

**KOMBINASI ARSITEKTUR *VISUAL GEOMETRY GROUP*,
BOTTLENECK LAYER, *GATE RECURRENT UNITS*, DAN
ATTENTION GATE PADA KLASIFIKASI PENYAKIT
KANKER SERVIKS MENGGUNAKAN CITRA
*PAP SMEAR***

SKRIPSI

Oleh:

BAGAS

NIM 08011282126063



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN
**KOMBINASI ARSITEKTUR *VISUAL GEOMETRY GROUP*,
BOTTLENECK LAYER, *GATE RECURRENT UNITS*, DAN
ATTENTION GATE PADA KLASIFIKASI PENYAKIT
KANKER SERVIKS MENGGUNAKAN CITRA
*PAP SMEAR***

SKRIPSI

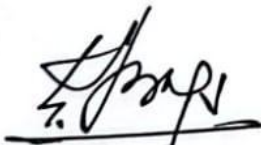
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Matematika

Oleh

BAGAS

NIM. 08011282126063

Pembimbing Kedua



Dr. Bambang Suprihatin, S.Si., M.Si
NIP. 197101261994121001

Indralaya, 12 September 2025
Pembimbing Utama



Dr. Anita Desiani, S.Si., M.Kom
NIP. 197712112003122002



Mengetahui,
An. Ketua
Sekretaris Jurusan Matematika

Des Alwino Zayanti, S.Si., M.Si.
NIP. 197012041998022001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Bagus

NIM : 08011282126063

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Matematika

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata satu (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat didalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasi atau telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis yang secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 12 September 2025
Penulis



10000
Rp 10.000
METERAI
THAN
00097ANX042185586
Bagas

NIM. 08011282126063

HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan skripsi ini untuk:

Yang Maha Kuasa Allah Subhanahu Wa Ta'ala.

Orang tuaku yang sangat kucinta,

Kakak dan ayukku tersayang,

Keluarga besarku,

Semua guru dan dosenku,

Sahabat-sahabatku,

Almamaterku

Motto

“Try our best and let God to the rest”

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Kombinasi Arsitektur *Visual Geometry Group, Bottleneck Layer, Gate Recurrent Units*, dan *Attention Gate* Pada Klasifikasi Penyakit Kanker Serviks Menggunakan Citra *Pap Smear*”. Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains bidang studi Matematika di Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya semangat, dukungan, bantuan, bimbingan dan nasihat yang diberikan berbagai pihak selama proses penyusunan ini berlangsung. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua tercinta, Ibuku **Karimah Nangcik** yang sudah memberikan do'a serta pengajaran terbaik kepadaku, Ayahku **Sape'i Uti** yang tidak pernah berhenti berjuang dan memberikan yang terbaik untukku sebagai putranya. Kakak dan ayukku tersayang, **Kadir** dan **Fitri Ayu Wandira** yang senantiasa memberikan semangat dan doa terbaik untuk penulis. Terima kasih karena tak pernah lelah mendidik, menasehati, membimbing, mendukung dan terus mendo'akan. Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada sebesar-besarnya dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak **Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D** selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya. Ibu **Dr. Dian Cahyawati Sukanda, M.Si.** selaku Ketua Jurusan Matematika serta Ibu **Des Alwine Zayanti, S.Si., M.Si.** selaku Sekretaris Jurusan Matematika yang telah membimbing dan mengarahkan dalam urusan akademik selama menempuh perkuliahan di Jurusan Matematika

FMIPA Universitas Sriwijaya.

2. Ibu **Dr. Anita Desiani, S.Si., M.Kom** dan Bapak **Dr. Bambang Suprihatin, S.Si., M.Si.** serta Ibu **Dr. Sisca Octarina, M.Sc.** selaku Dosen Pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan dan didikan yang berharga selama pembuatan skripsi, perlombaan dan proses perkuliahan.
3. Bapak **Drs. Ali Amran, M.T.** dan Ibu **Dr. Herlina Hanum, S.Si., M.Si.** selaku dosen pembahas yang telah memberikan saran, tanggapan, dan kritik yang sangat bermanfaat untuk penyelesaian dan perbaikan skripsi ini.
4. **Seluruh Dosen di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya** yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis. Bapak **Irwansyah** dan Ibu **Hamidah** selaku staf administrasi di Jurusan Matematika FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah membantu penulis selama perkuliahan.
5. Kepada **seluruh kakak dan teman-teman Bidang Minat Komputasi Angkatan 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, Keluarga Jurusan Matematika angkatan 2021 dan seluruh Keluarga Mahasiswa Jurusan Matematika,** terima kasih telah menjadi bagian penting yang mewarnai perjalanan, perjuangan, dan kenangan indah penulis selama masa perkuliahan, serta yang telah berjuang bersama dan memberikan banyak bantuan serta semangat kepada penulis dalam menyelesaikan proses perkuliahan dan pembuatan skripsi ini.

