

ANALISIS PENGARUH EKSPRESI WAJAH TERHADAP AKURASI ALGORITMA PENGENALAN WAJAH BERBASIS PEMELAJARAN STRUKTURAL MENDALAM MENGGUNAKAN ARSITEKTUR CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

Bagus Nur Cahyadi¹, 21701053037¹, Bambang Minto Basuki², Oktriza Melfazen³
Mahasiswa Teknik Elektro¹, Dosen Teknik Elektro^{2,3}, Universitas Islam Malang
cahyadibagus45@gmail.com

ABSTRAK

Pemelajaran struktural mendalam dengan arsitektur CNN (*convolutional neural network*) sering digunakan sebagai metode untuk melakukan pengenalan wajah. Pada beberapa penelitian sebelumnya, belum diungkapkan tentang akurasi pengenalan wajah menggunakan CNN ini jika ekspresi wajah individu berubah. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi ekspresi wajah yang beragam pada akurasi pengenalan individu menggunakan CNN. Pada spesifikasi awal, digunakan sampling 30 individu yang masing-masing didapatkan citra wajahnya dengan 7 macam ekspresi, yaitu netral, senang, terkejut, jijik, sedih, marah, dan takut. Terdapat satu varian citra pada proses pelatihan (*training*), sementara pada proses pengenalan digunakan 3 varian citra untuk tiap individu. Dimensi sebesar 200×200 piksel digunakan untuk menjadi masukan pada *convolutional layer*. Pada saat pengujian, sampling yang digunakan adalah 10 individu dengan citra berukuran 100×100. Dengan kemampuan proses di atas rata-rata (Intel Core-i7 (8 core) berkecepatan 2,4 GHz dan memori sebesar 12 GB), proses pelatihan memakan waktu hingga sekitar 2.341 menit. Sedangkan proses pengenalan untuk 10 individu tersebut bisa dilakukan menggunakan Core2Duo 2 core 1,8 GHz dan memori 4 GB selama 6 menit. Hasil pengujian pada pengenalan 10 individu dengan 7 macam ekspresi tersebut menunjukkan nilai akurasi rata-rata 91,7%.

Kata kunci: *pengenalan wajah, ekspresi wajah, pemelajaran struktural mendalam, convolutional neural network*

I. PENDAHULUAN

Sistem pengenalan wajah adalah teknologi yang dapat melakukan pencocokan wajah manusia dari citra digital melalui basis data wajah. Teknologi pengenalan wajah juga bisa diaplikasikan dalam sistem presensi, yang memiliki keunggulan utama sebagai interaksi nirkontak [1] [2] [3]. Sistem ini dikategorikan sebagai biometrik. Akurasi sistem pengenalan wajah sebagai teknologi biometrik lebih rendah, namun banyak dipakai karena prosesnya yang bersifat nirkontak [2], di mana subjek cukup diambil citra wajahnya tanpa harus melakukan kontak langsung dengan perangkat [4].

Algoritma dari sistem pengenalan wajah bekerja dengan cara membuat titik-titik dan mengukur fitur-fitur wajah dari citra yang diberikan [1] [2] [3]. Meskipun akurasi sistem pengenalan wajah sebagai teknologi biometrik lebih rendah dibandingkan pengenalan iris dan pengenalan sidik jari, sistem tersebut banyak dipakai karena prosesnya yang bersifat nirkontak [2], di mana subjek cukup diambil citra wajahnya tanpa harus melakukan kontak langsung dengan perangkat [4].

Salah satu pendekatan pemelajaran mesin (*machine learning*) untuk pengenalan wajah adalah menggunakan pemelajaran struktural mendalam (*deep structured learning* atau *deep learning*). Pemelajaran mesin sendiri merupakan studi tentang algoritma yang dapat ditingkatkan secara otomatis melalui pengalaman dan penggunaan data, yang merupakan bagian dari kecerdasan buatan

(*artificial intelligence*) [5]. Pemelajaran struktural mendalam terdiri dari algoritma pemodelan abstraksi tingkat tinggi pada data menggunakan sekumpulan fungsi transformasi non-linear yang ditata berlapis-lapis dan mendalam [6].

Pada penelitian ini, akan digunakan arsitektur CNN (*convolution neural network* – jaringan saraf konvolusi) sebagai pendekatan pemelajaran struktural mendalam pada sistem pengenalan wajah yang dibahas. Sebuah implementasi algoritma pengenalan wajah dengan menerapkan arsitektur CNN ini akan dirancang dan dikembangkan menggunakan kompilator Lazarus (*free Pascal*) guna mengetahui tingkat akurasinya terhadap ekspresi wajah yang bervariasi.

