

Klasifikasi Aksara Jawa Cetak Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation

Resky Novaliandy^a, Anastasia Rita Widiarti^b

Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta

*reskykiky2000@gmail.com

Abstract

Script is a visual symbol that is usually printed on paper, stone, wood, cloth and others. One example of a script is the Javanese Nglegena script. Nglegena Javanese script can be found in various forms, one of which is in the form of images. Image is a digital representation of an object. By using the image of the character, it is done as an effort to fight against the character. Identification can be done digitally by using one of the classifications, namely artificial-backpropagation network. Backpropagation neural network is a good classification that can update its weight value. This research uses image data of Javanese Nglegena script with a total data of 635 images. Each image is preprocessed in the form of image resizing and thinning. Then the feature extraction used is in the form of 7 moment invariant values, the value of image length and image width so that the number of inputs for each data is 9 features. Then the 9 feature values become input for classifying the backpropagation-artificial network. The best results for testing 16 types of Javanese Nglegena script get a training accuracy of 92.1% and a test accuracy of 76.1%. Where the best architecture uses a hidden 2-layer network with 9 input neurons, 55 neurons in layer 1, 65 neurons in layer 2 and 4 layers, logsig activation function and the trainlm training method.

Keywords : *Javanese Script; Moment Invariant; Artificial Neural Network Backpropagation.*

Abstrak

Aksara merupakan suatu simbol visual yang biasanya tertera di kertas, batu, kayu, kain dan lainnya. Salah satu contoh aksara adalah aksara Jawa Nglegena. Aksara Jawa Nglegena dapat ditemukan dalam berbagai bentuk salah satunya dalam bentuk citra. Citra merupakan representasi suatu objek secara digital. Dengan menggunakan citra aksara tersebut dilakukan identifikasi sebagai upaya untuk melestarikan aksara. Identifikasi dapat dilakukan secara digital dengan menggunakan salah satu algoritma klasifikasi yaitu jaringan syaraf tiruan *backpropagation*. Jaringan syaraf tiruan *backpropagation* merupakan salah satu algoritma klasifikasi yang baik karena dapat memperbaharui nilai bobotnya. Penelitian ini menggunakan data citra aksara Jawa Nglegena dengan total data 635 citra. Pada setiap citra dilakukan *preprocessing* berupa pengubahan ukuran citra dan *thinning*. Kemudian ekstraksi ciri yang digunakan berupa 7 nilai *moment invariant*, nilai panjang citra dan lebar citra sehingga jumlah input untuk tiap data berupa 9 ciri tersebut. Kemudian 9 nilai ciri tersebut menjadi input untuk klasifikasi menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation*. Hasil terbaik untuk pengujian terhadap 16 jenis aksara Jawa Nglegena mendapatkan akurasi latih sebesar 92,1 % dan akurasi uji sebesar 76,1 %. Dimana arsitektur terbaiknya tersebut menggunakan jaringan 2 lapis tersembunyi dengan 9 neuron input, jumlah neuron pada lapisan 1 sebanyak 55, jumlah neuron pada lapisan 2 sebanyak 65 dan lapisan keluaran sebanyak 4, fungsi aktivasi logsig serta metode pelatihan trainlm.

Kata Kunci : *Aksara Jawa; Moment Invariant; Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation.*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki beragam budaya. Misalnya, rumah adat, senjata adat, dan aksara daerah yang banyak sekali macamnya, menjadikan keunikan khas negara Indonesia. Kekayaan tersebut di atas perlu dijaga kelestariannya.

Aksara adalah suatu sistem simbol visual yang tertera pada kertas maupun media lainnya seperti batu, kayu, kain dan

lain-lain (Wikipedia). Salah satu aksara yang sering dijumpai pada berbagai media adalah aksara Jawa. Misalnya pada peninggalan-peninggalan bersejarah yang menggunakan aksara Jawa pada batu atau daun lontar. Informasi yang terkandung di dalam peninggalan-peninggalan bersejarah tersebut dapat menghilang jika aksara Jawa tidak dilestarikan.

