

TESIS

**KLASIFIKASI KANKER KULIT MENGGUNAKAN TEKNIK
DEEP TRANSFER LEARNING BERDASARKAN
CITRA DERMOSKOPI**



Disusun Oleh :

Qorry Aina Fitroh

21206051016

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
PROGRAM MAGISTER FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2023

Qorry Aina Fitroh
NIM : 21206051016



**KLASIFIKASI KANKER KULIT MENGGUNAKAN TEKNIK
DEEP TRANSFER LEARNING BERDASARKAN
CITRA DERMOSKOPI**



2023



**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
PROGRAM MAGISTER FAKULTAS SAINS DAN
TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA**

2023



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-794/Un.02/DST/PP.00.9/03/2023

Tugas Akhir dengan judul : **KLASIFIKASI KANKER KULIT MENGGUNAKAN TEKNIK DEEP TRANSFER LEARNING BERDASARKAN CITRA DERMOSKOPI**

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : QORRY AINA FITROH, S.Pd.
Nomor Induk Mahasiswa : 21206051016
Telah ditujikan pada : Kamis, 16 Maret 2023
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Dr. Ir. Shofwanul Uyun, S.T., M.Kom., IPM.
SIGNED

Valid ID: 641814cb1f841



Penguji I
Ir. Maria Ulfah Siregar, S.Kom., MIT., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 641810967e10e



Penguji II
Dr. Ir. Bambang Sugiantoro, S.Si., M.T.
SIGNED

Valid ID: 641814af7b970



Yogyakarta, 16 Maret 2023
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6418aaaf4f7b2

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Qorry Aina Fitroh
NIM : 21206051016
Jenjang : Magister
Program Studi : Informatika

Menyatakan bahwa naskah tesis ini dengan judul "**KLASIFIKASI KANKER KULIT MENGGUNAKAN TEKNIK *DEEP TRANSFER LEARNING* BERDASARKAN CITRA DERMOSKOPI**" tidak terdapat pada karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Magister di suatu Perguruan Tinggi, dan sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis oleh orang lain, kecuali pada bagian-bagian yang dirujuk sumbernya.

Yogyakarta, 12 Maret 2023

Saya yang menyatakan,



Qorry Aina Fitroh
NIM: 21206051016

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Qorry Aina Fitroh
NIM : 21206051016
Jenjang : Magister
Program Studi : Informatika

Menyatakan secara keseluruhan bahwa naskah tesis ini secara keseluruhan benar-benar bebas dari plagiasi. Jika dikemudian hari saya terbukti melakukan plagiasi, maka saya siap ditindak sesuai ketentuan hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 12 Maret 2023

Saya yang menyatakan,



Qorry Aina Fitroh

NIM: 21206051016

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

SURAT PERSETUJUAN TESIS/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Tugas Akhir

Lamp:-

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sain dan Teknologi UIN
Sunan Kalijaga di Yogyakarta

Assalamualaikum wr.wb.

Setelah membaca, melihat, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa tugas tesis Saudara:

Nama : Qorry Aina Fitroh

NIM : 21206051016

Judul Tesis : Klasifikasi Kanker Kulit Menggunakan Teknik *Deep Transfer Learning* Berdasarkan Citra Dermoskopi

Saya berpendapat bahwa tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Program Studi Magister Informatika UIN Sunan Kalijaga untuk diajukan dalam rangka memperoleh gelar Magister Informatika.

Wassalamualaikum wr.wb.

Yogyakarta, 10 Maret 2023

Pembimbing,

Dr. Ir. Shofwatul 'Uyun, ST, M.Kom.

NIP. 198205112006042002

ABSTRAK

Kanker kulit merupakan jenis kanker yang umum terjadi pada manusia dan dapat menyebabkan kematian. Penanganan pada awal gejala dengan perlakuan yang tepat dapat membantu penderita untuk memiliki kemungkinan hidup lebih besar. Ketepatan diagnosis dini pada penderita kanker kulit memegang peran penting sehingga perlu teknik yang dapat melakukan klasifikasi jenis kanker kulit secara akurat. Berbagai teknik deep learning telah dikembangkan untuk melakukan diagnosis kanker kulit, tetapi masih memerlukan optimisasi untuk meningkatkan akurasi deteksi. Penelitian ini mengusulkan dua teknik deep learning untuk mengoptimalkan klasifikasi citra dermoskopi kanker kulit dalam dua kelas (*benign* dan *malignant*) dengan menggunakan pre-trained model VGG-16 dan ResNet-50. Teknik pertama disebut *fine-tuning* yang dilakukan dengan menambahkan dua dense layer dengan fungsi aktivasi ReLU (512 dan 256 neuron) serta satu dense layer dengan fungsi aktivasi softmax dan 2 neuron. Pengujian dalam teknik fine-tuning dilakukan melalui empat *hyperparameter tuning* – optimization, batch size, learning rate, dan epoch. Teknik kedua disebut dengan *off-the-shelf feature extraction* yang dilakukan dengan mengganti *fully connected layer* pada pre-trained model CNN dengan pengklasifikasi Support Vector Machine (SVM). Selanjutnya dilakukan optimisasi pada SVM dengan dua metode, grid search dan tree-based pipeline optimization tool (TPOT). Penelitian ini menghasilkan akurasi terbaik dengan menggunakan pre-trained model ResNet-50 yaitu 94% untuk teknik pertama dan 91,5% akurasi yang diperoleh dengan teknik kedua dengan pre-trained model VGG-16.

Kata kunci: Transfer learning, VGG-16, ResNet-50, Support Vector Machine, Kanker kulit.