Pilihan terhadap arsitektur CNN tersebut didasarkan pada keunikan prosesnya yang bersifat *equivariant* (memiliki simetri yang sama) terhadap operasi translasi [7] [8] [9]. Sedangkan pemilihan pengangkatan topik pengenalan dengan ekspresi wajah yang bervariasi tersebut sesuai dengan survei yang telah dilakukan oleh Madan Lal, *et.al*, pada tahun 2018 [10], yang menarik kesimpulan tentang pentingnya pengembangan sistem pengenalan wajah yang mampu melakukan analisis ekspresi wajah yang bervariasi (dalam pencahayaan dan pose yang bisa berubah dari waktu ke waktu) [10]. Variasi jenis ekspresi wajah yang digunakan adalah sebanyak tujuh macam, mengacu pada klasifikasi emosi universal pada wajah manusia, sesuai dengan penelitian oleh Z. Hammal, *et.al*, pada tahun 2007,

yaitu ekspresi wajah netral, senang, terkejut, jijik, sedih, marah, dan takut [11].

Berdasarkan latar belakang di atas yang telah ditulis sebelumnya maka pada penelitian ini memiliki beberapa permasalahan yang akan diteliti:

1. Bagaimana melakukan implementasi algoritma pengenalan wajah berbasis pemelajaran struktural mendalam dengan arsitektur CNN menggunakan kompilator Lazarus *free Pascal*.
2. Bagaimana pengaruh variasi ekspresi wajah dan variasi kasus pemelajaran terhadap tingkat akurasi pengenalan wajah setiap individu berbasis pemelajaran struktural mendalam dengan arsitektur CNN.

Sedangkan tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan implementasi algoritma pengenalan wajah berbasis pemelajaran struktural mendalam dengan arsitektur CNN pada kompilator Lazarus.
2. Mengetahui tingkat akurasi pengenalan wajah berbasis pemelajaran struktural mendalam dengan arsitektur CNN pada beberapa kasus pemelajaran yang bervariasi.
3. Mengetahui pengaruh variasi ekspresi wajah terhadap tingkat akurasi pengenalan wajah berbasis pemelajaran struktural mendalam dengan arsitektur CNN.

Pada tahun 2019, Budi Nugroho, dkk., memublikasikan penelitian yang berjudul “Pengenalan Multi-Wajah Menggunakan Metode Ekstraksi Fitur Viola Jones untuk Presensi Perkuliahan”. Dalam penelitian tersebut, sistem pengenalan wajah dikembangkan untuk mengidentifikasi data wajah dari sebuah lingkungan, yang kemudian mendeteksi dan mengenali setiap wajah tersebut. Eksperimen dilakukan menggunakan data video dari sebuah lingkungan dengan banyak. Proses akuisisi citra melalui data video dilakukan dari arah depan. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan menggunakan metode ekstraksi fitur wajah Viola Jones, didapatkan akurasi pengenalan wajah yang mencapai 81% [4].

Pada tahun 2020, Afrizal Laksita Akbar, dkk., melakukan penelitian dan memublikasikannya dengan judul “Pengenalan Wajah Menggunakan Metode *Deep Neural Networks* dengan Perpaduan Metode *Discrete Wavelet Transform*, *Stationary Wavelet Transform*, dan *Discrete Cosine Transform*”. Penelitian tersebut berfokus pada penggabungan metode *discrete wavelet transform* dan *stationary wavelet transform* untuk meningkatkan kualitas citra. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggabungan 4 metode yang diusulkan diperoleh tingkat akurasi yang paling baik sebesar 92,73%; dibandingkan dengan metode *histogram equalization* sebesar 80,73%; metode *discrete wavelet transform* sebesar 85,85%; metode

stationary wavelet transform sebesar 64,27%; metode *discrete cosine transform* sebesar 89,50%; penggabungan *discrete wavelet transform* dan *stationary wavelet transform* mencapai 86,89%; penggabungan *histogram equalization*, *discrete wavelet transform*, dan *stationary wavelet transform* mencapai 69,77%; serta penggabungan *stationary wavelet transform*, *discrete wavelet transform*, dan *histogram equalization* mencapai 77,39% [12].

Pada tahun 2021, Novia Farhan Nissa, et. al, memublikasikan penelitian yang berjudul “*Application of Deep Learning Using Convolutional Neural Network (CNN) Method for Women’s Skin Classification*”, yang bertujuan untuk membantu menentukan produk kosmetik dan perawatan wajah wanita sesuai dengan jenis kulitnya. Pada penelitian tersebut, *convolutional neural networks* (CNN) digunakan sebagai metode untuk menentukan klasifikasi kulit wajah wanita yang berusia 20 tahun hingga 30 tahun. Hasil proses pemelajaran menggunakan CNN pada penelitian tersebut didapatkan nilai 67% [13].

