

KLASIFIKASI KERUSAKAN BANGUNAN SEKOLAH MENGUNAKAN METODE *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK* DENGAN *PRE-TRAINED MODEL VGG-16*

¹Ade Muhammad Rizki , ²Nola Marina

^{1,2}Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma
Jl Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat
¹ademrizki@gmail.com, ²nolamarina@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

Bangunan sekolah merupakan komponen utama penunjang pelaksanaan proses belajar mengajar dan menjadi salah satu faktor penentu peningkatan mutu suatu lembaga pendidikan. Ketersediaan sarana dan prasarana sebagai penunjang kegiatan juga merupakan hal yang penting dalam peningkatan mutu itu sendiri, sehingga dibutuhkan pemeliharaan dan perawatan yang tepat dalam penggunaan bangunan tersebut. Pada proses penggunaannya, banyak bangunan sekolah yang tidak terawat dikarenakan kurangnya perhatian pada kualitas bangunan tersebut, maupun faktor-faktor yang tidak menentu, seperti kesalahan dalam merancang, cuaca, maupun bencana alam. Salah satu upaya yang dilakukan untuk penanganan bangunan rusak adalah dengan dilakukannya rehabilitasi sebagai penentuan penilaian kerusakan bangunan yang salah satunya dengan mengklasifikasi bangunan secara langsung maupun dengan kumpulan citra. Berdasarkan permasalahan tersebut, dibangun sebuah model Convolutional Neural Network (CNN) untuk mengklasifikasi kerusakan bangunan sekolah di Indonesia. Algoritma CNN yang dibangun menggunakan VGG-16 sebagai pre-trained modelnya. Algoritma CNN digunakan karena memiliki performa yang lebih baik untuk mempelajari data citra dibandingkan dengan metode konvensional lainnya. Model ini dilatih dan diuji menggunakan 3000 citra kerusakan bangunan, diantaranya memiliki 3 kelas kerusakan yang masing-masing terdiri dari 1000 citra per kelasnya. Pengujian model menggunakan 200 citra kerusakan bangunan dari setiap kelas kerusakan. Hasil penelitian menghasilkan nilai akurasi terbaik pada proses pelatihan 3000 citra dengan menghasilkan 67,8%.

Kata Kunci: Citra, Convolutional Neural Network, kerusakan bangunan, VGG-16.

Abstract

School building is a major component that supports the implementation of the teaching and learning process and it is one of the determining factors in improving the quality of an educational institution. The availability of facilities and infrastructure to support activities is also important in improving the quality itself, so that proper maintenance and attention are needed when using the building. In the process of using the school building, many school buildings are not maintained due to lack of attention to the quality of the building, as well as other erratic factors, such as mistakes in design, weather, or natural disasters. One of the efforts made for handling damaged buildings is by conducting rehabilitation as a determination of building damage assessment, one of which is by classifying buildings directly or by a collection of images. Based on these problems, a Convolutional Neural Network (CNN) model was built to classify damage to school buildings in Indonesia. CNN algorithm that was built using VGG-16 as a pre-trained model. CNN algorithm is used because it has better performance to learning image data compared to other conventional methods. This model was trained and tested using 3000 images of building damage, including 3 damage classes, each consisting of 1000 images per class. Testing model uses 200 building damage images from each class of damage. The results of the study produced the best accuracy value in the 3000 image training process with a value of 67.8%.

Keywords: Building Damage, Convolutional Neural Network, image, VGG-16.