6. **BPH Himastik Sinergi Cipta, Tim PKM *Smart Talk* dan Tim Sepakbola RRI FC**, terima kasih atas kebersamaan, semangat, serta pengalaman berharga yang telah menemani dan mewarnai perjalanan penulis selama masa perkuliahan.
7. **Sahabat Seperkosan, Seperkontrakan, dan Trio Itik** yang selalu kebersamai, mendukung, dan menjadi tempat bersenda gurau baik suka maupun duka bagi penulis, Teman Seperjuangan penulis **Melfhine Salomo Ompusunggu, Junius Sakha Namiral Putera, Niken Ayuputri, Dwi Ranti, dan Dima Dwifa** yang telah berjuang bersama, memberikan dukungan dan banyak bantuan kepada penulis selama selama proses penyelesaian skripsi ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, semoga semua kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan terbaik dari Allah.
9. Kepada sepeda motor kesayangan penulis yaitu **Bang Jac**, terima kasih telah menemani penulis dan mengukir cerita disetiap kilometernya. Selama 8 tahun bersama banyak cerita dalam kesendirian saya ketika sedang dalam perjalanan, walaupun sering kali terdapat kendala dalam perjalanan yang tidak jarang menyebabkan terlambat masuk kuliah. Semoga perjalanan yang kebersamaiku ini akan membuahkan hasil yang indah kedepannya.
10. Terakhir, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada satu sosok yang selama ini diam-diam berjuang tanpa henti, seorang laki-laki sederhana dengan impian yang tinggi, namun sering kali sulit ditebak isi pikiran dan hati. Terima kasih kepada penulis skripsi ini yaitu diriku sendiri, **Bagas**. Anak bungsu yang terkadang sifatnya seperti anak kecil pada umumnya. Terima kasih telah turut

hadir di dunia ini, telah bertahan sejauh ini, dan terus berjalan melewati segala tantangan yang semesta hadirkan. Terima kasih karena tetap berani menjadi dirimu sendiri. Aku bangga atas setiap langkah kecil yang kau ambil, atas semua pencapaian yang mungkin tak selalu dirayakan orang lain. Walau terkadang harapanmu tidak sesuai dengan apa yang semesta berikan, tetaplah belajar menerima dan mensyukuri apapun yang kamu dapatkan. Jangan pernah lelah untuk tetap berusaha, berbahagialah dimanapun kamu berada. Rayakan apapun dalam dirimu dan jadikan dirimu bersinar dimanapun tempatmu bertumpu. Aku berdoa, semoga langkah dari kaki kecilmu selalu diperkuat, dikelilingi oleh orang-orang yang hebat, serta mimpimu satu persatu akan terjawab.

Semoga skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi mahasiswa/i Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya dan semua pihak yang membutuhkan.

Indralaya, September 2025

Penulis

**COMBINATION OF VISUAL GEOMETRY GROUP ARCHITECTURE,
BOTTLENECK LAYER, GATE RECURRENT UNITS, AND
ATTENTION GATE IN CLASSIFICATION OF
CERVICAL CANCER USING
PAP SMEAR IMAGES**

By:

