

SYSTEMIC: Information System and Informatics Journal**ISSN: 2460-8092, 2548-6551 (e)****Vol 6 No 2 – Desember 2020****Pengenalan Karakter Huruf Braille dengan Metode *Convolutional Neural Network*****Muhammad Fahmi Herlambang¹, Asep Nana Hermana², Kurnia Ramadhan Putra³**^{1,2,3}) Institut Teknologi Nasional Bandungmfahmiherlambang@gmail.com¹, asep_nana@itenas.ac.id², kurniaramadhan@itenas.ac.id³**Kata Kunci***Pengolahan Citra, Pengenalan Karakter Braille, Convolutional Neural Network.***Abstrak**

Karakter huruf Braille terdiri dari 6 titik yang dirancang sedemikian rupa sehingga menjadi sebuah sistem penulisan yang dapat digunakan untuk membantu tunanetra. Akan tetapi, membaca huruf Braille tidaklah mudah karena selain harus memahami huruf Braille tersebut juga dibutuhkan sensitivitas jari yang cukup agar dapat membaca huruf Braille. Adapun penelitian tentang pengenalan huruf Braille menggunakan teknologi kecerdasan buatan, salah satunya *deep learning*. Metode *deep learning* yang digunakan adalah *Convolutional Neural Network (CNN)*. Metode *CNN* dapat digunakan dalam pengenalan wajah, analisis dokumen, klasifikasi gambar, dan sebagainya. Pada penelitian ini, metode *CNN* digunakan untuk pengenalan karakter huruf Braille. Sistem melakukan proses pengenalan karakter huruf braille per karakter dengan model yang sudah dilatih dengan dataset dengan 26 karakter. Hasil yang didapat mencapai tingkat akurasi 81.54% untuk citra karakter Braille yang diakuisisi dengan smartphone dengan kemiringan antara 0 hingga 4 derajat dan jarak 30cm dengan model training dengan *learning rate* 0.0001 dan optimizer Adam.

Keywords*Image processing, Braille Character Recognition, Convolutional Neural Network.***Abstract**

Braille characters consists of 6 dots that are designed in such way to be a writing system to help blind people. However, learning or reading Braille characters isn't an easy thing to do, because fingers sensitivity and understanding the writing system are needed to be able to read Braille. Therefore, there are some researches on Braille characters recognition with different methods and technologies, such as *deep learning*. The *Convolutional Neural Network (CNN)* is used. *CNN* method has been used in various recognition researches, such as face recognition, document analysis, image classification, etc. In this research, the *CNN* method is used to perform Braille characters recognition. The system performs the Braille character recognition process per character based on a model that has been trained using a dataset with the 26 Braille characters. The result of 81.54% accuracy is achieved for Braille character image acquisition with a smartphone with 0 to 4 degrees tilting and 30cm distance with training model using *learning rate* of 0.0001 and Adam optimizer.

1. Pendahuluan

Manusia pada umumnya dapat memperoleh informasi melalui dua cara, yaitu lisan dan tulisan. Informasi lisan biasanya didapatkan lewat televisi, video berita, orang lain, radio, dan lain-lain. Sementara, informasi tulisan dapat diperoleh lewat artikel, koran, surat, tulisan, dan lain-lain. Akan tetapi, bagi orang yang memiliki disabilitas seperti tunanetra memiliki kesulitan dalam memperoleh informasi. Oleh karena itu, dikembangkan jenis huruf yang dikhususkan untuk tunanetra, yaitu huruf Braille.

Huruf Braille terdiri dari 6 titik yang dirancang sedemikian rupa dan menjadi sebuah sistem penulisan yang dapat digunakan untuk membantu tunanetra. Akan tetapi, membaca huruf Braille tidaklah mudah karena selain harus memahami huruf Braille tersebut juga dibutuhkan sensitivitas jari yang cukup agar dapat membaca huruf Braille. Maka dari itu, dengan teknologi yang ada, terdapat penelitian tentang pengenalan huruf Braille menggunakan teknologi kecerdasan buatan, salah satunya *deep learning*.

