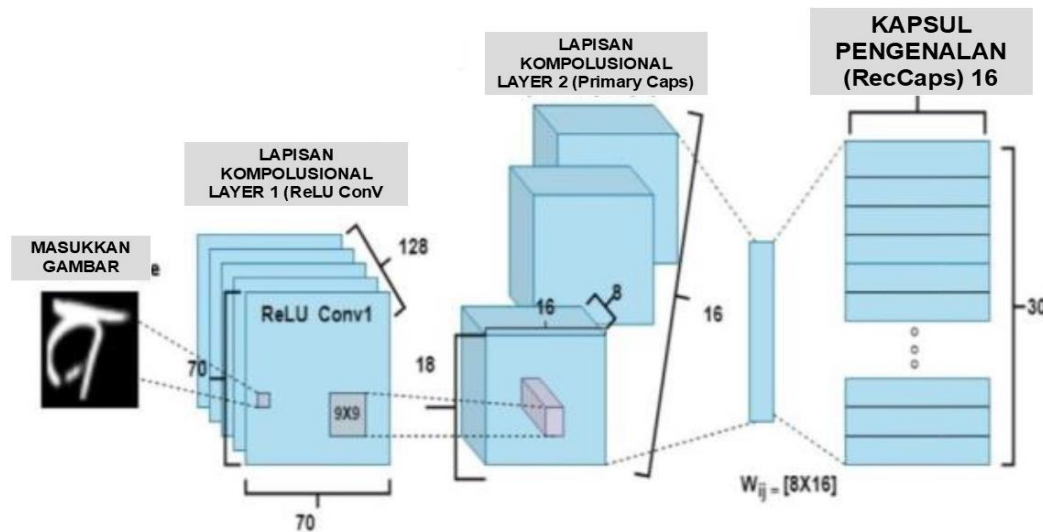
6. Evaluasi dan Metrik Kinerja

Kinerja *CapsNet*, dataset dibagi menjadi rasio pelatihan-pengujian yang berbeda, dengan 80% pelatihan dan 20% pengujian sebagai strategi utama. Akurasi pengenalan dibandingkan dengan model CNN tradisional. Model CapsNet mencapai akurasi 95,2%, mengungguli model berbasis CNN, yang mencapai 91,4%. Kinerja dievaluasi menggunakan presisi, *recall*, *F1 score*, dan waktu pemrosesan, dengan CapsNet menunjukkan kemampuan pengenalan yang unggul, khususnya untuk formasi karakter yang kompleks dan teks yang terdegradasi. Dengan mengintegrasikan teknik pembelajaran mendalam tingkat lanjut dengan analisis manuskrip historis, metodologi ini memberikan langkah maju yang signifikan dalam digitalisasi dan pelestarian lontar Babad Lombok, memastikan aksesibilitas untuk penelitian linguistik dan budaya di masa mendatang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sistem Arsitektur

Arsitektur sistem yang diusulkan mengikuti alur kerja terstruktur yang dirancang untuk mengenali secara akurat aksara kuno Lontar Babad Lombok tulisan tangan. Tidak seperti model CNN, yang kesulitan dengan karakter yang tumpang tindih dan hierarki spasial, CapsNet menawarkan mekanisme ekstraksi fitur dan klasifikasi yang lebih canggih. Arsitektur ini terdiri dari beberapa lapisan, masing-masing melakukan fungsi spesifik, mulai dari pra-pemrosesan gambar hingga klasifikasi karakter akhir. (Gambar 7)



