

## Implementasi Backpropagation untuk Identifikasi Tanda Tangan Digital

Angga Dwi Putriana<sup>1</sup>, Dila Seltika Canta<sup>2</sup>, Elvin Leander Hadisaputro<sup>3\*</sup>, Nuorma Wahyuni<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan SISTEM INFORMASI, STMIK Borneo Internasional

Jl. AW. Syahrani No.04, RT.32 Batu Ampar, Balikpapan, Kalimantan Timur 76136.

\*Email: elvin.leander@stmik-borneo.ac.id

### Abstrak

Di era teknologi yang semakin canggih ini, rata-rata masyarakat sudah mulai beralih dari tanda tangan statik yang menggunakan media kertas ke tanda tangan digital dengan menggunakan media pentablet. Maka dari itu kebutuhan akan proses identifikasi tanda tangan digital secara otomatis dengan menggunakan kecerdasan buatan pun semakin banyak diminati. Metode yang peneliti gunakan dalam pengembangan sistem adalah waterfall model yang terdiri dari 6 tahapan. Metode yang digunakan dalam proses identifikasi ini adalah Jaringan syaraf tiruan dengan algoritma Backpropagation. Proses identifikasi ini melewati beberapa tahapan yaitu dari pre-processing data hingga pengolahan citra, citra RGB diubah menjadi grayscale sampai menjadi citra biner yang kemudian digunakan sebagai data input pada proses pelatihan dan pengujian menggunakan Backpropagation. Citra tanda tangan yang telah melewati pre-processing data ini berjumlah 200 sampel yang berasal dari 10 subjek penelitian. Dari 200 citra tersebut, 180 citra digunakan untuk pelatihan dan 20 citra digunakan untuk pengujian. Hasil pengujian pada saat proses pelatihan adalah 75% training = 88.1%, 15% validation = 60.3%, 15% test adalah 59.5% dan 100% all adalah 79.7% sedangkan pada proses pengujian adalah 65%.

**Kata kunci:** backpropagation, identifikasi tanda tangan, tanda tangan digital, jaringan syaraf tiruan

### PENDAHULUAN

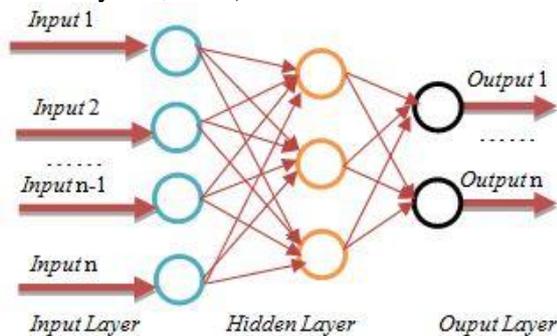
Di Indonesia, tanda tangan digital telah tertera dalam UU Nomor 11 Tahun 2008 Pasal 11 ayat 1 tentang informasi dan Transaksi Elektronik (UU ITE), kemudian Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2012 Pasal 52 ayat 1 dan 2 tentang Penyelenggaraan Sistem dan Transaksi Elektronik (Saputri, 2019). Dengan semakin berkembangnya teknologi saat ini, para ahli berusaha menciptakan komputer atau sistem yang berpikir seperti manusia dengan memper-timbangkan input (masukan) yang diberikan dengan melewati pelatihan-pelatihan. Karena hal inilah Artificial Intelligence (AI) tercipta dan salah satu metodenya adalah jaringan syaraf tiruan.

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) atau Artificial Neural Network (ANN), merupakan suatu metode pemrosesan dimana algoritma pembelajaran dan pemrosesan dimodelkan berdasarkan sistem otak dan jaringan syaraf biologis. JST menggunakan kumpulan neuron abstrak yang tersusun dalam beberapa topologi, dimana pada setiap neuron dilakukan kalkulasi fungsi kemudian hasilnya diubah dan

dikirimkan untuk kalkulasi pada neuron selanjutnya (Lucci and Kopec, 2016).