Deep learning adalah salah satu kelas dari *Machine Learning*, yang merupakan salah satu

kelas dari *Artificial Intelligence*. *Deep Learning* terdiri dari banyak metode, beberapa yang paling sering digunakan adalah *Artificial Neural Network* (ANN), *Convolutional Neural Network* (CNN), *Multilayer Perceptrons* (MLP), dan *Recurrent Neural Network* (RNN). *Convolutional Neural Network* (CNN) merupakan salah satu metode deep learning yang mampu melakukan pengenalan gambar dan klasifikasi gambar. Metode CNN sudah banyak digunakan untuk klasifikasi wajah, plat nomor kendaraan, identifikasi jenis sampah, dan lain-lain.

Ada beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai karakter Braille, seperti yang dilakukan oleh (Joko Subur, dkk., 2015) [10] tentang pengenalan karakter Braille menggunakan metode ANN (*Artificial Neural Network*) menggunakan webcam untuk menangkap citra dengan hasil akurasi hingga 99%, akan tetapi kemiringan gambar mempengaruhi keakurasian, dimana akuisisi citra dengan kemiringan gambar yang terbatas pada 1 derajat. Oleh karena itu, dilakukan penelitian pengenalan karakter Braille dengan metode CNN (*Convolutional Neural Network*) dengan tujuan menguji akurasi pengenalan karakter jika akuisisi citra menggunakan *smartphone* dengan kemiringan 0 hingga 4 derajat. Untuk mempermudah pengguna, dirancang aplikasi berbasis *python*. Adapun, fitur konversi huruf Braille ke huruf latin dan ucapan. Diharapkan dengan menggunakan metode CNN, keakurasian pengenalan karakter Braille mencapai angka diatas 80% dengan kemiringan 0 hingga 4 derajat.

2. Metode Penelitian

2.1 Huruf Braille

Huruf Braille merupakan suatu sistem untuk membaca dan menulis lewat sentuhan. Braille menggunakan karakter yang dibentuk lewat kombinasi enam titik timbul yang diatur dalam sel Braille dalam dua kolom vertikal dengan tiga titik pada kedua kolom dan dirancang sedemikian rupa dan menjadi sebuah sistem penulisan yang dapat digunakan untuk membantu orang tunanetra. Karakter Braille yang sederhana dibentuk oleh satu atau lebih titik dan menempati seluruh sel Braille. Untuk kemudahan, titik-titik pada sel Braille dirujuk dengan angka dan menyesuaikan dengan tombol pada Braillewriter.

Ada 3 metode untuk mentranskripsi Braille, yaitu Braillewriter, program pada komputer, dan Braille slate dan stylus. Braillewriter dan komputer bekerja dengan cara yang sama yaitu dengan menggunakan 6 tombol yang sesuai dengan sel Braille. Sementara, jika menggunakan Braille slate titik akan timbul pada sisi kertas yang satunya. Sehingga, penulisannya dilakukan dari kanan ke kiri, jadi saat kertasnya dibalik dapat dibaca dari kiri ke kanan. Maka dari itu, titik 1, 2,

dan 3 yang seharusnya ada di sebelah kiri, menjadi di sebelah kanan. Sementara, titik 4, 5, dan 6 yang seharusnya ada di sebelah kanan, menjadi di sebelah kiri. Sehingga, ketika kertasnya dibalik titik 1, 2, dan 3 akan ada di sebelah kiri dan sebaliknya untuk titik 4, 5, dan 6. Karakter huruf braille ditampilkan pada gambar 1. Contoh penulisan Braille ditampilkan pada gambar 2.

⠁	⠃	⠉	⠇	⠑	⠋	⠊	⠙	⠕	⠗
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
⠅	⠎	⠓	⠔	⠖	⠞	⠟	⠠	⠡	⠢
k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
⠠	⠡	⠢	⠣	⠤	⠥				
u	v	w	x	y	z				

Gambar 1. Karakter Huruf Braille [11]



Gambar 2. Contoh Penulisan Karakter Huruf Braille [12]

2.2 Deep Learning

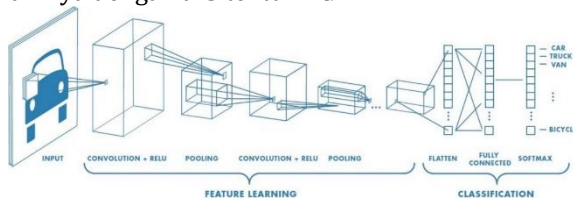
Deep Learning adalah salah satu fungsi kecerdasan buatan yang meniru cara kerja otak manusia dalam memproses data dan menciptakan pola untuk digunakan dalam pengambilan keputusan. *Deep Learning* merupakan bagian dari *Machine Learning*. *Deep Learning* terdiri dari banyak kelas atau jenis, beberapa yang paling sering digunakan adalah *Convolutional Neural Network* (CNN), *Multilayer Perceptrons* (MLP), dan *Recurrent Neural Network* (RNN).