Bagas

08011282126063

ABSTRACT

Superficial-intermediate, parabasal, koilocytotic, dyskeratotic, and metaplastic are types of cells in the cervix that are at risk of causing cancer. Cervical cancer can be detected early using several methods, one of which is the Pap smear. Early detection of this disease can be achieved through the use of deep learning methods. This study proposes a model combining the Visual Geometry Group Bottleneck Layer architecture, Gate Recurrent Units, and Attention Gate for cervical cancer classification using Pap smear images. In the first block, the VGG architecture is used to capture detailed features in complex features. In the 14th block, before classification, a Bottleneck Layer is added to reduce the number of parameters and prevent overfitting before entering the classification layer. Gate Recurrent Units are added after the Bottleneck Layer to reuse features that were discarded due to feature dimension reduction from the Bottleneck Layer, and an Attention Gate is inserted to focus the model on relevant features while filtering out irrelevant ones. In the last block, the model uses a fully connected layer and a softmax activation function to provide prediction results. The proposed model achieved an average accuracy of 99.6%, sensitivity of 95.4%, specificity of 99.7%, F1-score of 95.4%, and Cohen's kappa of 95.2%, indicating that the model is capable of classifying Pap smear images effectively. In this study, the proposed model performed very well in recognizing the superficial-intermediate class compared to the parabasal, koilocytotic, dyskeratotic, and metaplastic classes, with a sensitivity of 99.8%, indicating that the model is very good at recognizing images from the superficial-intermediate class. Although the values obtained for the parabasal, koilocytotic, dyskeratotic, and metaplastic classes are still below those of the superficial-intermediate class, the results obtained are already very good because the sensitivity values for the parabasal, koilocytotic, dyskeratotic, and metaplastic classes are 90%.

Keywords: Cervical Cancer, Classification, VGG, Bottleneck layer, GRU

**KOMBINASI ARSITEKTUR VISUAL GEOMETRY GROUP,
BOTTLENECK LAYER, GATE RECURRENT UNITS, DAN
ATTENTION GATE PADA KLASIFIKASI PENYAKIT
KANKER SERVIKS MENGGUNAKAN CITRA**

PAP SMEAR

Oleh:

Bagas

08011282126063

ABSTRAK

Superficial-intermediate, parabasal, koilocytotic, dyskeratotic, dan metaplastic merupakan jenis sel pada serviks yang beresiko mengakibatkan kanker. Kanker serviks dapat dideteksi lebih dini dengan beberapa metode, salah satunya *pap smear*. Deteksi dini penyakit ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan metode *deep learning*. Penelitian ini mengusulkan model Kombinasi Arsitektur *Visual Geometry Group Bottleneck Layer, Gate Recurrent Units* dan *Attention Gate* pada Klasifikasi Penyakit Kanker Serviks Menggunakan Citra *Pap Smear*. Pada blok pertama digunakan arsitektur VGG untuk menangkap fitur secara detail pada fitur yang kompleks. Pada blok ke 14, sebelum dilakukan klasifikasi ditambahkan *Bottleneck Layer* untuk mengurangi jumlah parameter dan mencegah *overfitting* sebelum masuk ke *classification layer*. *Gate Recurrent Units* ditambahkan setelah *Bottleneck Layer* untuk penggunaan kembali fitur yang dilewati akibat pengurangan dimensi fitur dari *Bottleneck Layer*, dan disisipkan *Attention Gate* untuk memfokuskan model pada fitur-fitur yang relevan sekaligus menyaring fitur-fitur yang tidak relevan. Pada blok terakhir menggunakan lapisan *fully connected* dan fungsi aktivasi softmax untuk memberikan hasil prediksi. Model yang diusulkan memperoleh rata-rata akurasi sebesar 99,6%, sensitivitas 95.4%, spesifisitas 99.7%, *f1-score* 95.4%, dan *cohens kappa* 95.2% menunjukkan bahwa model mampu melakukan klasifikasi citra *pap smear* dengan baik. Pada penelitian ini, model yang diusulkan bekerja dengan sangat baik dalam mengenali kelas *superficial-intermediate* dibandingkan kelas *parabasal, koilocytotic, dyskeratotic, dan metaplastic* dengan nilai sensitivitas sebesar 99.8% menunjukkan bahwa model sangat baik dalam mengenali citra dari kelas *superficial-intermediate*. Meskipun nilai yang diperoleh pada kelas *parabasal, koilocytotic, dyskeratotic, dan metaplastic* masih dibawah *superficial-intermediate*, hasil yang diperoleh sudah sangat baik karena nilai sensitivitas untuk kelas *parabasal, koilocytotic, dyskeratotic, dan metaplastic* telah diatas 90%.

Kata kunci: Kanker Serviks, Klasifikasi, VGG, *Bottleneck layer*, GRU

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRACT	ix
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Pembatasan Masalah	6
1.4 Tujuan.....	6
1.5 Manfaat.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Kanker Serviks	Error! Bookmark not defined.
2.2 <i>Preprocessing Data</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Konversi Citra RGB menjadi citra <i>Grayscale</i>	Error!
2.2.2 Augmentasi Citra.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Klasifikasi.....	Error! Bookmark not defined.
2.4 <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	Error! Bookmark not defined.