Backpropagation merupakan salah satu algoritma yang menggunakan metode pembelajaran *supervised learning* dimana berdasarkan dari beberapa penelitian terdahulu dalam sepuluh tahun terakhir, algoritma Backpropagation inilah yang paling banyak digunakan dalam proses pengidentifikasian citra dengan tingkat keberhasilan yang cukup tinggi. Backpropagation memanfaatkan *error output* untuk mengubah nilai-nilai bobot pada arah mundur (*backward pass*), tetapi sebelumnya dilakukan arah maju terlebih dahulu (*forward pass*). Ketika arah maju, neuron-neuron tersebut akan diaktifkan dengan fungsi aktivasi seperti ditunjukkan pada gambar 1. Pada metode ini untuk mendapatkan pencapaian nilai minimum global terhadap nilai error, pengaruh pemilihan bobot awal sangat besar. Nilai bobot awal yang terlalu besar dapat menyebabkan input ke setiap lapisan tersembunyi atau lapisan output akan jatuh didaerah yang memiliki turunan fungsi sigmoid bernilai kecil, dan berlaku pula sebaliknya. Jadi, metode ini melalui 2 tahapan yang berbeda,

yaitu arah maju (*Forward pass*) dan arah mundur (*backward pass*) (Kumalasanti and Dwiandiyanta, 2013).



Gambar 1 Backpropagation Neural Network

Dalam pembuatan sistem kecerdasan buatan dengan menggunakan algoritma Backpropagation ini terdapat 2 permasalahan utama yaitu bagaimana merancang dan membuat desain sistem identifikasi tanda tangan digital menggunakan algoritma Backpropagation serta bagaimana sistem yang sudah dibuat tersebut dapat mengidentifikasi citar yang di input kan dengan benar.

Tujuan dalam penelitian ini adalah merancang sistem yang dapat memproses dan mengekstraksi citra tanda tangan dan merancang sistem yang dapat mengidentifikasi citra tanda tangan kemudian membuat sistem sesuai dengan rancangan yang telah dibuat yang mampu mengenali pemilik citra tanda tangan dengan menggunakan software Matlab 2018a. Sistem identifikasi citra tanda tangan digital ini dapat dipergunakan sebagai alat security sistem misalkan diterapkan di kenoktarisan pada suatu instansi.

**TINJAUAN PUSTAKA**

Telah banyak penelitian yang dilakukan dalam pengenalan tanda tangan. penelitian yang dilakukan Sutrisno dan Fauzi (Sutrisno and Fahruzi, 2016) yang menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation dengan 3 variasi sampel, dengan kertas berwarna dan tinta tanda tangan hitam, tanda tangan kertas putih dan tinta hitam dan yang terakhir pengujian tanda tangan kertas berwarna dan kertas putih dengan tanda tangan tinta hitam, dengan total jumlah sampel sebanyak 925 tandatangan, secara akurat mengidentifikasi tanda tangan digital secara keseluruhan sebesar 89.36%.

Penelitian lain dilakukan oleh Zaitun (Zaitun, Warsito and Pauzi, 2015) yang juga menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation dengan 2 proses pelatihan yang memiliki perlakuan yang berbeda, dimana yang pertama adalah nilai laju pemahaman yang berbeda dan yang kedua jumlah unit yang berbeda. Penelitian ini mampu mengenali tanda tangan sebesar 70%.

Penelitian dari Alqurni dan Muljono (Alqurni and Muljono, 2016), meneliti pengenalan tanda tangan menggunakan metode jaringan syaraf tiruan perceptron dan backpropagation, dengan sampel dari 500 data, 400 data latih dan 100 data uji, dari 10 pemilik tanda tangan. Pada penelitian ini ditemukan bahwa metode Backpropagation memiliki akurasi yang lebih baik (86%) dibandingkan dengan metode Perceptron (76%).

Ketiga penelitian tersebut menggunakan proses *scanning* dari tanda tangan pada kertas ke dalam format digital. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan sampel tanda tangan digital dengan citra berwarna hitam yang berformat bitmap.