Keunggulan *deep learning* adalah memiliki performa terbaik dalam menyelesaikan masalah kompleks, mengurangi kebutuhan untuk rekayasa ciri, dan memiliki arsitektur yang mampu beradaptasi terhadap permasalahan baru dengan mudah. Sementara, kekurangan dari *deep learning* adalah membutuhkan banyak data, proses *training* yang memakan waktu, dan *overfitting*.

2.3 Convolutional Neural Network

Convolutional Neural Network (CNN) merupakan salah satu kelas dari deep learning yang mampu melakukan pengenalan gambar dan klasifikasi gambar. Metode CNN merupakan suatu kelas pada neural network yang berspesialisasi dalam memproses data yang memiliki topologi seperti grid, misalnya gambar. Metode CNN dapat digunakan dalam pengenalan wajah, analisis dokumen, klasifikasi gambar, klasifikasi video, dsb.

Metode CNN mengklasifikasi gambar dengan memproses gambar yang diinput, kemudian mengklasifikasikannya pada kategori tertentu misalnya pada citra manusia, terdapat wajah, mata, bibir, hidung, tangan, dll. Gambar akan dibuat menjadi array berisi nilai pada setiap *pixel* dengan resolusi tinggi*panjang*dimensi yang disebut *channel*. Dimana, channel ini biasanya terdiri dari 3 buah yang berarti citra merupakan gambar RGB dengan masing-masing lapisan (channel) merepresentasikan *Red-Green-Blue* atau 1 lapisan jika gambar grayscale. Akan tetapi, jumlah lapisan juga bisa melebihi 3, bahkan hingga ratusan yang merepresentasikan berbagai warna lainnya dengan arsitektur RGB.



Gambar 1 Ilustrasi Arsitektur Convolutional Neural Network [13]

Seperti yang ditampilkan pada gambar 3, Arsitektur CNN dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu *Feature Extraction Layer* dan *Fully Connected Layer*. Pada *Feature Extraction Layer* terjadi “encoding” dari sebuah citra menjadi *feature map* yang berupa angka-angka yang merepresentasikan citra tersebut (*Feature Extraction*). *Feature Extraction Layer* terdiri dari *convolution layer* dan *pooling layer*. *Convolution layer* merupakan bagian utama pada metode CNN yang menjadi pembeda dengan *neural network* lainnya. *Convolution layer* adalah lapisan pertama yang mengekstraksi ciri dari citra yang dimasukkan. *Convolution* menjaga hubungan antara *pixel* dengan mempelajari ciri citra menggunakan operasi matematis antara matriks citra dengan filter atau *kernel*. *Kernel* adalah sebuah operator yang diterapkan ke seluruh citra untuk mendapatkan nilai *array* dari sebuah citra. *Kernel* adalah matriks biasanya berukuran 3*3 atau 5*5 yang berisi nilai acak antara -1 dan 1. Hasil konvolusi matriks citra dengan filter (*kernel*) tersebut disebut *feature map*. Adapun, ReLU atau *Rectified Linear Unit* yang berfungsi untuk mengubah nilai negatif pada *feature map* menjadi positif. *Pooling layer* merupakan lapisan yang berfungsi untuk mengurangi ukuran spasial untuk mengurangi jumlah parameter dan perhitungan ketika ukuran citra terlalu besar. *Pooling layer* beroperasi pada setiap *feature map* secara independen.

Fully Connected Layer merupakan bagian dimana hasil *feature map* dari *feature extraction layer* yang berbentuk *array* multi-dimensi diubah menjadi vektor agar dapat dibentuk menjadi *fully connected layer* seperti sebuah jaringan syaraf (*neural network*). Kemudian, semua ciri yang sudah terbentuk menjadi jaringan syaraf

dikombinasikan untuk membuat suatu model. Lalu, dengan fungsi aktivasi seperti *softmax* atau *sigmoid* digunakan untuk mengklasifikasikan output misalnya, mobil, wajah, kucing, macan, dll. Singkatnya, cara kerja metode CNN yaitu, CNN akan melatih dan menguji setiap gambar melalui serangkaian proses. Dimulai dari pemecahan gambar menjadi gambar yang lebih kecil yang tumpang tindih, kemudian memasukkan setiap gambar yang lebih kecil ke *neural network* yang lebih kecil, menyimpan hasil dari masing-masing gambar kecil ke dalam *array* baru, *downsampling* atau mengurangi ukuran spasial untuk mengurangi jumlah parameter dan perhitungan ketika ukuran citra terlalu besar, dan membuat prediksi.