ABSTRACT

Skin cancer is common cancer in humans and can cause death. Handling early symptoms with the proper treatment can help patients to have a greater chance of life. The accuracy of early diagnosis in skin cancer patients plays an important role, so it needs a technique that can accurately classify skin cancer types. Various deep-learning techniques have been developed to perform skin cancer diagnosis, but still require optimization to improve detection accuracy. This study proposes two deep learning techniques to optimize the classification of dermoscopic images of skin cancer in two classes (benign and malignant) using pre-trained models VGG-16 and ResNet-50. The first technique is called fine-tuning which is done by adding two dense layers with ReLU activation function (512 and 256 neurons) and one dense layer with softmax activation function and two neurons. The fine-tuning technique is tested through four tuning hyperparameters - optimization, batch size, learning rate, and epoch. The second technique is called off-the-shelf feature extraction, which replaces the fully connected layer in the pre-trained CNN model with a Support Vector Machine (SVM) classifier. Furthermore, optimization is carried out on SVM with two methods, grid search and tree-based pipeline optimization tool (TPOT). This research resulted in the best accuracy using the ResNet-50 pre-trained model which is 94% for the first technique and 91.5% accuracy obtained with the second technique using the VGG-16 pre-trained model.

Keywords: Transfer learning, VGG-16, ResNet-50, Support Vector Machine, Skin cancer.

MOTTO

“The capacity to learn is a gift; The ability to learn is a skill; The willingness to learn is a choice.”

– Brian Herbert



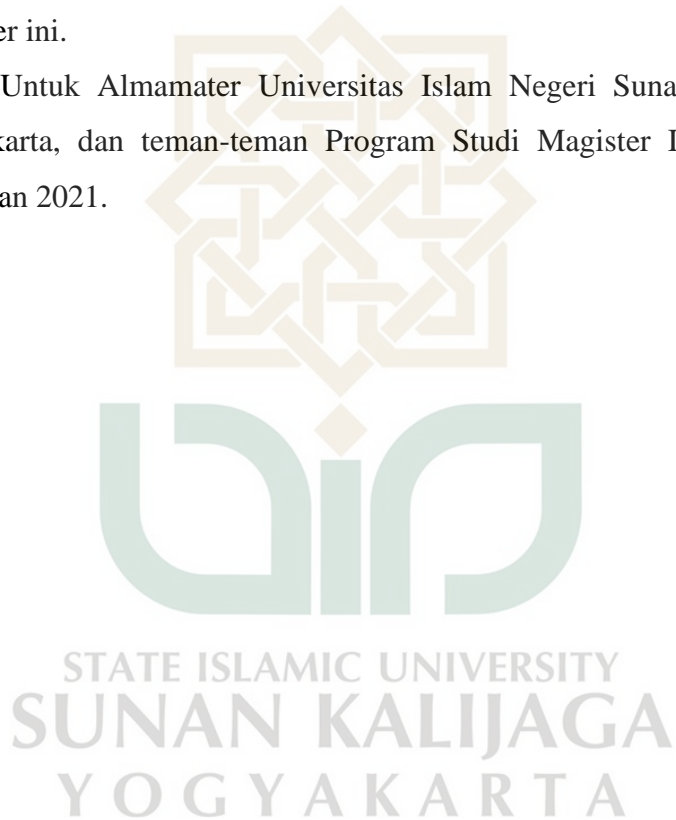
STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini dipersembahkan :

Kepada Abah, Ummah, dan Adik saya yang telah memberikan dukungan penuh, melangitkan doa-doa baik, dan memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan Pendidikan Program Magister ini.

Untuk Almamater Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta, dan teman-teman Program Studi Magister Informatika Angkatan 2021.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Nikmat, Taufiq dan Hidayahnya kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Pendidikan Program studi Magister Informatika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kementerian Agama Republik Indonesia yang telah memberikan kesempatan kepada penulis menerima Beasiswa Program Santri Berprestasi (PBSB) pada Program Studi Magister Informatika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
3. Bapak Dr. Ir. Bambang Sugiantoro, S.Si., M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Informatika sekaligus Dosen Pembimbing Akademik yang sudah banyak membantu penulis mulai dari awal penulis menempuh pendidikan magister hingga sekarang
4. Ibu Dr. Ir. Shofwatul 'Uyun, ST, M.Kom. Selaku Dosen Pembimbing Tesis yang mencurahkan waktu, nasehat, pikiran dan kemudahan dalam bimbingan
5. Abah, Ummah, Adik, dan Sahabat Magister Informatika Angkatan 2021 yang memberikan semangat dan bantuan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Pengasuh Pondok Pesantren Al-Munawwir Komplek Q yang telah memberikan rekomendasi kepada Penulis sehingga mendapatkan

Beasiswa Program Santri Berprestasi (PBSB) Kementerian Agama RI.

Penulis menyadari penelitian ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak, semoga penelitian ini memberikan manfaat kepada pembaca dan menambah perkembangan ilmu pengetahuan yang ada.

Yogyakarta, 14 Maret 2023

Penulis,

Qorry Aina Fitroh

21206051016



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
SURAT PERSETUJUAN TESIS/TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
MOTTO.....	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG.....	1
B. RUMUSAN MASALAH	8
C. BATASAN MASALAH	8
D. TUJUAN PENELITIAN	8
E. MANFAAT PENELITIAN.....	8
F. KEASLIAN PENELITIAN.....	9
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	10
A. TINJAUAN PUSTAKA.....	10
B. LANDASAN TEORI	24
1. Machine Learning	24
2. <i>Convolutional Neural Network</i>	25
3. <i>Support Vector Machine</i>	30
4. Kanker Kulit	32

5. Evaluasi Kinerja.....	33
BAB III METODE PENELITIAN.....	36
A. DATA PENELITIAN.....	36
B. METODE PENELITIAN	37
1. Perancangan <i>Preprocessing</i> Data	38
2. Ekstraksi Fitur.....	38
3. Analisis Performa	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
A. HASIL	45
1. Teknik <i>Fine-Tuning</i>	45
2. Teknik <i>Off-the-Shelf Features</i>	57
B. PEMBAHASAN.....	66
BAB V PENUTUP.....	71
A. KESIMPULAN	71
B. SARAN.....	71
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN.....	82