Dengan upaya untuk melestarikan budaya seperti aksara Jawa, maka penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi terhadap aksara Jawa. Identifikasi dilakukan dengan membuat sistem klasifikasi secara digital terhadap aksara Jawa, sehingga akan mempermudah proses pembacaan media beraksara Jawa yang ada di berbagai media.

Terdapat berbagai macam metode untuk melakukan klasifikasi, misalnya dengan menggunakan metode jaringan syaraf tiruan atau JST *Backpropagation*. JST *Backpropagation* merupakan salah satu algoritma yang baik dalam klasifikasi karena jika terdapat kesalahan klasifikasi, maka bobot di dalam jaringan sistem akan diperbaharui untuk mengurangi tingkat kesalahan.

Penelitian terhadap klasifikasi aksara dengan JST *Backpropagation* sudah cukup banyak dilaksanakan, seperti penelitian oleh Wibowo (2018) untuk pengenalan pola aksara Jawa dengan ekstraksi ciri berupa *Intensity of Character (IoC)* dan *Mark Direction* yang mendapatkan akurasi sebesar 83%. Penelitian dari Cheisaryanto (2019) berupa pengenalan aksara Jawa Nglegena dengan deteksi tepi sobel menghasilkan akurasi 75%. Penelitian dari Indyaputra (2019) berupa klasifikasi Aksara Jawa menggunakan ciri ICZ-ZCZ mendapatkan akurasi sebesar 97,87 %. Penelitian dari Sholahuddin (2012) berupa pengenalan wajah menggunakan ciri *Moment Invariant* menghasilkan akurasi 98,22 %.

Paper ini memaparkan hasil penelitian penulis pada proses klasifikasi terhadap aksara Jawa menggunakan metode jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dan menggunakan ekstraksi ciri yang berupa *moment invariant*. Penulis melakukan penelitian ini karena belum ada penelitian yang menggunakan metode jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dan *moment invariant* untuk klasifikasi Aksara Jawa. Selain itu penulis juga ingin mengetahui bagaimana akurasi dan arsitektur jaringan terbaik dalam penerapannya.

2. Kajian Literatur

2.1 Aksara Jawa

Aksara Jawa atau dikenal sebagai Hanacaraka atau Carakan adalah salah satu aksara tradisional Indonesia yang berkembang di pulau Jawa. Aksara ini merupakan turunan dari aksara Brahmi yang digunakan untuk menulis naskah-naskah berbahasa Jawa, Makassar, Sunda dan Sasak (Wikipedia). Aksara Jawa terdapat 20 huruf yang landasan yang disebut dengan Aksara Jawa Nglegena.

2.2 Pengenalan Pola

Pengenalan pola adalah serangkaian aktivitas yang terdiri atas proses *preprocessing*, ekstraksi ciri, dan klasifikasi untuk mengubah data menjadi suatu pengetahuan atau informasi baru. *Preprocessing* merupakan proses untuk mendapatkan data objek yang lebih baik untuk tahap selanjutnya. Proses ekstraksi ciri bertujuan untuk mendapatkan ciri daripada objek yang akan dilakukan pengenalan pola. Tahap akhir yaitu klasifikasi, yaitu tahap untuk mengelompokkan data ke dalam kelas yang sesuai. Tujuan dari pengenalan pola adalah melakukan klasifikasi dan mendeskripsikan objek dengan pengetahuan sifat-sifat objek tersebut.

2.3 Citra Digital

Suatu citra adalah fungsi intensitas 2 dimensi $f(x, y)$, dimana x dan y adalah koordinat spasial dan f pada titik (x, y) merupakan tingkat kecerahan (brightness) suatu citra pada suatu titik (Gonzales dan Woods, 2008). Citra dapat digambarkan dalam bentuk matriks $M \times N$, dimana M berupa jumlah baris dan N merupakan jumlah kolom citra. Nilai pada tiap matriks tersebut disebut sebagai piksel yang menggambarkan tingkat intensitas kecerahan citranya.

