

**IMPLEMENTASI METODE *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK*
(CNN) PADA KLASIFIKASI CITRA SERAT KAYU**

(Skripsi)

Oleh

**ZAHARA LIZA MULYANI
NPM 1917051028**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

IMPLEMENTASI METODE *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK* (CNN) PADA KLASIFIKASI CITRA SERAT KAYU

Oleh

ZAHARA LIZA MULYANI

Kayu merupakan bahan terpenting dalam industri konstruksi dan manufaktur, seperti kayu bayur, damar dan sengon. Selain kayu olahan, terdapat juga kayu yang pengolahannya terbatas, sehingga jenis kayu harus diidentifikasi untuk mencegah pembalakan liar. Klasifikasi jenis kayu digunakan oleh perusahaan industri untuk memilah bahan baku dan digunakan oleh polisi kehutanan untuk mencegah pembalakan liar. Proses klasifikasi kayu umumnya dilakukan secara manual sehingga tidak efisien. Proses klasifikasi jenis kayu berdasarkan citra kayu dapat diterapkan dalam teknologi dengan menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN). Data citra serat kayu bayur, damar dan sengon yang digunakan sebagai *dataset* masing-masing sebanyak 300 data, sehingga total *dataset* sebanyak 900 data. Pelatihan model CNN menggunakan data latih dan data validasi dengan perbandingan 80:20 dari *dataset*, yang berisi total 900 data. Pengujian model CNN menggunakan 30 data uji baru. Proses pelatihan model CNN dengan *5-Fold Cross Validation* memberikan akurasi rata-rata sebesar 82,12%. Proses pengujian model CNN memberikan akurasi 80%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa identifikasi jenis kayu dari citra serat kayu menggunakan model CNN berhasil dilakukan dan dapat diimplementasikan ke dalam bentuk *website* Sistem Klasifikasi Citra Serat Kayu.

Kata Kunci : Citra Serat Kayu, *Convolutional Neural Network*, CNN, Jenis Kayu, Klasifikasi Citra.

ABSTRACT

THE IMPLEMENTATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN) METHOD ON WOOD FIBER IMAGE CLASSIFICATION

By

ZAHARA LIZA MULYANI

Wood, such as bayur, damar, and sengon, is the primary material used in the construction and industrial industries. In addition to processable wood, there are forests with processing restrictions, thus it is vital to identify the types of wood to prevent unlawful logging. Manufacturing businesses use wood classification to categorize raw materials, and forestry police use it to prevent unlawful logging. Wood classification is typically done manually, which is inefficient. The Convolutional Neural Network (CNN) method can be used to implement the process of classifying wood types based on wood images in technology. Bayur, Damar, and Sengon wood fiber image data used as datasets are 300 data each, so the total dataset is 900 data. CNN model training uses training data and validation data with a ratio of 80:20 from the dataset, which contains a total of 900 data. 30 new test data are used in the CNN model testing process. Using 5-Fold Cross Validation, the CNN model training process yielded an average accuracy of 82.12%. The accuracy of the CNN model testing method was 80%. Based on the findings, it is possible to conclude that the identification of wood types using wood fiber images has been successfully accomplished using the CNN model and implemented in the Wood Fiber Image Classification System website.

Keywords : Convolutional Neural Network, CNN, Image Classification, Wood Fiber Image, Wood Type.

**IMPLEMENTASI METODE *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK*
(CNN) PADA KLASIFIKASI CITRA SERAT KAYU**

Oleh

ZAHARA LIZA MULYANI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA KOMPUTER**

Pada

**Jurusan Ilmu Komputer
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam**



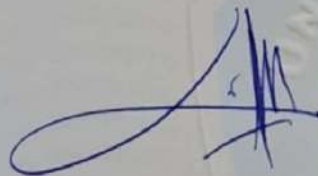
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI METODE
CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK
(CNN) PADA KLASIFIKASI CITRA SERAT
KAYU**

Nama Mahasiswa : **Zahara Liza Mulyani**
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917051028
Program Studi : S1 Ilmu Komputer
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Rizky Prabowo, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19880807 201903 1 011



Yunda Heningtyas, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19890108 201903 2 014

2. Ketua Jurusan Ilmu Komputer

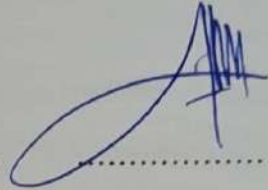


Didik Kurniawan, S.Si., M.T.
NIP. 19800419 200501 1 004

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

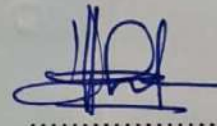
Ketua : Rizky Prabowo, S.Kom., M.Kom.



Sekretaris : Yunda Heningtyas, S.Kom., M.Kom.



Penguji Utama : Dr. rer. nat. Akmal Junaidi, M.Sc.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Heri Satria
Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **26 Juni 2023**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zahara Liza Mulyani

NPM : 1917051028

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “**Implementasi Metode *Convolutional Neural Network* (CNN) Pada Klasifikasi Citra Serat Kayu**” merupakan karya saya sendiri dan bukan karya orang lain. Semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila dikemudian hari terbukti skripsi saya merupakan hasil penjiplakan atau dibuat orang lain, maka bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar yang telah saya terima.

Bandar Lampung, 26 Juni 2023



Zahara Liza Mulyani
NPM. 1917051028

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 12 November 2000. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di TK Swasta Citra Insani Rawajitu Timur Tulang Bawang yang diselesaikan pada tahun 2007, SDN 7 Bandar Jaya Lampung Tengah dan selesai pada tahun 2013. Kemudian pendidikan menengah pertama di SMPN 3 Terbanggi Besar Lampung Tengah yang diselesaikan pada tahun 2016. Lalu melanjutkan ke pendidikan menengah akhir di SMA Swasta Al-Kautsar Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2019.

Pada tahun 2019 penulis terdaftar menjadi mahasiswa di Program Studi S1 Ilmu Komputer, Jurusan Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN untuk program studi pilihan pertama. Selama menjadi mahasiswa penulis melakukan beberapa kegiatan antara lain.

1. Mengikuti rangkaian kegiatan Pengenalan Kehidupan Kampus bagi Mahasiswa Baru (PKKMB) Universitas Lampung, PKKMB Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Pengenalan Jurusan Ilmu Komputer (PRINTER) dan Program Orientasi Perguruan Tinggi (PROPTI) Jurusan Ilmu Komputer pada tahun 2019.
2. Menjadi Sekretaris Divisi Desain, Dokumentasi dan Dekorasi pada kegiatan Gebyar Anggota Muda Ilmu Komputer (ADAPTER) Himpunan Mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer pada periode 2019/2020.
3. Mengikuti kegiatan Karya Wisata Ilmiah (KWI) XXX Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Desa Tambah Dadi, Kecamatan Purbolinggo, Kabupaten Lampung Timur pada tahun 2019.

4. Menjadi anggota Bidang Keilmuan Himpunan Mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer pada periode 2019/2020.
5. Menjadi ketua tim pada kegiatan Kompetisi Inovasi Bisnis Mahasiswa (KIBM) yang diadakan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan tahun 2020.
6. Menjadi anggota panitia divisi Kakak Asuh pada Kegiatan Program Orientasi Perguruan Tinggi (PROPTI) Jurusan Ilmu Komputer tahun 2020.
7. Menjadi Sekretaris Pelaksana pada Kegiatan Workshop Wawancara Kerja Himpunan Mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer pada tahun 2020.
8. Menjadi anggota Bidang Keilmuan Himpunan Mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer pada periode 2020/2021.
9. Menjadi Sekretaris Pelaksana pada Kegiatan Pekan Raya Jurusan Ilmu Komputer (PRJ) IX Himpunan Mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer pada tahun 2021.
10. Menjadi Asisten Dosen mata kuliah Matematika Diskrit di Jurusan Ilmu Komputer pada tahun 2021.
11. Menjadi ketua tim pada kegiatan *Developing an Analytical Dashboard to Improve Restaurant Performance Competition* yang diadakan oleh *RMDS Lab* tahun 2021.
12. Menjadi anggota panitia Divisi Acara Kegiatan Karya Wisata Ilmiah (KWI) XXXII Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam pada periode 2020/2021.
13. Mengikuti ujian sertifikasi dan mendapatkan sertifikat *Junior Web Developer* oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP) pada tahun 2022.
14. Melaksanakan Kerja Praktik pada bulan Januari 2022 sampai dengan bulan Februari 2022 di PT Jasa Raharja (Persero) Cabang Lampung.
15. Melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Gunung Mekar, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur pada tahun 2022.
16. Menjadi anggota tim Digitalisasi Jabung selama kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Gunung Mekar, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur pada tahun 2022.

17. Menjadi koordinator divisi Publikasi, Desain dan Dokumentasi selama kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Gunung Mekar, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur pada tahun 2022.
18. Menjadi koordinator pada program kerja Penambahan Lokasi Vital Desa di *Google Maps* selama kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Gunung Mekar, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur pada tahun 2022.
19. Menjadi koordinator pada program Inovasi dan Promosi UMKM Desa Gunung Mekar untuk Acara Pameran Produk UMKM Se-Kecamatan Jabung Lampung Timur, sebagai bagian dari rangkaian Acara Kunjungan Rektor Penarikan dan Pelepasan Mahasiswa KKN Universitas Lampung pada bulan Agustus 2022.

MOTTO

When you run after the akhirah, the dunya will pursue you.

3 Magic Word: Please (when I want to make a request), Sorry (when I make a mistake and should apologies), Thank You (when I get something from others).

Attitude first before knowledge.

Attitude, skill and knowledge, all the three elements put together form a success formula.

I'll do my best with my own style.

Other's perception of me, ain't none of my business.

I'm in competition with no one just myself.

"Too fast to live, too young to die." – Kwon Ji Yong aka G-Dragon

"You're doin' a good job and everything is goin' to go well. You're making it that way. However you also need to rest. Live for yourself. The world won't fall apart without you. You know all about how to get back. Look at nature. Humans are really small creatures. Don't overdo it." – Kwon Ji Yong aka G-Dragon

"Our beautiful spring, summer, autumn, and winter. Four season with no reason. After the rain, instead of sadness comes a happy end. A seven-coloured rainbow slanted like a sneer. Greeting the seasons of today." – (Big Bang - Still Life)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahilabbilamin

Puji dan syukur tercurahkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Kupersembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tuaku Tercinta

Yang senantiasa memberikan yang terbaik, dan melantunkan do'a yang selalu menyertaiku. Kuucapkan pula terima kasih sebesar-besarnya karena telah mendidik dan membesarkanku dengan cara yang dipenuhi kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan yang belum bisa terbalaskan.

Kepada Adikku serta Keluarga Besar

Yang selalu memberikan doa dan dukungan semangat.

Sahabat dan Teman-temanku

Terima kasih telah menemaniku, mendukungku, dan selalu memberikan kebahagiaan dalam hidupku.

Seluruh Keluarga Besar Ilmu Komputer 2019

Yang selalu memberikan semangat dan dukungan.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Ilmu Komputer

Tempat bernaung mengemban semua ilmu untuk menjadi bekal hidup.

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Karena atas rahmat dan hidayat-Nya serta petunjuk dan pedoman dari Rasulullah Nabi Muhammad Sholallahu Alaihi Wasallam penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan baik, lancar dan dengan keadaan sehat wal afiat. Skripsi yang berjudul **“Implementasi Metode *Convolutional Neural Network* (CNN) Pada Klasifikasi Citra Serat Kayu”** merupakan bagian dari hasil penelitian yang penulis laksanakan.

Keberhasilan dari Skripsi ini tidak terlepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

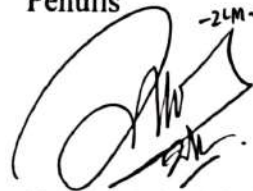
1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan rahmat dan hidayat-Nya selama kegiatan penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan baik dan lancar.
2. Kepada Kedua Orang Tua yang selalu memberikan dukungan moral, dukungan material, semangat, motivasi, kasih sayang yang tak terhingga dan senantiasa mendoakan selama ini. Semoga Allah SWT selalu memberikan keberkahan dan kebahagiaan untuk kedua orang tuaku di dunia dan akhirat.
3. Bapak Rizky Prabowo, S.Kom., M.Kom. selaku dosen pembimbing utama yang selalu memberikan bimbingan, arahan, ide, kritik, saran dan motivasi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan lancar.
4. Ibu Yunda Heningtyas, S.Kom., M.Kom. selaku dosen pembimbing kedua yang selalu memberikan bimbingan, arahan, ide, kritik dan saran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan lancar.
5. Bapak Dr. rer. nat. Akmal Junaidi, M.Sc. selaku dosen pembahas yang senantiasa memberikan kritik, saran dan masukan yang sangat bermanfaat dalam perbaikan skripsi ini.

6. Bapak Tono selaku pemilik Panglong Kayu Bringin Jaya yang telah senantiasa membantu penulis dalam memperoleh data untuk skripsi ini.
7. Bapak Didik Kurniawan, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Ilmu Komputer Universitas Lampung dan juga selaku dosen pembimbing akademik penulis yang selalu mendukung peningkatan akademik penulis.
8. Bapak Dr. rer. nat. Akmal Junaidi, M.Sc. selaku Sekretaris Jurusan Ilmu Komputer Universitas Lampung.
9. Seluruh karyawan Fakultas MIPA Universitas Lampung, Ibu Ade Nora Maela, Bang Zainuddin, Mas Syam dan Mas Nofal dan lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang selalu membantu segala urusan administrasi penulis.
10. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan pengalaman dalam hidup agar menjadi lebih baik.
11. Maghviraturreimadhiney, Salsabilla Julia, Olivia, Finka, Vira Verina, Hani, Devi, Sendy, Gista dan Intan selaku Teman Dekat saya yang telah banyak membantu, mendukung, memberi semangat dan do'a kepada saya selama penelitian hingga selesainya skripsi ini.
12. Teman-teman Jurusan Ilmu Komputer 2019 yang menjadi keluarga satu angkatan selama menjalankan masa studi di Jurusan Ilmu Komputer Universitas Lampung.
13. Teman-teman Himakom yang telah banyak mengajarkan banyak hal dalam berorganisasi, memberikan banyak pengalaman dan berjuang bersama memajukan organisasi dengan membawa nama baik Jurusan Ilmu Komputer Universitas Lampung.
14. *Last but not least. I want to say a big thank to myself for all amazing things that have happened until now, for the hard work I've put into becoming my best version and for always being so grateful for many blessings that I've received from Allah SWT, Alhamdulillah.*

Penulis menyadari dalam penulisan Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Semoga Skripsi ini dapat memberikan banyak manfaat dan keberkahan bagi semua civitas Universitas Lampung. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan perlindungan, kesehatan, dan kebaikan bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 26 Juni 2023

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Zahara Liza Mulyani', with a small '-ZLM-' written above it.