PENDAHULUAN

Bangunan sekolah merupakan prasarana yang penting untuk menunjang mutu pendidikan di Indonesia. Namun, kondisi bangunan sekolah masih banyak yang mengalami kerusakan. Hal ini dikarenakan kurangnya perhatian pada kualitas bangunan tersebut maupun faktor-faktor yang tidak menentu lainnya seperti kesalahan dalam merancang, cuaca, maupun bencana alam.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk penanganan bangunan rusak adalah dengan dilakukannya rehabilitasi. Rehabilitasi adalah memperbaiki bangunan yang telah rusak sebagian agar dapat digunakan sesuai dengan fungsi utama yang sudah ditetapkan, baik arsitektur maupun struktur bangunan gedung tetap dipertahankan seperti semula, sedangkan utilitasnya dapat berubah. Pada saat melakukan rehabilitasi, beberapa cara digunakan untuk menentukan penilaian kerusakan bangunan yang salah satunya adalah mengklasifikasi bangunan secara langsung maupun dengan kumpulan citra yang sudah ditentukan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, pada penelitian ini dibuat model untuk mengklasifikasi kerusakan bangunan sekolah di Indonesia menggunakan metode *Convolutional Neural Network (CNN)* dengan modifikasi arsitektur VGG-16 sebagai salah satu jenis model dari CNN. Proses ini diharapkan dapat membantu dalam proses penilaian kerusakan bangunan untuk memulai perbaikan dan mempermudah proses pengajuan

dalam perawatan maupun perbaikan yang dapat dilakukan pada bangunan tersebut.

Terdapat beberapa penelitian terdahulu mengenai deteksi kerusakan bangunan dan beberapa metode yang digunakan. Penelitian pertama terkait dengan penilaian kondisi bangunan sekolah SDN menggunakan analisis pembobotan berdasarkan hasil survey langsung [1]. Selanjutnya, penelitian lain mengenai deteksi kecacatan pada bangunan juga dilakukan dengan pendekatan *Deep Learning* dengan metode CNN [2]. Berikutnya adalah penelitian mengenai klasifikasi citra menggunakan CNN pada Caltech 101 yang melakukan klasifikasi citra unggas [3].

Konstruksi bangunan sekolah merupakan sarana dan prasana yang harus menyesuaikan dengan standar pemerintah dalam hal kenyamanan dan kekuatan yang telah ditetapkan oleh Menteri Pendidikan Nasional melalui peraturan Nomor 24 Tahun 2007 [4]. Terdapat bangunan sekolah yang mengalami kerusakan diakibatkan umur bangunan, kesalahan manusia, maupun faktor alam. Berdasarkan banyak faktor kerusakan bangunan sekolah, faktor alam paling banyak mempengaruhi karena interaksi terhadap bangunan sangatlah sering seperti terkena angin, cuaca, hujan, dan beragam bencana alam.

Pada penelitian ini akan dilakukan klasifikasi kondisi kerusakan bangunan sekolah menggunakan CNN. Klasifikasi kerusakan gedung atau ruang kelas sekolah yang didefinisikan dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi 3 bagian, yaitu rusak

ringan, rusak sedang, dan rusak berat. Rusak ringan didefinisikan berdasarkan visual ringan dari bangunan tersebut, seperti kerusakan warna cat bangunan. Rusak sedang merupakan kerusakan yang tidak mengganggu kerangka dasar bangunan tersebut, seperti kerusakan plafon dan keramik yang terlepas. Rusak berat merupakan kerusakan didefinisikan sebagai bangunan yang sebagian besar kerusakannya tidak layak digunakan dalam kegiatan belajar mengajar, seperti robohnya bangunan gendung atau ruang kelas akibat bencana alam.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dibuat model untuk mengklasifikasi kerusakan bangunan sekolah di Indonesia menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dengan modifikasi arsitektur VGG-16. CNN adalah salah satu metode *deep learning*. Arsitektur CNN yang digunakan adalah arsitektur VGG-16 yang dimodifikasi dan digunakan sebagai *transfer learning*. *Deep learning* adalah bagian disiplin ilmu dari *machine learning* untuk mengidentifikasi objek dalam sebuah citra, dilakukan transkrip dari ucapan menjadi teks, mencocokkan berita, menentukan post atau produk dengan minat pengguna, dan memilih hasil pencarian yang relevan [5]. *Transfer learning* merupakan bidang dalam *machine learning* yang memfokuskan pada pemanfaatan model yang sudah dilatih terhadap suatu *dataset* atau bisa juga disebut dengan istilah “*Pretrained Network*” [6].