Kelebihan dari metode CNN adalah dapat secara otomatis mengekstraksi ciri penting dari setiap citra tanpa bantuan manusia, selain itu metode CNN juga lebih efisien dibandingkan metode *neural network* lainnya terutama untuk memori dan kompleksitas. Sementara, kekurangan dari metode CNN adalah membutuhkan banyak data latih, proses pelatihan (*training*) yang memakan waktu, dan *overfitting* atau karena terlalu banyak data latih maka algoritma kehilangan kemampuan untuk menggeneralisasi.

2.4 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini penulis melakukan beberapa metodologi untuk memperoleh data, informasi dan melakukan penelitian. Berikut ini adalah metodologi yang dilakukan.

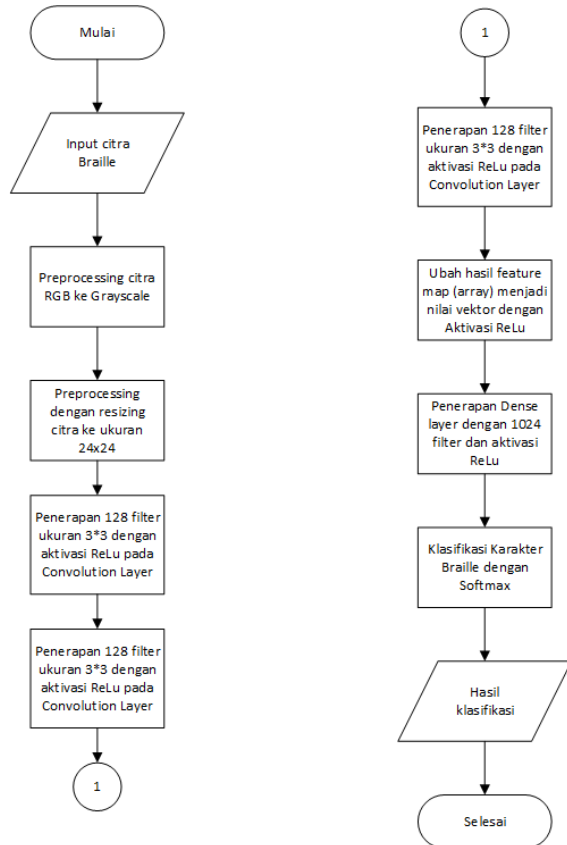
- Observasi: Penulis melakukan observasi atau pengamatan secara langsung untuk mempelajari, mengamati, dan mengumpulkan data serta informasi yang digunakan dalam penelitian ini.
- Studi Pustaka: Penulis melakukan penelitian kepustakaan untuk memperoleh aspek-aspek teoritis dalam pengumpulan data yang berhubungan dengan masalah yang ditinjau dalam penyusunan laporan penelitian ini.
- Studi Literatur: Proses pengumpulan data melalui berbagai jurnal dan penelitian yang terkait dengan penelitian ini.
- Eksperimen: Hasil dari ketiga tahap sebelumnya dan percobaan untuk membuat dan menguji model *Convolutional Neural Network* untuk pengenalan karakter huruf Braille.

2.5 Analisis Kebutuhan

Dalam proses perancangan sistem, diperlukan analisis untuk mengetahui kebutuhan sistem. Kebutuhan secara keseluruhan dalam melaksanakan perancangan sistem terbagi menjadi kebutuhan perangkat keras (*hardware*) dan kebutuhan (*software*).

2.6 Perancangan Sistem

Dalam proses perancangan sistem, dibuat *flowchart* sistem yang digambarkan pada gambar 4.