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	16
Tabel 2. 2 <i>Confusion Matrix</i>	34
Tabel 3. 1 Rincian <i>Hyper parameter Tuning</i>	41
Tabel 4. 1 Deskripsi Dataset Teknik <i>Fine-tuning</i>	45
Tabel 4. 2 Pengujian Ukuran Citra	46
Tabel 4. 3 Parameter Model VGG-16 Metode <i>Fine-Tuning</i>	47
Tabel 4. 4 Parameter Model Resnet-50 Metode <i>Fine-Tuning</i>	47
Tabel 4. 5 Hasil Uji Skenario 1: <i>Optimizer</i>	48
Tabel 4. 6 Hasil Uji Skenario 2: <i>Batch Size</i>	49
Tabel 4. 7 Hasil Uji Skenario 3: <i>Learning Rate</i>	50
Tabel 4. 8 Hasil Uji Skenario 4: <i>Epoch</i>	50
Tabel 4. 9 Performa Model VGG-16 dan Resnet-50 dalam Metode Fine-Tuning	56
Tabel 4. 10 Jumlah Fitur yang Diekstraksi.....	58
Tabel 4. 11 Performa Teknik <i>Off-the-shelf</i> FE dengan VGG-16	59
Tabel 4. 12 Performa Teknik <i>Off-the-shelf</i> FE dengan ResNet-50	62
Tabel 4. 13 Akurasi pada Setiap Konfigurasi Optimisasi	65
Tabel 4. 14 Parameter pada Setiap Konfigurasi Optimisasi.....	65
Tabel 4. 15 Perbedaan Proses dalam Teknik Fine-tuning dan Off-the- shelf FE.....	68
Tabel 4. 16 Akurasi (%) untuk Setiap Teknik Usulan.....	69
Tabel 4. 17 Perbandingan dengan <i>State-of-The-Art</i> Model yang Diusulkan.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Convolutional Neural Network</i>	26
Gambar 2. 2 Ilustrasi <i>Feature Extraction</i>	27
Gambar 2. 3 Arsitektur VGG-16.....	28
Gambar 2. 4 Arsitektur ResNet-50.....	29
Gambar 2. 5 <i>Support Vector Machine</i>	31
Gambar 3. 1 Contoh Citra dalam Dataset (a) <i>Benign</i> , (b) <i>Malignant</i> ..	37
Gambar 3. 2. Tahapan Pemrosesan Citra.....	37
Gambar 3. 3 Alur Pemrosesan Citra dengan Teknik <i>Fine-Tuning</i>	39
Gambar 3. 4 Skenario Fine-Tuning.....	41
Gambar 3. 5 Alur Pemrosesan Citra dengan Teknik <i>Off-the-Shelf Feature</i>	43
Gambar 4. 1 Grafik VGG-16 proses latih dan validasi, (a) akurasi, (b) loss.....	52
Gambar 4. 2 Grafik ResNet-50 proses latih dan validasi, (a) akurasi, (b) loss.....	53
Gambar 4. 3 Grafik Akurasi Terbaik pada Setiap Skenario.....	54
Gambar 4. 4 Confusion Matrix Teknik Fine-Tuning Model VGG-16	55
Gambar 4. 5 Confusion Matrix Teknik Fine-Tuning Model ResNet-556	56
Gambar 4. 6 Sampel Normalisasi Nilai Piksel; (a) Sebelum, (b) Setelah.....	57
Gambar 4. 7 Confusion Matrix terbaik Teknik Off-the-shelf FE dan VGG-16.....	60
Gambar 4. 8 ROC Curve pada Teknik Off-the-shelf FE dengan VGG- 16.....	61

Gambar 4. 9 Confusion Matrix Terbaik Teknik *Off-the-shelf* FE dan ResNet-50 63

Gambar 4. 10 ROC Curve pada Teknik Off-the-shelf FE dengan ResNet-50 64



BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Kanker dapat menjadi salah satu penyebab kematian manusia. Berdasarkan data WHO pada tahun 2020, hampir 10 juta kematian disebabkan oleh kanker (WHO, 2022). Berbagai jenis kanker dapat hidup dalam tubuh manusia, kanker kulit adalah salah satu kanker yang tumbuh paling cepat dan dapat menyebabkan kematian (Ali et al., 2021). Data National Cancer Institute pada tahun 2022 menunjukkan bahwa kanker kulit termasuk dalam peringkat lima jenis kanker yang paling sering terjadi dengan esitimasi kasus baru sebanyak 99.780 bagi penduduk Amerika (Institute, n.d.). Kanker kulit muncul pada kulit terluar, yaitu epidermis yang dapat dilihat oleh mata secara langsung (Kassem et al., 2020). Beberapa faktor yang memicu terjadinya kanker kulit yaitu penggunaan alkohol, merokok, alergi, infeksi, virus, aktivitas fisik, perubahan lingkungan, paparan sinar ultraviolet (UV), dan sebagainya. DNA di dalam sel kulit dapat rusak akibat radiasi sinar UV dari matahari secara terus menerus (Aliyah et al., 2020). Selain itu, pembengkakan yang tidak biasa pada tubuh manusia juga dapat menjadi penyebab kanker kulit.

Malignant (ganas) dan *benign* (jinak) merupakan jenis kanker kulit yang paling mematikan. Kanker *malignant* dapat menyebar dan berkembang di tubuh penderitanya dengan cara menyusup ke jaringan dan organ lain serta berkembang dan menyebar tanpa terkendali. Jenis kanker *malignant* ada banyak, diantaranya melanoma, karsinoma, dan limfoma. Berbeda dengan *malignant*, kanker *benign* dapat berkembang,

tetapi tidak akan menyebar. Penting untuk mengetahui tanda-tanda umum dan gejala kanker *benign* berubah menjadi *malignant*, seperti dengan cara mencari pertolongan medis (Hasan et al., 2021). Diagnosis dini pada awal gejala dapat membantu penderita berkemungkinan untuk bertahan hidup lebih besar.