2.4 Segmentasi Citra

Segmentasi citra adalah proses pengolahan citra yang bertujuan memisahkan wilayah (region) objek dengan wilayah latar belakang agar objek mudah dianalisis dalam rangka mengenali objek yang banyak melibatkan persepsi visual (Destyningtias, 2010). Segmentasi penting untuk dilakukan dalam analisis citra karena informasi yang ingin dianalisis berupa objek dari suatu citra.

2.5 Thinning Citra

Thinning atau penipisan merupakan salah satu operasi *preprocessing* untuk membuat citra menjadi bentuk dasarnya dengan mereduksi nilai biner bagian citranya dalam garis yang merepresentasikan kerangka bagian citranya (Devi, 2006). Kerangka citra hasil *thinning* merepresentasikan citra bentuk citra aslinya dalam bentuk 1 piksel.

2.6 Moment Invariant

Moment invariant diperkenalkan pertama kali oleh Hu pada tahun 1962. *Moment invariant* merupakan salah satu metode ekstraksi ciri atau fitur untuk citra. Fitur yang dihasilkan dapat menangani translasi, penyekalaan dan rotasi pada objek (Kadir, 2020). Sebelum mencari nilai fitur dari *moment*

invariant pada suatu objek, perlu dihitung terlebih dahulu nilai momen spasialnya.

Momen spasial orde didefinisikan sebagai berikut :

$$m_{pq} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N x^p y^q \cdot f(x, y)$$

Rumus 1. Momen Spasial Orde

Keterangan :

$p, q = 0, 1, 2, \dots$, dengan p, q menyatakan orde momen.

M = jumlah kolom pada citra.

N = jumlah baris pada citra.

x = ordinat piksel.

y = absis piksel.

$f(x,y)$ = intensitas piksel pada posisi (x,y)

Kemudian hitung momen pusat (μ) didefinisikan sebagai berikut :

$$\mu_{pq} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y)$$

Rumus 2. Momen Pusat

Dimana nilai \bar{x} dan \bar{y} adalah pusat massa diperoleh dengan persamaan :

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

Rumus 3. Pusat Massa

Momen pusat dapat bebas translasi, rotasi dan penyekalaan dengan melakukan normalisasi. Momen pusat yang ternormalisasi (η) didefinisikan sebagai berikut :

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^{\frac{p+q}{2}}}, \gamma = \left(\frac{p+q}{2}\right) + 1$$

Rumus 4. Momen Pusat Ternormalisasi

$$\prod_{ij} \eta_{ij} \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^{\frac{p+q}{2}}}, \text{Hu (1962) mendefinisikan}$$

tujuh nilai dengan momen pusat yang ternormalisasi dengan orde 3 (p dan q bernilai 0,1,2,3). Momen tersebut bersifat *invariant* yang artinya tidak terpengaruh terhadap translasi, penyekalaan dan rotasi. Ketujuh momen tersebut didefinisikan sebagai berikut :

$$\emptyset_1 = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$\emptyset_2 = (\eta_{11} - \eta_{20})^2 + 4\eta_{11}^2$$

$$\emptyset_3 = (\eta_{11} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2$$

$$\emptyset_4 = (\eta_{11} - 3\eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

$$\emptyset_5 = (\eta_{11} - 3\eta_{12})(\eta_{11} - 3\eta_{12} + \eta_{12})[(\eta_{11} - 3\eta_{12} + \eta_{12})]$$

$$\emptyset_6 = (\eta_{11} - 3\eta_{12})^2 + 4\eta_{11}^2$$

$$\emptyset_7 = (3\eta_{11} - \eta_{03})(\eta_{11} - 3\eta_{12})$$

Rumus 4. Momen *Invariant*

2.7 Hold out Method

Hold out method proses pemisahan data menjadi dataset uji dan dataset latih. Seringkali dataset uji berisi 10% - 30% dari jumlah total data dan dataset latih berisi 70% - 90% dari jumlah data (Berrar, 2018). Dataset latih nantinya akan digunakan untuk melatih model kemudian model yang sudah dilatih akan diujikan dengan dataset uji.