Zahara Liza Mulyani

NPM. 1917051028

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR PSEUDOCODE	x
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Penelitian Terdahulu	5
2.2. Kayu	8
2.3. Citra Digital.....	11
2.4. Klasifikasi Citra	12
2.5. <i>Neural Network</i>	13
2.6. <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	14
2.7. <i>K-Fold Cross Validation</i>	22
2.8. <i>Confusion Matrix</i>	22
2.9. <i>Metode Waterfall</i>	24
2.10. <i>Data Flow Diagram (DFD)</i>	26
2.11. <i>Python</i>	27
2.12. <i>Jupyter Notebook</i>	29
III. METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.2. Alur Kerja Penelitian.....	31
3.2.1. <i>Requirement</i>	32
3.2.2. <i>Design</i>	35
3.2.3. <i>Implementation</i>	38
3.2.4. <i>Verification</i>	42
3.2.5. <i>Maintenance</i>	43

IV. PEMBAHASAN	44
4.1. Metode Klasifikasi <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN).....	44
4.1.1. <i>Preprocessing Data</i>	44
4.1.2. Pembagian Data	45
4.1.3. Perancangan Arsitektur CNN.....	46
4.1.4. Pelatihan Model CNN.....	50
4.1.5. Pengujian Model CNN.....	55
4.1.6. Evaluasi Model CNN	59
4.1.7. Implementasi Model CNN ke dalam Sistem.....	63
4.2. Pembahasan.....	65
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1. Simpulan	69
5.2. Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian terdahulu.....	5
2. <i>Timeline</i> penelitian.....	30
3. Pembagian <i>dataset</i> untuk proses <i>training</i>	39
4. Pembagian data uji	40
5. <i>Hyperparameter</i> yang digunakan pada model CNN.....	50
6. <i>5-Fold Cross Validation</i> pada pelatihan model CNN	54
7. Hasil <i>Accuracy, Precision, Recall, F1 Score</i> pada pelatihan model CNN	55
8. Pengujian model CNN	56
9. <i>Confusion matrix</i> hasil pengujian pada model CNN.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Serat kayu sengon.	9
2. Serat kayu bayur.....	10
3. Serat kayu damar.....	11
4. <i>Multi Layer Perceptron</i> (MLP).....	14
5. Arsitektur <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN).....	15
6. Arsitektur tiga dimensi <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN).	15
7. Operasi <i>convolution</i> citra menggunakan sebuah <i>filter</i> atau <i>kernel</i>	17
8. Pengaruh <i>stride</i> terhadap operasi <i>convolution</i> citra.	17
9. Penambahan <i>padding</i> terhadap operasi <i>convolution</i>	18
10. <i>Max pooling</i> dan <i>average pooling</i>	19
11. Fungsi aktivasi <i>Rectified Linear Units</i> (ReLU).	19
12. <i>Confusion matrix</i>	22
13. Metode <i>waterfall</i>	25
14. Alur penelitian sistem klasifikasi citra serat kayu.....	31
15. Data citra serat kayu sengon, serat kayu bayur dan serat kayu damar.	34
16. <i>Flowchart</i> sistem klasifikasi citra serat kayu.	35
17. <i>Context diagram</i> sistem klasifikasi citra serat kayu.....	36
18. <i>Data flow diagram</i> (DFD) <i>level 0</i> sistem klasifikasi citra serat kayu.	36
19. Desain <i>interface</i> sistem klasifikasi citra serat kayu.	37
20. Desain <i>interface user guideline</i> sistem klasifikasi citra serat kayu.....	37
21. Skenario proses <i>training</i> dan proses <i>testing</i>	38
22. Rotasi 90° dan <i>flip horizontal</i> pada data uji.....	39
23. Perancangan Arsitektur CNN.....	40
24. Pembagian data pada setiap iterasi <i>cross validation</i>	45
25. Arsitektur CNN yang digunakan dalam penelitian.	46
26. <i>Layer</i> arsitektur CNN dan <i>output shape</i> yang digunakan dalam penelitian....	48
27. Kronologi <i>batch-size</i> bernilai 8.....	51
28. Penerapan <i>batch size</i> dan <i>epoch</i> pada <i>cross validation</i> ke-1.....	52
29. Kronologi <i>forward propagation</i> , dan <i>backward propagation</i>	52
30. Kemiripan serat kayu bayur dan serat kayu damar.	62
31. Kemiripan serat kayu damar dan serat kayu sengon.....	62
32. <i>Interface</i> sistem klasifikasi citra serat kayu sebelum <i>input</i> citra.....	63
33. <i>Interface</i> sistem klasifikasi citra serat kayu setelah <i>input</i> citra.....	64
34. <i>Interface user guideline</i> sistem klasifikasi citra serat kayu.	64
35. Performa <i>loss</i> dan <i>accuracy</i> setiap <i>cross validation</i>	66

36. Perbandingan nilai <i>accuracy</i> pada setiap <i>cross validation</i>	67
37. Perbandingan nilai <i>precision</i> pada setiap <i>cross validation</i>	67
38. Perbandingan nilai <i>recall</i> pada setiap <i>cross validation</i>	68
39. Perbandingan nilai <i>f1 score</i> pada setiap <i>cross validation</i>	68
40. Grafik sebaran data berdasarkan hasil prediksi model CNN.	75

DAFTAR PSEUDOCODE

<i>Pseudocode</i>	Halaman
1. <i>Resize data</i>	44
2. Model <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	47

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kayu merupakan salah satu dari hasil dari kekayaan alam dan memiliki peran besar dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu peran kayu dalam kehidupan yaitu di dalam dunia industri mulai dari industri skala kecil maupun besar. Kayu juga masih menjadi salah satu bahan utama pembuatan bangunan dalam dunia konstruksi, dan untuk industri manufaktur kayu digunakan untuk pembuatan mebel perabotan rumah tangga. Jenis kayu yang beraneka ragam sangat mempengaruhi kualitas kayunya, dari kualitas inilah akan mempengaruhi pada harga dan kualitas produk akhir yang dihasilkan dari olahan kayu tersebut. Kualitas kayu juga menjadi salah satu acuan untuk menjamin keawetan dari kayu tersebut. Selain kayu yang dapat diolah terdapat pula kayu yang tidak boleh atau dibatasi pengolahannya yaitu jenis kayu yang langka dan dilindungi, sehingga penting untuk mengidentifikasi terlebih dahulu dengan akurat jenis kayu tertentu untuk menghindari dan mencegah terjadinya pembalakan liar (Prastowo, 2021).

Indonesia memiliki beberapa jenis kayu yang banyak digunakan pada industri manufaktur kayu antara lain yaitu kayu sengon, kayu bayur, kayu damar dan lain-lain (Pramunendar dkk., 2017). Kayu sengon adalah salah satu jenis kayu yang dominan di hutan rakyat karena memiliki waktu pertumbuhan yang cepat dan dengan jangka waktu panen yang sekitar 4-6 tahun. Kayu sengon memiliki harga yang relatif lebih murah dibanding kayu yang lainnya (Utama dkk., 2019). Kayu sengon digunakan untuk kebutuhan papan dengan ukuran tertentu sebagai bahan pembuat peti, papan penyekat, pengecoran semen dalam konstruksi, industri korek api, pensil, kayu lapis (*plag wood*), kayu pertukangan (perabotan rumah tangga) dan kerajinan seni yang bernilai tinggi (Satmoko dkk., 2013). Kayu damar (*Shorea Macroptera*) merupakan salah satu kayu memiliki tingkat keawetan yang

tinggi. Kayu damar digunakan sebagai bahan bangunan kayu dibuat dalam bentuk papan dan balok. Kayu damar juga digunakan sebagai kayu lapis, mebel, lantai rumah, papan dan peralatan rumah tangga (Antoh dkk., 2015), selain itu kayu damar digunakan sebagai pembuatan kapal (Permana dkk., 2017). Kayu bayur (*Pterospreum Javanicum*) merupakan jenis kayu yang memiliki warna khas merah. Kayu bayur biasanya dijadikan untuk konstruksi bangunan serta bahan dasar untuk industri mebel, karena memiliki kualitas yang kuat serta tahan terhadap serangan rayap. Kayu bayur merupakan kayu yang memiliki berat jenis ringan sehingga banyak digunakan sebagai bahan baku papan laminasi (Ariesta, 2021).

Klasifikasi kayu merupakan bentuk upaya untuk mendapatkan informasi terkait jenis kayu berdasarkan beberapa ciri yaitu ciri umum dan ciri anatomi. Ciri umum yang dapat diidentifikasi menggunakan indra dan visual terdiri dari warna, tekstur, arah serat, kekerasan kayu dan lain-lain. Ciri anatomi yang dapat diidentifikasi menggunakan bantuan kaca pembesar seperti lup dan mikroskop terdiri dari susunan, bentuk, ukuran sel dan jaringan penyusun (Hendriyana & Maulana, 2020). Klasifikasi jenis kayu juga digunakan pada perusahaan manufaktur, khususnya pada saat proses pemilahan bahan baku, proses klasifikasi secara visual ini sangat berpengaruh pada kualitas hasil produksinya. Klasifikasi jenis kayu juga dapat digunakan oleh pihak polisi kehutanan untuk mengidentifikasi jenis kayu tertentu, guna menghindari dan mencegah adanya pembalakan liar di Indonesia. Sebagian besar proses klasifikasi dilakukan secara manual dengan indra dan visual manusia. Hal ini menyebabkan proses membutuhkan waktu yang cukup lama, secara berulang-ulang sehingga tidak efisien, dan menambah biaya operasional (Arifin & Melita, 2013).

Maka dari itu klasifikasi serat kayu berdasarkan citra digital digunakan untuk membedakan jenis kayu lebih baik menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Network*). Pendekatan Jaringan Syaraf Tiruan menerapkan kinerja otak manusia pada mesin dan pada *Neural Network* terdapat salah satu metode yang digunakan untuk melakukan klasifikasi dengan hasil signifikan yaitu metode *Convolutional Neural Network* (CNN). *Convolutional Neural Network*

(CNN) termasuk *Multi-Layer Perceptron* (MLP) atau terdapat banyak lapisan yang mampu memproses citra secara geometris yaitu translasi, rotasi dan penskalaan. Secara garis besar CNN memiliki 2 tahap utama yaitu *feature learning* dan *classification*, yang di setiap bagian CNN terdapat ada 2 proses utama yaitu *feed-forward* dan *backpropagation*. CNN untuk tahap *feature learning* terdapat *convolutional layer*, ReLU (fungsi aktivasi) dan *pooling layer*. CNN untuk tahap *classification* terdapat *flatten*, *fully-connected layer*, dan prediksi (Yusuf dkk., 2019).

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Prastowo (2021) tentang pengenalan citra dari beberapa jenis kayu menggunakan metode *Convolutional Neural Network* pada penelitian tersebut hasil pengujian bahwa model mampu mengidentifikasi jenis kayu dengan akurasi mencapai 95%. Berdasarkan hasil mengidentifikasi dari berbagai jenis penelitian sebelumnya, sehingga pada penelitian ini mengusulkan tema yaitu "Implementasi Metode *Convolutional Neural Network* (CNN) Pada Klasifikasi Citra Serat Kayu". Penelitian ini memfokuskan dalam proses klasifikasi pada data citra serat kayu sengon, kayu bayur dan kayu damar dengan menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

- a. Bagaimana cara mengklasifikasikan citra serat kayu menggunakan metode CNN?
- b. Bagaimana hasil akurasi menggunakan metode CNN pada klasifikasi citra serat kayu?

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal diantaranya yaitu:

- a. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari pengambilan gambar secara langsung menggunakan kamera belakang dengan spesifikasi 48 MP.
- b. Posisi pengambilan data citra serat kayu berada di luar ruangan.
- c. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data citra serat kayu sengon, kayu bayur dan kayu damar dengan ukuran citra sebesar 600×600 piksel.
- d. Data citra yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *bitmap* dengan ekstensi JPG.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya kegiatan penelitian ini adalah :

- a. Mengidentifikasi jenis kayu melalui citra serat kayu.
- b. Mengetahui hasil akurasi menggunakan metode CNN pada klasifikasi citra serat kayu.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari diadakannya kegiatan penelitian ini yaitu:

- a. Memperkaya ilmu pengetahuan mengenai cara identifikasi jenis kayu melalui citra serat kayu menggunakan metode CNN.
- b. Mengetahui tingkat keakuratan metode klasifikasi CNN dalam mengklasifikasikan jenis citra serat kayu sehingga dapat dijadikan sebagai informasi bagi penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini tidak terlepas dari beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan. Beberapa ringkasan dari penelitian terdahulu yang dijelaskan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Penelitian terdahulu

Nama Peneliti	Data	Metode	Hasil
(Prastowo, 2021)	Data yang digunakan berupa data citra dari empat jenis kayu yaitu Glugu, Jati, Sengon, dan Waru.	CNN	Pada penelitian tersebut hasil pengujian bahwa model mampu mengidentifikasi jenis kayu dengan akurasi 95%.
(Naufal & Kusuma, 2021)	Data yang digunakan berupa 3725 data citra wajah dengan masker dan 3828 data citra wajah tanpa masker.	CNN	Pada penelitian tersebut menghasilkan akurasi rata-rata sebesar 0.988 untuk arsitektur <i>Xception</i> dan 0.981 untuk arsitektur <i>MobileNetv2</i> keduanya menggunakan 5- <i>cross validation</i> dan 50 <i>epoch</i> .
(Kotta dkk., 2022)	Data yang digunakan berupa data citra dari 10 jenis penyakit daun tomat dengan perbandingan data latih 85%, data validasi 10% dan data uji 5%.	CNN	Implementasi model CNN pada aplikasi <i>mobile</i> menghasilkan akurasi pada data uji dari galeri sebesar 94% dan akurasi pada data uji dari kamera sebesar 80%.
(Prabowo dkk., 2021)	Data yang digunakan berupa data citra daun keji beling sebanyak 2000 data dengan pembagian 1800 data latih, 160 data validasi dan 200 data uji.	ANN-CNN	Hasil akurasi tertinggi sebesar 82.5% dengan waktu 140 detik/ <i>epoch</i> .

Tabel 1. (lanjutan)

Nama Peneliti	Data	Metode	Hasil
(Hendriyana & Maulana, 2020)	Data yang digunakan berupa data citra 10 jenis kayu yang berjumlah 1000 dengan pembagian data menjadi 90 citra untuk <i>training</i> , 10 citra untuk validasi dan 30 citra secara acak untuk <i>testing</i> setiap jenis kayu.	CNN	Hasil akurasi identifikasi jenis kayu sebesar 98 % untuk <i>training</i> dan 93,3 % untuk <i>testing</i> , 28% untuk <i>recall</i> dan 93% untuk presisinya.