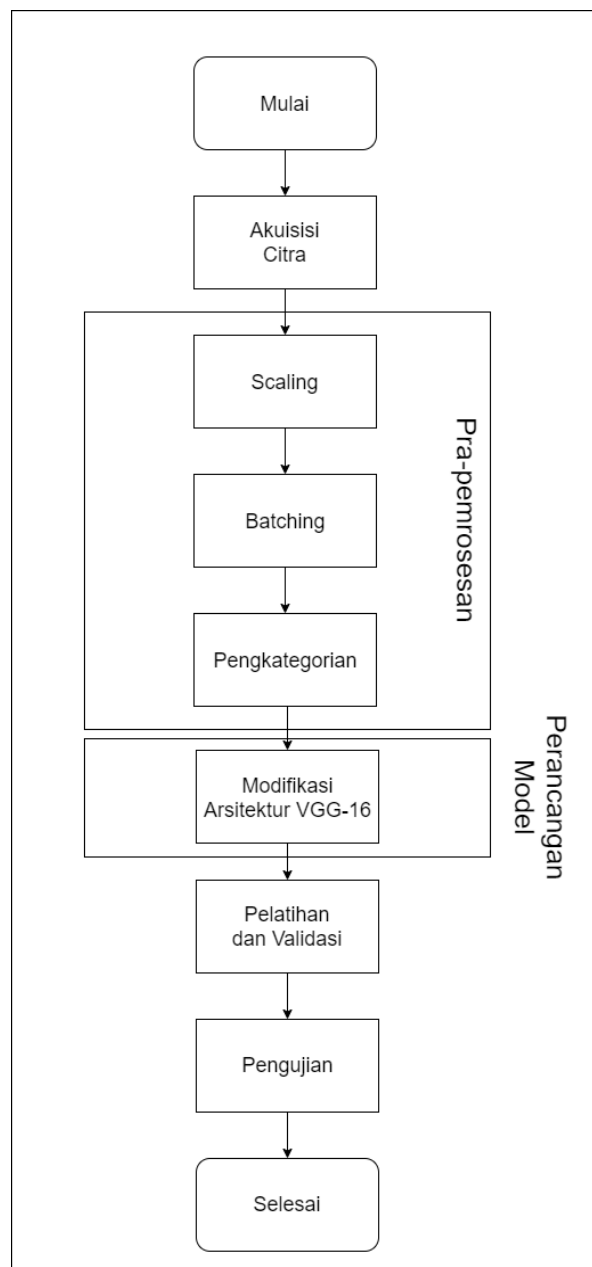
Convolutional Neural Networks atau CNN merupakan jaringan syaraf tiruan khusus untuk memproses data berbentuk matriks. Salah satu contoh berupa citra berwarna yang terdiri atas tiga kanal warna berbentuk matriks dua dimensi. Nama *Convolutional Neural Networks* diambil dari operasi matematika yang digunakan pada algoritma ini, yaitu konvolusi [5]. Arsitektur VGG-16 merupakan model CNN yang dikemukakan oleh K. Simonyan dan A. Zisserman dari Universitas Oxford dalam penulisan yang berjudul “*Very Deep Convolutional Networks for large-scale Image Recognition*”. Model tersebut berhasil mencapai 92,7% dan merupakan 5 besar akurasi tes pada dataset ImageNet, yang mana terdiri dari 14 juta gambar yang berasal dari 10000 kelas yang berbeda. [7]