2.8 Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan pemroses informasi yang mempunyai karakteristik yang menyerupai jaringan syaraf biologi. (Siang, 2009). Berdasarkan hal tersebut, JST ditentukan dengan 3 hal utama berupa pola hubungan antar neuron (arsitektur jaringan), metode untuk menentukan bobot penghubung dan fungsi aktivasi. Setiap jaringan pada JST memiliki lapisan masukan (*input layer*) dan lapisan keluaran (*output layer*). JST memiliki 2 arsitektur berupa jaringan lapis tunggal (*single layer*) dan jaringan lapis majemuk (*multi layer*). Perbedaan utama kedua arsitektur tersebut adalah pada lapis majemuk memiliki *hidden layer* sedangkan pada lapis tunggal tidak memiliki *hidden layer*.

Backpropagation merupakan salah satu jaringan lapis majemuk (*multi layer*). Algoritma ini merupakan algoritma yang terawasi atau *supervised learning*. *Backpropagation* melatih jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan serta kemampuan jaringan untuk memberikan respon yang benar terhadap pola masukan yang serupa dengan pola yang dipakai selama pelatihan. (Siang, 2005). Terdapat 3 tahap atau fase dalam *backpropagation* yaitu :

Fase I : Propagasi maju (*feedforward*)

Meneruskan sinyal dari *input layer* hingga ke *output layer*.

Fase II : Propagasi mundur (*backpropagation*)

Menghitung nilai kesalahan dari tiap lapisan.

Fase III : Perubahan bobot

Menghitung dan memperbaharui nilai bobot berdasarkan nilai kesalahan yang didapatkan.

2.9 Confusion Matrix

Pada dasarnya *confusion matrix* memberikan informasi perbandingan hasil klasifikasi yang dilakukan oleh sistem (model) dengan hasil klasifikasi sebenarnya (Nugroho, 2019). *Confusion matrix* berbentuk tabel matriks yang menggambarkan kinerja dari model klasifikasi yang dibangun.

3. Metode Penelitian

3.1 Data Penelitian

Data yang digunakan untuk penelitian ini diperoleh dari beberapa penelitian sebelumnya. Penelitian-penelitian ini menghasilkan citra aksara Jawa yang telah disegmentasi dari buku Hamong Tani.

Tabel 1. Jumlah Data Penelitian

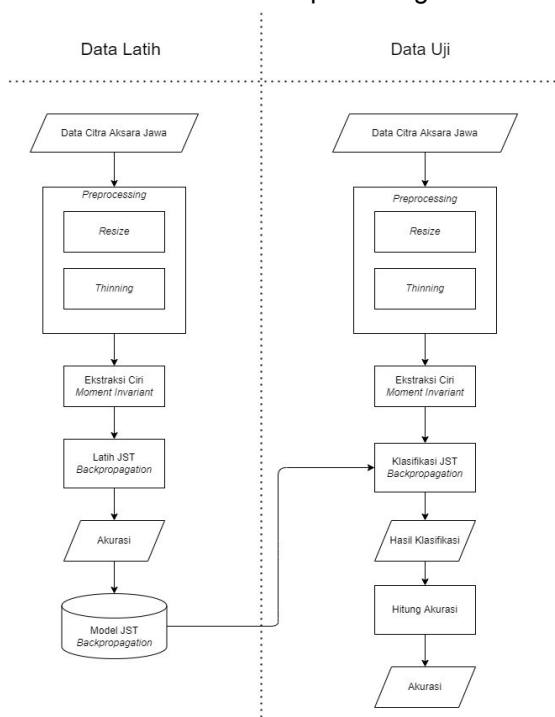
Dataset.	Jumlah data	Keterangan Data
1	597 data citra.	Biner dan segmentasi.
2	806 data citra.	Biner dan belum segmentasi.
3	60 data citra.	Non-biner dan belum segmentasi

Ketiga dataset tersebut berjumlah 1463 data citra. Untuk dapat menggunakan data, perlu dilakukan proses penyamaan data seperti dataset 1. Dataset 2 dilakukan segmentasi dengan proyeksi profil kemudian dataset 3 dilakukan proses binerisasi menggunakan library milik matlab yaitu `imbinarize()` dan segmentasi dengan cara yang sama menggunakan proyeksi profil.