Tahap awal diagnosis yaitu melalui pemeriksaan secara visual pada area kulit yang diduga mengidap gejala kanker kulit, hal ini dilakukan oleh dokter kulit. Keakuratan diagnosis berperan penting karena adanya kesamaan jenis lesi. Keakuratan hasil yang diberikan oleh dokter kulit dipengaruhi oleh pengalaman professional dokter. Tanpa adanya alat tambahan dalam mendiagnosis, dokter memiliki tingkat akurasi dalam mendiagnosis melanoma sebesar 65-80% (Brinker et al., 2018). Cara lain untuk mendiagnosis kanker kulit yaitu dengan melakukan biopsi yang berarti pengambilan jaringan untuk mengetahui keberadaan penyakit tersebut. Proses ini memakan waktu yang cukup lama. Selain itu, biopsi berisiko membuat penderita mengalami infeksi dan pendarahan (Aliyah et al., 2020). Teknik diagnosis lain yang kini dikembangkan yaitu berdasarkan analisis komputasi citra dermoskopi untuk klasifikasi lesi kulit secara otomatis yang dapat membantu dokter dalam mendeteksi penyakit dan mengambil keputusan diagnostik, serta memungkinkan akses yang cepat dan murah (Brinker et al., 2018; Pereira et al., 2020).

Citra dermoskopi merupakan metode pencitraan kulit yang paling terkenal. Dermoskopi terbukti lebih akurat daripada pemeriksaan visual secara langsung oleh tenaga medis. Hal ini terjadi karena citra dermoskopi memungkinkan visualisasi berbagai fitur yang tidak dapat dilihat oleh mata secara langsung sehingga struktur bawah

perumkaan lesi kulit dapat dianalisis dan berbagai jenis lesi dapat dibedakan menggunakan visualisasi yang lebih baik (Argenziano et al., 2006; Jaisakthi et al., 2018). Analisis citra dermoskopi kanker kulit menggunakan algoritma *machine learning* klasik mampu memberikan hasil yang baik dalam klasifikasi kanker kulit tertentu.

Sebelum tahun 2016, sebagian besar penelitian berbasis *machine learning* yang klasik dengan cara kerja *pre-processing*, *segmentation*, *feature extraction*, dan *classification*. Akan tetapi, karena proses *machine learning* klasik yang kompleks sehingga diperlukan keahlian khusus untuk melakukannya. Utamanya untuk ekstraksi fitur dan pemilihan fitur yang memakan waktu lama. Selain itu, kesalahan dan hilangnya informasi pada tahap pemrosesan berpengaruh besar terhadap kualitas klasifikasi (Brinker et al., 2018). Tantangan dari *machine learning* klasik dapat diatasi dengan metode *deep learning* yang mampu mencapai representasi fitur yang baik untuk menyelesaikan permasalahan *image classification* dan *object-localization* (Saber et al., 2021). *Deep learning*, khususnya *Convolutional Neural Network* (CNN) dapat digunakan untuk mengidentifikasi kanker kulit dengan cepat dan murah menggunakan *image classification* (Hasan et al., 2021).

CNN membutuhkan data training dengan jumlah yang besar dimana data citra medis terbatas. Solusinya yaitu menggunakan teknik *transfer learning* dari dataset seperti ImageNet dan kemudian melakukan *fine-tuning*. Dengan *transfer learning*, akurasi klasifikasi dapat ditingkatkan dan mempercepat proses training (Saber et al., 2021). *Transfer learning* merupakan solusi yang menjanjikan dalam deteksi kanker payudara (Guan & Loew, 2017). Menggunakan model

pre-trained CNN dapat secara otomatis mengekstraksi fitur dari citra mamografi dan *classifier* dapat ditraining dengan fitur tersebut. Penelitian yang dilakukan Guan dan Loew menggunakan tiga jenis metode, yaitu *training* CNN dari *scratch* (*full training*), menggunakan *pre-trained* CNN untuk ekstraksi fitur, dan melakukan *fine-tuning* pada *pre-trained* model CNN. Akurasi terbaik dihasilkan dari metode kedua dan ketiga dengan selisih nilai akurasi 0,008 lebih tinggi model *fine-tuning*.

Penelitian lain mencoba membandingkan tiga metode, yaitu menggunakan *pre-trained* CNN sebagai *feature extractor*, *training* model CNN dengan *transfer learning*, dan *training* model CNN dari *scratch*. Penelitian ini khusus pada data lesi kulit dan karena beberapa dataset yang digunakan untuk *training* maupun *testing* tergolong non-publik dataset, maka sulit untuk melakukan perbandingan ketiga metode tersebut. Akan tetapi, penggunaan CNN untuk dataset yang telah ditraining menggunakan dataset yang besar dan mengoptimalkan parameter untuk klasifikasi lesi kulit adalah metode yang paling umum digunakan dan memberikan hasil terbaik dengan dataset terbatas yang tersedia (Brinker et al., 2018).

Pre-trained CNN memiliki banyak model, diantaranya VGG-16, VGG-19, dan ResNet-50 yang telah digunakan untuk penelitian klasifikasi citra histologi kanker payudara. Ketiga arsitektur CNN tersebut dibandingkan dengan dua scenario, yaitu training dari *scratch* dan *transfer learning*. Akurasi terbaik diberikan oleh *pre-trained* VGG-16 dengan *fine-tuning* menggunakan *classifier* regresi logistic mencapai akurasi sebesar 92,60% (Shallu & Mehra, 2018). Perbandingan arsitektur CNN untuk klasifikasi fundus dengan

arsitektur yang diujicobakan adalah AlexNet, VGG-16, VGG-19, ResNet-50, ResNet-101, GoogleNet, Inception-V3, InceptionResNetV2, dan Squeezenet. Dengan dua scenario ujicoba, tanpa tambahan optimizer dan dengan tambahan optimizer Gradient Decent menunjukkan bahwa arsitektur VGG-16 dan VGG-19 adalah yang terbaik (Setiawan, 2020). Sejalan dengan penelitian di atas, penggunaan *pre-trained* CNN seperti V3, ResNet50, VGG-16, VGG-19, dan InceptionV2ResNet untuk deteksi dan klasifikasi kanker payudara dengan *transfer learning* menunjukkan bahwa model VGG-16 memberikan hasil terbaik untuk diagnosis kanker payudara (Saber et al., 2021).