Metode penelitian dijelaskan pada Gambar 1. Tahap metode penelitian ini dimulai dengan akuisisi citra, pra-pemrosesan, perancangan model, pelatihan dan validasi, serta pengujian. Pra-pemrosesan pada *dataset* dilakukan sebelum pembuatan model. Proses pra-pemrosesan meliputi beberapa tahapan yang dikerjakan secara berurutan. Tahapan tersebut meliputi akuisisi citra yang terdiri dari 3 jenis kerusakan bangunan dan kelas sekolah di seluruh Indonesia yang bersumber dari *Google Image*. Total gambar berjumlah 3000 dengan pembagian untuk data training sebesar 80% dan data testing sebesar 20%. Selanjutnya pada tahap pra-pemrosesan dilakukan proses

seperti *scaling*, *one-hot encoding*, dan *batching*.

Kemudian pada tahap perancangan model arsitektur yang digunakan untuk mengklasifikasi kerusakan bangunan dan kelas disekolah berdasarkan citra yang sudah di kumpulkan dan diolah sebelumnya. Tahap

terakhir pada pelatihan model arsitektur yang dibentuk menyesuaikan citra yang telah diolah sebelumnya. Model pada tahap ini akan mempelajari data untuk menentukan fitur yang optimal dalam mengklasifikasi kerusakan dan memvalidasi tiap operasi untuk menentukan akurasi dari model yang dibuat.



Gambar 1. Metode Penelitian

Akuisisi Citra

Citra bangunan dan kelas rusak dari sekolah di seluruh Indonesia yang digunakan untuk pelatihan dan pengujian pada model ini didapatkan dari *Google Image* dengan cara mengunduh citra dalam jumlah yang sudah ditentukan dalam kurun waktu tertentu untuk tiap jenis kerusakan bangunan. Terdapat 3 jenis kerusakan bangunan sekolah yang ditentukan untuk pengklasifikasian ini yaitu kerusakan bangunan dan kelas di sekolah berintensitas ringan, kerusakan bangunan dan kelas di sekolah berintensitas sedang, dan kerusakan bangunan dan kelas di sekolah berintensitas berat sesuai dengan ketentuan yang sudah didefinisikan sebelumnya. Setiap jenis kerusakan memiliki jumlah citra sebanyak 1000 citra, sehingga jika di total terdapat 3000 citra yang digunakan untuk model yang akan dibuat.

Pra-pemrosesan Citra

Pada tahap pra-pemrosesan citra dilakukan beberapa prosedur yang bertujuan untuk mempersiapkan data agar data siap di

dan *batching*. *Data generator* akan menghasilkan beberapa hasil pra-pemrosesan yang akan digunakan pada model pre-training VGG-16 dan lapisan *fully-connected*.

Perancangan Model

Model yang digunakan pada perancangan ini menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) dengan arsitektur VGG-16 sebagai model pre-trained network-nya. Model CNN dan arsitektur VGG-16 digunakan untuk mengklasifikasi citra kerusakan

bangunan sekolah yang akan diketahui jenis kerusakannya.

Arsitektur VGG-16 digunakan sebagai metode transfer learning dimana model tersebut sudah dilatih terhadap suatu dataset untuk menyelesaikan masalah yang serupa dengan cara digunakan sebagai titik permulaan dengan memodifikasi atau mengubah parameternya sehingga dapat sesuai dengan dataset baru.

Modifikasi Arsitektur VGG-16

Penentuan ukuran citra sebagai masukan sebesar 256 x 256 dengan *channel* sebesar 3 yang terdiri dari *Red*, *Green*, dan *Blue* (karena bentuk citra yang berwarna). Citra yang melewati tiap lapisan ekstraksi fitur ukurannya akan direduksi 36 dan filter yang berjumlah 64 bertambah sebesar kelipatan 2 pada tiap blok mulai dari lapisan konvolusi pertama, hingga menjadi berukuran 8x8x512 pada blok terakhir VGG-16 dengan ukuran filter konvolusi tetap sebesar 3x3 dan *stride* sebesar 2. Pada blok terakhir VGG-16 dengan ukuran filter konvolusi tetap sebesar 3x3 dan *stride* sebesar 2, hingga pada lapisan konvolusi keempat pada blok tersebut. Lapisan *max-pooling* di akhir blok juga tetap berukuran 2x2 dengan *stride* sebesar yang menggunakan aktivasi ReLU.