Macam dataset di dataset 3 hanya terdiri atas citra aksara Jawa Nglegena saja. Sedangkan di dataset 1 dan 2 terdiri atas aksara Jawa Nglegena dan bukan Nglegena. sehingga perlu dilakukan diproses lebih lanjut untuk mendapatkan Aksara Jawa Nglegenanya saja.

3.2 Tahap Pengolahan Data

Berikut ini adalah tahapan mengolah data :



Gambar 2. Tahap Pengolahan Data

Tahap pengolahan data dibagi menjadi 5 tahapan besar yaitu *preprocessing*, ekstraksi ciri, latih JST *backpropagation*, klasifikasi JST *backpropagation* dan hitung akurasi. Berikut adalah penjelasan kelima tahapan tersebut:

3.2.1. Preprocessing

Preprocessing terdiri atas *resize* dan *thinning*. Kedua proses ini menggunakan library milik matlab. Proses *resize* menggunakan `imbinarize()` dan *thinning* menggunakan `bwskel()`.

3.2.2. Ekstraksi Ciri

Ekstraksi ciri yang digunakan berupa 7 nilai *moment invariant*. Selain itu dicobakan juga untuk menambahkan ciri berupa panjang dan lebar dari citra. Sehingga jumlah ciri yang didapatkan terdapat 9 ciri.

3.2.3. Latih JST Backpropagation

Pelatihan JST *Backpropagation* dilakukan dengan melatih model-model yang telah ditetapkan menggunakan data latih. Model-model jaringan ini dicobakan dengan variabel-variabel yang berbeda misalnya jumlah neuron, jumlah *hidden layer*, fungsi aktivasi, fungsi pelatihan dan lainnya.

3.2.4. Klasifikasi JST Backpropagation

Setelah didapatkan model terbaiknya maka proses klasifikasi dapat dilakukan. Klasifikasi dilakukan dengan menggunakan data uji. Hasil dari klasifikasi adalah prediksi berupa label dari aksara yang digunakan.

3.2.5. Hitung Akurasi

Penghitungan akurasi digunakan dengan menggunakan tabel *confusion matrix*. Penggunaan *confusion matrix* akan menampilkan jumlah data yang benar dan kesalahan klasifikasinya. Berdasarkan jumlah yang benar akan didapatkan akurasinya.

3.3 Skenario Pengujian

Skenario pengujian dilakukan dengan mencoba beberapa variabel seperti berikut:

Tabel 2. Skenario Pengujian

Preprocessing	Ciri	JST
Ukuran Resize : 30x30, 50x50, 100x100	Moment Invariant	Neuron 20-80
Tanpa Thinning	Moment Invariant + Panjang Lebar	Hidden Layer 1-2
Thinning		Fungsi Aktivasi : Logsig, tansig

Preprocessing	Ciri	JST
		Metode Pelatihan : Trainlm, traingdx, trainrp

4. Hasil dan Pembahasan

Data yang digunakan sebelumnya diproses terlebih dahulu dengan mengubah menjadi biner dan dilakukan segmentasi. Kemudian dilakukan pemisahan untuk mendapatkan Aksara Jawa Nglegena. Proses pemisahan dilakukan secara manual dengan menggunakan indra penglihat penulis untuk mencegah terjadinya kesalahan.

Tabel 3. Jumlah Data Setelah Pemisahan

Dataset.	Sebelum Pemisahan	Setelah Pemisahan
1	597 data citra.	254 data citra.
2	806 data citra.	342 data citra.
3	60 data citra.	60 data citra.
Total	1463 data citra.	635 data citra.