Pada tahun 2021, Peng Lu, et al., melakukan sebuah riset dan menerbitkannya dengan judul “*Human Face Recognition based on Convolutional Neural Network and Augmented Dataset*”, yang merupakan penelitian dengan tema perpaduan CNN dengan himpunan data tambahan (*augmented dataset*). Pada penelitian tersebut, himpunan data kecil awal ditambah menjadi himpunan data besar menggunakan beberapa transformasi pada citra wajah manusia. Akurasi yang dicapai pada metode ini adalah sebesar 99,5% [14].

Sebuah survei yang dilakukan pada tahun 2018 oleh Madan Lal, et al., telah dipublikasikan dengan judul “*Study of Face Recognition Techniques: a Survey*”, yang mengidentifikasikan fitur-fitur wajah yang menambah kompleksitas proses pengenalan, antara lain perbedaan garis wajah, efek penuaan, efek pencahayaan citra, dan penutupan sebagian. Selama ini masih terdapat hal-hal yang harus ditingkatkan pada penelitian tentang sistem pengenalan wajah dalam rangka meningkatkan akurasi dan efisiensinya [10].

Dalam beberapa penelitian terdahulu, telah dilakukan implementasi sistem pengenalan wajah untuk presensi [4], analisis perpaduan beberapa metode sistem pengenalan wajah [12], aplikasi metode CNN untuk klasifikasi kulit wajah [13], dan perpaduan metode CNN dengan himpunan data tambahan [14]. Namun masih belum terdapat studi yang mengulas dan melakukan analisis mendalam pada pengenalan wajah dengan ekspresi yang bervariasi.

Sesuai dengan kesimpulan yang didapatkan pada survei oleh Madan Lal, et al., pada tahun 2018 [10], maka pada penelitian ini akan diangkat topik utama tentang pengaruh variasi ekspresi terhadap akurasi pengenalan wajah berbasis pemelajaran

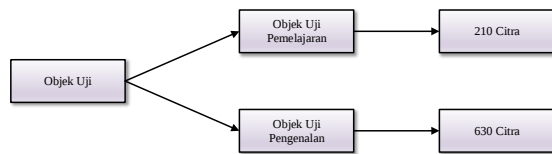
struktural mendalam dengan arsitektur CNN. Hal tersebut yang sekaligus menjadi titik fokus dari sisi kebaruan dan orisinalitas (*novelty*) penelitian ini.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, diambil metode berupa langkah-langkah yang meliputi:

1. Pengambilan Citra Pemelajaran;
2. Pengambilan Citra Pengenalan;
3. Implementasi CNN Menggunakan Lazarus;
4. Proses Pengujian Implementasi;
5. Rekapitulasi Hasil Pengujian Menggunakan *Confusion Matrix*; dan
6. Kesimpulan.

Secara garis besar spesifikasi objek pengujian digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Garis besar spesifikasi objek pengujian.

Empat rincian yang perlu ditentukan meliputi: format dan aturan pengambilan citra, ragam ekspresi wajah yang dimasukkan ke dalam parameter uji, jumlah citra untuk pemelajaran, serta jumlah citra untuk pengenalan.

2.1. Ragam Ekspresi Wajah

Ekspresi wajah yang termasuk dalam pengujian ditentukan berdasarkan tujuh emosi universal pada studi dalam hal ekspresi wajah yang telah dilakukan oleh Z. Hammal, *et al.*, pada tahun 2007 [11]. Oleh karena itu, ditentukan bahwa tujuh ekspresi wajah universal yang digunakan adalah:

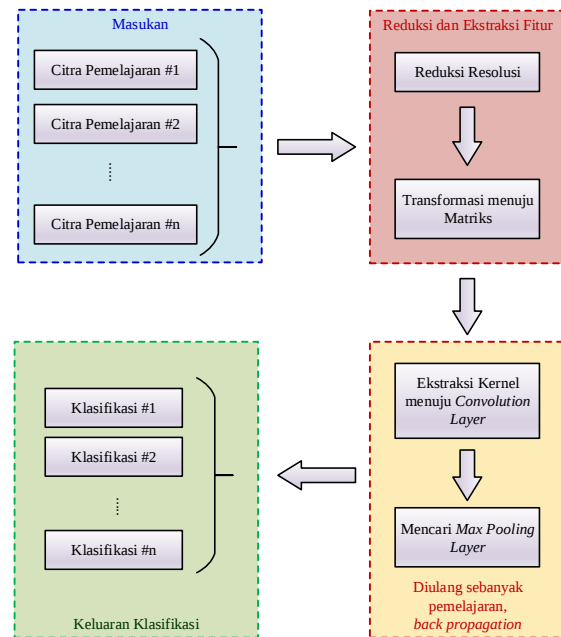
1. Ekspresi netral (*neutral*);
2. Ekspresi senang (*joy*);
3. Ekspresi terkejut (*surprised*);
4. Ekspresi jijik (*disgust*);
5. Ekspresi sedih (*sadness*);
6. Ekspresi marah (*anger*); dan
7. Ekspresi takut (*fear*).

