

TEKNOLOGI SISTEM CERDAS UNTUK MENGLASIFIKASI MOTIF TENUN IKAT TANIMBAR MENGGUNAKAN METODE K-NEAREST NEIGHBOR

Golda Tomasila*¹⁾, Janeman Sumah²⁾, Reynaldi Siwalette³⁾

1. Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Kristen Indonesia Maluku, Indonesia
2. Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Kristen Indonesia Maluku, Indonesia
3. Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Kristen Indonesia Maluku, Indonesia

Article Info

Kata Kunci: Teknologi; Sistem Cerdas; Klasifikasi; Motif Tenun Ikat Tanimbar; Metode *K-Nearest Neighbor*

Keywords: *Technology; Intelligent Systems; Classification; Tanimbar Ikat Woven Motif; K-Nearest Neighbor Method*

Article history:

Received 12 Oktober 2024

Revised 28 Oktober 2024

Accepted 8 November 2024

Available online 4 December 2024

DOI :

<https://doi.org/10.29100/jupi.v9i4.6689>

* Corresponding author.

Corresponding Author

E-mail address:

tomasilagolda@gmail.com

ABSTRAK

Tenun Ikat merupakan salah satu kriya warisan budaya Indonesia yang dibuat dari helaian benang yang diikat, dibuat pola dan di celupkan ke dalam pewarna sehingga menghasilkan kain dengan corak dan motif tertentu. Corak dan motif tenun ikat disetiap daerah beraneka ragam. Salah satunya adalah Tenun ikat Tanimbar Provinsi Maluku yang memiliki motif dan ciri khas tersendiri digunakan untuk adat, hadiah atau cenderamata. Dari 47 motif tenun ikat Tanimbar, saat ini hanya dikenal 7 motif. Menjadi tantangan tersendiri untuk melestarikan budaya tenun ikat Tanimbar dengan memperkenalkan desain motifnya agar mudah dikenal oleh masyarakat luas, dan membedakan dari motif daerah lainnya. Klasifikasi motif tenun ikat Tanimbar dapat membantu pembeli dalam menentukan motif tenun ikat yang akan digunakan, maupun industri fashion dalam merancang produk tenun ikat yang unik dan beragam disesuaikan dengan pola motifnya. Tujuan penelitian ini adalah menerapkan teknologi sistem cerdas untuk klasifikasi beragam motif tenun ikat Tanimbar Provinsi Maluku, dimana sistem dilatih untuk mengenali pola motif yang ada pada citra tenun ikat Tanimbar untuk dapat melakukan klasifikasi secara otomatis guna mengenali jenis-jenis motif tenun ikat Tanimbar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *K-Nearest Neighbors* (KNN). Metode ini merupakan salah satu metode klasifikasi sederhana yang tingkat keakuratannya efektif, mudah dalam implementasi, dan dapat beradaptasi terhadap data baru.

ABSTRACT

Ikat weaving is one of Indonesia's cultural heritage crafts made from strands threads are tied, a pattern is made and dipped in dye to produce fabric with certain patterns and motifs. The styles and motifs of ikat weaving vary in each region variety. One of them is the Tanimbar ikat weaving from Maluku Province which has motifs and its own characteristics are used for customs, gifts or souvenirs. Of the 47 Tanimbar ikat weaving motifs, currently only 7 motifs are known. Become a challenge specifically to preserve the Tanimbar ikat weaving culture by introducing designs The motif is so that it is easily recognized by the wider community, and differentiates it from regional motifs other. The classification of Tanimbar ikat woven motifs can help buyers in determining the motif ikat weaving that will be used, as well as the fashion industry in designing woven products unique and varied ikat according to the motif pattern. The aim of this research is to apply intelligent system technology for various classifications Tanimbar ikat woven motifs, Maluku Province, where the system is trained to recognize patterns motifs in the image of Tanimbar ikat weaving to be able to carry out classification automatically to recognize the types of Tanimbar ikat motifs. The method used in this research is the *K-Nearest Neighbors* (KNN) method. This method is a simple classification method with a high level of accuracy effective, easy to implement, and adaptable to new data.

I. PENDAHULUAN

TENUN Ikat merupakan kriya warisan budaya Indonesia yang dibuat dari ratusan sampai ribuan helai benang yang diikat, dibuat polanya kemudian dicelupkan kedalam pewarna guna menghasilkan berbagai warna dan motif tertentu [1][2][3]. Tenun ikat disebut kerajinan tangan dengan nilai seni, budaya dan ekonomi yang tinggi [4]. Tenun ikat digunakan untuk adat, hadiah atau cenderamata [5]. Dalam proses pembuatan tenun ikat diperlukan suatu keahlian khusus untuk menghasilkan motif dan corak warna yang menarik oleh para pengrajin tenun ikat di berbagai daerah di Indonesia. Lebih daripada itu kriya tenun ikat perlu dilestarikan sebagai budaya bangsa, guna mendorong masyarakat untuk terus mengenal dan menggunakan tenun ikat sehingga dapat memberikan penghasilan bagi para pengrajinnya [6][7][8].

Para pengrajin tenun ikat disetiap daerah memproduksi tenun ikat dengan beragam motif menunjukkan ciri khas masing-masing daerah tersebut, hal ini tidak terlepas dari nilai budaya dan tradisi yang diwariskan sejak dahulu. Beragam motif tenun ikat di berbagai daerah di Indonesia terinspirasi dari alam, tumbuhan, hewan, mitos, kehidupan sehari-hari dan lain sebagainya [9]. Berbagai contoh motif tenun ikat pada beberapa daerah di Indonesia, antara lain motif kuda, ayam, rusa dan naga, merupakan tenun ikat hingga yang berasal dari Sumba, Nusa Tenggara Timur [10]. Motif tenun ikat Maumere yang mengambil konsep alam dan hewan yaitu motif mawarani (bintang kejora) dan naga lalang bermakna harapan. Motif kemang satange yang berasal dari Sumbawa, Nusa Tenggara Barat (NTB), terinspirasi dari tumbuh-tumbuhan bermakna kemandirian dan cinta kasih, motif piyo bermakna pantang menyerah [11]. Motif bandar kidul kediri, Jawa Timur memiliki konsep tumbuhan dan hewan berupa motif anggrek, kuncup magnolia, dan burung merak [12]. Dan masih banyak lagi beragam motif tenun ikat lainnya di berbagai daerah di Indonesia, salah satunya kepulauan Tanimbar Provinsi Maluku, yang dikenal dengan nama tenun ikat Tanimbar. Tenun ikat Tanimbar memiliki motif yang menarik dan merupakan bagian kearifan lokal masyarakat Tanimbar, sehingga perlu diwariskan turun temurun [13]. Pola motif tenun ikat Tanimbar dapat digunakan untuk adat, tarian daerah, dan sebagai hadiah atau cenderamata.

Saat ini hanya dikenal 7 motif tenun ikat Tanimbar dari 47 motif seiring berkurang pengrajin dan peminatnya, yaitu motif sair (bendera), tunis (Anak panah), matantur (tulang ikan), lelemuku (bunga anggrek), wulan lahir (bulan sabit), eman matan lahir (mata cawat sebelah) dan ulerati (ulat kecil) [13][14]. Motif sair bermakna semangat, motif tunis bermakna kesiapan mental, motif matantur bermakna sumber daya laut yang berlimpah, motif bunga lelemuku bermakna kecantikan, keagungan dan keuletan, motif wulan lahir bermakna hasil laut dan darat, motif eman matan lahir terinspirasi dari busana pria jaman dahulu dan motif ulerati bermakna kecintaan masyarakat akan lingkungan [13][14]. Beragam Motif Tenun Ikat Tanimbar jika tidak diperkenalkan maka akan terancam punah, salah satu tantangannya adalah regenerasi yang langka [8][15]. Hal ini menjadi tantangan tersendiri untuk melestarikan budaya tenun ikat tanimbar di era teknologi [2][4], dengan memperkenalkan motif tenun ikat tanimbar agar mudah dikenal oleh masyarakat luas dan untuk membedakan dari motif daerah lainnya.