**METODE PENELITIAN**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1 untuk perangkat keras dan tabel 2 untuk perangkat lunak yang digunakan, sedangkan untuk bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah citra tanda tangan digital dengan background berwarna putih dan citra berwarna hitam yang berformat bitmap dan berdimensi 189x189. Citra tanda tangan diperoleh dari 10 subjek penelitian dimana masing-masing subjek penelitian memberikan 20 sampel tanda tangan digital sehingga total keseluruhan sampel pada penelitian ini adalah 200 sampel. Dari 200 sampel tersebut peneliti membaginya menjadi 2 bagian yaitu 180 sampel dipergunakan untuk data latih dan 20 sampel dipergunakan untuk data uji.

Tabel 1. Perangkat Keras Penelitian

No	Nama	Spesifikasi
1	Laptop	Processor Intel i3 dan RAM 4 Gb
2	Graptic Pen Tablet	XP-Pen Star G430S

Tabel 2. Perangkat Lunak Penelitian

No	Perangkat Lunak	Fungsi
1	Windows 10	Sistem operasi
2	Paint Apps	Mengolah Tangkapan

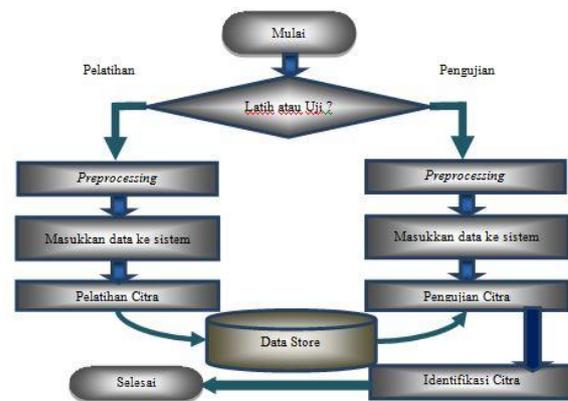
		Gambar Implementasi <i>backpropagation</i>
3	Matlab 2018a	

Tahapan pengolahan citra pada penelitian ini terdiri dari 8 tahap yaitu *grayscale* (I), *resize*, *threshold*, *thinning*, *cropping*, *combine*, *grayscale*(II), dan *edge detection*. *Grayscale* berfungsi untuk menyederhanakan model citra. Pada citra berwarna terdapat 3 layer (lapisan) matrik yaitu R-layer, G-layer dan B-layer. Untuk menggunakan 3 layer tersebut maka dijadikan 1 layer menjadi matrik *grayscale* sehingga menghasilkan citra *grayscale*. Di dalam citra ini sudah tidak ada lagi warna lain, yang ada hanya derajat keabuan(Widyardini, 2015). Pada Matlab terdapat fungsi untuk mengubah ukuran citra seperti yang kita inginkan menggunakan fungsi *imrizeze*. Citra juga dapat dirubah berdasarkan cols dan rows yang kita mau menggunakan fungsi  $I = \text{imrizeze}(\text{image}, [\text{numrows numcols}]$ (MathWorks, no date c). *Threshold* adalah suatu proses untuk merubah citra menjadi citra biner yang mempunyai 2 buah nilai (yaitu 0 untuk warna hitam dan 1 untuk warna putih), yang bertujuan untuk menghilangkan *noise* dari citra(Ricardo, 2012).

Morfologi adalah serangkaian operasi pemrosesan citra yang memproses citra berdasarkan bentuk citra tersebut dimana pada operasi ini setiap piksel dalam citra akan disesuaikan berdasarkan nilai piksel yang lain di sekitarnya atau yang terdekat dengan piksel tersebut (MathWorks, no date d). Salah satu operasi morfologis adalah *thinning* dimana piksel yang terendah dipadatkan menjadi satu dengan nilai piksel yang terbesar. *Cropping* pada Matlab dapat menggunakan *imcrop* yang dapat membuat citra terpotong pada ukuran tertentu. Citra dapat berupa citra berwarna atau RGB dengan 3 dimensi, citra logical array maupun citra abu-abu atau *grayscale*(MathWorks, no date a). *Combine* pada Matlab kita dapat menggabungkan 2 citra menjadi satu kesatuan maupun beberapa citra menjadi 1 citra dengan menggunakan *imfuse*. Jika citra A dan citra B yang akan digabung menjadi 1 memiliki ukuran yang berbeda maka *imfuse* mengisi dimensi yang lebih kecil dengan nol sehingga kedua gambar memiliki ukuran yang sama. Keluaran atau hasil dari