Klasifikasi tersebut didapatkan berdasarkan data yang berasal dari teknik segmentasi kontur wajah, yang dapat dibaca dari pola fitur-fitur wajah kunci (mulut, mata, dan alis) dan menurunkan koefisien jarak sederhana dari setiap citra wajah dengan ekspresi berbeda.

2.2. Rancangan Sistem Pengenalan Wajah

Sistem pengenalan wajah yang akan diuji pada penelitian ini menggunakan metode pemelajaran struktur mendalam dengan arsitektur CNN (*convolutional neural network*). Secara umum, rancangan implementasi dari sistem pengenalan wajah yang dilakukan ini terbagi atas dua bagian, yaitu pemelajaran dan pengenalan. Fase pemelajaran adalah proses berulang untuk sistem melatih (*learning* atau *training*) jaringan syaraf

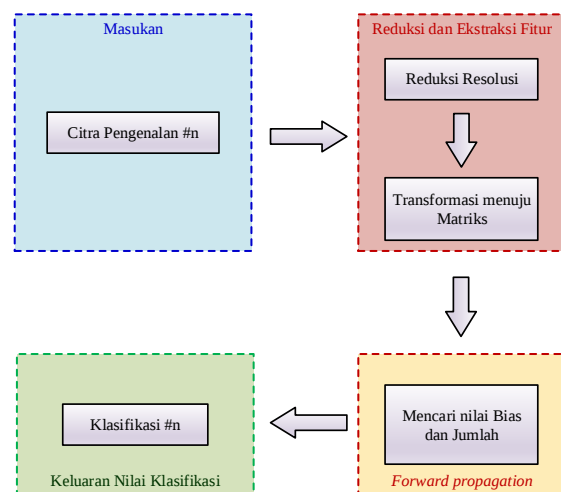
pada lapisan-lapisan sehingga nilai keluaran sesuai dengan klasifikasi (identifikasi individu dari citra).



Gambar 2. Rancangan umum proses pemelajaran pada CNN.

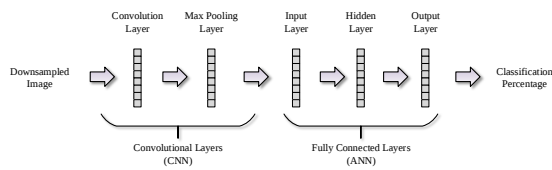
Pada fase ini, semua citra pemelajaran dimasukkan pada sekumpulan data (*dataset*), untuk kemudian diproses secara berulang-ulang hingga didapatkan keluaran yang sesuai, yang disebut dengan *back propagation*. Diagram dari rancangan umum proses pemelajaran ditunjukkan pada Gambar 2.

Proses pengenalan (*testing* atau *recognition*) lebih sederhana, yaitu dengan melakukan *forward propagation* berdasarkan nilai bobot yang sudah tersimpan. Fase pengenalan ini hanya membutuhkan masukan citra wajah yang akan dikenali, dan kemudian akan menghasilkan nilai keluaran berupa identifikasi individu dari citra yang dikenali, seperti halnya ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rancangan umum proses pengenalan pada CNN.

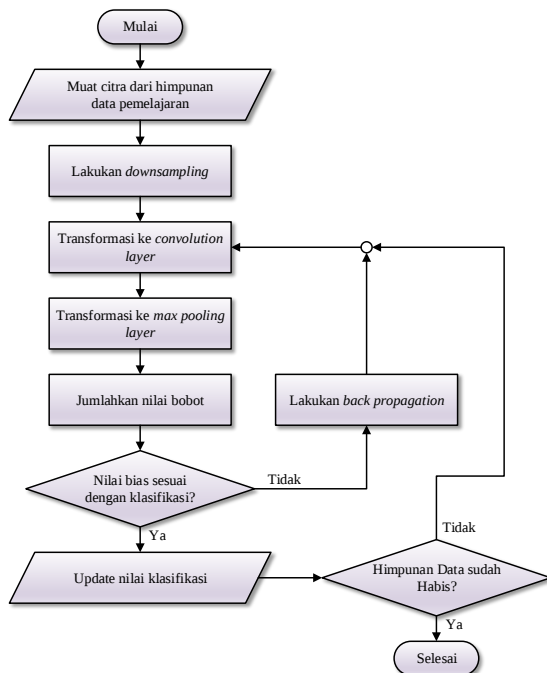
Algoritma CNN yang dirancang juga dibagi menjadi dua, yaitu algoritma untuk pembelajaran (*training*) dan algoritma untuk pengenalan (*recognition*).