Hasil dari lapisan ekstraksi fitur yang telah dilakukan pada model VGG-16 yang sudah dimodifikasi, kemudian melewati lapisan *Global Average Pooling* yang juga digunakan sebagai lapisan masukan pada bagian *fully-connected* dengan menghitung rata-rata nilai dari semua nilai pada dimensi masukan (panjang x lebar matriks) pada tiap

channel masukan tiap citra dan mempertahankan kedalaman atau *channel* dari citra tersebut. Keluaran dari proses *Global Average Pooling* (GAP) akan menjadi tensor sebesar 1x1x (*channel* masukan).

Lapisan *fully-connected* pertama akan menerima hasil keluaran dari lapisan sebelumnya dengan penambahan bias dan melewati tensor berukuran 1024 diikuti penggunaan aktivasi ReLu. Setelah melewati lapisan *fully-connected* pertama, neuron yang tidak memiliki bobot yang cukup untuk diaktivasi akan di non-aktifkan secara acak sebanyak 25% dari total jumlah neuron yang digunakan melalui lapisan *dropout*. Hasil dari Lapisan *fully-connected* dan *dropout* sebelumnya akan melalui lapisan *fully-connected* kedua dengan jumlah tensor yang direduksi menjadi sebesar 512 diikuti penggunaan ReLu sebagai aktivasinya. Neuron yang tidak memiliki bobot yang cukup untuk diaktivasi, akan di non-aktifkan kembali secara acak sebanyak 15% dari total jumlah neuron yang digunakan dari lapisan *fully-connected* kedua. Lapisan terakhir atau lapisan keluaran akan menerima hasil akhir dari proses ekstraksi fitur hingga lapisan *fully-connected* dengan memiliki 3 neuron sesuai dengan kategori kelas kerusakan bangunan yang berjumlah 3 kelas, yaitu kerusakan bangunan ringan, sedang, dan berat.

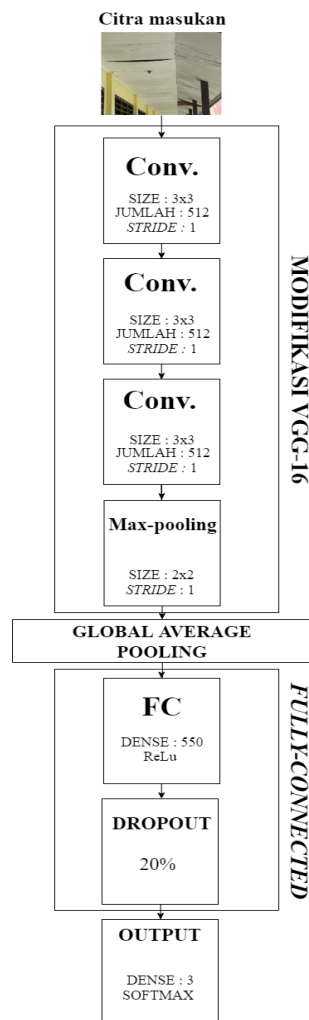
Lapisan keluaran juga menggunakan aktivasi *softmax* untuk menghasilkan probabilitas dari ketiga kelas yang diprediksi. Parameter lain yang digunakan pada model ini yaitu *categorical cross-entropy* yang digunakan untuk meng-

evaluasi penggunaan model pada data yang digunakan. Jika deviasi dari prediksinya terlalu tinggi, maka nilai *loss* akan membesar. Maka dari itu, *dropout* digunakan sebagai regularisasi untuk mengurangi nilai *loss* apabila terus membesar. *Categorical cross-entropy* berfungsi dalam permasalahan klasifikasi yang hanya menghasilkan 1 hasil yang benar. Parameter lain yang digunakan adalah pengoptimalan *Adam* sebagai pengoptimal bobot model saat proses pelatihan dengan mengurangi nilai jarak dari hasil *categorical cross-entropy*.