Rumusan permasalahan yaitu ragam corak motif dari Tenun ikat merupakan kekayaan budaya bangsa. Desain motif yang berbeda-beda menunjukkan ciri khas daerah penenun. Salah satunya motif tenun ikat Tanimbar mempunyai makna filosofis yang mendalam mengenai kehidupan masyarakat Tanimbar sehingga perlu dilestarikan secara turun menurun di era teknologi saat ini [13]. Dengan melihat pada perkembangan teknologi, diperlukan teknologi sistem cerdas yang dapat membantu peminat tenun ikat untuk mengetahui jenis motif tenun ikat tersebut, kemudian mengambil keputusan motif mana yang akan digunakan. Selain juga pemanfaatan pada industri fashion dalam merancang Produk tenun ikat memerlukan teknologi yang memudahkan untuk mengenali beragam motif tersebut [13][14]. Dengan pengenalan ragam motif agar dapat menjaga eksistensi tenun ikat dengan mengikuti trend fashion masa kini [12][13][14][16].

Beberapa penelitian terdahulu menggunakan metode *K-Nearest Neighbors* (KNN) pada citra daun, jantung, buah, ikan [17][18][19][20], citra songket, sumba [21][22], disamping citra lainnya. Pada Penelitian ini, citra yang digunakan merupakan citra tenun ikat tanimbar yang dihasilkan dari pemotretan langsung dilokasi penelitian. Pada metode KNN dapat menggunakan teknik seperti Euclidean, Manhattan, Cosine, Hamming dan sebagainya, untuk pencarian nilai tetangga terdekat [23][24]. Beberapa penelitian terdahulu menggunakan teknik *Euclidean*, *Manhattan* [20][25] dan teknik *Cosine* [26]. Pada penelitian ini penggunaan Metode *K-Nearest Neighbors* (KNN) menggunakan perhitungan jarak *hamming distance*, dimana jarak *Hamming* diperlukan terlebih dahulu untuk mempercepat analisis waktu [27]. Menggunakan biner dengan jarak *Hamming* dapat mempercepat proses pengolahan citra [28], sehingga perlu dikombinasikan dengan menerapkan *otsu thresholding* [29][30] sebagai preprocessing, merupakan kebaruan dari segi metode yang digunakan.

Penerapan KNN dalam kombinasi dengan metode *Otsu thresholding* dan *Hamming distance* masih memiliki beberapa keterbatasan dalam hal efektivitas pada citra kompleks, efisiensi waktu komputasi pada data besar, dan aplikasi segmentasi multi-objek. Selain itu, optimasi untuk kebutuhan pemrosesan real-time dan pemilihan

parameter K yang adaptif dalam KNN juga masih jarang dieksplorasi. Sehingga pada penelitian ini akan difokuskan untuk mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut guna meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengolahan citra yang kompleks pada corak Tenun Ikat Tanimbar. Mengembangkan model yang menggabungkan KNN, Otsu thresholding, dan Hamming distance secara bersamaan untuk segmentasi multi-objek yang presisi, terutama untuk aplikasi dalam identifikasi objek dalam citra yang beragam. Dengan mengembangkan model yang menggabungkan KNN, Otsu thresholding, dan Hamming distance secara bersamaan untuk segmentasi multi-objek yang presisi, terutama untuk aplikasi dalam identifikasi objek dalam citra yang beragam. Kemudian melakukan eksperimen untuk menentukan nilai K yang optimal dan metode adaptif yang dapat menyesuaikan K sesuai kompleksitas citra atau karakteristik fitur tertentu pada corak Tenun Ikat Tanimbar.

Klasifikasi motif tenun ikat dapat membantu untuk mengenali secara otomatis beragam motif Tenun Ikat dan lebih lanjut dapat digunakan untuk merancang produk yang unik dan beragam. Dengan menerapkan teknologi sistem cerdas yaitu *machine learning* dimana sistem dilatih untuk mengenali pola-pola yang ada pada citra tenun ikat tanimbar sehingga dapat langsung mengklasifikasi atau mengenali motif tenun ikat yang dihasilkan. Teknologi KNN dan *machine learning* memiliki peran penting dalam melestarikan dan mengembangkan motif tenun tradisional. KNN dapat membantu mengelompokkan motif berdasarkan kesamaan visual untuk menjaga konsistensi dan keaslian desain. Sementara itu, *machine learning* memungkinkan digitalisasi motif yang terancam punah sehingga lebih mudah didokumentasikan dan diwariskan. Selain itu, *machine learning* juga mampu memprediksi bahan dan proses terbaik, yang berkontribusi pada peningkatan kualitas dan efisiensi produksi tenun dan sistem ini dapat merekomendasikan kombinasi motif atau warna yang cocok, sehingga membantu pengrajin dan desainer untuk menciptakan motif yang sesuai dengan selera pasar.

II. METODE PENELITIAN

Berikut ini merupakan metode yang akan dilaksanakan dalam proses penelitian yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Penelitian

Sebelum melakukan proses penelitian pertama-tama dilakukan studi literatur yaitu mempelajari dan mengumpulkan informasi mengenai berbagai jenis motif tenun ikat Tanimbar, kemudian mencari berbagai referensi mengenai metode *K-Nearest Neighbors* (KNN) yang akan digunakan untuk klasifikasi motif tenun ikat. Setelah itu masuk kepada tahapan persiapan penelitian dengan terlebih dahulu mengumpulkan bahan dan peralatan yang akan digunakan untuk melakukan proses penelitian. Setelah semua bahan dan peralatan yang dibutuhkan terpenuhi maka langkah selanjutnya yaitu melakukan observasi awal dan pengumpulan data citra tenun ikat tanimbar dengan pemotretan langsung dilokasi penelitian, yaitu beberapa lokasi pengrajin tenun ikat yang ada di Kota Ambon, Provinsi Maluku menggunakan kamera digital dengan format JPEG, dan berskala RGB.

Citra tenun ikat yang dihasilkan harus berkualitas agar supaya memudahkan dalam proses pengolahan data. Protokol pengumpulan data citra tenun ikat Tanimbar ini mencakup pengambilan gambar beresolusi tinggi dengan pencahayaan konsisten dari pengrajin terpilih di berbagai wilayah Kota Ambon, guna menghasilkan dataset yang kaya dan representatif untuk analisis motif dan pelestarian budaya. Dimana Pengambilan keseluruhan citra motif tenun ikat Tanimbar berjumlah 150 citra yang kemudian di sortir menjadi 100 citra dengan mempertimbangkan corak dari 7 (tujuh) motif citra tenun ikat Tanimbar yaitu motif sair, tunis, matantur, lelemuku, wulan lahir, eman matan lahir dan ulerati. Selanjutnya diterapkan pra pemrosesan citra pada tahap analisis algoritma, dimana metode

KNN dengan jarak hamming akan digabungkan dengan *otsu thresholding*. Tahapan pra-pemrosesan citra yang mencakup normalisasi warna, pengurangan noise, penyesuaian ukuran, dan segmentasi dengan Otsu thresholding membantu mempersiapkan gambar berkualitas tinggi, memfokuskan algoritma KNN pada pola utama motif tenun ikat, sehingga meningkatkan akurasi dalam klasifikasi dan pengelompokan motif.