Gambar 4. Struktur lapisan jaringan syaraf yang dibentuk pada penelitian ini.

Pada Gambar 4 ditunjukkan struktur lapisan yang membangun jaringan syaraf pada penelitian ini. Bagian *convolutional layers* terdiri dari *convolution layer* dan *max pooling layer*, yang melakukan proses inti dari CNN. Sedangkan bagian *fully connected layers* terdiri dari *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*, yang melakukan proses inti dari ANN.

Algoritma utama proses pembelajaran dinyatakan dengan diagram alir yang digambarkan pada Gambar 5.

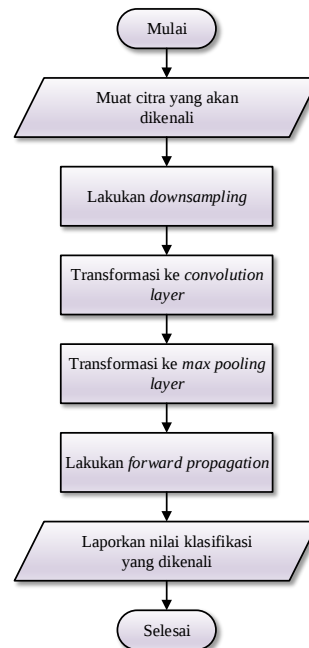


Gambar 5. Diagram alir algoritma utama pembelajaran pada CNN.

Nilai bobot yang telah dijumlahkan dioperasikan sehingga menghasilkan nilai klasifikasi. Nilai bias dihitung berdasarkan selisih dari nilai klasifikasi sesungguhnya (identifikasi dari masing-masing citra wajah pembelajaran) terhadap nilai klasifikasi yang terbentuk. Jika nilai yang dihasilkan pada *output layer* masih terlalu tinggi terhadap nilai batas yang ditentukan sesuai dengan individu yang sedang dipelajari, maka dilakukan proses *back propagation* kembali untuk meremajakan (*updating*) bobot-bobot syaraf dan sinapsis pada *hidden layer*. Proses ini dilakukan

hingga mendapatkan nilai bias yang cukup rendah atau hingga batas iterasi maksimal yang ditentukan. Proses akan berlangsung untuk semua himpunan data, yaitu semua citra pembelajaran yang ada.

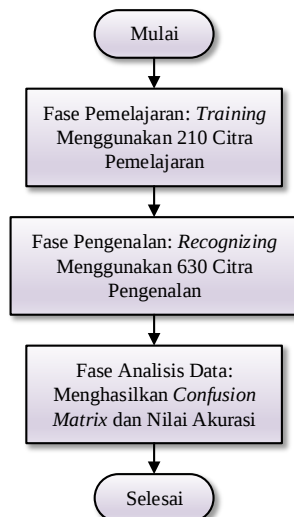
Proses pembelajaran akan menghasilkan nilai bobot dalam jaringan syaraf pada semua lapisan yang akan disimpan pada memori atau penyimpanan sekunder. Data nilai bobot yang disimpan tersebut yang akan dipakai untuk melakukan proses pengenalan citra wajah selanjutnya. Algoritma utama proses pengenalan wajah ditunjukkan dengan diagram alir pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir algoritma utama pengenalan pada CNN.

2.3. Strategi dan Rencana Pengujian

Secara garis besar, langkah-langkah utama dari strategi dan rencana pengujian digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir langkah-langkah strategi dan rencana pengujian.

Strategi pengujian implementasi sistem pengenalan wajah menggunakan arsitektur CNN ini dilakukan dengan dengan tiga langkah utama:

1. Fase pelatihan, yaitu melakukan *training* pada sistem menggunakan 210 citra wajah dari 30 individu (masing-masing individu terdapat tujuh citra dengan tujuh macam ekspresi wajah).
2. Fase pengenalan, yaitu membiarkan sistem melakukan *recognition* pada 630 citra wajah dari 30 individu (masing-masing individu terdapat 21 citra dengan tujuh macam ekspresi wajah).
3. Fase analisis data, yaitu memasukkan semua hasil dari pengujian pengenalan pada *confusion matrix*.