Gambar 4 Flowchart Sistem

Sistem melakukan pembuatan model yang diawali dengan *preprocessing* citra RGB menjadi *grayscale* untuk memperkecil ukuran *layer*, kemudian *resizing* ke ukuran 24x24. Lalu, penerapan arsitektur CNN mulai dari penerapan 128 filter ukuran 3x3 dengan aktivasi ReLu pada *Convolution Layer* sebanyak 3 kali, kemudian hasil *feature map* berupa array diubah menjadi nilai vektor dengan aktivasi ReLu, kemudian penerapan *Dense layer* dengan 1024 filter dan aktivasi ReLu. Kemudian, proses klasifikasi karakter menggunakan fungsi aktivasi softmax. Terakhir, hasil klasifikasi dikeluarkan oleh sistem.

2.7 Proses Pengumpulan Data Latih

Data latih diperoleh dari *website* github milik *user* HelenGezahegn[14], yang kemudian dirancang ulang agar sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Data latih berjumlah total 20771, dengan rata-rata 798 untuk masing-masing 26 karakter dari A sampai Z.

2.8 Preprocessing

Pada proses pelatihan dan pengujian terdapat proses *preprocessing* yang digambarkan pada gambar 5.



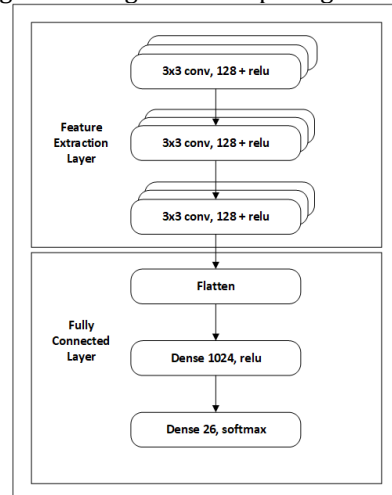
Gambar 5 Flowchart Sistem

Proses *preprocessing* terdiri dari:

1. Pendeteksian Citra RGB.
2. Proses *grayscale*, untuk memperkecil ukuran *layer* dan mempermudah komputasi.
3. Proses *resizing* atau perubahan ukuran citra menjadi 24x24

2.9 Proses Convolutional Neural Network

Setelah dilakukan *preprocessing*, lalu dilakukan penerapan metode CNN. Arsitektur CNN yang digunakan digambarkan pada gambar 6.



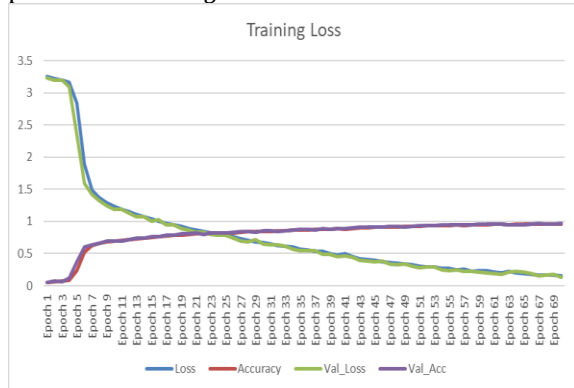
Gambar 6 Arsitektur Convolutional Neural Network

Pada arsitektur CNN yang digunakan untuk melakukan penelitian ini terdiri dari 3 buah *convolutional layer* dengan filter 3x3 dan fungsi aktivasi relu untuk mengubah semua nilai negative dalam array menjadi nol pada *Feature Extraction Layer*, dan pada *Fully Connected Layer* terdapat Flatten untuk mengubah array multi-dimensi menjadi vektor, dan 2 *dense layer* beserta fungsi aktivasi softmax untuk mengklasifikasi kategori citra yang sesuai.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Pengujian Training

Proses *training* dilakukan sebanyak 70 epoch dengan nilai *learning rate* 0.0001, *optimizer* Adam, dan fungsi aktivasi Softmax. Proses *training* dilakukan dalam kurun waktu sekitar 530s per *epoch*. Dari hasil *training* diperoleh nilai *loss* dan *accuracy*. Nilai *loss* adalah nilai yang digunakan untuk mengukur kinerja model saat proses *training* dan mengestimasi *error*. Pada gambar 7 adalah kurva perbandingan nilai *loss* dan akurasi pada hasil *training*.



Gambar 7 Kurva Perbandingan Nilai Loss dan Akurasi

Berdasarkan gambar 7, maka dapat dilihat bahwa nilai akurasi yang dicapai adalah 97.6%, nilai *loss* 1.3%, nilai *validation accuracy* 97.56%, dan nilai *validation loss* 1.3% dengan waktu rata-rata 27ms per langkahnya.