Gambar 7. Sistem Arsitektur lontar babad Lombok

2. Pengembangan Software

Pengembangan *Software* Pengolah Gambar Berbasis *Active Contour* dan *Grayscale* Sebagai pasangan dari perangkat keras, tim juga berhasil mengembangkan software pengolah citra berbasis metode *Active Contour* dan *Grayscale*. Perangkat lunak ini berfungsi untuk melakukan segmentasi, rekonstruksi, dan peningkatan kualitas teks pada hasil pemindaian lontar. Melalui integrasi algoritma *Grayscale Enhancement* dan *Adaptive Thresholding*, *software* ini mampu mengisolasi karakter aksara Sasak dengan presisi tinggi bahkan pada citra yang memiliki noise atau tekstur lontar yang kompleks.

```

Source Code Aksara Prototype.pyntb
File Edit View Scripts Runners Plot Runners
Q Perintah + Mode + Tools + Jalankan script...

# =====
# ## Langkah 0: Setup Awal (Import Library dan Fungsi Helper)
# =====
import cv2
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from google.colab import files

# Fungsi helper untuk menampilkan gambar secara terpisah dengan ukuran besar
def tampilkan_gambar_terpisah(gambar, judul, cmap="gray"):
    """Fungsi untuk menampilkan sebuah gambar dalam figure-nya sendiri."""
    plt.figure(figsize=(15, 10)) # Ukuran besar untuk kejelasan maksimal
    plt.imshow(gambar, cmap=cmap)
    plt.title(judul, fontsize=18, pad=20)
    plt.axis('off')
    plt.show()

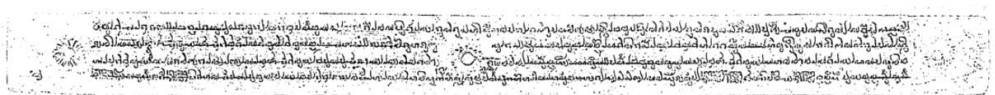
# =====
# ## Langkah 1: Memuat Gambar
# =====
# Mengunggah gambar lontar jika belum ada
try:
    filename

```

Gambar 8. Pengembangan *Software* lontar babad Lombok



Gambar 9. Hasil *scann* lontar babad Lombok



Gambar 10. Hasil setelah dilakukan proses oleh *Software* lontar babad Lombok

3. Lapisan Pemrosesan Input

Alur kerja pengenalan melibatkan akuisisi dan pra-pemrosesan gambar lontar babad Lombok tulisan tangan. Pemindaian atau foto manuskrip beresolusi tinggi diambil dan dikonversi ke skala abu-abu untuk pemrosesan yang seragam. Untuk meningkatkan visibilitas karakter, penyaringan Gaussian diterapkan untuk menghilangkan noise, dan ambang batas Otsu digunakan untuk melakukan binarisasi gambar, memastikan bahwa hanya teks yang tersisa. Selain itu, pemerataan histogram digunakan untuk meningkatkan kontras, membuat karakter yang pudar menjadi lebih jelas.

Gambar yang diproses kemudian disegmentasi menjadi karakter individual menggunakan deteksi kotak pembatas dan analisis komponen terhubung, memastikan bahwa setiap karakter diisolasi dengan benar sebelum diteruskan ke jaringan saraf. Lapisan Ekstraksi Fitur (Lapisan Konvolusi) setelah karakter diisolasi, karakter tersebut dimasukkan ke dalam lapisan konvolusi, yang mengekstrak fitur-fitur fundamental seperti tepi, kurva, dan goresan karakter.

Lapisan ini menerapkan filter konvolusi 9×9 untuk mendeteksi berbagai aspek lontar Babad Lombok, khususnya goresan melengkung dan tanda diakritik. Tidak seperti CNN tradisional yang menggunakan max pooling, yang dapat menghilangkan informasi spasial, CapsNet mempertahankan semua detail penting dengan menjaga fitur yang diekstrak dalam bentuk terstruktur. Lapisan konvolusi juga menggunakan aktivasi ReLU, memastikan bahwa non-linearitas dalam pembentukan karakter ditangkap secara efektif.

4. Lapisan Kapsul Utama

Setelah ekstraksi fitur, output diteruskan ke Lapisan Kapsul Utama, di mana peta fitur dikelompokkan menjadi kapsul vektor 8 dimensi. Kapsul ini mengkodekan informasi penting seperti bentuk karakter, orientasi, dan koneksi goresan, yang sangat penting untuk lontar Babad Lombok, di mana tanda diakritik yang berbeda dapat mengubah arti suatu karakter. Fungsi Aktivasi Squashing digunakan untuk memastikan bahwa hanya kapsul yang paling signifikan yang tetap aktif. Lapisan ini merupakan perbedaan utama antara CapsNet dan CNN, karena membantu mempertahankan hubungan spasial antara berbagai komponen karakter.