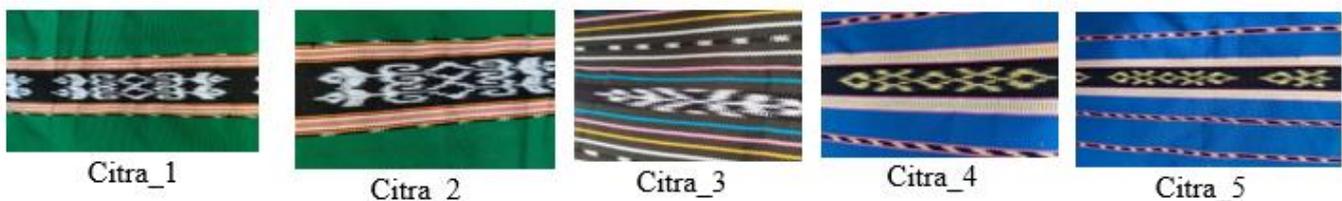
Berdasarkan hasil analisis algoritma, tahap perancangan dan implementasi algoritma KNN, *otsu thresholding* kedalam bahasa pemrograman untuk melakukan pelatihan dan pengujian model dataset citra tenun ikat berdasarkan tingkat akurasi. Proses pengolahan dataset gambar corak tenun ikat dimulai dengan inialisasi variabel untuk memuat data dan label, mengubah ukuran gambar menjadi 456x456 piksel agar seragam, dan menyiapkan data dalam format yang sesuai untuk model, termasuk normalisasi dan *encoding* label. Dataset ini dibagi menjadi 80% data pelatihan dan 20% data pengujian, dengan *random_state=42* untuk konsistensi hasil. Gambar kemudian dibinarisasi menggunakan ambang batas 0.5 sebelum diubah menjadi vektor 1D. Model KNN diinisialisasi dengan *n_neighbors=5* menggunakan jarak Hamming untuk klasifikasi. Model dilatih dengan data pelatihan biner dan dievaluasi melalui *classification report*, *accuracy score*, dan *confusion matrix*, yang divisualisasikan menggunakan heatmap untuk memudahkan analisis. Evaluasi ini menampilkan kinerja model dari sisi akurasi, *precision*, *recall*, dan distribusi kesalahan berdasarkan jarak *Hamming*, memberikan gambaran menyeluruh mengenai efektivitas klasifikasi motif tenun ikat.

Sehingga pada evaluasi ini memberikan gambaran kinerja model dari berbagai sudut pandang, baik akurasi, detail klasifikasi tiap kelas, dan juga perbedaan antar gambar berdasarkan jarak Hamming Berdasarkan hasil perancangan dan implementasi maka tahap selanjutnya adalah melakukan proses evaluasi hasil yang diperoleh dari metode yang diterapkan pada klasifikasi motif tenun ikat tanimbar dan tingkat akurasi.

III. PEMBAHASAN

Proses klasifikasi tenun didasarkan pada identifikasi warna atau motif. Tidak hanya itu, proses klasifikasi dibutuhkan untuk membedakan kain yang satu dan jenis kain lainnya dan juga untuk menjaga nilai-nilai kearifan lokal dari kain tersebut [30]. Dataset yang digunakan pada penelitian ini adalah citra tenun ikat Tanimbar. Pengumpulan Data, penelitian menggunakan metode *K-Nearest Neighbor* (K-NN) ini yaitu proses penelitian dengan pengumpulan foto citra batik serta analisis dan penafsiran dari data tersebut. Data dikumpulkan dengan mendatangi beberapa perajin tenun ikat yang ada di sekitar pulau Ambon, melakukan wawancara, foto motif atau corak tenun ikat yang ada pada koleksi perajin dan mendokumentasikan serta mempelajari hal-hal yang terkait dengan tema penelitian [31].

Citra yang diambil berformat JPG (*Joint Photographic Experts Group*), dan berskala RGB. Berikut ini merupakan Citra tenun ikat Tanimbar seperti tampak pada Gambar 2.





Citra_6



Citra_7



Citra_8



Citra_9



Citra_10



Citra_11



Citra_12



Citra_13



Citra_14



Citra_15



Citra_16



Citra_17



Citra_18



Citra_19



Citra_20



Citra_21



Citra_22



Citra_23



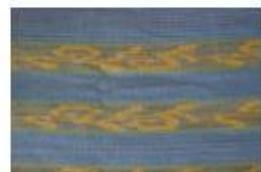
Citra_24



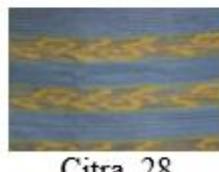
Citra_25



Citra_26



Citra_27



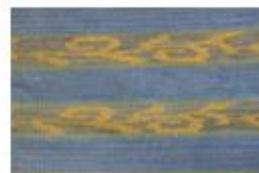
Citra_28



Citra_29



Citra_30



Citra_31



Citra_32



Citra_33



Citra_34



Citra_35



Citra_36



Citra_37



Citra_38



Citra_39



Citra_40



Citra_41



Citra_42



Citra_43



Citra_44



Citra_45



Citra_46



Citra_47



Citra_48



Citra_49



Citra_50



Citra_51



Citra_52



Citra_53



Citra_54



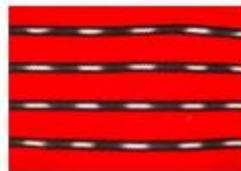
Citra_55



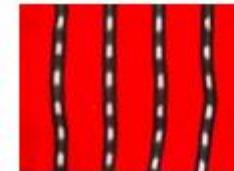
Citra_56



Citra_57



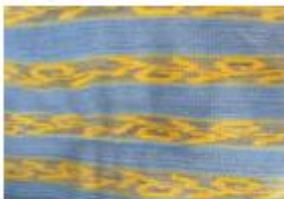
Citra_58



Citra_59



Citra_60



Citra_61



Citra_62



Citra_63



Citra_64



Citra_65



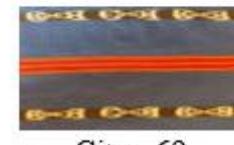
Citra_66



Citra_67



Citra_68



Citra_69



Citra_70



Citra_71



Citra_72



Citra_73



Citra_74



Citra_75



Citra_76



Citra_77



Citra_78



Citra_79



Citra_80



Citra_81



Citra_82



Citra_83



Citra_84



Citra_85



Gambar 2 Citra Tenun Ikat Tanimbar

Pengambilan gambar motif tenun ikat Tanimbar terdiri dari 7 motif yaitu motif sair (bendera), tunis (Anak panah), matantur (tulang ikan), lelemuku (bunga anggrek), wulan lihir (bulan sabit), eman matan lihir (mata cawat sebelah) dan ulerati (ulat kecil).

Proses Alat penelitian yang digunakan adalah laptop Asus dengan spesifikasi *hardware* Intel®Core™ i5-3317 CPU @1.70GHZ, GPU NVIDIA GeForce GT 635M, RAM 8 GB. Sedangkan *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem operasi Windows 10 pro 64 bit, adobe Photoshop CS3 untuk proses *editing*, bahasa pemrograman *python* dan *library opencv* untuk mendukung proses pengolahan citra.

Tekstur dicirikan sebagai distribusi spasial dari derajat keabuan didalam sekumpulan *pixel-pixel* yang bertetangga. Jadi, tekstur tidak dapat diidentifikasi untuk sebuah *pixel*, melainkan suatu citra dianggap sebagai suatu kesatuan. Definisi dari tekstur dalam hal ini adalah keteraturan pola-pola tertentu, yang terbentuk dari susunan *pixel-pixel* dalam citra. Suatu permukaan dikatakan mempunyai informasi tekstur, jika luasannya diperbesar tanpa mengubah skala, maka sifat-sifat permukaan hasil perluasan mempunyai sifat kemiripan dengan permukaan asalnya [32].

Metode yang digunakan dalam mengekstraksi fitur tekstur jenis corak tenun ikat Tanimbar adalah metode *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM). GLCM adalah salah satu metode untuk memperoleh fitur statistik orde kedua dengan menghitung kemungkinan terjadinya hubungan ketetangaan antara dua piksel pada jarak tertentu dan orientasi sudut [33]. Dimana fitur-fitur yang diekstrak dari sebuah citra corak tenun adalah ASM, kontras, energi, korelasi, disimilaritas, dan homogenitas. Kesimpulannya, fitur GLCM seperti ASM, kontras, dan korelasi secara efektif membedakan motif tenun Tanimbar dengan mengenali karakteristik tekstur unik: ASM menyoroti kehalusan dan keseragaman pola berulang, kontras mengidentifikasi kompleksitas dan detail tajam, sementara korelasi menekankan keteraturan dan struktur geometris. Ketiga fitur ini bersama-sama memberikan gambaran komprehensif untuk mengelompokkan dan mengidentifikasi motif berdasarkan variasi intensitas dan pola.