Setelah nilai akurasi dari proses pengenalan didapatkan, maka nilai tersebut akan dibandingkan dengan nilai akurasi jika hanya menggunakan satu jenis ekspresi wajah, yaitu ekspresi netral. Dari hasil perbandingan tersebut, akan bisa didapatkan pengaruh atau korelasi nilai akurasi sistem pengenalan wajah menggunakan arsitektur CNN ini terhadap jenis ekspresi wajah yang bervariasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Persiapan Objek Uji

Objek uji yang ada pada penelitian ini terdiri dari dua bagian, yaitu:

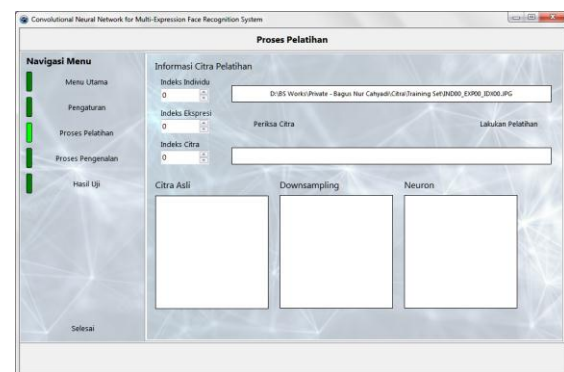
1. Citra wajah yang akan digunakan dalam proses pelatihan (*training*), yaitu sebanyak 210 citra wajah dari 30 individu, yang pada masing-masing individu terdapat tujuh citra dengan tujuh macam ekspresi wajah.
2. Citra wajah yang akan digunakan dalam proses pengenalan (*recognition*), yaitu sebanyak 630 citra wajah dari 30 individu, yang pada masing-masing individu terdapat 21 citra dengan tujuh macam ekspresi wajah.

Objek uji yang pertama diletakkan pada *folder* pelatihan, sedangkan objek uji kedua diletakkan pada *folder* pengenalan.

3.2. Pengujian Proses Pelatihan (*Training*)

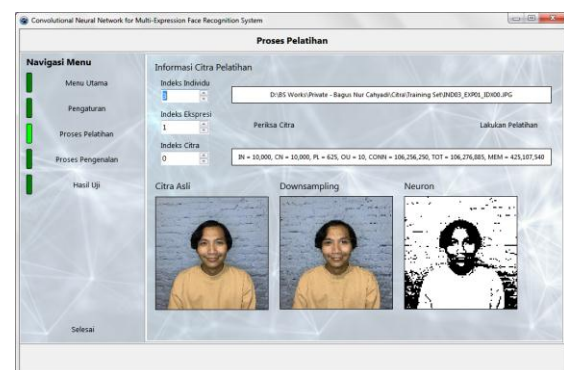
Proses pelatihan dapat dilakukan dengan memilih halaman “Proses Pelatihan”, sehingga akan muncul seperti Gambar 8. Parameter yang ada pada proses pelatihan ini terdiri dari:

1. Indeks Individu, yaitu indeks dari citra milik individu tertentu;
2. Indeks Ekspresi, yaitu indeks dari ekspresi tertentu dari individu yang telah ditentukan pada indeks individu; dan
3. Indeks Citra, yaitu indeks dari citra yang dimiliki individu dengan ekspresi tertentu.



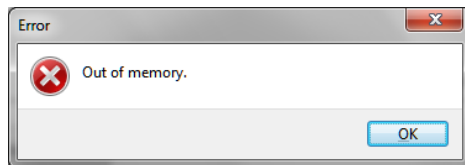
Gambar 8. Tampilan halaman proses pelatihan pada **FaceRecCNN** sebelum melakukan pemeriksaan citra tunggal.

Setelah ketiga parameter tersebut dipilih, maka bisa dilakukan pemeriksaan pada citra yang telah tersedia, dengan cara menekan tombol “Periksa Citra”. Ketika dilakukan penekanan tombol “Periksa Citra”, maka akan muncul citra asli pada kotak sebelah kiri bawah, kemudian citra yang telah dikenai operasi *downsampling* pada kotak tengah bawah, dan citra yang akan dimasukkan pada neuron pada kotak kanan bawah. Contoh dari pemeriksaan citra tunggal dari individu 03 dengan ekspresi 01 dan indeks citra 00 ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Tampilan halaman proses pelatihan pada **FaceRecCNN** setelah melakukan pemeriksaan citra tunggal.

Proses pelatihan yang sesungguhnya dapat dilakukan dengan menekan tombol “Lakukan Pelatihan”. Namun untuk melakukan proses pelatihan tersebut, dibutuhkan komputer yang memiliki memori yang cukup besar, yaitu sekitar 12 GB untuk neuron sebanyak 100×100 . Jika memori tidak mencukupi, maka akan tampil peringatan seperti pada Gambar 10.