5. Lapisan Kapsul Digital (Representasi Fitur Tingkat Tinggi)

Langkah selanjutnya dalam arsitektur adalah Lapisan Kapsul Digit, yang bertanggung jawab untuk membentuk representasi tingkat tinggi dari karakter Lontar Babad Lombok. Di sini, setiap kapsul sesuai dengan kelas karakter tertentu, seperti  dll. Algoritma *Perutean* Dinamis memastikan bahwa hanya kapsul yang paling relevan yang berkontribusi pada keputusan akhir, secara signifikan meningkatkan akurasi ketika berurusan dengan karakter yang tumpang tindih dan gaya tulisan tangan kursif. Tidak seperti CNN, yang mungkin salah mengklasifikasikan karakter yang tampak serupa karena penggabungan, *CapsNet* memastikan bahwa hubungan yang benar antara goresan dan diakritik dipertahankan, meningkatkan keandalan pengenalan.

6. Lapisan Klasifikasi Terhubung Penuh

Setelah kapsul tingkat tinggi dibentuk, output dilewatkan melalui lapisan klasifikasi terhubung penuh, di mana panjang vektor aktivasi menentukan karakter Lontar Babad Lombok yang diprediksi. Fungsi *Softmax* menetapkan nilai probabilitas ke kelas karakter yang berbeda, dan karakter dengan probabilitas tertinggi dipilih sebagai output akhir. Jika suatu karakter tidak memenuhi ambang batas kepercayaan yang telah ditentukan, mekanisme koreksi kesalahan tambahan diterapkan menggunakan penyaringan berbasis leksikon, memastikan tingkat akurasi yang lebih tinggi dalam pengenalan karakter akhir.

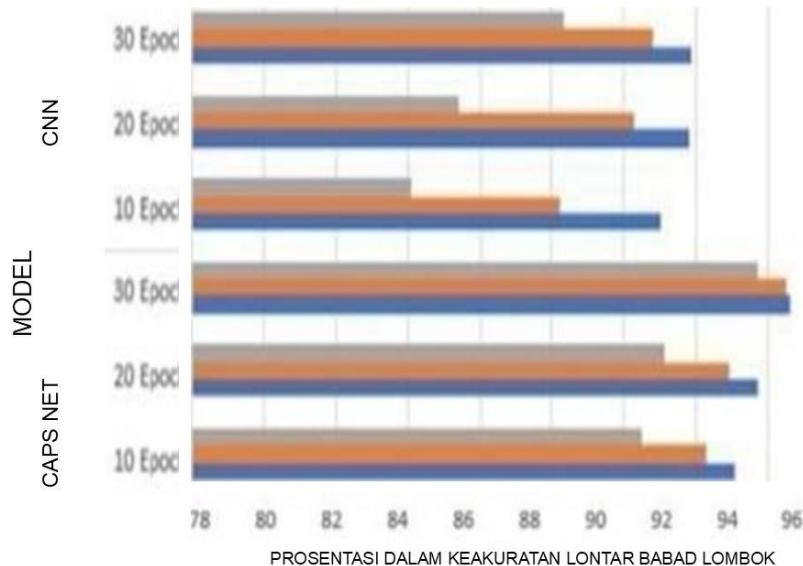
Tabel 1. Perbandingan menggunakan Arsitektur CNN

Aspek	CapsNet	CNN
Refresentasi Fitur	Vector (mempertahankan hirarhi Spasial)	Nilai skala (kehilangan informasi spasial)
Handel kaarakter tumpang tindih	Ya	Tidak
Akurasi pengenalan	95,2%	91,4%
Penggunaan lapisan Pooling	Tidak	Ya
Sensitif perputarasn dan persefektif perubahan	Tinggi (baik dalam mengadapis teks lontar	Rendah