1. *Angular Second Moment* (ASM) merupakan ukuran homogenitas dari suatu citra.

$$ASM = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L (GLCM(i, j))^2$$

2. Kontras merupakan ukuran keberadaan variasi aras keabuan suatu citra.

$$ASM = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L (GLCM(i, j))^2$$

[33]

3. *Inverse Different Moment* (IDM) digunakan untuk mengukur homogenitas.

$$IDM = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \frac{(GLCM(i, j))^2}{1+(i-j)^2}$$

4. Entropi menyatakan ukuran ketidakteraturan aras keabuan didalam citra.

$$Entropi = -\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L (GLCM(i, j)) \log(GLCM(i, j))$$

5. Korelasi merupakan ketergantungan linier antar nilai aras keabuan dalam citra.

$$\text{Korelasi} = \frac{\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \frac{(I-\mu_i')(J-\mu_j')(GLCM(i,j))}{\sigma_i \sigma_j}}$$

Proses pengidentifikasian jenis corak dasar tenun ikat Tanimbar berdasarkan tekstur ini menggunakan salah satu machine learning dalam mengklasifikasikan jenis corak tenun ikat khas Tanimbar.

Algoritma K-Nearest Neighbor (K-NN) adalah sebuah metode klasifikasi terhadap sekumpulan data berdasarkan pembelajaran data yang sudah terklasifikasikan sebelumnya. Termasuk dalam *supervised learning*, dimana hasil *query instance* yang baru diklasifikasikan berdasarkan mayoritas kedekatan jarak dari kategori yang ada dalam K-NN [2]. Tujuan algoritma K-NN yaitu digunakan untuk mengklasifikasi objek baru berdasarkan atribut dan *training samples*, berdasarkan mayoritas dari kategori pada K-NN.

$$D(a, b) = \sqrt{\sum_{k=1}^d (a_k - b_k)^2}$$

[34]

Keterangan:

D = Jarak antar titik

a = Titik yang diketahui

b = Titik yang tidak diketahui

d = Dimensi titik yang diukur

k = Nilai data tetangga yang diukur

Proses berikutnya yaitu perhitungan tingkat akurasi. Ini dilakukan sebagai salah satu tolok ukur evaluasi dalam suatu sistem. Mengukur tingkat akurasi dapat digunakan dengan berbagai cara salah satunya yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Detection Rate*. Persamaan *Detection Rate* direpresentasikan sebagai berikut:

$$\text{Detection Rate} = \frac{TP}{TP + TN} \times 100\%$$

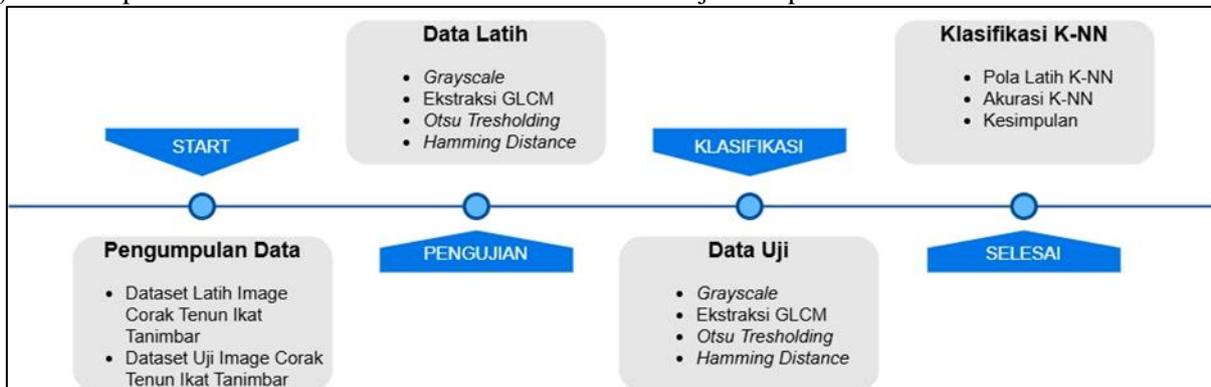
[34]

Keterangan:

TP (*True Positive*) = Jumlah kelas yang teridentifikasi dengan benar

TN (*True Negative*) = Jumlah kelas yang salah diidentifikasi

Alur *flowchart* proses klasifikasi citra tenun ikat Tanimbar ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Flowchart Alur Klasifikasi

Berikut ini merupakan proses pengujian metode *Otsu Thresholding* pada citra tenun ikat Tanimbar. Pertama-tama input citra tenun ikat Tanimbar dalam bentuk RGB, seperti tampak pada Gambar 4.

Gambar Asli



Gambar 4 Citra Asli (RGB)

Citra dengan ukuran 6240 x 3512 piksel di perkecil dengan skala 0,5 atau mengurangi ukuran citra 50% dari citra asli menjadi ukuran 3120 x 1756 piksel. Kemudian Citra asli dalam bentuk RGB di konversi ke citra dengan skala abu-abu, dengan membagi sama rata nilai *red*, *green* dan *blue*, sehingga mendapatkan nilai *graylevel*, seperti tampak pada Gambar 5.

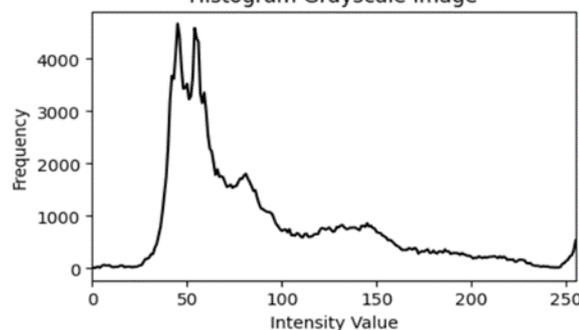
Gambar Grayscale



Gambar 5 Citra Abu (Gray)

Dari citra tenun ikat Tanimbar dalam skala abu atau grayscale kemudian di cari nilai intensitas histogramnya. Histogram menunjukkan distribusi frekuensi nilai intensitas piksel citra. Dimana intensitas piksel citra abu berada pada rentang 0-255. Histogram citra nampak normal karena tersebar merata pada seluruh derajat keabuan dengan rentang nilai intensitas keabuan 0 – 230, dengan total 5.478.720 piksel. Penggunaan histogram citra dapat meningkatkan kecepatan pengolahan citra corak tenun ikat untuk mendapatkan objek berupa titik corak tenun Tanimbar seperti tampak pada Gambar 6.

Histogram Grayscale Image



Gambar 6 Histogram Citra

Untuk implementasi metode *Otsu Tresholding* dalam pengolahan citra dengan menggunakan teknik segmentasi dengan rumus baku *Otsu* sebagai berikut:

1. Probabilitas Piksel $P(i) = \frac{ni}{N}$
 ni adalah total piksel dengan intensitas i
 N adalah jumlah total piksel dalam citra
2. Probabilitas Kumulatif :

$$P_1(k) = \sum_{i=0}^k P(i)$$

$$P_2(k) = \sum_{i=k}^{L-1} P(i)$$

L adalah jumlah level intensitas dalam citra.