*imfuse* ini adalah citra C yang merupakan gabungan dari citra A dan B (MathWorks, no date b). *Edge detection* berfungsi untuk melihat apakah suatu tepi (*edge*) melewati atau berada di dekat suatu titik (pixel) dalam sebuah citra. Tepi itu sendiri adalah batas antara dua wilayah dengan sifat tingkat keabuan yang relatif berbeda(Alqurni and Muljono, 2016). Dalam teknik ini, diasumsikan bahwa tepi adalah pixel yang mempunyai nilai gradien tinggi. Gradien itu sendiri adalah ukuran besarnya perubahan intensitas yang terjadi.

Algoritma yang digunakan pada proses identifikasi citra adalah algoritma *Backpropagation* dengan pembelajaran terbimbing karena hasil atau tujuannya telah ditetapkan sebelumnya. Pada proses pelatihan peneliti menggunakan *nprtool* (*Neural pattern recognition tools*) dan untuk proses pengujian peneliti membuat GUI (*Graphic User Interface*) dimana menampilkan hasil pengolahan citra dan hasil identifikasi citra. Untuk diagram alir Identifikasi citra tanda tangan digital dapat dilihat pada gambar 2.



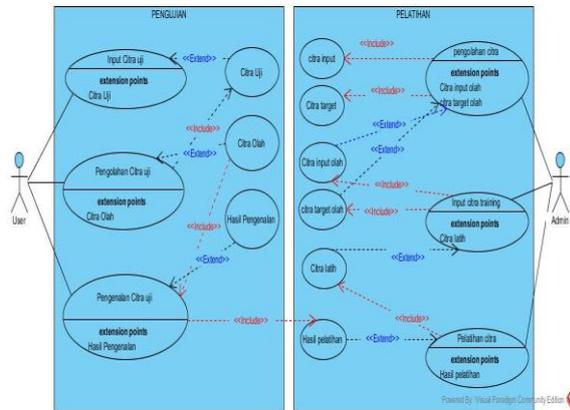
Gambar 2. Diagram Alir Identifikasi Citra Tanda Tangan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Desain Sistem

*Use case* diagram pada proses pelatihan dan pengujian dapat dilihat pada gambar 3 dimana terdapat 2 aktor yaitu *admin* yang dapat melakukan proses pengolahan citra serta pelatihan dan pengujian citra dan yang kedua adalah *user* yang dapat melakukan proses pengolahan dan pengujian citra. Pada proses pelatihan, hasil pelatihan terbaik akan disimpan dalam bentuk *network* dimana *network* tersebut

nantinya akan dipergunakan pada proses pengujian.



Gambar 3. Use Case Diagram Pelatihan dan Pengujian

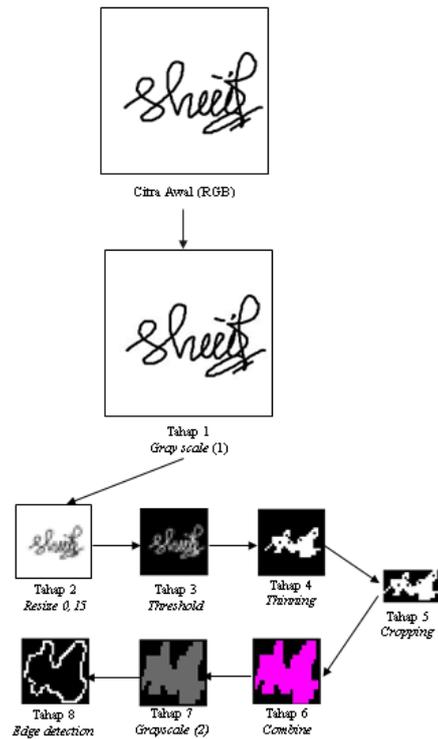
### 3.2 Implementasi Sistem

Salah satu contoh hasil pengolahan citra dapat dilihat pada gambar 4 yang memperlihatkan 8 tahap proses pengolahan citra dimana hasil dari pengolahan citra tersebut akan digunakan sebagai data latih atau data input.