2.4.1	<i>Padding same</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4.2	<i>Visual Geometry Group</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4.3	<i>Convolutional Layer</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4.4	<i>Batch Normalization</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4.5	Fungsi Aktivasi ReLU	Error! Bookmark not defined.
2.4.6	<i>Pooling Layer</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4.7	<i>Bottleneck Layer</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4.8	Gate Recurrent Units	Error! Bookmark not defined.
2.4.9	<i>Attention Gate</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4.10	<i>Fully Connected Layer</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4.11	Fungsi Aktivasi Softmax	Error! Bookmark not defined.
2.4.12	<i>Loss Function</i>	Error! Bookmark not defined.
2.5	<i>Confusion Matrix</i>	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		Error! Bookmark not defined.
3.1	Tempat	Error! Bookmark not defined.
3.2	Waktu	Error! Bookmark not defined.
3.3	Alat	Error! Bookmark not defined.
3.4	Metode Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.4.1	Pengumpulan Data	Error! Bookmark not defined.
3.4.2	Preprocessing Data	Error! Bookmark not defined.
3.4.3	Implementasi Arsitektur VGG Bottleneck Layer, GRU dan <i>Attention Gate</i>	Error! Bookmark not defined.
3.4.4	Evaluasi Kinerja Model	Error! Bookmark not defined.
3.4.5	Analisis dan Interpretasi Hasil	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		Error! Bookmark not defined.
4.1	Deskripsi Data	Error! Bookmark not defined.
4.2	<i>Preprocessing Data</i>	Error! Bookmark not defined.
4.3	Kombinasi Arsitektur VGG <i>Bottleneck Layer</i> GRU dan <i>Attention Gate</i>	Error! Bookmark not defined.

4.4	Perhitungan Manual	Error! Bookmark not defined.
4.4.1	<i>Padding same</i>	Error! Bookmark not defined.
4.4.2	<i>Convolutional Layer</i>	Error! Bookmark not defined.
4.4.3	<i>Batch Normalization</i>	Error! Bookmark not defined.
4.4.4	Fungsi Aktivasi ReLU	Error! Bookmark not defined.
4.4.5	Maxpooling	Error! Bookmark not defined.
4.4.6	Bottleneck Layer	Error! Bookmark not defined.
4.4.7	<i>Gate Recurrent Units</i>	Error! Bookmark not defined.
4.4.8	Attention Gate	Error! Bookmark not defined.
4.4.9	<i>Fully Connected Layer</i>	Error! Bookmark not defined.
4.4.10	Fungsi Aktivasi Softmax	Error! Bookmark not defined.
4.4.11	Categorical cross entropy	Error! Bookmark not defined.
4.5	Training	Error! Bookmark not defined.
4.6	Testing	Error! Bookmark not defined.
4.7	Evaluasi	Error! Bookmark not defined.
4.8	Analisis dan interpretasi hasil	Error! Bookmark not defined.
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		Error! Bookmark not defined.
5.1	Kesimpulan	Error! Bookmark not defined.
5.2	Saran	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA		8