3. Rerata Intensitas Piksel

$$\mu_1(k) = \sum_{i=0}^k \frac{i \cdot P(i)}{P_1(k)}$$

$$\mu_2(k) = \sum_{i=k}^{L-1} \frac{i \cdot P(i)}{P_2(k)}$$

4. Varians Antar Kelas (*Intraclass Variance*)

$$\sigma_B^2(k) = P_1(k) \cdot P_2(k) \cdot (\mu_1(k) - \mu_2(k))^2$$

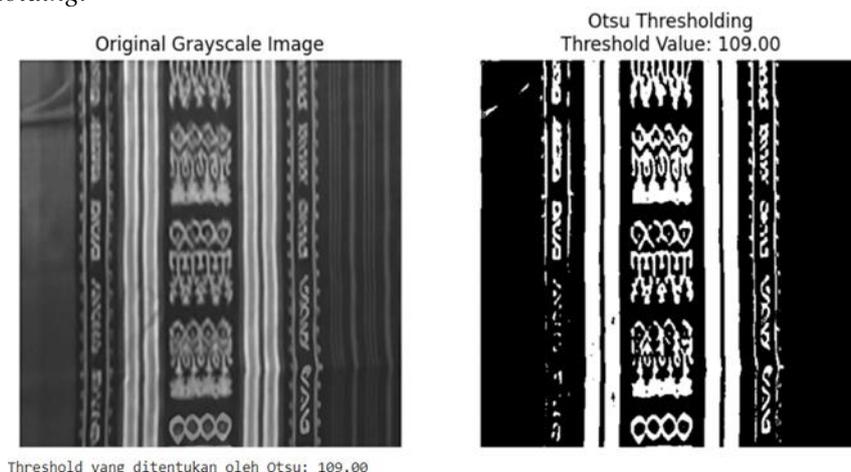
5. Ambang Optimal (*Threshold*)

$$T_{\text{optimal}} = \text{argmax}_k \sigma_B(k)$$

Ambang T_{optimal} adalah nilai ambang yang memberikan nilai varians antara kelas σ_B maksimum.

Hal pertama yang dilakukan yakni, citra input dalam bentuk RGB diubah terlebih dahulu menjadi citra dengan skala abu-abu, selanjutnya menampilkan histogram citra, yang akan digunakan untuk menentukan ambang batas. Memilih ambang batas yang memaksimalkan varians kelas. Kemudian menghitung nilai probabilitas dan mean untuk nilai diatas dan dibawah ambang batas. Menambahkan kedua varians dengan bobot, untuk menghitung varians dalam kelas (*within class variance*) untuk latar depan dan latar belakang. Dengan menghitung nilai *mean* dan *variance*, untuk menemukan nilai ambang batas dari kelas latar depan dan latar belakang, yaitu *Within-class variance* yang berarti sedekat mungkin dalam kelas dan *between class variance* atau sejauh mungkin antar kelas. Meminimalkan *Within-class variance* dan memaksimalkan *between class variance* dapat memisahkan objek dengan latar belakang.

Lakukan pengulangan untuk nilai ambang batas yang berbeda dan bandingkan varians dalam kelas. Selanjutnya nilai ambang batas terendah dalam varians kelas dipilih sebagai hasil akhir. Metode *Otsu thresholding* merupakan *thresholding* khusus yang bertujuan untuk menemukan ambang batas (T) yang sesuai secara otomatis untuk memisahkan objek dari latar belakang dengan efisien. Caranya adalah dengan membagi citra menjadi dua kategori (*class*), yaitu meminimalkan *within class varians* (v_w) dan memaksimalkan *between class varians* (v_b). Menentukan nilai ambang batas (*Threshold*) yang mungkin dari intensitas 0-255 pada citra1, $T = 255$, yang diperoleh berdasarkan pencarian nilai *variance* terbesar dari total sigma intensitas histogram. Sehingga menghasilkan citra biner yaitu citra hitam putih, yang disimbolkan dengan angka 0 merupakan latar belakang dengan warna hitam dan angka 1 merupakan latar depan (objek) berwarna putih. Pada Gambar 7 merupakan hasil citra tenun ikat Tanimbar dengan metode *Otsu Thresholding*.



Gambar 7 Hasil Metode *Otsu Thresholding*

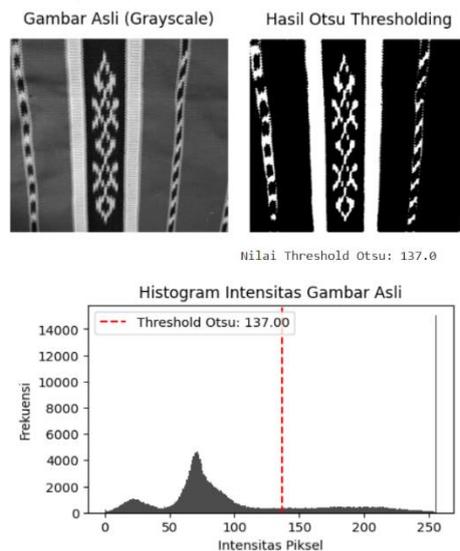
Proses selanjutnya adalah menentukan tingkat kekuatan/kepadatan corak tenun berdasarkan distribusi ukuran titik corak tenun sebagai faktor penting dalam pengolahan citra, berdasarkan hasil segmentasi titik corak tenun dengan metode *otsu thresholding*, dan berlanjut pada proses pengklasifikasian corak kain tenun. Adapun dalam pengenalan pola sederhana ini metode otsu dapat digunakan untuk pembagian histogram citra *grey level* secara otomatis sehingga pola sederhana tersebut dapat diidentifikasi berdasarkan hasil perhitungan yang terdiri dari *area*, *perimeter*, *metric*, *eccentricity*, *centroid* dan *aspect ratio* [32].

Kain tenun ikat Tanimbar : Kain tenun ikat Tanimbar asli yang diwariskan dari para leluhur terdiri dari kurang lebih 47 motif pada kain tenun ikat Tanimbar yang memiliki makna dan nilai yang berbeda antara satu motif dengan motif yang lain. Akan tetapi dalam perkembangannya, banyak motif kain tenun tanimbar yang dinyatakan musnah. Beberapa motif yang masih bertahan hingga saat ini dan sarat akan nilai dan makna dalam kehidupan masyarakat Tanimbar [35]. Beberapa diantaranya adalah 7 motif yaitu motif sair (bendera), tunis (Anak panah), matantur (tulang ikan), lelemuku (bunga anggrek), wulan lihir (bulan sabit), eman matan lihir (mata cawat sebelah) dan ulerati (ulat kecil).

Komposisi Kain tenun ikat Tanimbar : Komposisi dasar tenun Tanimbar mencerminkan nilai-nilai budaya dan alam yang kaya. Warna-warna yang digunakan tidak hanya memberikan estetika tetapi juga memiliki makna simbolis yang mendalam terkait dengan kehidupan, spiritualitas, dan lingkungan di Kepulauan Tanimbar. Proses pembuatan kain tenun asli Tanimbar ini memakan waktu yang cukup lama mulai dari persiapan alat, proses pengambilan serat kapas, pembuatan serat menjadi benang, proses pengikatan pada benang, pewarnaan alami, hingga akhirnya dijadikan satu kain tenun yang indah [35].

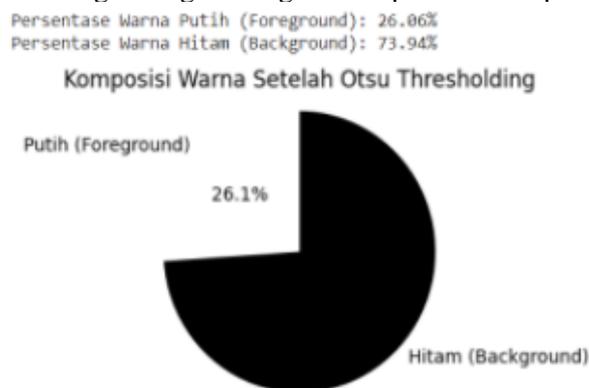
Komposisi intensitas corak tenun

Penentuan distribusi corak tenun setelah dilakukan segmentasi citra tenun ikat dengan *metode otsu thresholding*. Selanjutnya adalah dilakukan analisis distribusi ukuran corak tenun dengan histogram untuk memvisualisasikan distribusi corak tenun, distribusi warna dihitung dan ditampilkan dalam bentuk persentase untuk area *foreground* (putih) dan *background* (hitam). seperti tampak pada Gambar 8.