Pada tahap 1 ini citra RGB yang memiliki 3 dimensi tersebut dirubah menjadi 1 dimensi dengan menggunakan *grayscale* sehingga dimensi citra yang awalnya adalah 3 dimensi yaitu 3x189x189 dirubah menjadi 1 dimensi saja yaitu 1x189x189.

Pada tahap 2 citra yang sudah dirubah menjadi 1 dimensi ini diperkecil ukurannya dengan menggunakan *resize* sebesar 0.15 sehingga dimensi citra tersebut menjadi 1x29x29. Pengecilan ukuran citra ini selain untuk meminimalisir lama waktu ketika proses pelatihan juga untuk mempermudah pengaturan target.

Pada tahap 3 citra yang sudah diperkecil ukurannya akan ditentukan nilai batas dimana prosesnya didasarkan pada perbedaan derajat keabuan. Pada tahap ini jika nilai intensitas citra tersebut lebih dari atau sama dengan nilai batas maka akan dirubah menjadi putih (1) sedangkan apabila nilai intensitas citra kurang dari nilai batas maka akan dirubah menjadi hitam (0).



Gambar 4. Hasil Pengolahan Citra

Pada tahap 4 dilakukan proses *morphological* yaitu proses *thinning* dimana dilakukan penghapusan piksel latar depan pada citra biner sehingga mengurangi semua garis menjadi ketebalan piksel tunggal.

Pada tahap 5 dilakukan proses *cropping* secara otomatis dengan hasil ukuran yang berbeda-beda tiap citra. Dikarenakan dalam proses pelatihan dan pengujian diperlukan semua sampel harus memiliki ukuran yang sama, sehingga untuk menyamakan semua ukuran pada citra yang telah melalui proses *cropping* ini peneliti menciptakan 1 matrix kosong berukuran 1x29x29 yang nantinya akan digabungkan dengan menggunakan *combine* pada tahap 6.

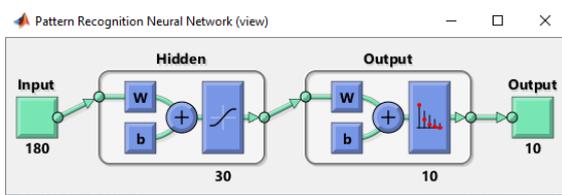
Pada tahap 6 dilakukan proses *combine* antara citra hasil *cropping* dengan matrix kosong yang berukuran 1x29x29 yang telah peneliti buat.

Pada tahap 7 dilakukan proses *grayscale* kembali setelah dilakukan proses kombinasi di tahap 6. Setelah itu pada tahap 8 dilakukan proses deteksi tepi atau *edge detection* yang memiliki fungsi untuk menentukan garis batas suatu objek yang ada pada citra tersebut.

Setelah semua citra yang akan digunakan untuk proses pelatihan telah melewati 8 tahapan pengolahan citra tersebut, maka masing-masing

citra yang berukuran 1x29x29 yang memiliki matrix ukuran 29x29 ini akan dirubah menjadi 1 row matrix yaitu menjadi 1x841. Setelah semua citra latih yang berjumlah 180 citra telah dirubah menjadi 1 row matrix, maka seluruh citra latih tersebut digabung menjadi 1 matrix yang berukuran 180x841 dimana setiap baris dari matrix tersebut merupakan 1 sampel latih.

Pada proses pelatihan, Architecture yang peneliti gunakan dapat dilihat pada gambar 5 yaitu input yang berjumlah 180, 1 hidden layer yang berjumlah 30 dan output berjumlah 10.