Penelitian yang dilakukan oleh Prastowo (2021) menggunakan data yang berupa data citra dari empat jenis kayu yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu Glugu, Jati, Sengon, dan Waru yang diambil secara alami tanpa adanya pengaturan pencahayaan dan dari data-data tersebut dibagi menjadi data pelatihan, data validasi dan data pengujian. Penelitian ini menggunakan metode CNN dan menggunakan arsitektur CNN *VGG-16* dengan beberapa penyesuaian yang bertujuan agar komputasi menjadi lebih ringan. Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap pelatihan menggunakan data pelatihan dan tahap pengujian menggunakan data pengujian. Proses pelatihan dilakukan 600 kali *epoch*/iterasi terhadap 733 data citra yang merupakan data pelatihan. Hasil perbandingan antara data pelatihan dan data validasi menunjukkan hasil yang baik dan tidak ada *overfitting* atau *underfitting*. Proses pengujian menggunakan 100 data citra dari empat jenis kayu yang telah ditentukan dan merupakan data pengujian. Hasil pengujian menunjukkan akurasi sebesar 95% pada model dalam mengidentifikasi empat jenis kayu yang telah disediakan.

Penelitian yang dilakukan oleh Naufal & Kusuma (2021) menggunakan data yang berupa data citra wajah dengan masker dan wajah tanpa masker yang berasal dari *Kaggle* yaitu 3725 data citra wajah dengan masker dan 3828 data citra wajah tanpa masker. Data asli yang didapatkan memiliki ukuran yang tidak sama sehingga data citra diubah menjadi berukuran 64×64 piksel. Persentase pembagian data pada penelitian tersebut yaitu data latih 80% dan data validasi 10% dan data uji 10%. Penelitian ini menggunakan metode CNN dengan

membandingkan performa arsitektur *Xception* dan *MobileNetv2*. Proses pelatihan menggunakan proporsi dataset secara acak dengan menerapkan *5-Fold Cross Validation* sehingga proses ini dilakukan berulang sebanyak 5 kali. Proses pelatihan juga menggunakan *50 epoch*, *optimizer adam* dan *categorical cross entropy* yang diterapkan pada arsitektur *Xception* dan *MobileNetv2* untuk melihat perbedaan hasilnya. Proses pengujian dilakukan dengan 10% dataset secara *random* dan pengujian juga menggunakan *5-Fold Cross Validation* sehingga proses ini dilakukan berulang sebanyak 5 kali. Perhitungan performa pada penelitian tersebut dilakukan pada setiap iterasi *Cross Validation*, sehingga setiap iterasi *Cross Validation* akan terdapat hasil *accuracy*, *precision*, *recall*, *F1 score*. Pada penelitian tersebut menghasilkan akurasi rata-rata sebesar 0.988 untuk arsitektur *Xception* dan 0.981 untuk arsitektur *MobileNetv2* dengan pengaturan *hyperparameter* yang sama.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Kotta dkk. (2022) menggunakan data citra 10 jenis penyakit pada daun tomat dengan keseluruhan jumlah data sebanyak 18.160. Data citra yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 64×64 piksel. Pembagian data dalam penelitian ini dengan persentase pembagian data *training* 85% sebanyak 15.436, data validasi 10% sebanyak 2043 dan data *testing* 5% sebanyak 681. Penelitian ini menggunakan metode CNN dengan arsitektur *MobileNet*, aktivasi *ReLU* dan *Softmax* untuk klasifikasi citra 10 jenis penyakit daun tomat. Penelitian ini mengimplementasikan model CNN yang sudah di-*training* ke dalam bentuk sistem aplikasi *mobile*. Pengujian terhadap sistem aplikasi *mobile* dilakukan dengan mengambil lima *sample* citra dari setiap jenis penyakit daun tomat sehingga total pengujian sebanyak 50 kali pengujian dan menghasilkan akurasi pada data uji dari galeri sebesar 94% dan akurasi pada data uji dari kamera sebesar 80%.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Prabowo dkk. (2021) menggunakan data yang berupa data citra daun keji beling. Data citra yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 4000×4000 piksel dan dengan *channel* RGB. Penelitian ini menggunakan 1800 citra sebagai data latih, 160 citra sebagai data validasi dan 200 data uji, penelitian ini terdiri atas 2 kelas. Penelitian ini menggunakan metode

ANN-CNN dengan menggunakan lapisan aktivasi ReLu, *Convolutional Layer* bernilai 16, 32 dan 64, dan *Max Pooling layer* dengan ukuran 2×2 . Pada proses pembelajaran model menggunakan laju pembelajaran sebesar 0,001 dan jenis *loss* yang digunakan ialah *binary cross entropy* karena di dalam penelitian ini menggunakan 2 jenis kelas. Hasil nilai akurasi tertinggi mencapai 82.5% pada 10 *epoch* dan waktu tercepat untuk menghasilkan akurasi tersebut adalah 140 detik/*epoch*.

Penelitian yang dilakukan oleh Hendriyana & Maulana (2020) menggunakan data yang berupa data 1000 citra untuk 10 jenis kayu yaitu kayu Balsa, Bongin, Eboni Hitam, Jati, Kupang, *Ochroma Iagopus Hort*, Pasang, Sonokembang, Tinjau Belukar dan Tusam untuk setiap jenis kayu dibagi menjadi 90 citra yang digunakan untuk *training*, 10 citra untuk validasi dan 30 citra untuk pengujian. Penelitian ini menggunakan metode CNN dan arsitektur *Mobilenet* untuk klasifikasi citra. Proses pelatihan menggunakan 20 *epoch*, dengan *step per epoch* sebesar 8000 dan nilai *learning rate* 0,001. Hasil pelatihan menunjukkan nilai *accuracy* sebesar 98,18% dengan *loss* sebesar 0,0605. Proses pengujian menggunakan sebanyak 30 data citra untuk masing-masing 10 jenis kayu yang tersedia sehingga total data uji sebanyak 300 data. Hasil pengujian menunjukkan akurasi sebesar 95% dan untuk *input image* menggunakan 150×150 *pixel* dengan nilai akurasi sebesar 98%.

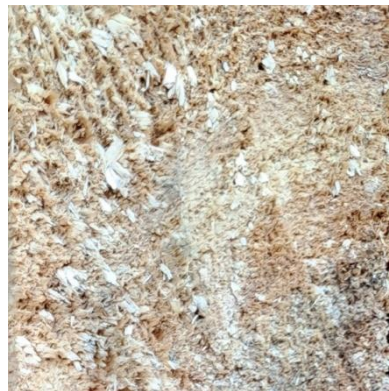
2.2. Kayu

Kayu merupakan salah satu dari hasil dari kekayaan alam dan memiliki peran besar dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu peran kayu dalam kehidupan yaitu di dalam dunia industri mulai dari industri skala kecil maupun besar. Kayu juga masih menjadi salah satu bahan utama pembuatan bangunan dalam dunia konstruksi, dan untuk industri manufaktur kayu digunakan untuk pembuatan mebel perabotan rumah tangga. Indonesia menjadi salah penghasil utama dari ekspor produk yang terbuat dari kayu (Pramunendar dkk., 2017). Jenis kayu yang beraneka ragam sangat mempengaruhi kualitas kayunya, dari kualitas

ini akan mempengaruhi pada harga dan kualitas produk akhir yang dihasilkan dari olahan kayu tersebut. Kualitas kayu juga menjadi salah satu acuan untuk menjamin keawetan dari kayu tersebut. Selain kayu yang dapat diolah terdapat pula kayu yang tidak boleh atau dibatasi pengolahannya yaitu jenis kayu yang langka dan dilindungi, sehingga penting untuk mengidentifikasi terlebih dahulu dengan akurat jenis kayu tertentu untuk menghindari dan mencegah terjadinya pembalakan liar (Prastowo, 2021). Indonesia memiliki beberapa jenis kayu yang banyak digunakan pada industri manufaktur kayu antara lain yaitu kayu sengon, kayu bayur, kayu damar dan lain-lain.

2.2.1. Kayu Sengon

Kayu jenis sengon (*Falcataria Moluccana*) adalah salah satu jenis pohon yang memiliki pertumbuhan relatif lebih cepat yang ditanam di hutan rakyat. Kayu jenis sengon memiliki jangka waktu panen kayu berkisar sekitar 4-6 tahun. Selain itu penjualan kayu sengon juga lebih mudah dilakukan dibandingkan jenis kayu lainnya karena harga yang relatif lebih murah dibanding kayu yang lainnya (Utama dkk., 2019). Kayu sengon memiliki karakteristik yang sangat sesuai dengan kebutuhan industri karena ringan dan kayu sengon memiliki warna putih segar. Kayu sengon digunakan untuk kebutuhan papan dengan ukuran tertentu sebagai bahan pembuat peti, papan penyekat, pengecoran semen dalam konstruksi, industri korek api, pensil, kayu lapis (*plag wood*), kayu pertukangan (perabotan rumah tangga) dan kerajinan seni yang bernilai tinggi (Satmoko dkk., 2013). Permukaan serat kayu sengon seperti yang digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Serat kayu sengon.

2.2.2. Kayu Bayur

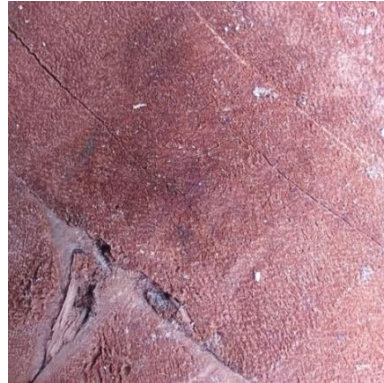
Kayu bayur (*Pterospremum Javanicum*) merupakan jenis kayu yang memiliki warna khas merah. Kayu bayur biasanya dijadikan untuk konstruksi bangunan serta bahan dasar untuk industri mebel, karena memiliki kualitas yang kuat serta tahan terhadap serangan rayap. Kayu bayur merupakan kayu yang memiliki berat jenis ringan sehingga banyak digunakan sebagai bahan baku papan laminasi (Ariesta, 2021). Permukaan serat kayu bayur seperti yang digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Serat kayu bayur.

2.2.3. Kayu Damar

Kayu damar (*Shorea Macroptera*) merupakan salah satu kayu memiliki tingkat keawetan yang tinggi. Kayu damar digunakan sebagai bahan bangunan kayu dibuat dalam bentuk papan dan balok. Kayu damar juga digunakan sebagai kayu lapis, mebel, lantai rumah, papan dan peralatan rumah tangga (Antoh dkk., 2015), selain itu kayu damar digunakan sebagai pembuatan kapal (Permana dkk., 2017). Permukaan serat kayu sengon seperti yang digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3.Serat kayu damar.

2.3. Citra Digital

Pengertian yang umum citra adalah gambar. Pengertian khusus citra merupakan gambaran visual mengenai objek. Wujud citra seperti foto orang, gambar, hasil rontgen dan citra satelit. Secara umum citra dibagi menjadi dua jenis yaitu citra analog dan citra digital. Citra analog merupakan citra yang dijumpai pada kertas seperti foto mahasiswa di kartu mahasiswa atau media lainnya pada *film rontgen*. Citra digital merupakan citra yang dinyatakan dalam bentuk kumpulan data digital dan dapat diproses menggunakan komputer. Citra digital disusun dengan sejumlah piksel, setiap piksel memiliki koordinat (Kadir, 2013). Citra digital dapat didefinisikan sebagai fungsi dua dimensi $f(x,y)$, dimana x dan y adalah koordinat bidang datar, dan fungsi f di setiap pasang koordinat (x,y) disebut sebagai intensitas atau tingkat *level* keabuan (*grey level*) dari gambar pada titik tersebut. Citra digital (gambar digital) memiliki hasil gambarnya yang nilainya berhingga (*finite*) dan diskrit pada x , y dan f . Citra digital memiliki beberapa elemen yaitu *picture element*, *image element*, *pels* atau *pixels* (Hermawati, 2013).

2.3.1. Jenis Citra Digital

2.3.1.1. Citra Digital Berwarna

Citra berwarna atau citra RGB yang tersusun dari 3 komponen yaitu komponen merah (*Red* atau R), komponen hijau (*Green* atau G) dan komponen biru (*Blue* atau B). Setiap piksel akan diwakili oleh tiga komponen tersebut (Kadir, 2013).

2.3.1.2. Citra Digital Berskala Keabuan

Citra berskala keabuan atau *grayscale* adalah citra yang menggunakan warna abu-abu yang merupakan perpaduan dari warna hitam dan putih. Warna yang terdapat dalam citra dinyatakan dengan nilai yang disebut intensitas dengan nilai bulat antara 0 sampai 255 (untuk keabuannya bernilai 256). Citra berskala keabuan digunakan untuk menentukan tekstur objek (Kadir, 2013).

2.3.1.3. Citra Digital Biner

Citra biner atau citra monokrom adalah citra yang menggunakan warna hitam dan putih, yang pikselnya direpresentasikan dengan nilai 0 dan 1. Citra biner digunakan untuk proses segmentasi gambar dan memisahkan objek dari latar belakangnya (Kadir, 2013).

2.4. Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra adalah menganalisis berdasarkan *input* citra yang memiliki perbedaan kondisi cahaya, perbedaan skala, perbedaan sudut pandang dan lain-lain sehingga dapat dipisahkan sesuai dengan jenis-jenis kategori atau label yang telah ditentukan (Wulandari dkk., 2020). Klasifikasi citra dilakukan mulai dari interpretasi citra untuk mengidentifikasi piksel dalam citra yang memiliki kesamaan atau homogen yang dapat mewakili jenis kategori tertentu (Purwanto & Lukiawan, 2019).