Gambar 8 Komposisi Intensitas Corak Tenun

Distribusi Warna: Setelah *Otsu Thresholding* diterapkan, distribusi warna dihitung dan ditampilkan dalam bentuk persentase untuk area *foreground* (putih) dan *background* (hitam). Visualisasi Komposisi Warna: Komposisi warna hasil *thresholding* divisualisasikan dengan diagram lingkaran seperti terlihat pada Gambar 9.

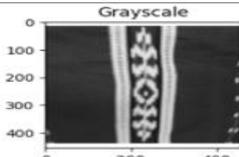
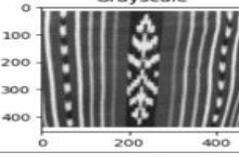
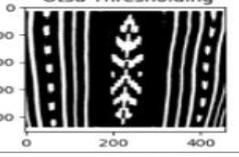
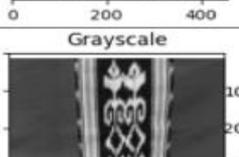
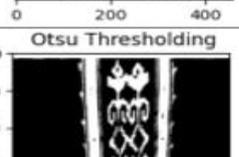
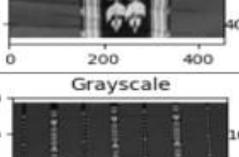
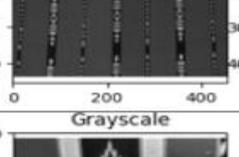


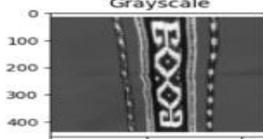
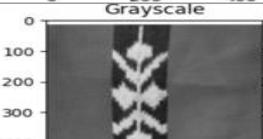
Gambar 9 Komposisi Warna Hasil Thresholding

Berikut merupakan hasil penerapan metode *otsu thresholding* dengan penentuan distribusi corak kain tenun pada

motif Citra tenun batik ikat Tanimbar seperti tampak pada Tabel 1.

TABEL 1
 HASIL ANALISIS DISTRIBUSI CORAK KAIN TENUN IKAT TANIMBAR

Citra	Grayscale	Otsu Thresholding	Persentase Warna Putih (Foreground)	Persentase Warna Hitam (Background)
1			26.67%	73.33%
2			28.76%	71.24%
3			21.48%	78.52%
4			25.74%	74.26%
5			7.53%	92.47%
6			32.75%	67.25%

7			28.11%	71.18%
8			15.31%	84.69%
9			27.71%	72.29%
10			31.66%	68.34%
11			10.85%	89.15%

Tahap yang terakhir menggunakan perhitungan jarak *hamming distance*, dimana jarak *hamming* diperlukan terlebih dahulu untuk mempercepat analisis waktu [36]. Menggunakan biner dengan jarak *hamming* dapat mempercepat proses pengolahan citra, sehingga perlu dikombinasikan dengan menerapkan *otsu thresholding* sebagai *pre-processing* merupakan kebaruan dari segi metode yang digunakan [37]. Karena *hamming distance* bekerja paling baik pada data biner, maka kita melakukan *thresholding* pada dataset gambar dengan membagi piksel menjadi 0 atau 1 (biner). Jika nilai piksel lebih dari 0.5 (setelah dinormalisasi), dianggap sebagai 1, sebaliknya dianggap 0 [38]. *Hamming Distance* dipilih dalam pengolahan citra karena kesederhanaan, efisiensi, dan kesesuaiannya dengan representasi biner, yang membuatnya ideal untuk analisis motif Tenun Ikat Tanimbar. Metode ini berkontribusi pada akurasi analisis dengan memungkinkan identifikasi dan klasifikasi motif yang mirip, serta deteksi pola dalam citra. Meskipun memiliki kelebihan seperti kecepatan dan konsistensi, *Hamming Distance* juga memiliki keterbatasan, termasuk hanya dapat digunakan untuk data biner, sensitivitas terhadap *noise*, dan ketidakmampuannya dalam membedakan detail tekstur yang lebih kompleks. Setelah model dilatih dengan data yang sudah dibinarisasi, evaluasi dilakukan dengan menghitung *accuracy_score*, *classification_report*, dan *confusion_matrix* seperti terlihat pada Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12.

```

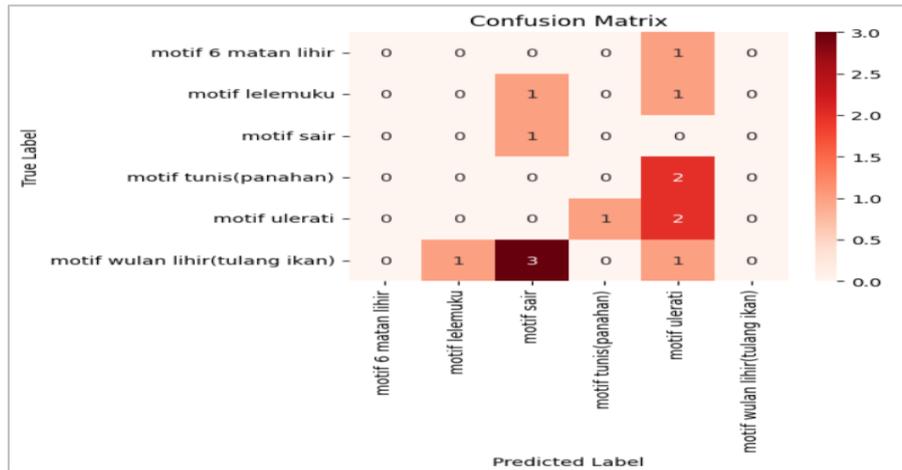
Average Hamming Distance: 0.2695
Classification Report:

```

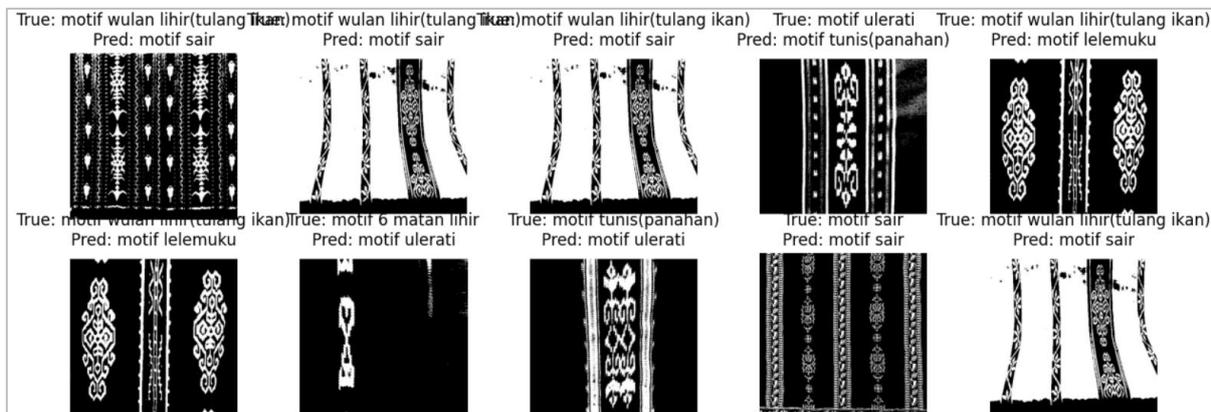
	precision	recall	f1-score	support
motif 6 matan lahir	0.00	0.00	0.00	1
motif lelemuku	0.00	0.00	0.00	2
motif sair	0.20	1.00	0.33	1
motif tunis(panahan)	0.00	0.00	0.00	2
motif ulerati	0.29	0.67	0.40	3
motif wulan lahir(tulang ikan)	0.00	0.00	0.00	5
accuracy			0.21	14
macro avg	0.08	0.28	0.12	14
weighted avg	0.08	0.21	0.11	14

Gambar 10 Hasil Evaluasi Hamming Distance menggunakan Accuracy Score Corak Tenun Ikat Tanimbar

Berdasarkan perhitungan jarak *Hamming* diperoleh nilai rata-rata 0,2695 mengindikasikan pola-pola motif citra tenun ikat tanimbar yang dianalisis memiliki berbagai macam variasi yang cukup tinggi dan mampu mengidentifikasi corak ke 7 motif dengan baik.