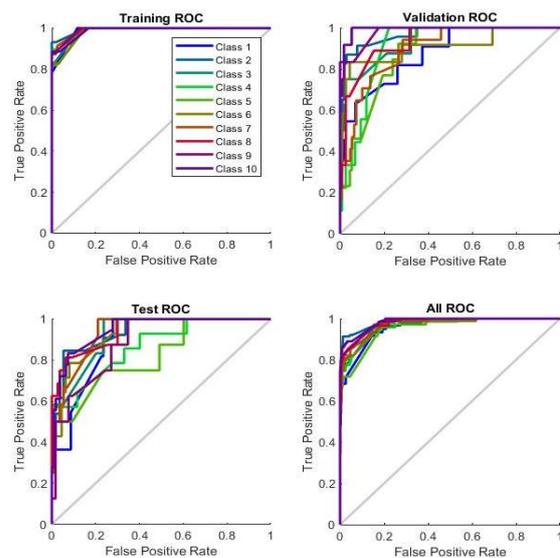
Gambar 5. Network Architecture

Pembagian data latih yang berupa matrix 180x841 tersebut peneliti atur sesuai default dari matlab yaitu 70% untuk *training*, 15% untuk *testing* dan 15% untuk *validation*. Hasil dari proses pelatihan dapat dilihat pada gambar 6 dimana hasil *training* disebelah kanan atas dibagi 3 yaitu *training*, *validation* dan *testing*. Pada *training* terlihat bahwa CE (*crossentropy*) lebih rendah dibandingkan *validation* dan *testing* dimana semakin rendah nilai-nilainya atau values maka semakin bagus klasifikasinya. Selain itu pada *training* juga terlihat bahwa persentase error (%E) juga lebih rendah dibandingkan *validation* dan *testing* dimana semakin rendah nilainya atau values maka semakin kecil kemungkinan salah dalam proses klasifikasi dan jika nilainya 0 maka sudah dapat dipastikan tidak ada kesalahan dalam proses klasifikasi.

Results	Samples	CE	%E
Training:	589	1.51744e-0	11.88455e-0
Validation:	126	4.68238e-0	39.68253e-0
Testing:	126	4.70195e-0	40.47619e-0

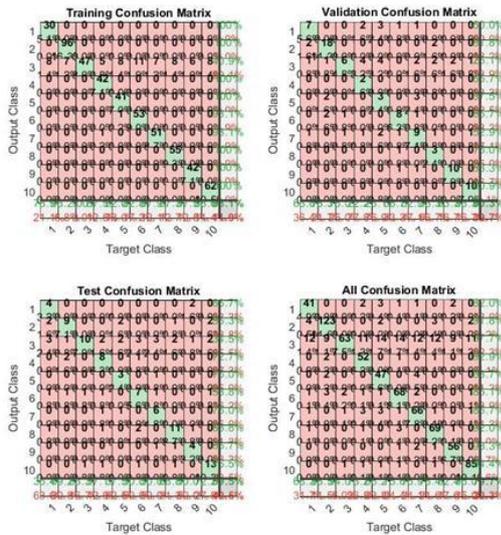
Gambar 6. Hasil Pelatihan

Pada gambar 7 terdapat 4 grafik yaitu *training*, *validation*, test dan all dimana grafik all ini merupakan gabungan dari 3 grafik sebelumnya (*training*, *validation* dan test). ROC (*Receiver Operating Characteristic*) pada grafik *training* dapat dilihat semua garis berwarna yang merupakan perwakilan dari setiap *class* tersebut semua mendekati angka 1 pada *true positive rate* sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas pengklasifikasian pada proses *training* ini tergolong bagus dibandingkan pada *validation* dan test ROC. Serta dapat dilihat pada grafik all ROC dimana 10 garis yang mewakili 10 *class* tersebut hampir semuanya mendekati angka 1 pada *true positive rate* juga. Pada gambar diatas juga terlihat bahwa tidak ada garis yang mewakili setiap 10 *class* tersebut yang mendekati angka 1 pada *false positive rate* dimana jika ada garis yang mendekati angka tersebut menandakan buruknya proses pengklasifikasian.