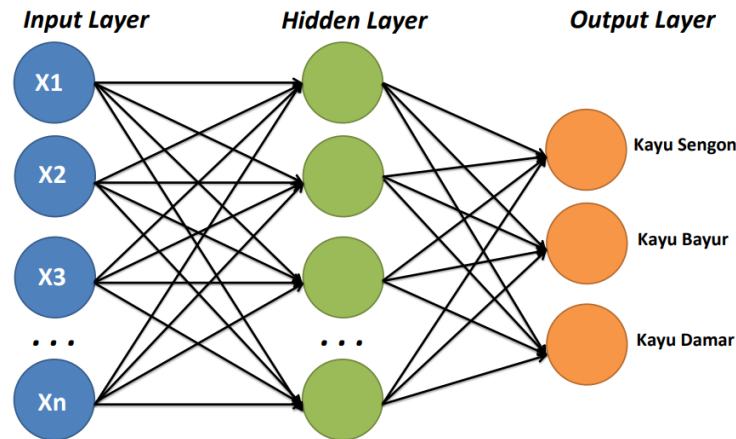
Komputer merepresentasikan gambar sebagai satu *array* tiga dimensi besar angka. Setiap angka dalam *array* adalah bilangan bulat yang berkisar dari 0 (hitam) hingga 255 (putih). Dalam masalah klasifikasi, model harus mengubah matriks

besar ini menjadi satu label. Untuk gambar berwarna tambahan itu akan memiliki tiga saluran warna: Merah, Hijau, Biru (RGB) untuk setiap piksel. Klasifikasi citra dapat menjadi tantangan bagi komputer karena ada berbagai tantangan terkait dengan representasi citra. Model klasifikasi yang sederhana mungkin tidak dapat mengatasi sebagian besar masalah ini tanpa banyak upaya rekayasa fitur. Tantangan visual dalam data gambar antara lain (Swamynathan, 2017):

- a. Variasi sudut pandang: Objek yang sama dapat memiliki orientasi yang berbeda,
- b. Variasi skala dan iluminasi: Variasi ukuran objek dan tingkat iluminasi pada tingkat piksel dapat bervariasi,
- c. Deformasi atau *twist and intra-class*: Objek dapat berubah bentuk dan dapat menjadi berbagai jenis objek dengan beragam tampilan dalam sebuah kelas,
- d. *Blockage* : Hanya sebagian kecil dari objek yang dapat terlihat,
- e. *Background clutter*: Objek yang membaur dengan *background*-nya sehingga akan membuatnya sulit untuk diidentifikasi.

2.5. *Neural Network*

Konsep algoritma atau cara kerja dari *neural network* sama dengan cara kerja otak manusia (*cerebral cortex*) yaitu dengan menerapkan *Multi Layer Perceptron* (MLP). *Multi Layer Perceptron* (MLP) terdiri dari *input layer*, *hidden layer* dan *output layer*. Pada dasarnya tidak ada ketentuan jumlah *neuron* pada *hidden layer* sehingga dapat ditambahkan jumlah *neuron* pada *hidden layer* sebanyak 4, 5, 15 dan seterusnya, jumlah ini dapat diatur dan menyesuaikan model yang akan dibuat sehingga model mendapatkan hasil akurasi yang terbaik. Jika *hidden layer* dihilangkan maka akan disebut dengan *Single Layer Perceptron* (SLP) (Saputra & Kristiyanti, 2022). *Multi Layer Perceptron* (MLP) digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Multi Layer Perceptron (MLP)*.

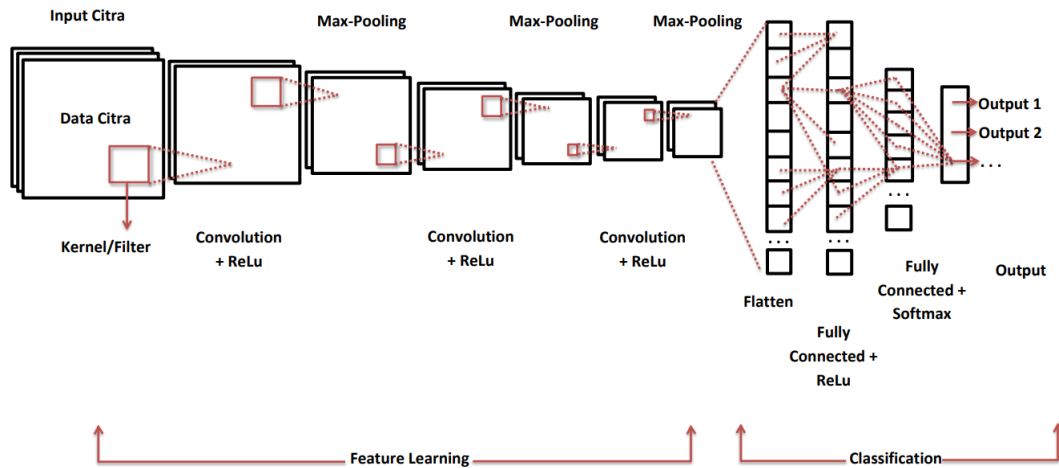
(Saputra & Kristiyanti, 2022)

Keterangan dari Gambar 4 (Saputra & Kristiyanti, 2022):

- Input layer* adalah lapisan di mana data masuk ke dalam sistem dan akan diproses pada *layer* selanjutnya.
- Hidden layer* adalah lapisan yang terdiri atas sekumpulan *neuron* yang terdapat bobot dan dilakukan perhitungan terhadap data masukan dengan nilai bobot sehingga menghasilkan *output* berdasarkan fungsi aktivasi.
- Output layer* adalah lapisan keluaran pada lapisan ini menghasilkan nilai prediksi.

2.6. *Convolutional Neural Network (CNN)*

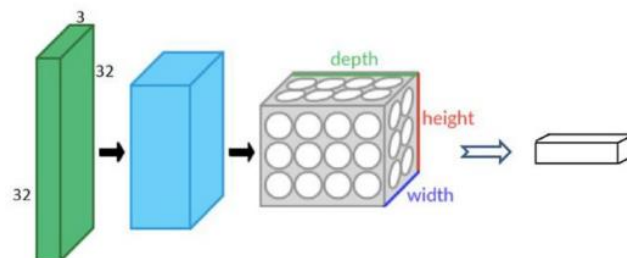
CNN merupakan algoritma yang berasal dari turunan *neural network* yang dapat digunakan untuk memproses data citra digital. Cara kerja algoritma CNN dalam memproses apa yang dilihat menyerupai cara kerja manusia, dimana pada manusia terdapat mata yang berfungsi sebagai alat *input* dan selanjutnya diproses oleh otak yang memiliki miliaran neutron, dalam CNN bagian ini disebut sebagai *layer* konvolusional, sehingga akan menghasilkan keluaran berupa prediksi terhadap suatu objek (Saputra & Kristiyanti, 2022).



Gambar 5. Arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN).

(Primartha, 2018)

CNN merupakan *deep feed-forward artificial neural networks* yang proses di dalamnya menyerupai *visual cortex* pada binatang. Bagian *cortical neurons* dapat menanggapi stimulasi hanya pada area terbatas pada bidang visual atau reseptif, dan CNN sangat sering digunakan dalam analisis citra. Arsitektur CNN seperti yang digambarkan pada Gambar 5 terdiri dari lapisan *input* (*input layer*), lapisan *output* (*output layer*) dan beberapa lapisan tersembunyi (*hidden layers*). Lapisan tersembunyi terdiri dari *convolutional layers*, *ReLU layer*, *fully connected layers* dan *loss layer*. Arsitektur CNN merupakan arsitektur tiga dimensi yaitu : lebar (*width*), tinggi (*height*) dan dalam (*depth*) seperti yang digambarkan pada Gambar 6. Bagian lebar dan tinggi menyatakan dimensi dari citra, sedangkan bagian dalam (*depth*) merupakan kanal *Red*, *Green* dan *Blue* (RGB) (Suyanto dkk., 2019).



Gambar 6. Arsitektur tiga dimensi *Convolutional Neural Network* (CNN).

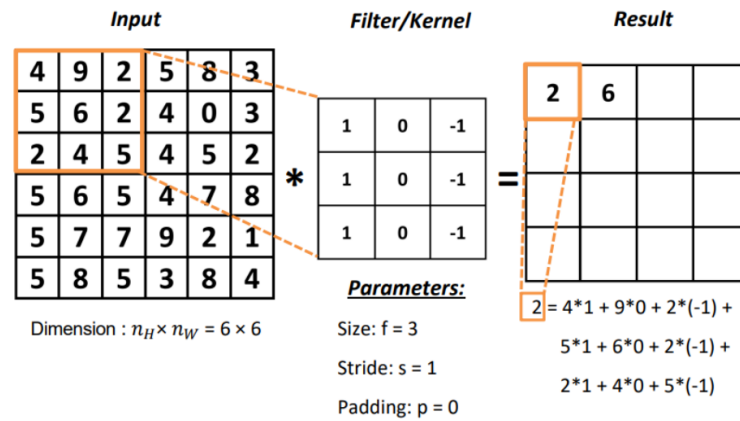
(Swamynathan, 2017)

Secara garis besar CNN memiliki 2 tahap utama yaitu *feature learning* dan *classification*, yang di setiap bagian CNN terdapat ada 2 proses utama yaitu *feed-forward* dan *backpropagation*. CNN untuk tahap *feature learning* terdapat *convolutional layer*, ReLU (fungsi aktivasi) dan *pooling layer*. CNN untuk tahap *classification* terdapat *flatten*, *fully-connected layer*, dan *loss layer* (Yusuf dkk., 2019).

2.6.1. *Feature Learning*

2.6.1.1. *Convolutional layer*

Convolutional layer adalah *layer* atau lapisan citra yang dimiliki oleh citra yang telah diinputkan. *Input* citra yang memiliki ukuran $n \times n$ akan dipisahkan sehingga menghasilkan 3 channel, yaitu *layer Red*, *layer Green* dan *layer Blue*, sehingga terbentuk multidimensional *array* dengan ukuran $n \times n \times 3$. *Convolutional layer* memiliki susunan *neuron* yang membentuk *filter* dengan membentuk matriks, dimana matriks ini memiliki panjang dan lebar dengan nilai tertentu. *Filter* dengan matriks ini selanjutnya akan dikomputasi dengan 3 *layer* citra *input* yang sebelumnya telah dipisahkan dengan RGB. Berikutnya komputasi yang telah dilakukan ini akan menghasilkan *output* matriks yang baru dan disebut dengan *layer output*. Proses konvolusi ini dilakukan sebanyak ratusan bahkan ribuan kali tergantung dengan *hyperparameter* yang dipakai (Saputra & Kristiyanti, 2022), operasi *convolution* Citra dengan sebuah *filter* atau *kernel* seperti yang digambarkan pada Gambar 7 terdapat 1 *channel input* dengan ukuran matriks 6×6 dengan ukuran matriks dari *filter* yaitu 3×3 dan menghasilkan *output* matriks hasil operasi *convolution* dengan ukuran 4×4 .

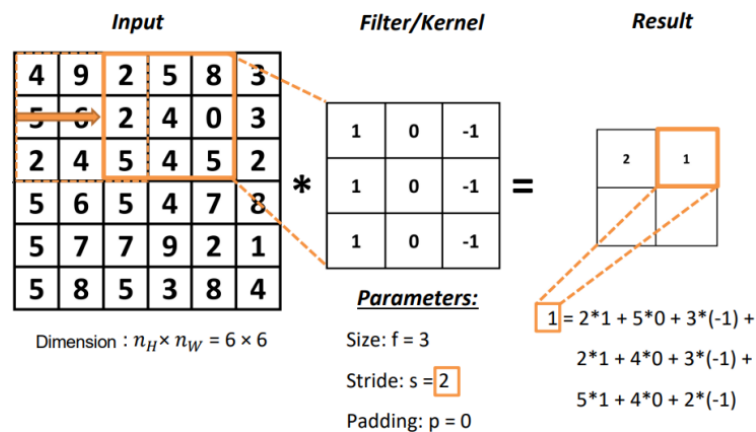


Gambar 7. Operasi *convolution* citra menggunakan sebuah *filter* atau *kernel*.

(Heryadi & Wahyono, 2021)

2.6.1.2.Stride

Stride merupakan parameter yang ditentukan guna untuk melihat pergeseran yang terjadi pada piksel. Pergeseran piksel ini dilakukan secara horizontal dan vertikal. Sebagai contoh jika *stride* bernilai 2 maka akan bergeser sebanyak 2 piksel secara horizontal dan vertikal (Saputra & Kristiyanti, 2022) seperti yang digambarkan pada Gambar 8.

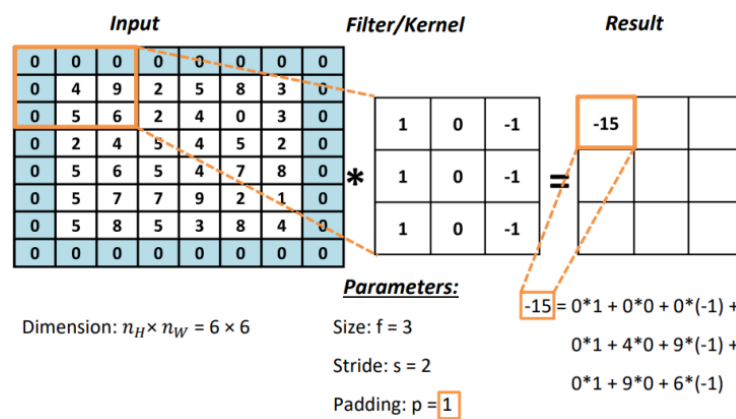


Gambar 8. Pengaruh *stride* terhadap operasi *convolution* citra.

(Heryadi & Wahyono, 2021)

2.6.1.3.Padding

Teknik *padding* merupakan teknik yang dilakukan guna menambahkan nilai piksel pada setiap pinggiran pada *input layer*. Penambahan *padding* ini dapat menjaga informasi di setiap tepi agar tidak hilang karena setelah terjadi perhitungan konvolusi. Penambahan *padding* seperti yang digambarkan pada Gambar 9 dengan matriks berdimensi 6×6 dengan penambahan 1 *padding* sehingga menjadi matriks berdimensi 8×8 dan *stride* 2 akan berubah menjadi matriks 3×3 , jika dibandingkan dengan Gambar 8 yang memiliki dimensi matriks yang sama dan *stride* 2 tanpa penambahan *padding* menghasilkan matriks dengan ukuran 2×2 sehingga piksel yang berada di pinggir *input layer* hilang beserta informasinya (Saputra & Kristiyanti, 2022).

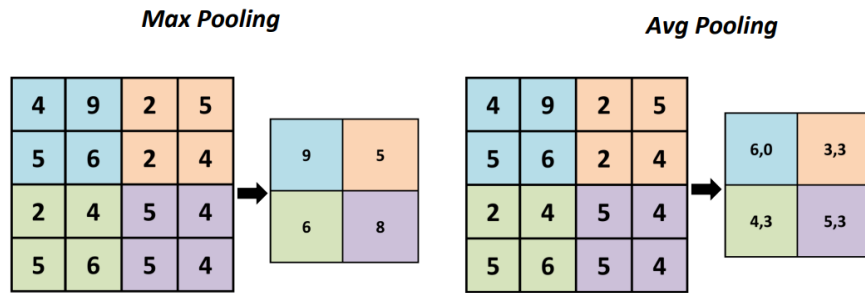


Gambar 9. Penambahan *padding* terhadap operasi *convolution*.

(Heryadi & Wahyono, 2021)

2.6.1.4.Pooling layer

Pooling layer merupakan proses yang bertujuan untuk mereduksi dimensi hasil dari *feature map*, karena nilai piksel tersebut tidak semuanya digunakan dan berharga. *Pooling layer* berfungsi untuk mempercepat proses komputasi tanpa harus kehilangan piksel-piksel yang memiliki informasi yang berguna. Terdapat 2 jenis *pooling layer* yaitu *max pooling* untuk mencari nilai tertinggi dari piksel-piksel tersebut dan *average pooling* untuk mencari nilai rata-rata dari piksel tersebut seperti yang digambarkan pada Gambar 10 (Saputra & Kristiyanti, 2022).