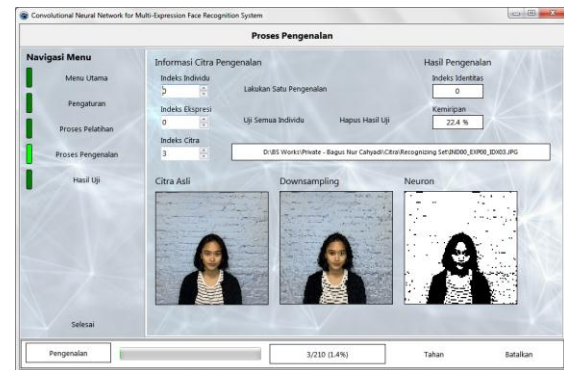
Gambar 10. Pesan yang tampil ketika akan dilakukan proses pelatihan namun tidak terdapat cukup memori pada sistem.

Proses pelatihan dibatasi untuk 10 individu, dengan masing-masing memiliki 7 ekspresi, dan *epoch* sebesar 10000. Hal ini baru dapat dilakukan pada komputer dengan memori minimal 12 GB, dan ketika dilakukan menggunakan prosesor Intel Core-i7 berkecepatan 2.4 GHz (8 *core*), dibutuhkan waktu sekitar 2341 menit (39 jam, atau 1 hari 15 jam).

Setelah proses pelatihan selesai, nilai dari bobot setiap sinapsis (sambungan antar neuron) disimpan pada basis data untuk membantu, sehingga komputer dapat dimatikan tanpa harus mengulang proses pelatihan kembali.

3.3. Pengujian Proses Pengenalan (*Recognition*)

Melakukan proses pengenalan jauh lebih cepat daripada proses pelatihan, karena hanya melibatkan proses *forward propagation*, dan neuron serta bobot sinapsisnya sudah tersedia berdasarkan pelatihan yang telah dilakukan. Setiap kali melakukan pengenalan citra tunggal, maka hanya akan ditampilkan informasi pengenalan dari citra tersebut. Untuk melakukan pengenalan terhadap semua citra yang berada pada *folder* pengenalan, dapat dilakukan dengan menekan tombol “Uji Semua Individu”. Dengan melakukan pengenalan otomatis pada semua citra, maka hasilnya akan dilaporkan dalam bentuk *confusion matrix* yang secara otomatis akan dihasilkan setelah proses pengenalan tersebut selesai. Untuk menghemat waktu dalam menghasilkan laporan *confusion matrix*, maka data hasil pengenalan otomatis ini akan disimpan pula dalam basis data, sehingga setelah proses pengenalan dilakukan komputer dapat dimatikan tanpa menghapus hasil yang telah didapatkan.



Gambar 11. Tampilan pada FaceRecCNN ketika dilakukan proses pengenalan pada semua citra yang ada.

Ketika proses pengenalan pada semua citra individu dilakukan, maka di bagian bawah akan muncul informasi proses, serta semua tombol lainnya akan tidak aktif kecuali tombol “Tahan” dan “Batalan” yang ada pada bagian bawah. Contoh proses pengenalan yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 11.

3.4. Hasil Pengujian

Setelah dilakukan proses pengenalan (*recognition*) untuk semua individu (dari indeks 00 hingga indeks 09), maka didapatkan hasil yang direkap pada Tabel I.

Tabel I. Rekapitulasi Hasil Pengujian Pengenalan Individu 00 Hingga 09

Individu	True Positives	False Positives	False Negatives	True Negatives	Nilai Akurasi (%)
00	17	29	4	160	84,3
01	13	3	8	186	94,8
02	14	15	7	174	89,5
03	13	24	8	165	84,8
04	11	16	10	173	87,6
05	10	0	11	189	94,8
06	11	0	10	189	95,2
07	12	0	9	189	95,7
08	11	0	10	189	95,2
09	11	0	10	189	95,2
Nilai Akurasi Rata-rata (%)					91,7

Hasil tersebut merupakan ringkasan dari 10 *confusion matrix* yang telah terbentuk di masing-masing proses pengenalan individu. Berdasarkan rekapitulasi pada Tabel I, dari pengenalan 10 individu dengan 7 macam ekspresi dan 3 versi citra, ditunjukkan bahwa nilai akurasi rata-rata adalah 91,7%. Hal ini dicapai dengan pelatihan sebelumnya yang menggunakan nilai *learning rate* sebesar 0,53 dan nilai *epoch* sebesar 10000.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, dapat diketahui bahwa proses pelatihan CNN dengan dimensi syaraf masukan sebesar 200×200 tidak mungkin dilakukan menggunakan komputer bahkan yang memiliki spesifikasi tinggi. Oleh karena itu, dimensi syaraf diturunkan menjadi 100×100 .