Gambar 11 Evaluasi Hamming Distance menggunakan Confusion Matrix Corak Tenun Ikat Tanimbar



Gambar 10 Hasil Evaluasi menggunakan Classification Report Corak Tenun Tanimbar

Analisis pengolahan citra menggunakan metode *Otsu thresholding* dan kombinasi *Hamming Distance* dengan KNN memiliki beberapa area yang perlu diperbaiki dan dianalisis lebih lanjut. Pertama, identifikasi motif yang sulit dikenali menjadi penting untuk memahami keterbatasan model, dengan faktor penyebab seperti variasi dalam citra, keterbatasan fitur, dan kebisingan dalam data. Kedua, perbandingan performa model dengan studi terdahulu dapat memberikan konteks lebih kuat terkait akurasi, waktu komputasi, dan ketahanan model terhadap variasi data. Ketiga, analisis histogram dapat memberikan wawasan tambahan tentang distribusi ukuran corak tenun, sementara visualisasi data dapat memudahkan interpretasi. Terakhir, peningkatan metodologi melalui eksplorasi fitur tambahan dan penggunaan algoritma klasifikasi lain dapat memperkuat analisis dan meningkatkan akurasi dalam pengenalan motif tenun.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dan saran yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan mengenai pengolahan citra dengan metode *otsu thresholding*, yaitu metode *otsu thresholding* dapat berhasil mensegmentasi citra tenun, selanjutnya untuk menentukan distribusi ukuran corak tenun sebagai salah satu indikator penting, Kombinasi *hamming distance* dan KNN memberikan pendekatan yang cukup kuat untuk tugas klasifikasi dalam pengolahan citra. Selanjutnya memperoleh nilai angka corak motif dasar berdasarkan analisis histogram luas dan diameter corak tenun. Sehingga dari 100 dataset citra tenun ikat Tanimbar sebagian besar dapat diklasifikasikan. Kesimpulan akhir yang didapat dari Model KNN menunjukkan performa yang baik dengan akurasi yang memadai. Disarankan untuk meningkatkan performa, dapat dipertimbangkan penggunaan algoritma klasifikasi lain seperti *Support Vector Machine* (SVM) atau *Random Forest* pada penelitian selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih Tim sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam keberlangsungan kegiatan

penelitian ini. Tim juga mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian kepada Masyarakat, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi dengan Surat Keputusan nomor 0459/E5/PG.02.00/2024 dan nomor kontrak 114/E5/PG.02.00.PL/2024, LLDIKTI Wilayah XII dengan nomor kontrak 273/LL12/PG/2024 dan Universitas Kristen Indonesia Maluku (UKIM) dengan nomor kontrak 02/UKIM.H6/N/KP.PDP/2024 untuk Hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. D. Angendari, N. K. Widiartini, I. D. A. M. Budhyani, I. G. Sudirtha, and P. A. Mayuni, "Perkembangan Tenun Ikat Mastuli Di Desa Kalianget Kabupaten Buleleng," *J. Pendidik. Teknol. dan Kejur.*, vol. 19, no. 2, pp. 95–104, 2022.
- [2] L. K. Octaviani and S. A. Komalasari, "Kain Tenun Ikat Sebagai Wisata Budaya Kabupaten Sikka," *Kepariwisata J. Ilm.*, vol. 14, no. 03, pp. 151–159, 2020, doi: 10.47256/kepariwisataan.v14i03.60.
- [3] M. Rosdewi, M. Sada, and Fitriah, "Inventory and Identification of Natural Dyes of Ikat Woven Fabrics at Sanggar Bliran Sina Watublapi," *J. Ris. Ilmu Pendidik.*, vol. 3, no. 1, pp. 6–19, 2023, doi: 10.30596/jcositte.v1i1.xxxx.
- [4] S. Baun, N. C. Soinbala, M. Fomeni, and A. Tabun, "Upaya Kepala Sekolah Dalam Mengembangkan Keterampilan Siswa Melalui Tenun Ikat Pada Sma Kristen Loli Kecamatan Polen Kabupaten Timor Tengah Selatan," *Apostolos J. Theol. Christ. Educ.*, vol. 4, no. 1, pp. 55–73, 2024, doi: 10.52960/a.v4i1.220.
- [5] Y. Nurdin, G. E. Savira, H. M. Shahib, I. Palippui, and M. R. Hasanuddin, "Nilai Budaya Lamaholot dalam Penentuan Harga Jual Kain Tenun Ikat: Studi pada Kelompok Perempuan Penenun 'Tene Tuen' di Nusa Tenggara Timur," *J. Ilm. Akunt. dan Finans. Indones.*, vol. 6, no. 2, pp. 25–34, 2023, doi: 10.31629/jiafi.v6i2.4892.
- [6] B. I. M. Mamuaya, Nova Ch., "PEMBERDAYAAN PEREMPUAN PENGRAJIN TENUN IKAT DI DESA POTUNGGO KABUPATEN ENDE UNTUK MENINGKATKAN PEREKONOMIAN KELUARGA DI MASA PANDEMI COVID 19," vol. 2, no. 3, pp. 310–324, 2023, [Online]. Available: <https://bnr.bg/post/101787017/bsp-za-balgaria-e-pod-nomer-1-v-buletinata-za-vota-gerb-s-nomer-2-pp-db-s-nomer-12>
- [7] N. A. Ashari and A. S. Patria, "Perancangan Konten Visual Instagram Tenun Ikat 'Paradila' Lamongan," *Desain Komun. Vis. Manaj. Desain dan Periklanan*, vol. 6, no. 2, p. 237, 2021, doi: 10.25124/demandia.v6i2.3082.
- [8] N. Chotimah, "Peran Perempuan Pengrajin Tenun Ikat Dalam Meningkatkan Pendapatan Keluarga Desa Kajowair," *FIRM J. Manag. Stud.*, vol. 7, no. 1, p. 11, 2022, doi: 10.33021/firm.v7i1.1569.
- [9] S. Sumartono, "Kajian Etnomatematika Pada Motif Kain Tenun Nusa Tenggara Timur Untuk Pembelajaran Tingkat Dasar," *SIBATIK J. J. Ilm. Bid. Sos. Ekon. Budaya, Teknol. dan Pendidik.*, vol. 2, no. 1, pp. 281–288, 2022, doi: 10.54443/sibatik.v2i1.546.
- [10] J. Samuel and M. Rosandini, "Pengolahan Motif Menggunakan Teknik Escher Dengan Inspirasi Tenun Ikat Sumba Pada Busana Ready-To-Wear," *Corak*, vol. 10, no. 1, pp. 31–50, 2021, doi: 10.24821/corak.v10i1.4186.
- [11] G. R. Deni, "Perancangan Perlengkapan Busana Berbahan Dasar Tenun Tradisional Sumbawa," *JISIP (Jurnal Ilmu Sos. dan Pendidikan)*, vol. 7, no. 1, pp. 819–832, 2023, doi: 10.58258/jisip.v7i1.4595.
- [12] F. Sofiantoro, E. Susilowati, and A. Alamsyah, "The Ikat Weaving Industry in Kediri: Characteristics and Strategies for Development, 1966-2014," *Indones. Hist. Stud.*, vol. 6, no. 1, pp. 107–115, 2022, doi: 10.14710/ihis.v6i1.12316.
- [13] A. Balik and Y. Hetharie, "Strengthening and Utilizing Original Tanimbar Woven Fabric as a Form of Preservation of Traditional Cultural Expression," *Sasi*, vol. 28, no. 1, p. 1, 2022, doi: 10.47268/sasi.v28i1.678.
- [14] I. M. Tanlain, Y. Tanzi Marini, and D. M. W. Githapradana, "Penggunaan Bahan Tenun Ikat Tanimbar Pada Busana Resort Wear," *Moda*, vol. 3, no. 1, pp. 34–49, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.37715/moda.v3i1.1802>
- [15] A. Harnadi, R. Sijabat, P. Widyastuti, and Y. A. Singgalen, "Keeping Tradition, Culture, and Community through Social Entrepreneurship: A Case of Lamerenan," *Humaniora*, vol. 14, no. 2, pp. 173–180, 2023, doi: 10.21512/humaniora.v14i2.8941.
- [16] R. Guru, D. Grewal, and A. Kumar, "To Study the Creative Technique on Ikat Traditional Textile," *Tech. Innov. Eng. Res. Vol. 5*, no. February, pp. 172–184, 2023, doi: 10.9734/bpi/taier/v5/4612c.
- [17] A. Muzakir, "Perangkat Lunak Mobile Untuk Mendeteksi Daun Pada Tanaman Menggunakan Algoritma K-Nearest Neighbor (K-NN)," *J. Inf. Technol. Ampera*, vol. 2, no. 2, pp. 117–126, 2021, doi: 10.51519/journalita.volume2.issue2.year2021.page117-126.
- [18] S. Sahar, "Analisis Perbandingan Metode K-Nearest Neighbor dan Naïve Bayes Classifier Pada Dataset Penyakit Jantung," *Indones. J. Data Sci.*, vol. 1, no. 3, pp. 79–86, 2020, doi: 10.33096/ijodas.v1i3.20.
- [19] J. Saputra, Y. Sa, V. Yoga Pudya Ardhana, and M. Afriansyah, "RESOLUSI : Rekayasa Teknik Informatika dan Informasi Klasifikasi Kematangan Buah Alpukat Mentega Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor Berdasarkan Warna Kulit Buah," *Media Online*, vol. 3, no. 5, pp. 347–354, 2023, [Online]. Available: <https://djournal.com/resolusi>
- [20] F. Hadi Kusuma, A. Ubaidillah Ms, A. Fiqhi Ibadillah, V. N. Vivin Nahari, K. Joni, and A. Kurniawan Saputro, "Sistem Identifikasi Kesegaran dan Jenis Ikan dengan Metode K-Nearest Neighbor Berdasarkan Citra Mata dan Bentuk Ikan," *J. FORTECH*, vol. 4, no. 1, 2023, doi: 10.56795/fortech.v4i1.383.
- [21] I. B. K. D. S. Negara and I. P. P. Wardana, "Identifikasi Kecocokan Motif Tenun Songket Khas Jembrana Dengan Metode Manhattan Distance," *J. Teknol. Inf. dan Komput.*, vol. 7, no. 2, pp. 149–156, 2021, [Online]. Available: <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/2025435>
- [22] H. Budiati, A. Rudatyo Himamunanto, N. Tena Bolo, and G. Artikel, "Identifikasi Pola Obyek Kain Tenun Sumba dengan Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor (KNN)," *J. Pendidik. Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2023, doi: 10.30812/upgrade.v.
- [23] R. Sitepu and M. Manohar, "Implementasi Algoritma K-Nearest Neighbor Untuk Klasifikasi Pengajuan Kredit," *J. Sist. Informasi, Tek. Inform. dan Teknol. Pendidik.*, vol. 1, no. 2, pp. 49–56, 2022, doi: 10.55338/justikpen.v1i2.6.
- [24] S. Zhang, "Challenges in KNN Classification," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 34, no. 10, pp. 4663–4675, 2022, doi: 10.1109/TKDE.2021.3049250.
- [25] N. Hidayati and A. Hermawan, "K-Nearest Neighbor (K-NN) algorithm with Euclidean and Manhattan in classification of student graduation," *J. Eng. Appl. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 86–91, 2021, doi: 10.21831/jeatech.v2i2.42777.
- [26] R. H. Singh, S. Maurya, T. Tripathi, T. Narula, and G. Srivastav, "Movie Recommendation System using Cosine Similarity and