Klasifikasi sel darah putih menggunakan *transfer learning* dengan cara membandingkan arsitektur CNN–AlexNet, GoogleNet, ResNet-50, dan VGG-16 dengan performa terbaik diberikan oleh arsitektur ResNet-50 (Wonohadidjojo, 2021). Klasifikasi kanker kulit dengan *pre-trained* ResNet-50, VGG-16, dan VGG-19 dengan augmentasi ketiga arsitektur memberikan akurasi tinggi, tetapi ResNet-50 yang memberikan akurasi tertinggi yaitu 98% (Aliyah et al., 2020). Selain itu, klasifikasi penyakit paru-paru dengan input berupa sinyal atau suara menggunakan CNN sebagai *feature extraction* dan VGG-16, AlexNet, dan ResNet-50 sebagai arsitekturnya menunjukkan bahwa VGG-16 memberikan akurasi untuk klasifikasi terbaik diantara lainnya (Demir et al., 2020). Untuk menaikkan akurasi, diterapkan dua scenario. Pertama, dengan VGG-16 sebagai *feature extraction* dan SVM *classifier* digunakan sebagai metode klasifikasi suara paru-paru. Scenario kedua dengan *pre-trained* CNN lalu dilakukan *fine-tuning* (*transfer learning*) dan klasifikasi dengan softmax *classifier*. Keduanya

dapat meningkatkan akurasi dengan peningkatan 7,68% pada metode pertama dan 5,18% pada metode kedua sehingga akurasinya menjadi 65,5% dan 63,09%.

Beberapa penelitian lain juga menerapkan skenario CNN sebagai ekstraksi fitur dan menggunakan SVM sebagai metode klasifikasinya. Seperti penelitian untuk mengklasifikasikan lukisan karya Van Gogh menggunakan arsitektur VGG-19 dan ResNet-50 sebagai ekstraksi fitur dan SVM sebagai metode klasifikasi memberikan hasil bahwa VGG-19 memberikan hasil yang lebih baik daripada ResNet-50 yaitu 93,2% dan 90,28% pada optimasi *grid* (Y. Yohannes et al., 2021). Metode *hybrid* CNN-SVM juga dilakukan untuk klasifikasi kanker kulit dengan arsitektur VGG-19 dan ResNet-50 yang menunjukkan hasil terbaik diberikan oleh VGG-19 pada optimasi *grid* sebesar 65,33% (R. Yohannes & Rivian, 2022). Menggunakan *pre-trained* model CNN sebagai ekstraksi fitur dan menerapkan *classifier* dengan model lain, seperti SVM, metode ini disebut dengan *off-the-shelf* CNN *features* (Abubakar, Ajuji, et al., 2020; Nguyen et al., 2017; Razavian et al., 2014). Umumnya, *off-the-shelf* *features* menggunakan *classifier* SVM karena SVM memberikan hasil terbaik sebagai *classifier* daripada Naïve Bayes, Random Forest, ataupun K-Nearest Neighbors (Varshni et al., 2019).

Menariknya, ternyata penggunaan metode *off-the-shelf* *features* tidak selamanya memberikan akurasi tinggi, seperti pada penelitian di atas ada yang hanya menghasilkan akurasi sekitar 65%. Dalam menggunakan metode *off-the-shelf* *features*, *classifier* *machine learning* yang digunakan memiliki parameter-parameter yang dapat dioptimalisasi. Melakukan optimalisasi parameter secara manual dapat

memakan waktu yang lama, terlebih jika algoritma tersebut memiliki parameter yang banyak (Syarif et al., 2016). *Automated machine learning* (AutoML) dibutuhkan untuk menentukan hyperparameter yang tepat. AutoML dapat diartikan sebagai konstruksi otomatis dari *machine learning pipeline* dengan budget komputasi yang terbatas (He et al., 2021). Grid search merupakan pendekatan yang umum digunakan dalam melakukan optimasi *hyperparameter*. Penggunaan grid search pada algoritma *machine learning* seperti Linear Regression, KNN, SVM, dan XGB memperoleh akurasi lebih baik daripada tanpa menggunakan grid search (Ahmad et al., 2022). Pendekatan AutoML yang lebih advance untuk proses optimisasi dengan mengadopsi genetic programming disebut dengan tree-based pipeline optimization tool (TPOT). TPOT dapat secara otomatis membangun pipeline dengan akurasi tinggi dan secara ringkas yang dapat mengungguli analisis dari machine learning dasar (Olson et al., 2016).

Penelitian ini melakukan optimasi dalam klasifikasi kanker kulit menjadi dua kelas (*benign* dan *malignant*) dengan menggunakan *transfer learning* melalui dua metode, yaitu *fine-tuning* dan *off-the-shelf feature extraction* dengan SVM sebagai *classifier*. Selanjutnya dalam metode kedua, dilakukan optimisasi pada *classifier* SVM. Teknik yang digunakan untuk optimisasi adalah grid search dan tree-based pipeline optimization tool (TPOT). *Pre-trained* model CNN sebagai *feature extractor* yang digunakan adalah VGG-16 dan ResNet-50. *Dataset* yang digunakan berasal dari *database Kaggle* yang berbentuk citra kanker kulit.

B. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana melakukan klasifikasi dengan akurasi yang lebih optimal pada *dataset* citra dermoskopi kanker kulit menggunakan metode *deep transfer learning* dengan membandingkan metode *fine-tuning* dan *off-the-shelf feature extraction* dengan *pre-trained model* VGG-16 dan Resnet-50?

C. BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini adalah *dataset* yang digunakan merupakan data citra dermoskopi kanker kulit yang diperoleh dari *database Kaggle* dengan dua jenis klasifikasi, yaitu *malignant* dan *benign*.

D. TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan rumusan masalah dan batasan masalah tersebut, tujuan penelitian ini adalah melakukan optimasi klasifikasi citra dermoskopi kanker kulit melalui komparasi akurasi teknik *deep transfer learning* menggunakan dua teknik yaitu *fine-tuning* dan *off-the-shelf feature extraction* dan menggunakan arsitektur VGG-16 serta Resnet-50 pada kedua teknik tersebut.

E. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian ini adalah menyempurnakan metode yang sudah ada dalam klasifikasi kanker kulit sehingga dapat menjadi salah satu acuan untuk penelitian selanjutnya.

F. KEASLIAN PENELITIAN

Penelitian yang berkaitan dengan klasifikasi kanker kulit dengan *dataset* yang sama pada penelitian ini dan dengan menggunakan *Convolutional Neural Network* dengan arsitektur VGG-16 dan Resnet-50, serta dengan kedua Teknik yang diusulkan, sejauh mengamati dan mempertimbangkan tinjauan pustaka, penelitian ini belum pernah dilakukan.



BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil klasifikasi menggunakan teknik *deep transfer learning* dengan dua metode, yaitu *fine-tuning* dan *off-the-shelf feature extraction*, diperoleh kesimpulan bahwa kedua teknik *deep transfer learning* dapat bekerja dengan baik dalam mengklasifikasikan citra dermoskopi kanker kulit dalam dua kelas (*benign* dan *malignant*). Pre-trained model yang digunakan dalam menjalankan kedua model adalah VGG-16 dan ResNet-50. ResNet-50 memberikan performa yang lebih unggul dibandingkan dengan VGG-16 pada teknik *fine-tuning*. Di sisi lain, penggunaan teknik *off-the-shelf features* bekerja lebih baik pada pre-trained model VGG-16. Akurasi terbaik menggunakan teknik yang diusulkan peneliti yaitu sebesar 94% dengan menerapkan teknik *fine-tuning* dan pre-trained model ResNet-50. Diikuti dengan teknik *off-the-shelf feature extraction* dengan pre-trained model VGG-16 yang memperoleh akurasi 91,5%.

B. SARAN

Masih terdapat banyak celah yang dapat dilakukan untuk meningkatkan akurasi dari klasifikasi citra kanker kulit. Menggunakan pre-trained model selain VGG-16 dan ResNet-50, pemilihan skenario *hyperparameter tuning* yang berbeda, penggunaan pengklasifikasi selain SVM dan konfigurasi optimisasi yang lain tidak menutup kemungkinan untuk dapat meningkatkan akurasi dari model dalam melakukan klasifikasi citra kanker kulit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, A., Ajuji, M., & Yahya, I. U. (2020). Comparison of deep transfer learning techniques in human skin burns discrimination. *Applied System Innovation*, 3(2), 1–15. <https://doi.org/10.3390/asi3020020>
- Abubakar, A., Ugail, H., & Bukar, A. M. (2020). Assessment of Human Skin Burns: A Deep Transfer Learning Approach. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 40(3), 321–333. <https://doi.org/10.1007/s40846-020-00520-z>
- Agarap, A. F. (2017). *An Architecture Combining Convolutional Neural Network (CNN) and Support Vector Machine (SVM) for Image Classification*. 5–8. <http://arxiv.org/abs/1712.03541>
- Agustina, R., Magdalena, R., & Caecar, N. O. R. K. (2022). Klasifikasi Kanker Kulit menggunakan Metode Convolutional Neural Network dengan Arsitektur VGG-16. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(2), 446–457.
- Ahmad, G. N., Fatima, H., Shafiullah, Saidi, A. S., & Imdadullah. (2022). Efficient Medical Diagnosis of Human Heart Diseases using Machine Learning Techniques with and without GridSearchCV. *IEEE Access*, PP, 1–1. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3165792>
- Ali, M. S., Miah, M. S., Haque, J., Rahman, M. M., & Islam, M. K. (2021). An enhanced technique of skin cancer

- classification using deep convolutional neural network with transfer learning models. *Machine Learning with Applications*, 5(February), 100036.
<https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100036>
- Aliyah, Z., Arifianto, A., & Sthevanie, F. (2020). Classifying Skin Cancer in Digital Images Using Convolutional Neural Network with Augmentation. *Indonesia Journal on Computing (Indo-JC)*, 5(2), 55–66.
<https://doi.org/10.21108/indojc.2020.5.2.455>
- Aljanabi, M. H., Jumaa, F. A., Aftan, A. O., Alkafaji, M. S. S., Alani, N., Al-Tameemi, Z. H., & Al-Mamoori, D. H. (2019). Various Types of Skin Tumors Lesion Medical Imaging (STLMI) of Healthy and Unhealthy Moles a Review and Computational of: Segmentation, Classification, Methods and Algorithms. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 518(5).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/518/5/052014>
- Anand, V., Gupta, S., Altameem, A., Nayak, S. R., Poonia, R. C., & Saudagar, A. K. J. (2022). An Enhanced Transfer Learning Based Classification for Diagnosis of Skin Cancer. *Diagnostics*, 12(7).
<https://doi.org/10.3390/diagnostics12071628>
- Argenziano, G., Puig, S., Zalaudek, I., Sera, F., Corona, R., Alsina, M., Barbato, F., Carrera, C., Ferrara, G., Guilabert, A., Massi, D., Moreno-Romero, J. A., Muñoz-Santos, C., Petrillo, G., Segura, S., Soyer, H. P., Zanchini, R., & Malvehy, J. (2006). Dermoscopy improves accuracy of