Gambar 7. Grafik ROC Pelatihan

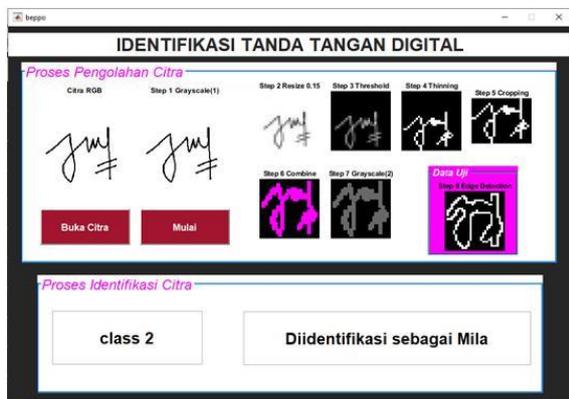
Pada gambar 8 terlihat bahwa terdapat 4 confusion matrix yaitu *training*, *validation*, test dan all dimana rata-rata confusion matrix pada *training* adalah 88.1%, pada *validation* adalah 60.3%, pada test adalah 59.5% dan pada all adalah 79.7%.



Gambar 8 Confusion Matrix Pelatihan

Output *class* adalah hasil keluaran dari proses klasifikasi dan target *class* adalah hasil yang sudah ditetapkan atau diharapkan. Output yang bagus dapat dilihat dari jumlah angka yang ada di kolom berwarna hijau dimana semakin tinggi jumlah ya-ng ada dikolom warna hijau dibandingkan dengan kolom yang berwarna merah me-rupakan bukti bahwa tingkat error pada proses klasifikasi sangat kecil dan jika tidak ada nilai yang berada di kolom merah maka dapat dipastikan tidak ada error pada proses klasifikasi.

Pada proses pengujian, peneliti membuat GUI (Graphical User In-terface) menggunakan MATLAB yang dibagi menjadi 2 tahap yaitu hasil pengolahan citra dan hasil identifikasi citra. GUI yang telah peneliti rancang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. GUI Sistem Identifikasi Tanda Tangan Digital

Proses pengujian menggunakan 20 sampel data uji yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 3 dimana pada tabel tersebut terdapat 7 *misclasification* dari 20 sampel yang diuji sehingga tingkat keberhasilan pada proses pengujian ini adalah  $13/20 * 100\% = 65\%$ .

NO	DATA UJI	HASIL	NO	DATA UJI	HASIL
1	Class 1 Desi	Class 7	11	Class 6 Putri	Class 6
2	Class 1 Desi	Class 3	12	Class 6 Putri	Class 6
3	Class 2 Mila	Class 2	13	Class 7 Dea	Class 7
4	Class 2 Mila	Class 2	14	Class 7 Dea	Class 7
5	Class 3 Sherly	Class 3	15	Class 8 Erni	Class 4
6	Class 3 Sherly	Class 8	16	Class 8 Erni	Class 3
7	Class 4 Wulan	Class 6	17	Class 9 Jehi	Class 1
8	Class 4 Wulan	Class 4	18	Class 9 Jehi	Class 9
9	Class 5 Okta	Class 5	19	Class 10 Vita	Class 10
10	Class 5 Okta	Class 5	20	Class 10 Vita	Class 10

Gambar 10 Hasil Pengujian

Salah satu contoh *misclasification* adalah pada nomor 1 dan 2 yang seharusnya teridentifikasi sebagai class 1 karena nomor 1 dan 2 merupakan sampel uji dari class 1 tetapi teridentifikasi sebagai class 3. Begitu juga dengan nomor 6, 7, 15, 16 dan 17 juga terjadi *misclasification* yang mengakibatkan tanda tangan gagal teridentifikasi dengan tepat.

Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan *over fitting* pada proses *training* dan kurangnya ciri khas pada citra tersebut sehingga memiliki banyak kemiripan antara citra satu dengan citra lainnya serta sampel data yang digunakan pada saat *training* memiliki tingkat kemiripan yang masih kurang antara 1 sampel dengan sampel lain-nya dalam 1 class. Selain itu penentuan target pada proses pelatihan juga dapat berpengaruh pada proses klasifikasi citra dimana penentuan target yang kurang tepat dapat mengakibatkan *misclassification* serta *over fitting* pada proses pelatihan.

**KESIMPULAN**

Pada penelitian kali ini peneliti telah berhasil merancang dan membuat sistem yang dapat memproses dan mengekstrasi citra tanda tangan yang berformat bitmap dengan baik. Citra yang diperoleh menggunakan media pentablet ini awalnya berdimensi 3x189x189

diolah melalui 8 tahap pemrosesan citra sehingga citra tersebut berdimensi 1x29x29.