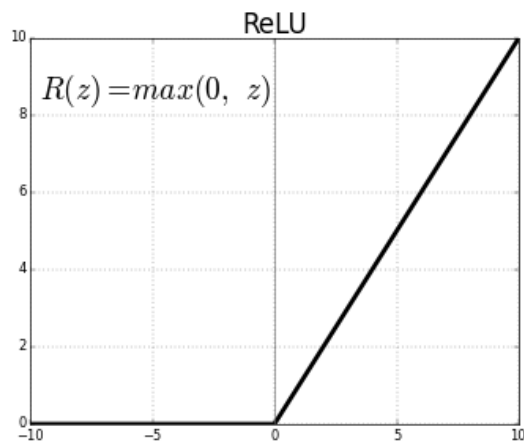


Gambar 10. *Max pooling* dan *average pooling*.

(Heryadi & Wahyono, 2021)

2.6.1.5. *Rectified Linear Units (ReLU) layer*

Rectified Linear Units (ReLU) layer yang merupakan fungsi aktivasi $f(x) = \max(0, x)$. *ReLU layer* dapat meningkatkan sifat non linearitas dari fungsi keputusan dan jaringan yang ada secara keseluruhan tanpa memberikan pengaruh pada bagian reseptif yang terdapat pada *convolution layer* (Suyanto dkk., 2019). Fungsi aktivasi *ReLU* juga dapat mempercepat proses pada *training data* (Primartha, 2018). Grafik *ReLU* digambarkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Fungsi aktivasi *Rectified Linear Units (ReLU)*.

(Primartha, 2018)

2.6.2. Classification

2.6.2.1. Fully connected layer

Fully connected layer merupakan proses *multi layer perceptron* (MLP), yang merupakan algoritma yang termasuk ke *neural network* yang di dalamnya terdapat *input layer*, *neuron* sebagai *hidden layer*, *activation function*, *output layer* dan *loss function*. Proses selanjutnya adalah evaluasi dari hasil prediksi apakah hasil ini mendekati hasil sebenarnya atau tidak. Jika hasil evaluasi ini masih jauh dari hasil sebenarnya, maka perlu dilakukan kembali *backpropagation* dan melakukan *update* setiap bobot pada *hidden layer*. Proses *forward* dan *backpropagation* ini terjadi dalam satu kali putaran disebut dengan 1 *epoch*. Perbedaan *backpropagation* pada CNN berada pada bagian bobot *kernel* atau *filter* saja (Saputra & Kristiyanti, 2022).

2.6.2.2. Loss layer

Loss layer merupakan lapisan terakhir dalam CNN yang berguna untuk menentukan pelatihan dalam memberikan penalti atau hasil akhir terhadap penyimpangan antara hasil prediksi dan label. Terdapat beberapa *loss function* yaitu (Suyanto dkk., 2019):

- Softmax loss* untuk memprediksi satu dari beberapa kelas yang saling eksklusif. Fungsi *Softmax* digunakan pada *multiclass classification*, jumlah nilai probabilitasnya adalah 1, nilai yang tinggi akan memberikan nilai probabilitas yang tinggi pula jika dibandingkan dengan nilai yang lainnya.

$$\text{Softmax}(z)_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^K e^{z_j}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- $\text{Softmax}(z)_i$: Nilai probabilitas kelas i setelah diterapkan fungsi *softmax*.
- z_i : Nilai dari *input* pada neuron *output* untuk kelas i .
- K : Jumlah total kelas.
- e : Bilangan Euler's number atau bilangan eksponensial yang memiliki nilai $\pm 2,71828$.

- b. *Sigmoid cross-entropy loss* untuk memprediksi nilai probabilitas dalam interval $[0, 1]$.
- c. *Euclidean loss* untuk regresi nilai kontinu.

2.6.3. *Tuning hyperparameter*

Tuning hyperparameter merupakan penyetelan parameter yang akan digunakan pada saat memodelkan *dataset* menggunakan metode CNN. *Tuning hyperparameter* berfungsi untuk membuat model CNN tidak terjebak dalam *underfitting* dan *overfitting*. *Hyperparameter* yang diatur yaitu *epoch*, *batch size*, *activation function*, *Number of hidden layers and units*, *Weight initialization* dan *dropout for regularization* (Saputra & Kristiyanti, 2022).

- a. *Epoch* merupakan kegiatan pembelajaran pada model dalam satu kali *feed forward* dan *backpropagation*.
- b. *Batch size* merupakan ukuran dari *sub dataset* yang dipisahkan untuk pemodelan, yang bertujuan agar tidak memberatkan komputasi.
- c. *Activation function* merupakan proses yang digunakan untuk mengaktifkan fungsi aktivasi sehingga akan menghasilkan *output* nilai bobot dan fungsi aktivasi yang tinggi.
- d. *Number of hidden layers and units* merupakan total jumlah dari *hidden layer* dan *unit neuron* yang akan digunakan pada model.
- e. *Weight initialization* merupakan proses inialisasi bobot, yang berguna untuk mencegah nilai *output layer* yang telah diaktivasi menghilang selama proses pembelajaran atau menjadi sangat tinggi.
- f. *Dropout for regularization* merupakan teknik yang digunakan untuk mengaktifkan sebagian dari *neuron* dalam *hidden layer* dan menonaktifkan sebagian yang lainnya untuk menghindari *overfitting*. Selain menggunakan *dropout for regularization* dapat digunakan dengan *batch normalization*.

2.7. *K-Fold Cross Validation*

K-Fold Cross Validation merupakan salah satu metode yang digunakan dalam mengevaluasi performa dari model atau algoritma yang telah dibuat. Pada tahap pelatihan, data dibagi menjadi data latih dan data validasi. Data latih digunakan pada proses pelatihan dan setelah dilatih model akan divalidasi menggunakan data validasi sebanyak *K-Fold* kali. Salah satu contoh dari *K-Fold Cross Validation* yang banyak digunakan adalah *Five-Fold Cross Validation* karena memiliki kemampuan dalam melakukan generalisasi data (Fuadah dkk., 2022). Penggunaan metode *K-Fold Cross Validation* untuk mengatasi permasalahan terkait perbedaan akurasi yang diperoleh untuk satu set pelatihan model dengan set berikutnya (Peryanto dkk., 2020).

2.8. *Confusion Matrix*

Evaluasi pada penelitian perlu dilakukan, evaluasi diperlukan untuk mengukur tingkat akurasi dari algoritma yang digunakan dalam penelitian. Salah satu *tools* yang dapat digunakan untuk evaluasi adalah *Confusion Matrix*. *Confusion matrix* membandingkan data prediksi yang didapatkan dari hasil pemodelan dengan data aktual yang merupakan nilai sebenarnya. Data prediksi disimbolkan dengan \hat{y} dan data aktual disimbolkan dengan y . Performa yang dapat diukur dari *Confusion matrix* yaitu nilai *accuracy*, *precision*, *recall* dan *F1 score*. Struktur dari *confusion matrix* digambarkan pada Gambar 12 (Saputra & Kristiyanti, 2022).

		Actual Values	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Values	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

Gambar 12. *Confusion matrix*.

(Saputra & Kristiyanti, 2022)

Keterangan dari Gambar 12 (Saputra & Kristiyanti, 2022):

- a. *Actual values* adalah nilai sebenarnya atau nilai yang asli dari label/class.
- b. *Predicted values* adalah nilai prediksi dari hasil pemodelan.
- c. Posisi *actual* dan *predicted values* dapat diubah, sehingga nilai *False positive* atau FP dan *False negative* atau FN juga dapat berubah.
- d. *True positive* atau TP adalah nilai prediksi yang dinyatakan benar yang sesuai dengan nilai aktual yang juga dinyatakan benar.
- e. *True negative* atau TN adalah nilai prediksi yang dinyatakan salah yang sesuai dengan nilai aktual yang juga dinyatakan salah.
- f. *False positive* atau FP adalah nilai prediksinya dinyatakan sebagai nilai yang benar akan tetapi nilai aktualnya menyatakan bahwa nilai tersebut salah, sehingga nilai prediksi yang tidak sesuai dengan nilai aktualnya.
- g. *False negative* atau FN adalah nilai prediksinya dinyatakan sebagai nilai yang salah akan tetapi nilai aktualnya menyatakan bahwa nilai tersebut benar, sehingga nilai prediksi yang tidak sesuai dengan nilai aktualnya.

2.8.1. Performa *confusion matrix binary class*

Binary class merupakan klasifikasi yang terdiri dari dua kelas (Saputra & Kristiyanti, 2022).

2.8.1.1. *Accuracy*

Accuracy mengukur tingkat keakuratan dari pemodelan yang dapat mengklasifikasi data dengan benar. *Accuracy* merupakan rasio dari prediksi benar (positif dan negatif) dengan keseluruhan dari data atau dengan kata lain tingkat kedekatan dari nilai prediksi dengan nilai aktual (nilai sebenarnya) (Saputra & Kristiyanti, 2022).

Rumus *Accuracy*:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \dots\dots\dots(2)$$

2.8.1.2. *Precision (Positive Predicted Value)*

Precision menggambarkan tingkat nilai keakuratan antara data aktual dengan hasil prediksi yang berasal dari model. *Precision* merupakan perbandingan dari rasio

prediksi benar positif dengan keseluruhan hasil yang telah diprediksi positif, sehingga dari keseluruhan kelas positif yang telah diprediksi benar berapa banyak data yang benar-benar positif (Saputra & Kristiyanti, 2022).

Rumus *Precision*:

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \dots\dots\dots(3)$$

2.8.1.3. *Recall (True Positive Rate)*

Recall menggambarkan tingkat nilai keberhasilan pada model untuk menemukan kembali sebuah informasi yang ada. *Recall* merupakan perbandingan dari nilai rasio prediksi benar positif dengan keseluruhan data yang benar positif (Saputra & Kristiyanti, 2022).

Rumus *Recall*:

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \dots\dots\dots(4)$$

2.8.1.4. *F1 Score*

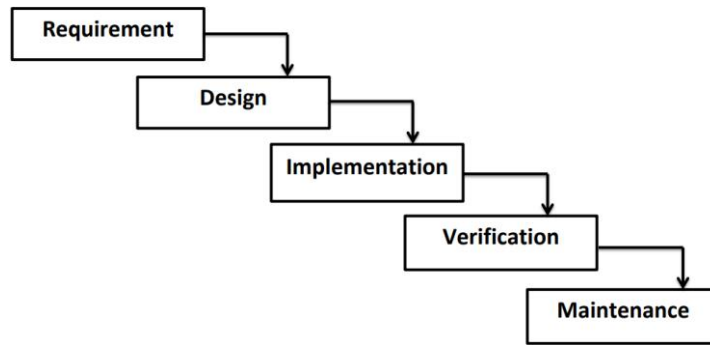
Merupakan pembobotan dari perbandingan nilai rata-rata presisi dan *recall* (Saputra & Kristiyanti, 2022).

Rumus *F1 Score*:

$$F1\ Score = 2 \times \frac{Recall \times Precision}{Recall + Precision} \dots\dots\dots(5)$$

2.9. Metode *Waterfall*

Metode *Waterfall* adalah metode pengerjaan dari suatu sistem dilakukan secara berurutan atau secara linear yang menekankan fase-fase yang berurutan dan sistematis. Disebut dengan metode *waterfall* karena proses kerjanya mengalir satu arah “ke bawah” seperti air terjun. Metode *waterfall* ini harus dilakukan secara berurutan sesuai dengan tahap yang ada (Andre R dkk., 2021). Metode *waterfall* memiliki 5 tahap pengembangan yaitu *Requirement*, *Design*, *Implementation*, *Verification*, dan *Maintenance* yang digambarkan pada Gambar 13 (Heriyanti & Ishak, 2020).



Gambar 13. Metode *waterfall*.

(Heriyanti & Ishak, 2020)

Requirement adalah tahap yang berisi analisis kebutuhan dan inisiasi proyek yang akan dibuat seperti kebutuhan fungsional yang menggambarkan interaksi pengguna dengan perangkat lunak dan kebutuhan non fungsional. Tahap *Design* untuk membuat desain analisis dari proyek agar mendapatkan gambaran besar dari proyek yang akan dilakukan seperti membuat desain algoritma, desain arsitektur, desain diagram logika, desain *interface* dan lain-lain.

Tahap *Implementation* adalah tahap menerapkan desain sistem yang telah dibuat pada tahap sebelumnya dan diterapkan ke dalam kode program menjadi sebuah aplikasi. *Verification* tahap ini juga dikenal sebagai tahap *validation* yang merupakan proses pemeriksaan pada solusi perangkat lunak dalam memenuhi persyaratan dan spesifikasi yang telah ditetapkan sehingga mencapai tujuan yang diinginkan. Tahap terakhir dari metode *waterfall* adalah *Maintenance* yaitu tahap dilakukan pemantauan pada sistem untuk pemeriksaan terhadap *error* pada sistem dikemudian hari, setelah dilakukan *hosting* pada sistem (Heriyanti & Ishak, 2020).

2.10. *Data Flow Diagram (DFD)*

Data Flow Diagram adalah suatu model logika data atau proses yang dibuat untuk menggambarkan asal data, tujuan data yang keluar dari sistem, tempat data disimpan, proses yang menghasilkan data tersebut, interaksi antara data, dan proses yang digunakan pada data tersebut. Perancangan *data flow diagram* dilakukan untuk memberikan gambaran apa saja yang bisa dilakukan oleh *user* dan apa saja yang bisa dilakukan oleh sistem (Irawan & Susilawati, 2022). *Data Flow Diagram (DFD)* menggambarkan tentang masukan-proses-keluaran dari suatu sistem, yaitu objek-objek data mengalir ke dalam sistem, kemudian ditransformasi oleh elemen-elemen pemrosesan, dan objek-objek data hasilnya akan mengalir keluar dari sistem.

Objek-objek data pada pembuatan desain DFD biasanya digambarkan menggunakan tanda panah berlabel, dan transformasi-transformasi biasanya digambarkan menggunakan lingkaran-lingkaran. DFD pada dasarnya digambarkan dalam bentuk hirarki yaitu yang pertama dimulai dari *Context Diagram* yang berisi keseluruhan sistem, terdiri dari satu proses saja tidak lebih dan pada *Context Diagram* tidak digambarkan *data store*. Selanjutnya DFD *level 0* yang menggambarkan sistem secara keseluruhan dan untuk DFD pada *level* berikutnya merupakan penghalusan dan penjabaran dari DFD sebelumnya, banyaknya *level* pada DFD disesuaikan dengan sistem yang akan dikembangkan (Afyenni, 2014). Penjelasan dari simbol yang terdapat pada DFD yaitu (Afyenni, 2014):

- a. *External entity* (kesatuan luar) atau *boundary* (batas sistem) digunakan pada sistem yang berada di luar sistem yang sedang dikembangkan saat ini, sumber yang asli dari transaksi dan penerima akhir dari laporan yang dihasilkan oleh sistem.
- b. *Data flow* (arus data) digunakan untuk arus dari data yang berupa masukan untuk sistem dan hasil keluaran dari proses yang dilakukan oleh sistem.
- c. *Process* (proses) digunakan untuk kegiatan yang dilakukan oleh *user*, komputer dari hasil suatu arus data yang masuk ke dalam proses untuk

dihasilkan arus data yang keluar dari proses. Suatu proses harus menerima dan menghasilkan arus data.