- primary care physicians to triage lesions suggestive of skin cancer. *Journal of Clinical Oncology*, 24(12), 1877–1882.
<https://doi.org/10.1200/JCO.2005.05.0864>
- Armstrong, B. K., & Kricger, A. (2001). The epidemiology of UV induced skin cancer. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 63(1–3), 8–18.
[https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(01\)00198-1](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(01)00198-1)
- Balambigai, S., Elavarasi, K., Abarna, M., Abinaya, R., & Arun Vignesh, N. (2022). Detection and optimization of skin cancer using deep learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 2318(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2318/1/012040>
- Bechelli, S., & Delhommelle, J. (2022). Machine Learning and Deep Learning Algorithms for Skin Cancer Classification from Dermoscopic Images. *Bioengineering*, 9(3), 1–18.
<https://doi.org/10.3390/bioengineering9030097>
- Brinker, T. J., Hekler, A., Utikal, J. S., Grabe, N., Schadendorf, D., Klode, J., Berking, C., Steeb, T., Enk, A. H., & Von Kalle, C. (2018). Skin cancer classification using convolutional neural networks: Systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, 20(10), 1–8.
<https://doi.org/10.2196/11936>
- Demir, F., Sengur, A., & Bajaj, V. (2020). Convolutional neural networks based efficient approach for classification of lung diseases. *Health Information Science and Systems*, 8(1).
<https://doi.org/10.1007/s13755-019-0091-3>
- Farooq, M. A., Khatoun, A., Varkarakis, V., & Corcoran, P.

- (2019). Advanced Deep Learning Methodologies for Skin Cancer Classification in Prodromal Stages. *AICS*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2003.06356>
- Faruk, M., Studi, P., Informatika, T., Teknik, F., & Lamongan, U. I. (2020). Telematika Klasifikasi Kanker Kulit Berdasarkan Fitur Tekstur , Fitur Warna Citra Menggunakan SVM dan KNN. *Telematika*, 13(2), 100–109.
- Ferrante di Ruffano, L., Takwoingi, Y., Dinnes, J., Chuchu, N., Bayliss, S. E., Davenport, C., Matin, R. N., Godfrey, K., O'sullivan, C., Gulati, A., Chan, S. A., Durack, A., O'connell, S., Gardiner, M. D., Bamber, J., Deeks, J. J., & Williams, H. C. (2018). Computer-assisted diagnosis techniques (dermoscopy and spectroscopy-based) for diagnosing skin cancer in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2018(12). https://doi.org/10.1002/14651858.CD013186/MEDIA/CDSR/CD013186/IMAGE_N/NCD013186-TST-061.PNG
- Guan, S., & Loew, M. (2017). Breast cancer detection using transfer learning in convolutional neural networks. *2017 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/AIPR.2017.8457948>
- Haq, D. Z. (2020). Klasifikasi Citra Kanker Kulit Menggunakan Convolutional Neural Network Model Googlenet. In *Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya*.
- Hasan, M. R., Fatemi, M. I., Monirujjaman Khan, M., Kaur, M., & Zaguia, A. (2021). Comparative Analysis of Skin Cancer (Benign vs. Malignant) Detection Using Convolutional

- Neural Networks. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5895156>
- He, X., Zhao, K., & Chu, X. (2021). AutoML: A survey of the state-of-the-art. *Knowledge-Based Systems*, 212, 106622. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.106622>
- Hendaria, M. P., Asmarajaya, A., & Maliawan, S. (2013). Kanker Kulit. *E-Journal Medika Udayana*, 2(2), 273–289.
- Institute, N. C. (n.d.). *Cancer Stat Facts: Melanoma of the Skin*. Retrieved March 17, 2023, from <https://seer.cancer.gov/statfacts/html/melan.html>
- International, W. C. R. F. (n.d.). *Skin Cancer Statistics*. Retrieved March 17, 2023, from <https://www.wcrf.org/cancer-trends/skin-cancer-statistics/>
- Jaisakthi, S. M., Mirunalini, P., & Aravindan, C. (2018). Automated skin lesion segmentation of dermoscopic images using GrabCut and k-means. *IET Computer Vision*, 12(8), 1088–1095.
- Kartal, M. S., & Polat, Ö. (2022). Detection of Benign and Malignant Skin Cancer from Dermoscopic Images using Modified Deep Residual Learning Model. *Artificial Intelligence Theory and Applications*, 2(2), 10–18.
- Kassem, M. A., Hosny, K. M., & Fouad, M. M. (2020). Skin Lesions Classification into Eight Classes for ISIC 2019 Using Deep Convolutional Neural Network and Transfer Learning. *IEEE Access*, 8, 114822–114832. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3003890>
- Keskar, N. S., Nocedal, J., Tang, P. T. P., Mudigere, D., &

- Smelyanskiy, M. (2017). On large-batch training for deep learning: Generalization gap and sharp minima. *5th International Conference on Learning Representations, ICLR 2017 - Conference Track Proceedings*, 1–16.
- Khan, R. A., Crenn, A., Meyer, A., & Bouakaz, S. (2019). A novel database of children's spontaneous facial expressions (LIRIS-CSE). *Image and Vision Computing*, 83–84(December), 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2019.02.004>
- Khasanah, N., Komarudin, R., Afni, N., Maulana, Y. I., & Salim, A. (2021). Skin Cancer Classification Using Random Forest Algorithm. *Sisfotenika*, 11(2), 137. <https://doi.org/10.30700/jst.v11i2.1122>
- Korpusik, M., & Glass, J. (2018). Convolutional Neural Networks and Multitask Strategies for Semantic Mapping of Natural Language Input to a Structured Database. *2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 6174–6178. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2018.8461769>
- Makalesi, A., Soyulu, E., & Demir, R. (2021). Development and Comparison of Skin Cancer Diagnosis Models. *European Journal of Science and Technology Special Issue*, 28(28), 1217–1221. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1013910>
- Manasa, K., & Murthy, D. G. V. (2021). Skin Cancer Detection Using VGG-16. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 8(1), 1419–1426.
- Marsland, S. (2015). *Machine Learning: An Algorithmic*

Perspective (2nd ed.). Chapman & Hall/CRC.