3.2 Pengujian Kinerja Sistem

Untuk mengukur kinerja sistem, dilakukan pengujian dengan menghitung nilai *confusion matrix*, yang terdiri dari nilai akurasi, presisi, *recall*, dan *F1 score*. Sistem dapat mengenali karakter braille yang didapatkan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

$$Akurasi = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \dots\dots\dots (1)$$

$$Presisi = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

$$F1\ Score = 2 \times \frac{(Presisi \times Recall)}{(Presisi+Recall)} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

TP (*True Positive*), yaitu jumlah data positif yang terklasifikasi dengan benar oleh sistem.

TN (*True Negative*), yaitu jumlah data negatif yang terklasifikasi dengan benar oleh sistem.

FN (*False Negative*), yaitu jumlah data negatif namun terklasifikasi salah oleh sistem.

FP (*False Positive*), yaitu jumlah data positif namun terklasifikasi salah oleh sistem.

Pengujian dilakukan dengan 5 tingkat kemiringan akuisisi citra, yaitu 0 derajat, 1 derajat, 2 derajat, 3 derajat, dan 4 derajat terhadap setiap karakter

dari A sampai Z, dengan total 130 pengujian. Pengujian yang dilakukan menggunakan kertas putih bertuliskan karakter huruf Braille berwarna hitam dengan jarak akuisisi citra 30cm. Berdasarkan hasil keseluruhan pengujian sistem maka dapat dihitung.

$$Akurasi = \frac{106 + 0}{106 + 0 + 24 + 0} = 81.54\%$$

$$Presisi = \frac{106}{106 + 24} \times 100\% = 81.54\%$$

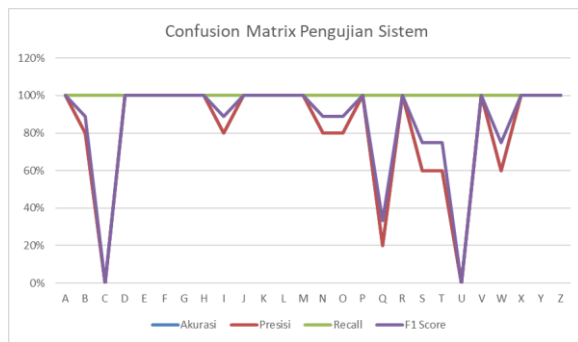
$$Recall = \frac{106}{106 + 0} \times 100\% = 100\%$$

$$F1\ Score = 2 \times \frac{(81.54\% \times 100\%)}{(81.54\% + 100\%)} = 89.83\%$$

Hasil pengujian per karakter ditampilkan pada tabel 1 dan kurva perbandingan hasil pengujian ditampilkan pada gambar 8.

Tabel 1 Hasil Pengujian

No	Huruf	Akurasi	Presisi	Recall	F1 Score
1	A	100%	100%	100%	100%
2	B	80%	80%	100%	88.89%
3	C	0%	0%	100%	0%
4	D	100%	100%	100%	100%
5	E	100%	100%	100%	100%
6	F	100%	100%	100%	100%
7	G	100%	100%	100%	100%
8	H	100%	100%	100%	100%
9	I	80%	80%	100%	88.89%
10	J	100%	100%	100%	100%
11	K	100%	100%	100%	100%
12	L	100%	100%	100%	100%
13	M	100%	100%	100%	100%
14	N	80%	80%	100%	88.89%
15	O	80%	80%	100%	88.89%
16	P	100%	100%	100%	100%
17	Q	20%	20%	100%	33%
18	R	100%	100%	100%	100%
19	S	60%	60%	100%	75%
20	T	60%	60%	100%	75%
21	U	0%	0%	100%	0%
22	V	100%	100%	100%	100%
23	W	60%	60%	100%	75%
24	X	100%	100%	100%	100%
25	Y	100%	100%	100%	100%
26	Z	100%	100%	100%	100%