- d. *Data store* digunakan untuk data yang disimpan berupa *file* atau *database* di dalam sistem komputer, buku, tabel acuan dan arsip.

2.11. *Python*

Python adalah bahasa pemrograman yang bersifat *open source*, sehingga dapat digunakan tanpa membayar. *Python* juga menyediakan banyak *package index* yang dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan seperti *text processing*, *database*, multimedia dan kecerdasan komputasional. Penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman *python* dan beberapa *package* seperti *Pandas*, *Numpy*, *Matplotlib*, *Scikit Learn* dan lain-lain (Siradjuddin, 2018).

2.11.1. *Pandas*

Pandas merupakan pustaka *Python open source* untuk analisis data yang sangat khusus. *Pandas* merupakan salah satu referensi yang harus dimiliki oleh semua profesional yang menggunakan bahasa *Python* untuk tujuan statistik analisis dan pengambilan keputusan. *Pandas* digunakan untuk menganalisis data, menyediakan data dengan sesederhana mungkin, untuk pemrosesan data, ekstraksi data, dan juga manipulasi data. Struktur dari *pandas* dirancang untuk bekerja dengan data relasional atau data berlabel, sehingga memungkinkan untuk relasional *SQL database* dan lembar kerja *Excel*. *Pandas* menjadi salah satu *package* yang banyak digunakan dalam dunia *data science* (Nelli, 2018).

2.11.2. *Numpy*

Numpy merupakan *package* yang menyediakan *method-method* untuk penyimpanan data berbentuk *array*, pengolahan *array*, operasi matematika pada *array*, dan lain-lain (Siradjuddin, 2018).

2.11.3. *Matplotlib*

Matplotlib merupakan *package* yang digunakan untuk mengelola data citra yang pada umumnya digunakan sebagai data *input*. *Package* ini juga digunakan untuk membuat dan menampilkan grafik, dapat dilakukan analisa suatu proses dengan melalui grafik ini (Siradjuddin, 2018).

2.11.4. *Scikit Learn*

Scikit Learn merupakan *package* yang menyediakan *dataset* yang diperlukan untuk tahapan uji coba. *Package* ini juga menyediakan algoritma yang terdapat pada kecerdasan komputasional, sehingga dapat digunakan pada pembangunan suatu model (Siradjuddin, 2018).

2.11.5. *Keras*

Keras merupakan *library* dari *neural network* yang mudah untuk digunakan. *Keras* menggunakan *TensorFlow* dan *Theano* sebagai *backend*. *Keras* dapat mendukung hampir semua model *neural network* seperti *fully connected*, konvolusional, *pooling*, *recurrent*, *embedding*, dan lain-lain (Ihsan, 2021).

2.11.6. *TensorFlow*

TensorFlow merupakan *framework* yang dikembangkan oleh *Google Brain Team*, sekelompok *Machine Learning Intelligence*, sebuah organisasi penelitian yang dipimpin oleh *Google*. Tujuan dari *framework* ini adalah sebagai tool yang dapat digunakan untuk *machine learning* dan *deep learning*. *TensorFlow* juga tersedia banyak akan dokumentasi, tutorial, dan proyek yang tersedia di *Internet* (Primartha, 2018). *TensorFlow* adalah *library open source* yang digunakan untuk perhitungan numerik yang berdasar pada data *flow graphs*. *Graph* ini terdapat *node* yang mewakili operasi matematika dan *edges* mewakili *tensors* (*multidimensional data arrays*). *TensorFlow* memiliki arsitektur yang sangat fleksibel dan dapat mendistribusikan perhitungan baik pada beberapa *CPU* dan pada beberapa *GPU* (Géron, 2017).

2.11.7. *Flask*

Flask merupakan *web framework* yang menggunakan bahasa *Python* dan termasuk ke dalam jenis *microframework*. *Flask* berfungsi sebagai *framework* aplikasi dan tampilan dari *web*, dengan menggunakan *Flask* dan bahasa *Python* web yang dikembangkan menjadi terstruktur dan pengaturan *behaviour web* dengan lebih mudah. *Flask* termasuk pada jenis *microframework* karena tidak memerlukan pustaka tertentu dalam penggunaannya, fungsi dan komponen-komponen sudah disediakan oleh pihak ketiga sehingga *Flask* dapat menggunakan ekstensinya. *Microframework* yaitu bahwa *Flask* membuat *core* dari aplikasi ini sesederhana mungkin tapi tetap dapat dengan mudah ditambahkan sehingga fleksibilitas serta skalabilitas dari *Flask* dapat dikatakan cukup tinggi dibandingkan dengan *framework* lainnya (Nugroho dkk., 2020).

2.12. *Jupyter Notebook*

Ekosistem *Jupyter* mencakup beberapa *open source* yang berbeda paket perangkat lunak. Ini memungkinkan eksekusi kode REPL yang kita lihat di *shell Python* dan *IPython*, tetapi dengan cara yang dapat disimpan dan dibagikan dengan mudah. *Tool Jupyter* dasar adalah *Jupyter Notebook*. *Jupyter Notebook* merupakan perangkat lunak yang digunakan sebagai *editor* dalam bentuk *web* aplikasi yang dijalankan menggunakan *localhost* di komputer (George, 2021).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

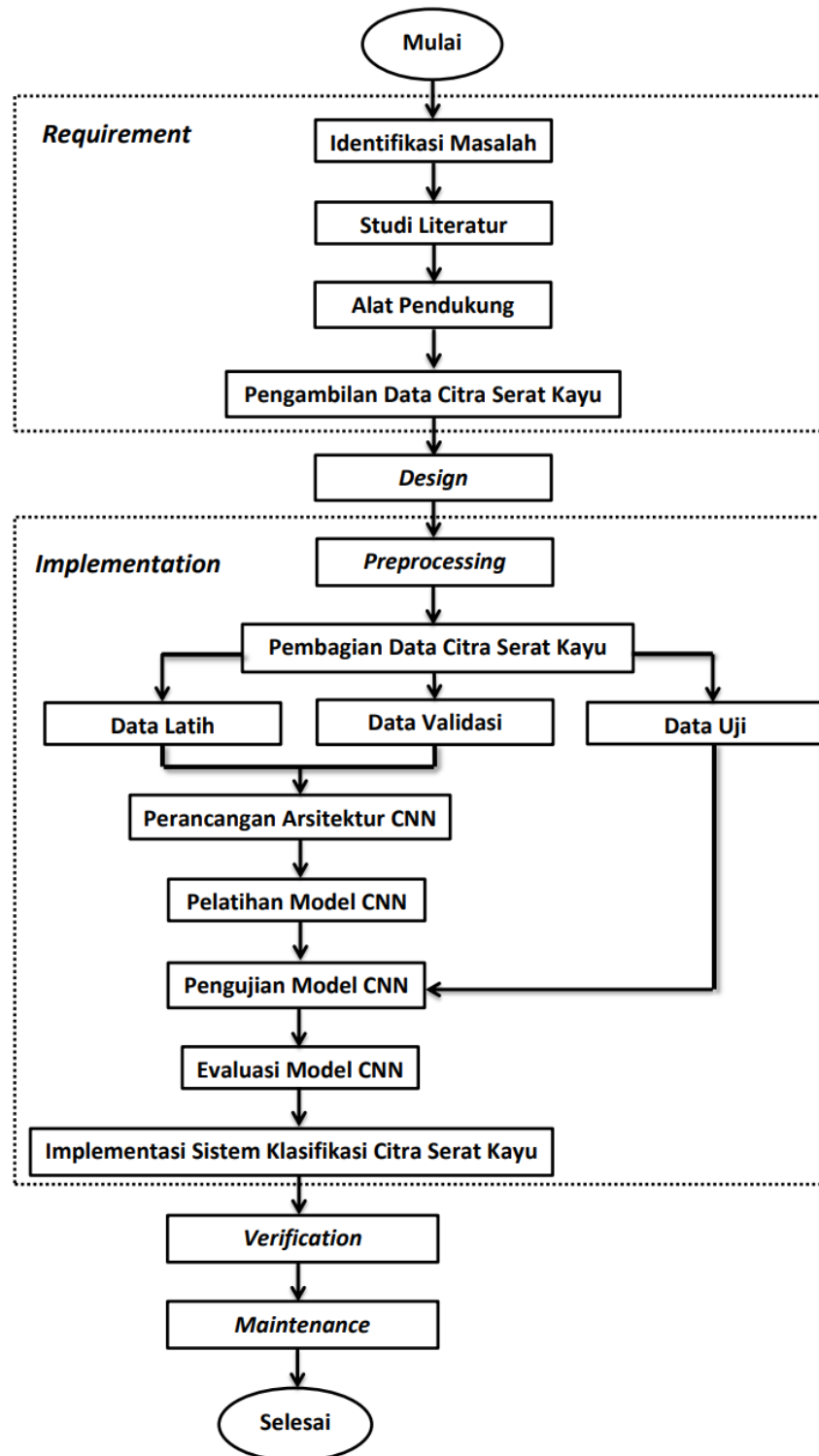
Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Komputasi Dasar Jurusan Ilmu Komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang bertempat di Jalan Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No. 1, Gedung Meneng, Bandar Lampung. Penelitian ini dilakukan dari bulan Desember tahun 2022 sampai bulan Juni tahun 2023 yang dijelaskan secara detail pada Tabel 2.

Tabel 2. *Timeline* penelitian

Tahapan	Kegiatan	2022		2023				
		Des	Jan	Feb	Maret	April	Mei	Juni
Penelitian Awal	Studi Literatur	■						
	Penentuan Tema Pengambilan Data citra Penyusunan Draft (Bab I-III)	■	■					
Penelitian Lanjutan	<i>Preprocessing</i>	■						
	Seminar Usul Perancangan Arsitektur CNN		■	■				
	Pelatihan dan Pengujian Model			■	■			
	Implementasi Sistem Penyusunan Draft (Bab IV-V)				■	■		
Evaluasi	Seminar Hasil Penelitian						■	
	Sidang Komprehensif Revisi Skripsi							■

3.2. Alur Kerja Penelitian

Alur penelitian Sistem Klasifikasi Citra Serat Kayu ini digambarkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Alur penelitian sistem klasifikasi citra serat kayu.

3.2.1. Requirement

3.2.1.1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini bahwa klasifikasi jenis kayu digunakan pada perusahaan manufaktur, khususnya pada saat proses pemilahan bahan baku, proses klasifikasi secara visual ini sangat berpengaruh pada kualitas hasil produksinya. Sebagian besar proses klasifikasi dilakukan secara manual dengan indra dan visual manusia. Hal ini menyebabkan proses membutuhkan waktu yang cukup lama, secara berulang-ulang sehingga tidak efisien, dan menambah biaya operasional.

3.2.1.2. Studi Literatur

Studi Literatur merupakan tahap penelitian untuk mencari dan mengumpulkan teori-teori yang relevan dan valid yang mendukung penelitian ini seperti Klasifikasi Citra, Kayu, Citra Digital, *Neural Network*, *Convolutional Neural Network*, *Confusion Matrix* dan lain-lain. Sumber teori-teori tersebut berasal dari berbagai jurnal yang berkaitan dengan penelitian terdahulu, buku-buku, artikel dan *website* yang dapat menjadi referensi untuk memperkuat penelitian yang sedang dilakukan.

3.2.1.3. Alat Pendukung

Alat pendukung yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Perangkat Keras Pengembangan Sistem (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini dengan spesifikasi sebagai berikut:

- *Processor* : *Core i3-7020U*
- *RAM* : *4GB*
- *GPU* : *(R) HD Graphics 2500*

- Penyimpanan : *HDD 1000GB*
- Kamera Belakang *Handphone Android* : *48MP*

b. Perangkat Lunak Pengembangan Sistem (*Software*)

Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- Sistem Operasi : *Windows 10 64 bit*
- Bahasa Pemrograman : *Python 3*
- *Text Editor* : *Jupyter Notebook* dan *Visual Studio Code*
- *Web Browser* : *Mozilla Firefox*

c. *Library*

Library atau *package* yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- *Pandas* untuk menganalisis data, menyediakan data dengan sesederhana mungkin, untuk pemrosesan data, ekstraksi data, manipulasi data dan mengelola data berlabel.
- *Numpy* untuk penyimpanan data berbentuk *array*, pengolahan *array* dan operasi matematika pada *array*.
- *Scikit Learn* untuk *K-Fold Cross Validation* dan perhitungan evaluasi model yaitu akurasi, *precision*, *f1 score* dan *recall*.
- *Matplotlib* untuk mengelola data citra yang pada umumnya digunakan sebagai data *input*, untuk membuat dan menampilkan grafik.
- *Keras* merupakan library yang menggunakan *TensorFlow* dan *Theano* sebagai *backend* untuk perancangan arsitektur CNN seperti *fully connected*, konvolusional, *pooling*.
- *TensorFlow* untuk *framework machine learning* dan *deep learning* khususnya pada perancangan arsitektur CNN yang digunakan pada penelitian ini.
- *Flask* untuk *web framework* aplikasi dan tampilan dari website “Sistem Klasifikasi Citra Serat Kayu Menggunakan Metode CNN”.

3.2.1.4. Pengambilan Data

Penelitian ini menggunakan data primer yang diperoleh dari pengambilan gambar secara langsung di Panglong Kayu Bringin Jaya yang beralamatkan di Jl. Aries No.15, Rajabasa, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35152. Pengambilan data dilakukan dengan cara mengambil gambar masing-masing objek serat kayu sengon, serat kayu bayur dan serat kayu damar menggunakan kamera belakang dengan spesifikasi 48 MP. Posisi pengambilan data citra serat kayu berada di luar ruangan. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang dilakukan dengan melakukan pengambilan gambar secara langsung. Data citra yang digunakan merupakan jenis *bitmap* dengan ekstensi JPG atau JPEG (*Joint Photographic Experts Group*). Data citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra serat kayu pada bagian sisi yang melintang. Data citra yang digunakan yaitu data citra serat kayu sengon sebanyak 300 citra, serat kayu bayur sebanyak 300 citra dan serat kayu damar sebanyak 300 citra. Data citra serat kayu sengon, serat kayu bayur dan serat kayu damar seperti yang digambarkan pada Gambar 15.