- Murugan, A., Nair, D. S. A. H., & Kumar, D. K. P. S. (2019). Research on SVM and KNN Classifiers for Skin Cancer Detection. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(2), 4627–4632. <https://doi.org/10.35940/ijeat.b5117.129219>
- Nguyen, K., Fookes, C., Ross, A., & Sridharan, S. (2017). Iris Recognition with Off-the-Shelf CNN Features: A Deep Learning Perspective. *IEEE Access*, 6, 18848–18855. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2784352>
- Oliveira, R. B., Papa, J. P., Pereira, A. S., & Tavares, J. M. R. S. (2018). Computational methods for pigmented skin lesion classification in images: review and future trends. *Neural Computing and Applications*, 29(3), 613–636. <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2482-6>
- Olson, R. S., Bartley, N., Urbanowicz, R. J., & Moore, J. H. (2016). Evaluation of a tree-based pipeline optimization tool for automating data science. *Proceedings of the 2016 Genetic and Evolutionary Computation Conference*, 485–492. <https://doi.org/10.1145/2908812.2908918>
- Pereira, P. M. M., Fonseca-Pinto, R., Paiva, R. P., Assuncao, P. A. A., Tavora, L. M. N., Thomaz, L. A., & Faria, S. M. M. (2020). Skin lesion classification enhancement using border-line features – The melanoma vs nevus problem. *Biomedical Signal Processing and Control*, 57(March). <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.101765>
- Radzi, S. F. M., Karim, M. K. A., Saripan, M. I., Rahman, M.

- A. A., Isa, I. N. C., & Ibahim, M. J. (2021). Hyperparameter tuning and pipeline optimization via grid search method and tree-based autoML in breast cancer prediction. *Journal of Personalized Medicine*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/jpm11100978>
- Razavian, A. S., Azizpur, H., Sullivan, J., & Carlsson, S. (2014). CNN Features off-the-shelf: an Astounding Baseline for Recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 806–813.
- Saber, A., Sakr, M., Abo-Seida, O. M., Keshk, A., & Chen, H. (2021). A Novel Deep-Learning Model for Automatic Detection and Classification of Breast Cancer Using the Transfer-Learning Technique. *IEEE Access*, 9, 71194–71209. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3079204>
- Sabilla, I. A. (2020). Arsitektur Convolutional Neural Network (Cnn) Untuk Klasifikasi Jenis Dan Kesegaran Buah Pada Neraca Buah. *Tesis*, 201510370311144, 1–119. https://repository.its.ac.id/73567/1/05111850010020-Master_Thesis.pdf
- Setiawan, W. (2020). Perbandingan Arsitektur Convolutional Neural Network Untuk Klasifikasi Fundus. *Jurnal Simantec*, 7(2), 48–53. <https://doi.org/10.21107/simantec.v7i2.6551>
- Shallu, & Mehra, R. (2018). Breast cancer histology images classification: Training from scratch or transfer learning? *ICT Express*, 4(4), 247–254.

- <https://doi.org/10.1016/j.ict.2018.10.007>
- Sholado, R. M. (2020). *Deteksi Kanker Kulit Menggunakan Deep Learning*. Universitas Dinamika.
- Solovyeva, E., & Abdullah, A. (2021). Binary and multiclass text classification by means of separable convolutional neural network. *Inventions*, 6(4).
<https://doi.org/10.3390/inventions6040070>
- Sutanto, V. M., Sukma, Z. I., & Afiahayati, A. (2020). Predicting Secondary Structure of Protein Using Hybrid of Convolutional Neural Network and Support Vector Machine. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 14(1), 232–243.
<https://doi.org/10.22266/IJIES2021.0228.23>
- Syarif, I., Prugel-Bennett, A., & Wills, G. (2016). SVM Parameter Optimization using Grid Search and Genetic Algorithm to Improve Classification Performance. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 14(4), 1502.
<https://doi.org/10.12928/telkomnika.v14i4.3956>
- Varshni, D., Thakral, K., Agarwal, L., Nijhawan, R., & Mittal, A. (2019). Pneumonia Detection Using CNN based Feature Extraction. *Proceedings of 2019 3rd IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies, ICECCT 2019*.
<https://doi.org/10.1109/ICECCT.2019.8869364>
- Victor Ikechukwu, A., Murali, S., Deepu, R., & Shivamurthy, R. C. (2021). ResNet-50 vs VGG-19 vs training from scratch:

- A comparative analysis of the segmentation and classification of Pneumonia from chest X-ray images. *Global Transitions Proceedings*, 2(2), 375–381. <https://doi.org/10.1016/j.gltip.2021.08.027>
- WHO. (2022). *Cancer*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
- Wlodarczak, P. (2020). *Machine Learning and its Application*. CRC Press.
- Wonohadidjojo, D. M. (2021). Perbandingan Convolutional Neural Network pada Transfer Learning Method untuk Mengklasifikasikan Sel Darah Putih. *Ultimatics: Jurnal Teknik Informatika*, 13(1), 51–57. <https://doi.org/10.31937/ti.v13i1.2040>
- Yohannes, R., & Rivan, M. E. A. (2022). Klasifikasi Jenis Kanker Kulit Menggunakan CNN-SVM. *Jurnal Algoritme*, 2(2), 133–144.
- Yohannes, Y., Pribadi, M. R., & Chandra, L. (2020). Klasifikasi Jenis Buah dan Sayuran Menggunakan SVM Dengan Fitur Saliency-HOG dan Color Moments. *Elkha*, 12(2), 125. <https://doi.org/10.26418/elkha.v12i2.42160>
- Yohannes, Y., Udjulawa, D., & Febbiola, F. (2021). Klasifikasi Lukisan Karya Van Gogh Menggunakan Convolutional Neural Network-Support Vector Machine. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 7(1), 192–205. <https://doi.org/10.28932/jutisi.v7i1.3399>