Pada penelitian kali ini peneliti telah berhasil melakukan *training* untuk membangun network yang nantinya dapat digunakan untuk *testing* atau pengujian. Pada saat *training* tingkat error pada saat *training* mendekati zero dan poses klasifikasi adalah 75% *training* = 88.1%, 15% *validation* = 60.3%, 15% test adalah 59.5% dan 100% all adalah 79.7%. Pada saat pengujian peneliti menggunakan 2 sampel untuk setiap *class* nya dengan total sampel uji adalah 20 dimana tingkat keberhasilan pada proses pengujian ini adalah 65%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alqurni, R. P. and Muljono (2016) 'PENGENALAN TANDA TANGAN MENGGUNAKAN METODE JARINGAN SARAF TIRUAN PERCEPTRON DAN BACKPROPAGATION', *Techno.com Jurnal Teknologi Informasi*, 15(4), pp. 352–363.
- Kumalasanti, R. A. and Dwiandiyanta, B. Y. (2013) 'Identifikasi tanda tangan statik menggunakan jaringan syaraf tiruan backpropagation dan wavelet haar', *Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri*, 43(0274), pp. 93–100.
- Lucci, S. and Kopec, D. (2016) *ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE 21ST CENTURY A Living Introduction*. 2nd edn, Mercury Learning and Information. 2nd edn. Dulles: David Pallai.
- MathWorks *imcrop*, The MathWorks, Inc. Available at: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imcrop.html> (Accessed: 16 January 2021).
- MathWorks *Imfuse*, The MathWorks, Inc. Available at: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imfuse.html#bta33ue> (Accessed: 16 January 2021).
- MathWorks *imresize*, The MathWorks, Inc. Available at: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/imresize.html> (Accessed: 16 January 2021).
- MathWorks *morphological-filtering*, The MathWorks, Inc. Available at: <https://www.mathworks.com/help/images/morphological-filtering.html> (Accessed: 16 January 2021).
- Ricardo, I. (2012) 'Pengenalan Tanda Tangan melalui Pengolahan Citra Digital dan Jaringan Saraf Tiruan Radial Basis Function', *Jurnal Sistem Informasi Universitas Pelita Harapan*, pp. 153–158.
- Saputri, Y. D. (2019) 'Pengertian Tanda Tangan Digital dan Cara Membuatnya di Android', *Liputan 6*. Available at: [https://www.liputan6.com/tekno/read/3920688/pengertian-tanda-tangan-digital-dan-cara-membuatnya-di-android?utm\\_expid=.9Z4i5ypGQeGiS7w9arwTvQ.0&utm\\_referrer=](https://www.liputan6.com/tekno/read/3920688/pengertian-tanda-tangan-digital-dan-cara-membuatnya-di-android?utm_expid=.9Z4i5ypGQeGiS7w9arwTvQ.0&utm_referrer=).
- Sutrisno, A. and Fahrudi, I. (2016) 'Identifikasi Tandatangan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation', *Jurnal Inovtek Polbeng - Seri Informatika*, 1(2), pp. 161–168. Available at: [http://etd.repository.ugm.ac.id/index.php?mod=penelitian\\_detail&sub=PenelitianDetail&act=view&typ=html&buku\\_id=39946](http://etd.repository.ugm.ac.id/index.php?mod=penelitian_detail&sub=PenelitianDetail&act=view&typ=html&buku_id=39946).
- Widyardini, S. T. (2015) *Pemrograman Matlab untuk Pengolahan Citra Digital: Studi Kasus Sistem Pemantau Ruangan Pengganti CCTV*. Malang: UB Press.
- Zaitun, Warsito and Pauzi, G. A. (2015) 'Sistem Identifikasi dan Pengenalan Pola Citra Tanda-Tangan Menggunakan Sistem Jaringan Saraf Tiruan ( Artificial Neural Networks ) Dengan Metode Backpropagation', *JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika FMIPA Universitas Lampung*, 03(02), pp. 93–101.