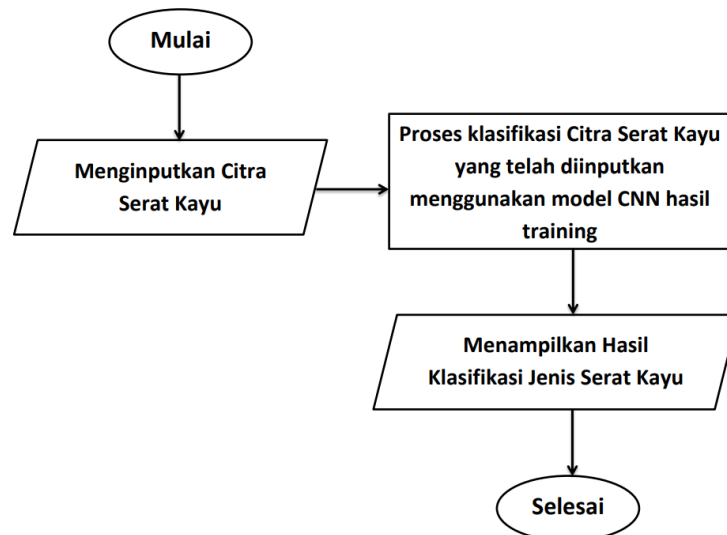


Gambar 15. Data citra serat kayu sengon, serat kayu bayur dan serat kayu damar.

3.2.2. Design

3.2.2.1. Flowchart Sistem

Flowchart sistem klasifikasi citra serat kayu dengan menggunakan metode CNN digambarkan pada Gambar 16.

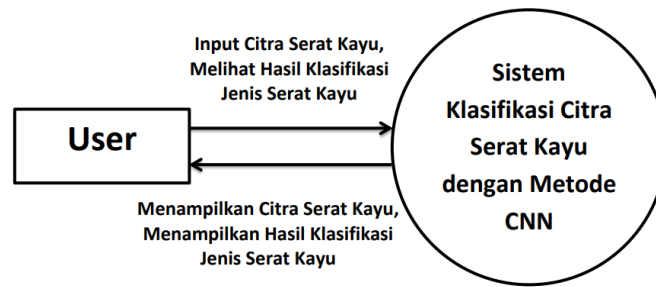


Gambar 16. Flowchart sistem klasifikasi citra serat kayu.

3.2.2.2. Data Flow Diagram (DFD)

a. Context Diagram

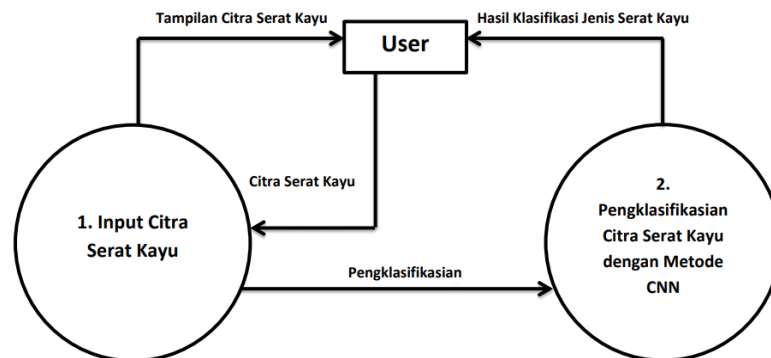
Context Diagram dalam sistem ini hanya terdapat satu entitas yaitu *user* yang dapat menjalankan sistem klasifikasi jenis serat kayu dengan alur data berupa *input* citra serat kayu dari *user* menuju sistem klasifikasi, dan alur data berupa jenis serat kayu dari sistem klasifikasi menuju *user* seperti yang digambarkan pada Gambar 17.



Gambar 17. *Context diagram* sistem klasifikasi citra serat kayu.

b. *Data Flow Diagram (DFD) Level 0*

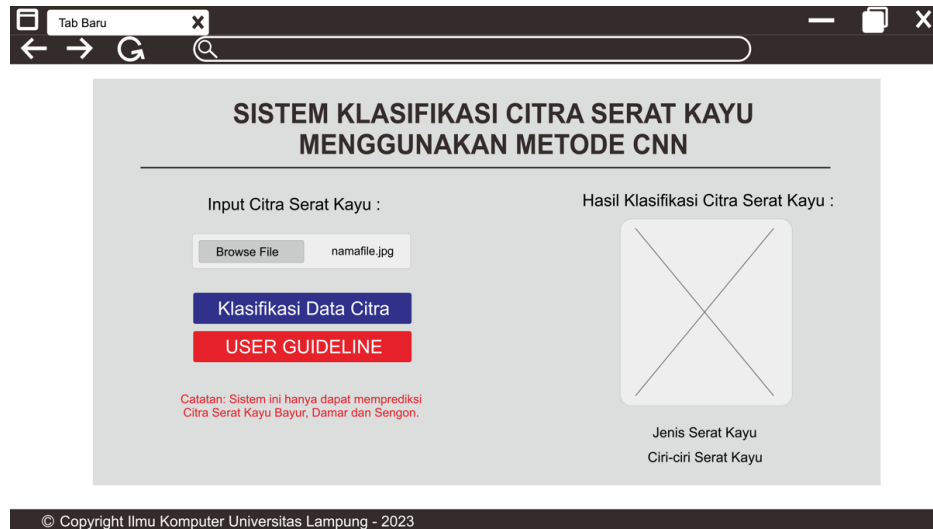
DFD level 0 dapat diketahui bahwa terdapat 2 proses, yakni *input* citra serat kayu dan pengklasifikasian citra serat kayu. Pada proses *input* citra serat kayu, terdapat alur data berupa citra serat kayu dari *user* ke sistem, dan tampilan citra dari citra serat kayu yang telah dipilih dari sistem menuju ke *user*. Adapun pada proses pengklasifikasian citra serat kayu terdapat alur data berupa proses *input* citra serat kayu dari *user* menuju ke proses kedua yaitu pengklasifikasian citra serat kayu ke sistem, dan alur data berupa jenis serat kayu dari sistem kembali ke *user* seperti yang digambarkan pada Gambar 18.



Gambar 18. *Data flow diagram (DFD) level 0* sistem klasifikasi citra serat kayu.

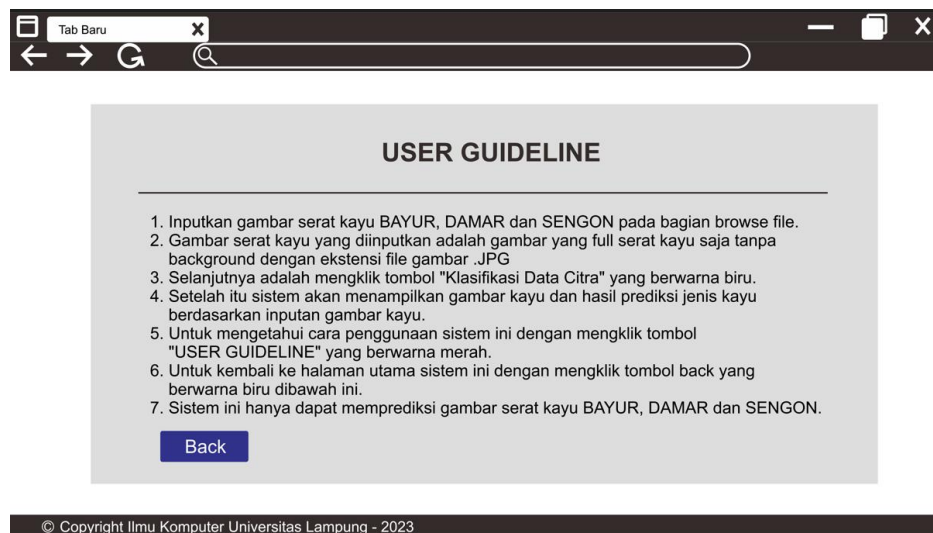
3.2.2.3. Interface Design

Desain *Interface* sistem klasifikasi citra serat kayu dengan menggunakan metode CNN seperti yang digambarkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Desain *interface* sistem klasifikasi citra serat kayu.

Desain *Interface* pada bagian *User Guideline* sistem klasifikasi citra serat kayu seperti yang digambarkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Desain *interface user guideline* sistem klasifikasi citra serat kayu.

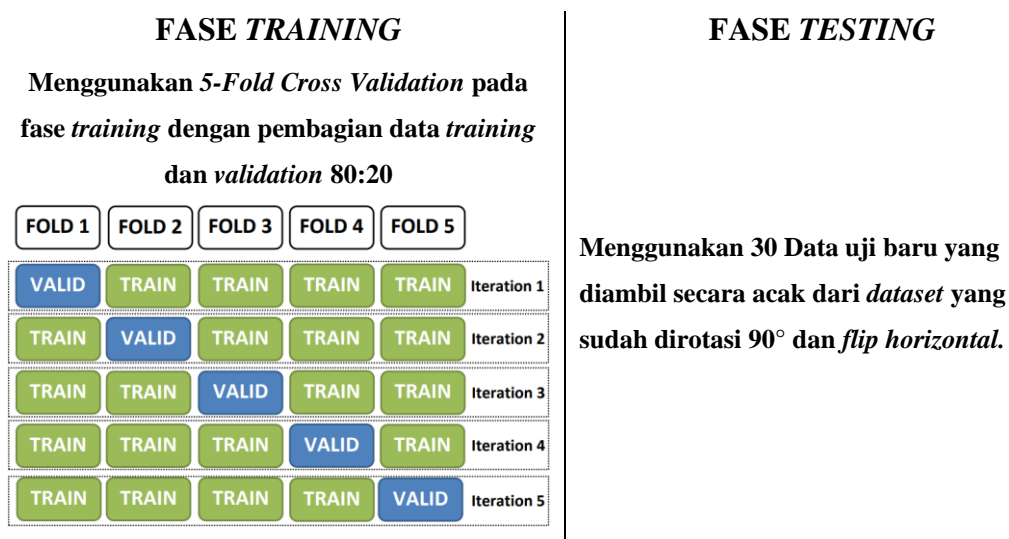
3.2.3. Implementation

3.2.3.1. Preprocessing Data

Preprocessing data dalam penelitian ini dilakukan untuk menyiapkan data sebelum diolah sehingga data citra mendapatkan citra terbaik sebelum diproses ke tahap selanjutnya. Tahap *preprocessing* yang dilakukan yaitu *resize* data citra. Proses *resize* dilakukan untuk memastikan keseluruhan gambar memiliki rasio *pixel* yang sama sehingga dapat dilakukan proses klasifikasi nantinya dan tidak memberatkan pada proses *training* model CNN.

3.2.3.2. Pembagian Data

Proses pembagian data pada *dataset* dilakukan setelah melakukan *Preprocessing*. Penelitian ini terdapat 2 fase yaitu fase *training* atau pelatihan dan fase *testing* atau pengujian seperti yang digambarkan pada Gambar 21. Fase *training* atau pelatihan menggunakan data latih dan data validasi. Data latih adalah data yang digunakan untuk melakukan proses *training* dari masing-masing citra serat kayu sengon, kayu bayur dan kayu damar. Data validasi adalah data yang digunakan untuk memvalidasi hasil dari proses *training*. Data uji adalah data yang digunakan dalam proses pengujian atau fase *testing* terhadap model CNN.



Gambar 21. Skenario proses *training* dan proses *testing*.

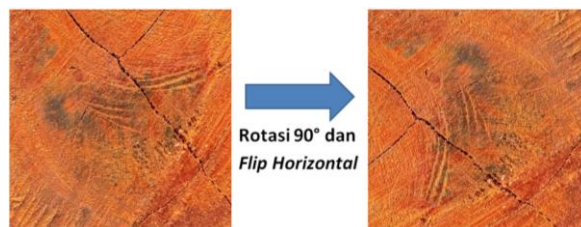
Porsi pembagian *dataset* pada proses *training* sebagai data latih dan data validasi sebesar 80:20 untuk masing-masing jenis kayu sengon, kayu bayur dan kayu damar. Jumlah pada masing-masing citra jenis kayu dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pembagian *dataset* untuk proses *training*

Jenis Serat Kayu	Jumlah Data	Data Latih	Data Validasi
Serat Kayu Bayur	300	240	60
Serat Kayu Damar	300	240	60
Serat Kayu Sengon	300	240	60
Total Data	900	720	180

Proses pembagian *dataset* pada penelitian ini juga menggunakan *K-Fold Cross Validation* dengan skenario *5-Fold Cross Validation* ($K=5$), sehingga pembagian data setiap iterasi untuk data latih dan data validasi pada proses *training* sebesar 80:20 yang dipilih secara acak pada setiap iterasinya. Pada iterasi pertama *fold* pertama 20% data menjadi data validasi dan sisanya menjadi data *train* atau latih. Pada iterasi kedua *fold* ke-2 20% data menjadi data validasi dan sisanya menjadi data latih dan seterusnya seperti yang digambarkan pada Gambar 21.

Fase *testing* menggunakan data uji baru yang diambil secara acak dari *dataset* dan sudah diberi perlakuan data agar data yang dijadikan sebagai data *input* baru tidak dikenali oleh model CNN sebagai bagian dari *dataset* seperti yang digambarkan pada Gambar 21. Perlakuan pada data baru yang berasal dari *dataset* yaitu dengan dilakukan rotasi 90° dan *flip horizontal* seperti yang digambarkan pada Gambar 22.



Gambar 22. Rotasi 90° dan *flip horizontal* pada data uji.

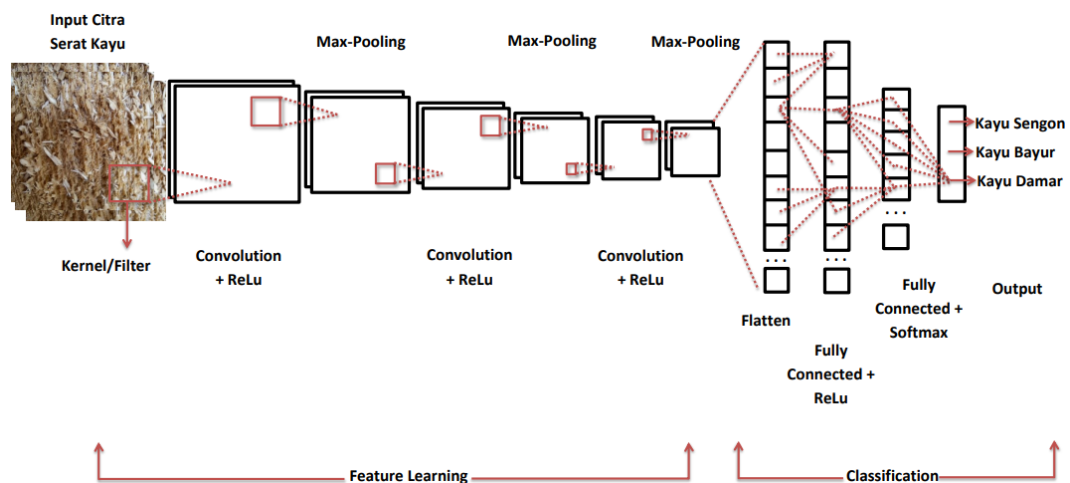
Pembagian data uji yang digunakan dalam penelitian ini ada 10 data citra serat kayu bayur, 10 citra serat kayu damar dan 10 citra serat kayu sengon, sehingga total data uji yang digunakan sebanyak 30 data uji seperti yang dijelaskan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pembagian data uji

Jenis Serat Kayu	Jumlah Data Uji
Serat Kayu Bayur	10
Serat Kayu Damar	10
Serat Kayu Sengon	10
Total Keseluruhan Data Uji	30

3.2.3.3. Perancangan Arsitektur CNN

Proses klasifikasi dalam penelitian ini menggunakan metode CNN, penggunaan metode CNN pada penelitian ini dikarenakan jenis *dataset* yang berupa data citra dan juga karena jumlah *dataset* yang akan dipakai. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode yang memiliki kinerja klasifikasi kecepatan tinggi dan akurasi tinggi.