Bentuk keseluruhan model yang dibuat berdasarkan dari penggunaan blok terakhir dari arsitektur VGG-16 yang dimodifikasi hingga lapisan *fully-connected* untuk diklasifikasi pada lapisan keluaran terdapat pada Gambar 2.

Pelatihan dan Validasi Model

Model yang telah dibangun berdasarkan dataset kerusakan bangunan sekolah yang digunakan sebelumnya, akan dilatih untuk mempelajari fitur yang didapat dari masing-masing kategori kerusakan bangunan menggunakan citra yang telah diakuisisi. Seluruh citra yang telah diakuisisi berjumlah 3000, dibagi peruntukannya sebagai data latih dan data validasi. Data latih menggunakan 80% dari keseluruhan citra yang diakuisisi, sehingga jumlahnya sebesar 2400. Sedangkan, data validasi menggunakan 20% dari seluruh total citra yang telah diakuisisi sebelumnya, sehingga jumlahnya sebesar 600 gambar.



Gambar 2. Model CNN Yang Dirancang

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini dibahas mengenai hasil pelatihan dan pengujian yang dilakukan dan keluaran model yang telah dibuat. Setelah melalui proses pelatihan, program akan menampilkan keluaran berupa nilai akurasi dari pelatihan dan validasi pada tiap iterasi. Program juga akan menampilkan hasil *loss* dari proses pelatihan dan validasi pada tiap iterasi. Keluaran dari proses pelatihan pada tiap iterasi dijelaskan pada gambar 3.

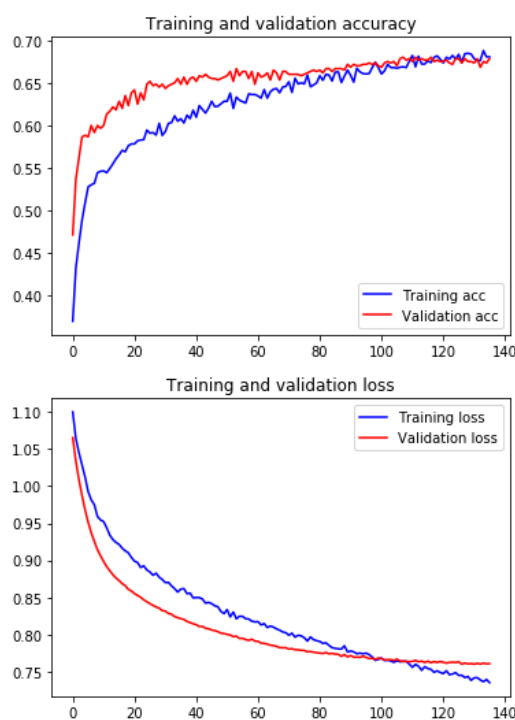
Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa tingkat pembelajaran pada model yang dibangun bernilai 73% untuk nilai *loss*, dan 76% untuk nilai validasi *loss* pada iterasi ke-136. Nilai akurasi didapat sebesar 68% dan 67% pada akurasi validasi pada iterasi ke-136. Proses penghitungan akurasi dan *loss* terjadi secara fluktuatif. Gambaran dari hasil penghitungan akurasi dan *loss* pada data pelatihan dan validasi dijelaskan pada gambar 4.

```

Epoch 13/150
2400/2400 [=====] - 0s 106us/step - loss: 0.9340 - acc: 0.5496 - val_loss: 0.8859 - val_acc: 0.6167
Epoch 14/150
2400/2400 [=====] - 0s 111us/step - loss: 0.9280 - acc: 0.5550 - val_loss: 0.8807 - val_acc: 0.6217
Epoch 15/150
2400/2400 [=====] - 0s 107us/step - loss: 0.9242 - acc: 0.5608 - val_loss: 0.8762 - val_acc: 0.6183
Epoch 16/150
2400/2400 [=====] - 0s 108us/step - loss: 0.9214 - acc: 0.5654 - val_loss: 0.8727 - val_acc: 0.6283
Epoch 17/150
2400/2400 [=====] - 0s 108us/step - loss: 0.9165 - acc: 0.5708 - val_loss: 0.8686 - val_acc: 0.6200
Epoch 18/150
2400/2400 [=====] - 0s 107us/step - loss: 0.9128 - acc: 0.5692 - val_loss: 0.8659 - val_acc: 0.6350
Epoch 19/150
2400/2400 [=====] - 0s 110us/step - loss: 0.9102 - acc: 0.5762 - val_loss: 0.8610 - val_acc: 0.6233
Epoch 20/150
2400/2400 [=====] - 0s 112us/step - loss: 0.9039 - acc: 0.5783 - val_loss: 0.8587 - val_acc: 0.6383
Epoch 21/150
2400/2400 [=====] - 0s 105us/step - loss: 0.8990 - acc: 0.5783 - val_loss: 0.8552 - val_acc: 0.6417
Epoch 22/150
2400/2400 [=====] - 0s 105us/step - loss: 0.8970 - acc: 0.5821 - val_loss: 0.8526 - val_acc: 0.6250
Epoch 23/150
2400/2400 [=====] - 0s 112us/step - loss: 0.8904 - acc: 0.5829 - val_loss: 0.8502 - val_acc: 0.6383
Epoch 24/150
2400/2400 [=====] - 0s 104us/step - loss: 0.8926 - acc: 0.5833 - val_loss: 0.8468 - val_acc: 0.6300
Epoch 25/150
2400/2400 [=====] - 0s 106us/step - loss: 0.8871 - acc: 0.5946 - val_loss: 0.8442 - val_acc: 0.6483