Gambar 2 Kurva Perbandingan Confusion Matrix Sistem

Berdasarkan hasil perhitungan secara keseluruhan sistem, didapatkan nilai akurasi sebesar 81.54%, nilai presisi 81.54%, nilai *recall* 100%, dan nilai *F1 score* 89.83% untuk semua 26 karakter. Sementara, berdasarkan tabel 1, dapat disimpulkan bahwa nilai confusion matrix dari masing-masing 26 karakter bervariasi, ada yang sudah mencapai tingkat keakurasian 100%, adapula yang mencapai keakurasian 0%. Kesalahan prediksi total terjadi pada huruf C dan U, dimana untuk kedua karakter tersebut tingkat keakurasian yaitu 0%, kemudian pada karakter huruf Q dicapai tingkat keakurasian sebesar 20% dan *F1 score* 33%. Selanjutnya, karakter huruf S, T, dan W mencapai tingkat akurasi 60% dan *F1 score* 75%. Lalu, untuk karakter huruf B, I, N, dan O mencapai tingkat akurasi 80% dengan *F1 score* 88.89%. Sementara untuk 16 karakter lainnya, mencapai tingkat akurasi, nilai presisi, recall, dan *F1 score* sempurna yaitu 100%. Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa model ini dapat mengenali karakter huruf braille dengan baik untuk studi kasus karakter braille dengan akuisisi citra menggunakan *smartphone* dan tingkat kemiringan antara 0 hingga 4 derajat. Sementara pada beberapa karakter, yaitu B, C, I, N, O, Q, S, T, U, dan W masih belum optimal, hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal seperti tingkat kemiringan, proses pemotongan citra yang tidak rapi sehingga citra tidak dapat diprediksi dengan benar. Selain itu, data latih yang digunakan juga mempengaruhi hasil prediksi, semakin banyak dan semakin variatif data latihnya maka akan semakin baik akurasinya.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa pengenalan karakter braille dengan metode *Convolutional Neural Network* memiliki tingkat akurasi sebesar 81.54%, nilai presisi 81.54%, nilai *recall* 100%, dan nilai *F1 score* 89.83% untuk studi kasus karakter braille dengan akuisisi citra menggunakan *smartphone* dan tingkat kemiringan antara 0 hingga 4 derajat dengan jarak 30cm menggunakan model *training* dengan *learning rate* 0.0001 dan *optimizer* adam.

Daftar Pustaka

- [1] Brownlee, Jason. (2019). What Is Deep Learning. Retrieved December 2019 from 'https://machinelearningmastery.com/what-is-deep-learning/'
- [2] Dertat, Arden. (2017). Applied Deep Learning - Part 4: Convolutional Neural Networks. Retrieved December 2019 from 'https://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-4-convolutional-neural-networks-584bc134c1e2'
- [3] Guo, G., & Zhang, N. (2019). A survey on deep learning based face recognition. *Computer Vision and Image Understanding*. 102805
- [4] Lee, S., Jung, S., & Song, H. (2018). CNN-Based drug recognition and braille embosser system for the blind. *Journal of Computing Science and Engineering*, 12(4), 149–156.
- [5] Mousa, A., Hiary, H., Alomari, R., & Alnemer, L. (2013). Smart braille system recognizer. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 10(6), 52–60.
- [6] Pokharna, Harsh. (2016). The Best Explanation of Convolutional Neural Networks on the Internet. Retrieved December 2019 from 'https://medium.com/technologymadeeasy/the-best-explanation-of-convolutional-neural-networks-on-the-internet-fbb8b1ad5df8'
- [7] Prabhu. (2018). Understanding of Convolutional Neural Network (CNN) – Deep Learning. Retrieved December 2019 from 'https://medium.com/@RaghavPrabhu/understanding-of-convolutional-neural-network-cnn-deep-learning-99760835f148'
- [8] Qolbiyatul, Lina. (2019). Apa Itu Convolutional Neural Network?, [What is Convolutional Neural Network?]. Retrieved February 25, 2020 from 'https://medium.com/@16611110/apa-itu-convolutional-neural-network-836f70b193a4'
- [9] Sathe, P. (2019). Waste Segregation using Convolutional Neural Network. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 7(4), 932–937.
- [10] Subur, J., Sardjono, T. A., & Mardiyanto, R. (2016). Braille Character Recognition Using Artificial Neural Network. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 2(1), 83–84.
- [11] Anonim. Retrieved July 3, 2020 from 'https://sites.google.com/site/sharingvision/louis-braile/braille-script'
- [12] Różańska, Natt. Braille Poem Night Writing. Retrieved January 2020 from 'https://www.etsy.com/listing/111235779/braille-poem-night-writing'

- [13] Saha, Sumit. (2018). A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks — the ELI5 way. Retrieved December 2019 from 'https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53'
- [14] Gezahegn, Helen (2018). Optical Braille Recognition. Retrieved December 2019 from 'https://github.com/HelenGezahegn/aye-alliance'