Gambar 23. Perancangan Arsitektur CNN.

Arsitektur CNN memiliki 2 tahapan yaitu tahap *feature learning* dan tahap klasifikasi seperti yang digambarkan pada Gambar 23 dengan jumlah *layer* sebanyak 3 *convolutional layer* dan 2 *fully connected layer*.

a. Tahap *feature learning*

- *Convolutional Layer*

Proses konvolusi dilakukan pertama kali ketika gambar di masukkan. *Layer* ini terdiri dari beberapa *filter* atau *kernel* dengan ukuran tertentu yang berguna untuk mengekstraksi fitur dari gambar yang dimasukkan. *Kernel* ini akan bergeser secara horizontal dan vertikal pada gambar masukkan. Ukuran dari pergeseran *kernel* atau *filter* dinamakan parameter *stride*. Proses konvolusi juga dilakukan proses aktivasi fungsi ReLu (*Rectifier Linear Unit*) yang berguna mengubah nilai negatif menjadi 0. Jika $x \leq 0$ maka $x = 0$, dan jika $x > 0$ maka $x = x$. Proses konvolusi akan menghasilkan *activation map* atau *feature maps*.

- *Pooling layer*

Pooling layer terdapat *filter* dengan ukuran dan *stride* tertentu. *Pooling layer* menggunakan *max pooling* yang akan mengambil nilai terbesar. *Max pooling* berfokus pada ukuran gambar sehingga dapat mempercepat perhitungan dan menghindari terjadinya *overfitting*.

b. Tahap klasifikasi

- *Flatten*

Setelah memperoleh *output* dari tahap *feature learning*, yaitu *feature map* sebagai matriks multidimensi. Selanjutnya dilakukan operasi *flatten* yang berfungsi untuk *reshape feature map* menjadi vektor sehingga dapat digunakan sebagai masukkan dari *Fully Connected layer*.

- *Fully Connected layer*

Fully connected layer adalah *perceptron multilayer* dengan jumlah *neuron* yang telah ditentukan di lapisan tersembunyi atau *hidden layer*. Metode *dropout* yang berguna untuk menonaktifkan jumlah tepi yang terhubung ke setiap *neuron* untuk menghindari *overfitting*. Selanjutnya adalah tahap klasifikasi dengan menggunakan aktivasi *softmax* untuk mencocokkan yang dikategorikan dalam *input* dengan kategori yang telah ditentukan. Penelitian ini terdapat 3 kategori

yaitu serat kayu bayur, serat kayu sengon, serat kayu damar sehingga digunakan fungsi aktivasi *softmax* karena merupakan *multiclass classification*.

3.2.3.4. Pelatihan dan Pengujian Model

Tahap pelatihan merupakan tahap untuk melatih data *training* atau latih sehingga pada proses ini akan menghasilkan model klasifikasi. Tahap pengujian merupakan tahap untuk menguji model yang telah dihasilkan dari proses pelatihan dan untuk mengetahui apakah model yang dihasilkan sudah cukup baik atau belum.

3.2.3.5. Evaluasi Model CNN

Tahap evaluasi dalam penelitian ini dilakukan untuk melihat akurasi tingkat kebenaran dari hasil klasifikasi citra serat kayu sengon, kayu bayur dan kayu damar dengan menggunakan metode CNN. *Tools* yang digunakan dalam evaluasi untuk penelitian ini adalah *confusion matrix* yang memiliki beberapa performa yang dapat diukur yaitu nilai *accuracy*, *precision*, *recall* dan *F1 score*.

3.2.3.6. Implementasi Sistem

Tahap Implementasi Sistem yaitu tahap menerapkan desain sistem yang telah dibuat pada tahap sebelumnya dan dibuat ke dalam kode program menjadi sebuah *Website* Sistem Klasifikasi Citra Serat Kayu.

3.2.4. Verification

Tahap *verification* yang juga dikenal sebagai tahap *validation* yaitu tahap pemeriksaan pada sistem yang telah dibuat dalam memenuhi persyaratan dan spesifikasi yang telah ditetapkan sehingga mencapai tujuan yang diinginkan.

3.2.5. Maintenance

Tahap *maintenance* yaitu diperlukan pemantauan pada sistem untuk pemeriksaan terhadap *error* pada sistem dikemudian hari, setelah dilakukan *hosting* pada sistem.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Identifikasi jenis kayu melalui citra serat kayu berhasil dilakukan menggunakan model *Convolutional Neural Network* (CNN) dengan jumlah *layer* sebanyak 3 *convolutional layer* dan 2 *fully connected layer*.
- b. Hasil akurasi rata-rata yang dihasilkan dari pelatihan menggunakan *5-Fold Cross Validation* adalah sebesar 82,12%. Hasil akurasi yang dihasilkan dari pengujian Model CNN menggunakan 30 data uji baru adalah sebesar 80%.

5.2. Saran

Adapun saran terkait penelitian dengan pembahasan ini agar dapat diterapkan pada penelitian berikutnya sebagai berikut :

- a. Menggunakan permukaan serat kayu yang sudah dihaluskan.
- b. Menambahkan jenis serat kayu yang lainnya.
- c. Menambahkan ketentuan ukuran minimum permukaan kayu atau ukuran diameter kayu yang digunakan sebagai data *input*.
- d. Membuat *input* kelas untuk jenis serat kayu yang digunakan bersifat dinamis.
- e. Menambahkan jumlah data citra pada masing-masing jenis serat kayu.
- f. Menggunakan arsitektur CNN yang lainnya untuk meningkatkan nilai akurasi.
- g. Menggunakan GPU untuk mempercepat proses pelatihan model CNN.
- h. Mengimplementasikan model CNN untuk klasifikasi serat kayu pada aplikasi *mobile*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afyenni, R. 2014. Perancangan Data Flow Diagram Untuk Sistem Informasi Sekolah (Studi Kasus Pada SMA Pembangunan Laboratorium UNP). *Jurnal Teknoif Teknik Informatika Institut Teknologi Padang*, 2(1).
- Andre, R., Wahyu, B., & Purbaningtyas, R. 2021. Klasifikasi Tumor Otak Menggunakan Convolutional Neural Network Dengan Arsitektur Efficientnet-B3. *Jurnal Sistem Informasi, Teknologi Informasi Dan Komputer*, 11(3).
- Antoh, F., Fatem, S. M., & Asik, S. 2015. Pemanfaatan Damar oleh Masyarakat di Kampung Bariat Distrik Konda Kabupaten Sorong Selatan. *Jurnal Kehutanan Papuasias*, 1(1), 53–62. <https://doi.org/10.46703/jurnalpapasias.Vol1.Iss1.29>
- Ariesta, D. 2021. Efektivitas Pengadaan Barang dan Jasa Melalui E-Catalogue di Kecamatan Kebayoran Lama Kota Administrasi Jakarta Selatan Provinsi DKI Jakarta. *Ascarya: Journal of Islamic Science, Culture, and Social Studies*, 1(2), 156–172. <https://doi.org/10.53754/iscs.v1i2.26>
- Arifin, J., & Melita, Y. 2013. Klasifikasi Jenis Kayu Dengan Gray-Level Co-Occurrence. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Informasi ASIA*, 7(1), 10.
- Fuadah, Y. N., Ubaidullah, I. D., Ibrahim, N., Taliningsing, F. F., Sy, N. K., & Pramuditho, M. A. 2022. Optimasi Convolutional Neural Network dan K-Fold Cross Validation pada Sistem Klasifikasi Glaukoma. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(3), 728. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v10i3.728>
- George, N. 2021. *Practical data science with Python: Learn tools and techniques from hands-on examples to extract insights from data*. Packt.
- Géron, A. 2017. *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow* (1st ed.). O'Reilly Media, Inc.
- Hendriyana, H., & Maulana, Y. H. 2020. Identifikasi Jenis Kayu menggunakan Convolutional Neural Network dengan Arsitektur Mobilenet. *Jurnal Resti (Rekayasa sistem dan Teknologi Informasi)*, 4(1), 70–76.

- Heriyanti, F., & Ishak, A. 2020. Design of logistics information system in the finished product warehouse with the waterfall method: Review literature. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 801(1), 012100. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/801/1/012100>
- Hermawati, F. 2013. *Pengolahan Citra Digital Konsep dan Teori* (1st ed.). Yogyakarta: Andi.
- Heryadi, Y., & Wahyono, T. 2021. *Dasar-Dasar Deep Learning dan Implementasinya* (1st ed.). Gava Media.
- Ihsan, C. N. 2021. Klasifikasi Data Radar Menggunakan Algoritma Convolutional Neural Network (CNN). *Journal of Computer and Information Technology*, 4(2), 115–121.
- Irawan, Y. P., & Susilawati, I. 2022. Klasifikasi Jenis Aglaonema Berdasarkan Citra Daun Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN). *Jurnal Information System & Artificial Intelligence*, 2(2).
- Kadir, A. 2013. *Dasar Pengolahan Citra dengan Delphi* (1st ed.). Yogyakarta: Andi.
- Kotta, C. R., Paseru, D., & Sumampouw, M. 2022. Implementasi Metode Convolutional Neural Network untuk Mendeteksi Penyakit pada Citra Daun Tomat. *Jurnal Pekommas*, 7(2), 123–132.
- Naufal, M. F., & Kusuma, S. F. 2021. Pendeteksi Citra Masker Wajah Menggunakan CNN dan Transfer Learning. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 8(6), 1293. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2021865201>
- Nelli, F. 2018. *Python Data Analytics: With Pandas, NumPy, and Matplotlib*. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3913-1>
- Nugroho, P. A., Fenriana, I., & Arijanto, R. 2020. Implementasi Deep Learning Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) Pada Ekspresi Manusia. *JURNAL ALGOR*, 2(1), 10.
- Permana, M. S., Manik, P., & Arswendo, B. 2017. Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Laminasi Dari Kombinsi Bambu Apus Dan Kayu Meranti Sebagai Material Alternatif Pembuatan Komponen Kapal Kayu. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(2).
- Peryanto, A., Yudhana, A., & Umar, R. 2020. Klasifikasi Citra Menggunakan Convolutional Neural Network dan K Fold Cross Validation. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 4(1), 45–51. <https://doi.org/10.30871/jaic.v4i1.2017>

- Prabowo, R., Heningtyas, Y., Yusman, machudor, Iqbal, M., & Wulansari, O. D. E. 2021. Klasifikasi Image Tumbuhan Obat (Keji Beling) Menggunakan Artificial Neural Network. *Jurnal Komputasi*, 2541–0350, 88–92. <https://doi.org/10.23960/komputasi.v9i2.2868>
- Pramunendar, R. A., Prabowo, D. P., & Pergiwati, D. 2017. Klasifikasi Jenis Kayu Menggunakan Back-Propagation Neural Network Berdasarkan Fitur Gray Level Co-Occurrence Matrix. *Science And Engineering National Seminar 3 (SENS 3)*, 7.
- Prastowo, E. Y. 2021. Pengenalan Jenis Kayu Berdasarkan Citra Makroskopik Menggunakan Metode Convolutional Neural Network. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 7(2). <https://doi.org/10.28932/jutisi.v7i2.3706>
- Primartha, R. 2018. *Belajar Machine Learning Teori dan Praktik*. Informatika Bandung.
- Purwanto, E. H., & Lukiawan, R. 2019. Parameter Teknis dalam Usulan Standar Pengolahan Penginderaan Jauh: Metode Klasifikasi Terbimbing. *Jurnal Standardisasi*, 21(1), 67. <https://doi.org/10.31153/js.v21i1.737>
- Rochmawati, N., Hidayati, H. B., Yamasari, Y., Tjahyaningtijas, H. P. A., Yustanti, W., & Prihanto, A. 2021. Analisa Learning Rate dan Batch Size pada Klasifikasi Covid Menggunakan Deep Learning dengan Optimizer Adam. *Journal of Information Engineering and Educational Technology*, 5(2), 44–48. <https://doi.org/10.26740/jieet.v5n2.p44-48>
- Saputra, I., & Kristiyanti, D. 2022. *Machine Learning Untuk Pemula* (1st ed.). Informatika Bandung.
- Satmoko, M. E. A., Saputro, D. D., & Budiyo, A. 2013. Karakterisasi Briket dari Limbah Pengolahan Kayu Sengon dengan Metode Cetak Panas. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, 2(1).
- Siradjuddin, I. 2018. *Kecerdasan Komputasional dan Aplikasinya dengan Menggunakan Python*. Teknosain.
- Suyanto, S., Ramadhani, K., & Mandala, S. 2019. *Deep Learning Modernisasi Machine Learning untuk Big Data*. Informatika Bandung.
- Swamynathan, M. 2017. *Mastering Machine Learning with Python in Six Steps*. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2866-1>
- Utama, R. C., Febryano, I. G., Herwanti, S., & Hidayat, W. 2019. Marketing Channels of Sengon (*Falcataria moluccana*) on the Local Community Sawn

Timber Industry in Sukamarga Village, Abung Tinggi Sub-district, North Lampung Regency. *Jurnal Sylva Lestari*, 7(2), 195. <https://doi.org/10.23960/jsl27195-203>

Wulandari, I., Yasin, H., & Widiharih, T. 2020. Klasifikasi Citra Digital Bumbu dan Rempah Dengan Algoritma Convolutional Neural Network (CNN). *Jurnal Gaussian*, 9(3), 273–282. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.v9i3.27416>

Yusuf, A., Wihandika, R. C., & Dewi, C. 2019. Klasifikasi Emosi Berdasarkan Ciri Wajah Menggunakan Convolutional Neural Network. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 3, 10595–10604.