```

Gambar 3. Hasil Pelatihan Model





Gambar 4. Grafik Gradien Akurasi dan *Loss*

Pengujian Klasifikasi

Berdasarkan 6 citra uji yang diambil dari tiap kelas, diantaranya 4 citra berhasil diklasifikasi sesuai dengan kelas sebenarnya, sedangkan satu gambar tidak dapat diprediksi

dengan benar. Hasil tersebut sesuai dengan nilai validasi *loss* yang masih bernilai tinggi, yaitu 76%. Tabel 1 menjelaskan hasil dari klasifikasi pada data uji.

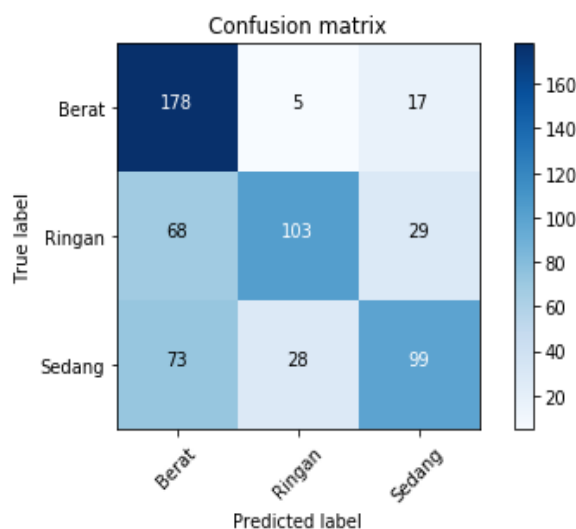
Tabel 1. Hasil Klasifikasi Beberapa Data Uji.