Selain itu, proses pelatihan CNN dengan dimensi syaraf masukan sebesar 100×100 masih memerlukan sumber daya yang cukup besar, dan tidak bisa dilakukan oleh rata-rata komputer dengan spesifikasi memori di bawah 12 GB. Tercatat proses untuk 10 individu dengan masing-masing memiliki 7 ekspresi wajah berbeda dan 1 versi citra (total 70 citra) yang menggunakan *learning rate* sebesar 0,53 dan *epoch* sebanyak 10000 memerlukan waktu sekitar 2341 menit (39 jam, atau 1 hari 15 jam), jika komputer yang digunakan memiliki memori 12 GB dengan prosesor Intel Core-i7 8 core 2,4 GHz.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan prosesor Core2Duo 2 core 1,8 GHz dan memori 4 GB, proses pengenalan 10 individu dengan 7 macam ekspresi dan 3 versi citra membutuhkan waktu 6 menit dan menunjukkan nilai akurasi rata-rata 91,7% (berdasarkan *confusion matrix* yang telah dihasilkan).

IV. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis pada penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Implementasi algoritma pengenalan wajah berbasis pembelajaran struktural mendalam dengan arsitektur CNN menggunakan kompilator Lazarus *free* Pascal telah berhasil dilakukan.
2. Variasi ekspresi wajah sebanyak 7 macam dan variasi kasus pembelajaran sebanyak 3 macam pada pengenalan wajah setiap individu berbasis pembelajaran struktural mendalam dengan arsitektur CNN menghasilkan nilai akurasi rata-rata 91,7%.

4.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan terdapat penurunan dimensi neuron masukan sehingga didapatkan performa pelatihan yang lebih baik.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk melakukan reduksi dimensi pada lapisan *convolution* menggunakan ekstraksi fitur yang lebih efektif namun memerlukan neuron yang lebih sedikit.
3. Proses pengujian pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk menggunakan perangkat keras yang memiliki performa lebih tinggi, mengingat perlunya mendapatkan hasil *training* dengan kecepatan yang lebih baik.

V. DAFTAR PUSTAKA

[1] E. Alpaydin, Introduction to Machine Learning, London: The MIT Press, 2010, p.

110.

- [2] B. Max, "Artificial Intelligence in Theory and Practice," in *IFIP 19th World Computer Congress*, Berlin, 2006.
- [3] C. M. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.
- [4] B. Nugroho, W. S. J. Saputra dan E. Y. Puspaningrum, "Pengenalan Multi-Wajah Menggunakan Metode Ekstraksi Fitur Viola Jones untuk Presensi Perkuliahan," dalam *Prosiding Seminar Nasional SANTIKA*, 2019.
- [5] T. Mitchell, Machine Learning, New York: McGraw Hill, 1997.
- [6] L. Deng and D. Yu, "Deep Learning: Methods and Applications," *Foundations and Trends® in Signal Processing*, vol. 7, no. 3-4, pp. 197-387, 2014.
- [7] W. Zhang, "Parallel distributed processing model with local space-invariant interconnections and its optical architecture," *Applied Optics*, vol. 29, no. 32, p. 4790-4797, 1990.
- [8] W. Zhang, "Shift-invariant pattern recognition neural network and its optical architecture," in *Proceedings of Annual Conference of the Japan Society of Applied Physics*, 1988.
- [9] C. Mouton, J. C. Myburgh and M. H. Davel, "Stride and Translation Invariance in CNNs," *Artificial Intelligence Research*, vol. 1342, p. 267-281, 2020.
- [10] M. Lal, K. Kumar, R. H. Arain, A. Maitlo, S. A. Ruk and H. Shaikh, "Study of Face Recognition Techniques: a Survey," *IJACSA: International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 9, no. 6, pp. 42-49, 2018.
- [11] Z. Hammal, L. Couvreur, A. Caplier and M. Rombaut, "Facial Expression Classification: an Approach based on the Fusion of Facial Deformations using the Transferable Belief Model," *ScienceDirect: International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 46, pp. 542-567, 2007.
- [12] A. L. Akbar, C. Fatichah dan A. Saikhu, "Pengenalan Wajah Menggunakan Metode Deep Neural Networks dengan Perpaduan Metode Discrete Wavelet Transform, Stationary Wavelet Transform, dan Discrete Cosine Transform," *JUTI: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, vol. 18, no. 2, pp. 158-170, 2020.
- [13] N. F. Nissa, A. Janiati, N. Cahya, Anton and P. Astuti, "Application of Deep Learning Using Convolutional Neural Network (CNN) Method for Women's Skin Classification," *SJI: Scientific Journal of Informatics*, vol. 8, no. 1, pp. 144-153, 2021.

- [14] P. Lu, B. Song and L. Xu, "Human Face Recognition based on Convolutional Neural Network and Augmented Dataset," *Systems Science & Control Engineering*, vol. 9, no. S2, pp. 29-37, 2021.