7. Lapisan Keluaran dan Pasca-Pemrosesan

Karakter Lontar Babad Lombok yang dikenali terakhir direkonstruksi menggunakan teknik transformasi invers untuk mempertahankan gaya tulisan tangan aslinya. Karakter-karakter ini kemudian dikonversi ke format Unicode Lontar Babad

Lombok, sehingga cocok untuk diproses lebih lanjut dalam aplikasi digital. Jika perlu, langkah-langkah pasca-pemrosesan tambahan seperti pengejaan dan koreksi berbasis konteks diterapkan untuk meningkatkan akurasi keseluruhan. Teks yang dikenali terakhir dapat disimpan dalam basis data, ditampilkan untuk pengguna, atau digunakan dalam penelitian linguistik untuk menganalisis lontar Babad Lombok kuno.



Gambar 10. Perbandinga hasil Caps net VS CNN

KESIMPULAN

1. Lontar Babad Lombok yang telah ditransformasi dinormalisasi dengan menyesuaikan nilai piksel relatif terhadap perkiraan latar belakang, dengan eksperimen dan evaluasi visual serta algoritma terbukti berhasil dalam meningkatkan keterbacaan gambar dokumen dan menghasilkan gambar biner berkualitas tinggi yang cocok untuk *OCR*, tidak hanya pada lontar Babad Lombok, tetapi juga pada dokumen tua dan terdegradasi lainnya baik dalam bentuk kertas dan sebagainya
2. Sistem pengenalan lontar Babad Lombok berbasis *CapsNet* menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan metode *OCR* tradisional, khususnya dalam mengenali karakter aksara Sasak yang kompleks, goresan yang tumpang tindih, dan variasi manuskrip historis. Dengan memanfaatkan perutean dinamis dan ekstraksi fitur berbasis kapsul, model ini berhasil mempertahankan hubungan spasial dalam karakter, menghasilkan akurasi 95,2%, mengungguli model *CNN* (91,4%) dan pendekatan machine learning.

Sistem ini secara efektif menangani diakritik aksara Sasak, konjungsi, dan ligatur yang rumit, yang sering salah diklasifikasikan dalam sistem *OCR* konvensional.

3. *CapsNet* mengurangi positif palsu dan meningkatkan recall, sehingga sangat cocok untuk mendigitalisasi lontar Babad Lombok. Studi ini menegaskan bahwa model *OCR* berbasis pembelajaran mendalam, khususnya *CapsNet*, dapat memainkan peran penting dalam melestarikan dan mendigitalisasi lontar Babad Lombok yang melegenda. Lontar Babad Lombok dari tulisan tangan menjadi bentuk digital, sistem ini berkontribusi pada pelestarian linguistik, penelitian akademis, dan aksesibilitas dokumen historis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari skema Program Hilirisasi Riset Pengujian Model dan Prototipe yang dibiayai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi pada tahun 2025 di Universitas Bumigora Mataram NTB.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfareza, E., Ananda, D., Tue, C., Anas, A. S., Tajuddin, M., & Adil, A. (2024). Klasifikasi Aksara Sasak Menggunakan Convolutional Neural Networks (CNN). *Jurnal Teknologi Informasi, Dan Multimedia (JTIM)*, 6(3), 346–353.
- Andi Sofyan Anas, S.T., M.Kom.; Prof. Dr. Muhammad Tajuddin, M.Si.; Ahmat Adil, S.Kom., M.Sc. Elga Alfareza, ; Dicksa Ananda Christian Tue. (2024). Blue Print Digitalisasi Aksar Sasak. In *MNC Publisher Malang*.
- Anwar, M. T. (2019). Model Blue Print Smart City Pemerintah Daerah Berbasis Four Stage Method (FSM) yang Sustainable. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, 9(1), 63. <https://doi.org/10.21456/vol9iss1pp63-70>
- Anwar, M. T., Hidayat, S., & Adil, A. (2021). Tansformasi Lontar Babad Lombok Menuju Digitalisasi Berbasis Natural Gradient Flexible (NGF). *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 8(2), 275. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2021824088>
- Austin, P. K. (2014). Aksara Sasak, an endangered script and scribal practice. *Proceedings of the International Workshop on Endangered Scripts of Island Southeast Asia, February*, 1–12. <https://docplayer.net/39228817-Aksara-sasak-an-endangered-script-and-scribal-practice.html>
- Hadi, S., Ahmad Darsa, U., Paulus, E., Suryani, M., & Burie, J. C. (2025). Digital Handling Procedure for Digitalizing and Indexing Ancient Manuscripts. *IEEE Access*, 13(October), 181799–181812. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3621551>
- Hidayat, S., Rismayati, R., Tajuddin, M., & Merawati, N. L. P. (2020). Segmentation of university customers loyalty based on RFM analysis using fuzzy c-means clustering.

- Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer*, 8(2), 133–139.
<https://doi.org/10.14710/jtsiskom.8.2.2020.133-139>
- Hidayat, S., Tajuddin, M., Alodiayusuf, S. A., Qudsi, J., & Jaya, N. N. (2022). Wavelet Detail Coefficient As a Novel Wavelet-Mfcc Features in Text-Dependent Speaker Recognition System. *IIUM Engineering Journal*, 23(1), 68–81.
<https://doi.org/10.31436/IIUMEJ.V23I1.1760>
- Husain, M. T. (2018). Digitalisasi Naskah Kuno Sasak Untuk Menjaga dan Melindungi, dan Melestarikan Budaya Berbasis Web. *Seminar Nasional Saint Dan Teknologi (SNST 9) UNWAHAS Tahun 2018*, 46–52.
- Muhammad Tajuddin, Ahmat Adil1, Syahroni Hidayat, Z. A. dan R. F. P. (2019). Naskah Lontar Sasak di Era Industri 4.0 Berbasis Cots Method. *Seminar Nasional Saint Dan Teknologi (SNST 10) UNWAHAS Tahun 2019*, 194–199.
- Muhammad Tajuddin, Andi Sofyan Anas, Ahmad Zuli Amrullah, Ahmat Adil, R. F. P. (2022). Penerapan Metode ADDIE dalam Pengembangan Aksara Sasak Baluk Olas (Delapan Belas) Berbasis Game. *Seminar Nasional Elektro, Teknik Informatika*, 129–134.
- Muhammad Tajuddin, Bermansyah, A. (2016). Rancang Bangun Digitalisasi Naskah Kuno Sasak Lombok. *SEMNASTIKOM 2016*, 1, 589–594.
- Muhammad Tajuddin, Endang Siti Astuti, Hamdani Husnan, dan A. M. (2016). Membangun Master Plan Teknologi Informasi Berbasis Needs Assessment. *Seminar Nasional Sain Dan Teknologi Ke 7 UnNWAHAS Semarang*, 266–271.
- Muhammad Tajuddin Ahmat Adil, A. S. A. (2025). *Aksara Sasak di Era Game dan Artificial Intelligence (AI)*. 204.
- Muhammad Tajuddin, D. (2020). *Peta Jalan Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik (SPBE) Kota Mataram 2021-2025*.
- Ping ZHANG, Ping Weil, and Sh. H. (2020). CapsNets algorithm. *Journal of Physics: Conference Series*, 1544 (2020). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1544/1/012030>
- Tajuddin, M., Anas, A. S., & Adil, A. (n.d.). *Preserving Sasak Lontar Heritage : Digital Image Enhancement using Active Contours*.
- Tajuddin, M., Jaya, N. N., Anas, A. S., Adil, A., Hidayat, S., Printi, R. F., & Abidin, Z. (2023). Baluk olas (Eighteen) Sasak Scripts in the Digital Era Based on the Mobile Games. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 13(3), 1000–1017. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.3.17019>
- Tajuddin Muahammad, Bermansyah, A. (2016). Rancang Bangun Digitalisasi Naskah Kuno Sasak Lombok. *Prosedings Semnastikom 2016*, 1, 589–594.
- Xiao, L., Zhang, H., Chen, W., Wang, Y., & Jin, Y. (2018). MCapsNet : Capsule Network for Text with Multi-Task Learning. 4565 *Proceedings Ofthe 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Pages 4565–4574 Brussels, Belgium, October 31 - November 4, 2018*, 4565–4574.