No	Citra Uji	Kelas Sebenarnya	Prediksi Kelas	Kebenaran Prediksi
1.		Rusak Berat	Rusak Berat	True
2		Rusak Berat	Rusak Berat	True
3		Rusak Sedang	Rusak Sedang	True

Analisis Hasil Pengujian

Pengujian ini menggunakan 600 citra yang berasal dari ketiga jenis kerusakan bangunan. Sehingga setiap jenis kerusakan bangunan akan memberikan 200 citra yang digunakan untuk proses pengujian. Data kerusakan bangunan yang digunakan merupakan data yang sudah ditetapkan

porsinya secara manual untuk penggunaan proses pengujian. Dalam pengujian, digunakan *confusion matrix* untuk mendapatkan nilai-nilai yang dibutuhkan seperti nilai akurasi, presisi, *recall*, dan F1. Gambar 5 menjelaskan bentuk plot dari hasil pengujian menggunakan *confusion matrix* pada setiap jenis kerusakan bangunan sekolah.



Gambar 5. *Confusion Matrix* Hasil Pengujian Model

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa pada pelatihan terhadap model yang dibangun menghasilkan nilai loss sebesar 68% menunjukkan bahwa model *convolutional neural network* dengan *pre-trained* model VGG-16 dapat diterapkan untuk mengidentifikasi kerusakan bangunan sekolah walaupun cukup sulit dalam mengidentifikasi ciri dari tiap citra. Walaupun cukup sulit dalam mengidentifikasi ciri dari tiap citra karena memiliki bentuk data yang abstrak dan klasifikasinya berdasarkan kondisi citra yang bersifat spasial atau keruangan, sehingga menghasilkan nilai akurasi sebesar 67.8% pada saat pelatihan. Model ini dapat digunakan untuk mengklasifikasi kerusakan bangunan sekolah di Indonesia. Tetapi, nilai akurasi untuk mengukur performa model belum cukup besar 63%.

Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menggunakan citra yang ukurannya lebih konstan atau lebih besar dari sebelumnya, menggunakan citra dengan pendefinisian klasifikasi yang lebih detail pada pengelompokan tiap kategori, penentuan sudut pandang tertentu dalam proses akuisisi citra, atau menambah jumlah dataset yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Parmo, M.H. Sucipto, dan Sumarkan. “Penilaian kondisi bangunan gedung sekolah dasar negeri studi kasus di sekolah dasar negeri se-kabupaten

madiun “, *EMARA Indonesian Journal of Architecture*, vol. 2, no. 1, hal.42 – 52, 2016.

- [2] H.Perez, J. H. M. Tah, dan A.Mosavi. “Deep learning for detecting building defects using convolutional neural networks”, *arXiv:1908.04392v1*, 2019, [Daring] Tersedia <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1908/1908.04392.pdf>. [Diakses: 2 Oktober, 2019]
- [3] I.W.Suartika, A.Y.Wijaya, R.Soelaiman. “Klasifikasi Citra Menggunakan Convolutional Neural Networks pada Caltech 101”. *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 1 , hal. 65 – 69, 2016.
- [4] Pemerintah Republik Indonesia, “Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 24 Tahun 2007 tentang Standar Sarana dan Prasarana Untuk SD/MI, SMP/MTs, SMA/ MA”, 2007.
- [5] Y. LeCun, B.Hengio, dan G.Hinton, “Deep learning”, *Nature Research Journal*, vol. 521, hal. 436–444, 2015.
- [6] C. Tan, F.Sun, T.Kong.,W.Zhang, C.Yhang, dan C.Liu, “A survey on deep transfer learning”, 2018 [Daring] Tersedia: <https://arxiv.org/pdf/1808.01974.pdf>. [Diakses: 2 Oktober, 2019].
- [7] K.Simonyan, dan A.Zisserman. “Very deep convolutional networks for large-scale image recognition”. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*, Cornell University, 2014. [Daring] Tersedia:
- [8] <https://arxiv.org/pdf/1409.1556v3.pdf>. [Diakses: 2 Oktober, 2019].