Data yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 635 citra Aksara Jawa Nglegena. Data tersebut terdiri atas 16 Aksara Jawa Nglegena yaitu Ha, Na, Ra Ka, Da, Ta, Sa, Wa, La, Pa, Ja, Ya, Ma, Ga, Ba dan Nga. Data ini dibagi menjadi 1/3 data uji dan 2/3 data latih. Didapatkan 430 data latih dan 205 data uji.

Setelah dibagi maka dilanjutkan dengan melakukan *preprocessing* berupa *resize* dan *thinning* dengan menggunakan library matlab seperti yang dikatakan sebelumnya.

Dilanjutkan dengan melakukan ekstraksi ciri berupa *moment invariant*. Ekstraksi ciri ini akan mendapatkan 7 nilai ciri momen kemudian ditambahkan juga 2 nilai ciri lainnya berupa panjang dan lebar. Nilai panjang dan lebar didapatkan dengan menggunakan library matlab berupa `size()`. Sehingga terdapat 7 nilai ciri dan 9 nilai ciri yang digunakan untuk *input layer* pada jaringan syaraf tiruan *backpropagation*.

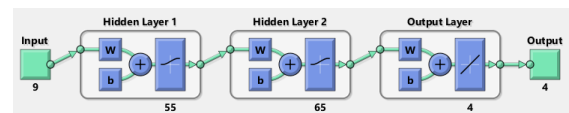
Pengujian dilakukan sesuai dengan skenario pengujian yang ditampilkan pada Tabel 2. Berikut ini adalah salah satu akurasi hasil pelatihan dalam skenario dengan menggunakan 1 hidden layer dengan citra yang diresize menjadi 30x30 tanpa *thinning* dan menggunakan 7 *moment invariant* sebagai *input layer*.

Tabel 4. Contoh Hasil Pengujian dengan 7 Ciri

Jumlah Neuron	Akurasi	
	Pelatihan Logsig	trainlm Tansig
20	26,5%	25,8%
25	40,0%	39,3%
30	35,3%	41,9%
...
80	44,4%	33,3%

Tabel 4 menampilkan bagian kecil dari hasil-hasil pengujian yang dilakukan penelitian ini. Pengujian dengan menggunakan 2 *hidden layer* nantinya akan didasarkan dari akurasi terbaik pada 1 *hidden layer*.

Pengujian dilakukan dengan cara yang sama untuk tiap skenarionya. Setelah semua skenario dicobakan dan didapatkan tiap akurasinya maka dapat diketahui arsitektur atau model terbaiknya. Arsitektur terbaiknya mendapatkan akurasi latih sebesar 92,1 % dan akurasi ujinya sebesar 76,1 %. Berikut ini adalah arsitekturnya:



Gambar 3. Arsitektur Jaringan Terbaik

Arsitektur tersebut menggunakan citra hasil *thinning*, ukuran *resize* 100x100, ciri yang digunakan berupa 7 nilai *moment invariant*, panjang dan lebar, fungsi pelatihan *trainlm* dan fungsi aktivasi berupa *logsig*.

Hasil akurasi sebesar 76,1 % mendapatkan 156 benar dan 49 kesalahan dalam klasifikasi dari total .205 data. Kesalahan klasifikasi terbanyak didapatkan pada kelas aksara "Pa" sebanyak 6 dan "Ra" sebanyak 5. Hal tersebut dikarenakan kelas "Pa" memiliki bentuk yang relatif mirip dengan beberapa aksara lainnya misalnya aksara "Wa" sehingga menyebabkan nilai ciri yang mirip dan mengakibatkan kesalahan klasifikasi.

5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil penelitian tentang Klasifikasi Aksara Jawa Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* yang telah dikerjakan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- (1) Pengujian dengan menggunakan citra yang telah dilakukan *thinning* dan tanpa *thinning* menunjukkan bahwa hasil citra yang telah dilakukan *thinning* menghasilkan akurasi yang lebih baik. Hal ini dikarenakan citra *thinning* bekerja dengan mendapatkan kerangka citranya

sehingga informasi dari citra aksara tersebut lebih baik dalam membedakan citra aksara jenis lainnya.