- KNN,” *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 9, no. 5, pp. 556–559, 2020, doi: 10.35940/ijeat.e9666.069520.
- [27] H. Chen, Y. Gao, and J. Zhang, “Quantum K-nearest neighbor algorithm,” *Dongnan Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal Southeast Univ. (Natural Sci. Ed.)*, vol. 45, no. 4, pp. 647–651, 2015, doi: 10.3969/j.issn.1001-0505.2015.04.006.
- [28] B. Fan, Q. Kong, B. Zhang, H. Liu, C. Pan, and J. Lu, “Efficient nearest neighbor search in high dimensional hamming space,” *Pattern Recognit.*, vol. 99, p. 107082, 2020, doi: 10.1016/j.patcog.2019.107082.
- [29] G. Tomasila, “Sand Soil Image Processing Using the Watershed Transform and Otsu Thresholding Based on Gaussian Noise,” *JINAV J. Inf. Vis.*, vol. 3, no. 1, pp. 81–92, 2022, doi: 10.35877/454ri.jinav1564.
- [30] G. Tomasila, T. M. Tamtelahitu, and D. G. Palyama, “Penerapan Pengolahan Citra Tanah Pasir Untuk Mengukur Kekuatan Tanah Sebagai Dasar Pertimbangan Konstruksi Bangunan Atau Jalan Menggunakan Metode Otsu Thresholding,” *JUPI (Jurnal Ilm. Penelit. dan Pembelajaran Inform.)*, vol. 8, no. 4, pp. 1413–1426, 2023, doi: 10.29100/jupi.v8i4.4607.
- [31] G. Tomasila and A. W. Rahardjo Emanuel, “MRI image processing method on brain tumors: A review,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2296, 2020, doi: 10.1063/5.0030978.
- [32] M. Sulistiyanti, Sri Ratna and Setyawan, F.X. Arinto and Komarudin, *Pengolahan Citra, Dasar dan Contoh Penerapannya*. Yogyakarta: Teknosain, 2016. [Online]. Available: <http://repository.lppm.unila.ac.id/id/eprint/2976>
- [33] H. Putra, *MEKANIKA TANAH Parameter dan Prosedur Pengujian*. Yogyakarta: Gre Publishing, 2019. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Heriansyah-Putra-2/publication/354170479_Mekanika_Tanah_Parameter_dan_Prosedur_Pengujian/links/6129119138818c2eaf648e54/Mekanika-Tanah-Parameter-dan-Prosedur-Pengujian.pdf
- [34] A. Azizi, Y. Abbaspour-Gilandeh, E. Vannier, R. Dusséaux, T. Mseri-Gundoshmian, and H. A. Moghaddam, “Semantic segmentation: A modern approach for identifying soil clods in precision farming,” *Biosyst. Eng.*, vol. 196, pp. 172–182, 2020, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2020.05.022.
- [35] T. Bhagya, K. Anand, D. S. Kanchana, and A. A. S. Remya, “Analysis of image segmentation algorithms for the effective detection of leukemic cells,” *Proc. Int. Conf. Trends Electron. Informatics, ICOEI 2019*, no. Icoei, pp. 1232–1236, 2019, doi: 10.1109/ICOEI.2019.8862696.
- [36] L. P. de Faria Borges, R. M. de Moraes, S. Crestana, and A. L. B. Cavalcante, “Geometric Features and Fractal Nature of Soil Analyzed by X-Ray Microtomography Image Processing,” *Int. J. Geomech.*, vol. 19, no. 8, pp. 1–14, 2019, doi: 10.1061/(asce)gm.1943-5622.0001464.
- [37] R. Kumar and P. Sharma, “Recent Developments in Extraction, Identification, and Quantification of Microplastics from Agricultural Soil and Groundwater,” *Microorg. Sustain.*, vol. 24, no. November 2020, pp. 125–143, 2021, doi: 10.1007/978-981-15-6564-9_7.
- [38] R. Rathakrishnan *et al.*, “Microstructure Study and Plasticity Characteristics of Clay,” pp. 2228–2232, 2019.