- (2) Arsitektur terbaik menghasilkan akurasi latih sebesar 92,1 % dan akurasi ujinya sebesar 76,1 %. Arsitektur tersebut berupa jaringan 2 *hidden layer* yang menggunakan 9 ciri berupa 7 nilai *moment invariant*, panjang citra dan lebar citra kemudian jumlah neuron pada lapisan 1 adalah 55 dan pada lapisan 2 berjumlah 65, fungsi pelatihan berupa *trainlm* serta fungsi aktivasi *logsig*.

Adapun saran yang dapat diberikan untuk membuat sistem ini menjadi lebih baik adalah :

- (1) Menggunakan ekstraksi ciri yang berbeda atau menambahkan kombinasi ciri misalnya dengan *Mark Direction*.
- (2) Menambah jumlah data untuk aksara yang kurang dari 50 misalnya ditambahkan untuk masing-masing aksaranya minimal memiliki 50 data aksara serta menambahkan data aksara Jawa Hancaraka yang tidak dilakukan pada penelitian ini yaitu aksara Ca, Dha, Nya dan Tha.

Daftar Pustaka

- Abdul, K. (2010). *Momen Invariant Untuk Mendapatkan Ciri Daun Tanaman Hias*. TEKNOMATIKA, vol 2, no 2, pp.1-8.
- Berrar D. (2018). *Cross-validation*. Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology, vol 1, Elsevier, pp.542–545.
- Cheisaryanto, P.F. (2019). *Pengenalan Aksara Jawa Nglegena menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan*. Skripsi. Progam Studi Teknik Informatika. Universitas STMIK AKAKOM.
- Destyningtias B., Heranurweni S., T. Nurhayati. (2010). *Segmentasi Citra Dengan Metode Pengambangan*. Jurnal Elekrika. vol.2, no.1, pp 39 – 49.
- Devi, H.K.A., (2006). *Thinning: A Preprocessing Technique for an OCR System for the Brahmi Script*. Ancient Asia, vol.1, pp.167–172.
- Indyaputra, O.G. (2019). *Metode Backpropagation Untuk Alih Aksara Jawa Cetak Menggunakan Ciri ICZ-ZCZ*. Skripsi. Progam Studi Teknik Informatika. Universitas Sanata Dharma.
- Kurniawan H.C., Soemarto K.S., Yahya B.N. (2020). *Evaluasi Metode Ekstraksi Fitur Hu Moment Invariant Untuk Pengenalan Aktivitas Manusia*. Jurnal Telematika, vol.15, no.2.
- Nugroho, K.S. (2019). *Confusion Matrix Untuk Evaluasi Model Pada Supervised Learning*. Retrieved from: <https://ksnugroho.medium.com/confusion-matrix-untuk-evaluasi-model-pada-unsupervised-machine-learning-bc4b1ae9ae>
- Sholahuddin, A. (2012). *Metode Moment Invariant Dan Backpropagation Neural Network Pada Pengenalan Wajah*. Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir, pp.283-295.
- Siang, JJ. (2005). *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya menggunakan Matlab*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Sunyoto, A. (2013). *Analisa Metode Moment Invariant Untuk Mendeteksi Obyek Yang Telah Mengalami Transformasi*. Data Manajemen dan Teknologi Informasi, vol.14, no. 1.
- Wibowo, A.T. (2018). *Pengenalan Pola Tulisan Tangan Aksara Jawa Dengan Algoritma Backpropagation*. Skripsi. Progam Studi Teknik Informatika. Universitas Sanata Dharma.
- Wikipedia. (2021, 4 16) *Aksara Jawa*. Retrieved from Wikipedia: https://id.wikipedia.org/wiki/Aksara_Jawa
- Woods, Richard E., Gonzales, Rafael E. (2008). *Digital Image Processing Third Edition*. Pearson Education. New Jersey.