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fitur citra <i>pap smear</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 2 Proses konversi citra RGB ke <i>grayscale</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 3 Contoh proses augmentasi citra.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 4 <i>Padding same</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 6 Ilustrasi <i>max pooling</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 7 Ilustrasi <i>bottleneck layer</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 8 Ilustrasi Arsitektur GRU	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 9 Mekanisme <i>attention gate</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 1 Proses augmentasi citra	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 2 Kombinasi arsitektur VGG Bottleneck Layer GRU dan.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 3 Ilustrasi <i>Maxpooling</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 4 grafik akurasi pada proses training....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 5 grafik loss pada proses training	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kategori nilai evaluasi kinerja model (Kaddoura, 2022)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2. 2 Interpretasi nilai Cohens Kappa.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 1 sampel citra Cervical Cancer Largest Dataset	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 2 confusion matrix	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 3 evaluasi klasifikasi penyakit kanker serviks pada penelitian lain.	Error! Bookmark not defined.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker serviks merupakan jenis kanker kedua paling banyak diderita oleh perempuan di seluruh dunia, dengan tingkat kematian yang tinggi (Desiani *et al.*, 2023). Kanker serviks dapat didiagnosis lebih dini melalui beberapa metode, salah satunya dengan pemeriksaan *pap smear* (Fekri-Ershad & Alsaffar, 2023). *Pap smear* adalah pemeriksaan medis yang melibatkan pengambilan sel dari leher rahim atau serviks yang menghasilkan citra *pap smear* (Win *et al.*, 2020). Kondisi suatu citra *pap smear* dapat dikategorikan ke dalam 5 kelompok, yaitu *superficial-intermediate* dan *parabasal* yang termasuk dalam kondisi normal, dan yang lainnya yaitu *koilocytotic*, *dyskeratotic*, dan *metaplastic* termasuk dalam kondisi abnormal (Kupas *et al.*, 2024). Ketepatan klasifikasi citra *pap smear* bergantung pada kemahiran ahli sitologi dalam menentukan berbagai jenis sel sehingga berpotensi terjadi kesalahan akibat kondisi individu dan pengalaman (Mabotja *et al.*, 2021). Klasifikasi kanker serviks dapat dilakukan dengan menggunakan sistem otomatis yang dibantu komputer yaitu metode *deep learning* (Diniz *et al.*, 2021). Metode *deep learning* yang populer diterapkan untuk tugas klasifikasi adalah *Convolution Neural Networks* (CNN) (Rachmad *et al.*, 2023).

CNN merupakan jaringan syaraf tiruan yang terdiri dari lapisan konvolusi untuk ekstraksi fitur, *pooling layer* untuk reduksi dimensi, dan *fully connected layer* untuk klasifikasi citra (Beucher *et al.*, 2022). CNN banyak dikembangkan dalam berbagai arsitektur untuk meningkatkan kinerja klasifikasi, salah satunya yaitu

Visual Geometry Group (VGG) (Desiani, Erwin, *et al.*, 2022). VGG adalah arsitektur yang terdiri dari 13 lapisan konvolusi dengan kernel tetap 3×3 , *pooling layers*, dan 3 lapisan *fully connected* (Z. P. Jiang *et al.*, 2021). Susunan lapisan konvolusi mendalam pada VGG dengan kernel yang kecil berukuran tetap 3×3 memiliki kelebihan dalam mengekstraksi fitur secara lebih detail pada citra yang kompleks (Sunyoto *et al.*, 2022). Beberapa penelitian yang menerapkan VGG untuk klasifikasi kanker serviks diantaranya Tripathi *et al.* (2021) mengklasifikasi 5 kelas pada citra *pap smear*, memperoleh nilai akurasi sebesar 95%, namun nilai *f1-score* masih dibawah 87%. Deo *et al.* (2024) mengklasifikasi 5 kelas pada citra *pap smear*, menghasilkan nilai akurasi sebesar 93%, namun nilai sensitivitas dan *Cohens Kappa* masih dibawah 85%. Bingol *et al.* (2022) mengklasifikasikan 3 kelas pada citra *pap smear*, yaitu *parabasal*, *koilocytotic*, dan *metaplastic* memperoleh nilai akurasi sebesar 95%, namun nilai sensitivitas dan spesifisitas masih rendah.

Meskipun VGG dapat mengambil fitur secara lebih detail pada citra yang kompleks, namun VGG menghasilkan parameter yang besar. Menurut Younis *et al.* (2022) dan Ramadhan & Baykara (2022) parameter pada VGG mencapai 138 juta parameter. Parameter yang besar pada VGG dapat mengakibatkan terjadinya *overfitting* (Dishar & Muhammed, 2023). *Overfitting* adalah kejadian arsitektur dalam melakukan pembelajaran yang baik untuk mengenali pola-pola dalam data latih, tetapi gagal memprediksi data yang belum terlatih (Xu *et al.*, 2023). Menurut Pansambal & Nandgaokar (2023) arsitektur yang dapat mengatasi masalah *overfitting* pada VGG adalah *bottleneck layer*. *Bottleneck layer* adalah lapisan dalam CNN yang terdiri dari kombinasi tiga tahap konvolusi yang dapat

menurunkan lalu menaikkan kembali dimensi fitur. Pada tahap pertama menggunakan konvolusi 1×1 dengan kernel 1×1 dapat menurunkan dimensi dengan cara mengurangi jumlah fitur melalui kombinasi linier. Pada tahap kedua menggunakan konvolusi 3×3 dan kernel 3×3 untuk mengekstraksi fitur pada dimensi yang telah dikurangi. Pada tahap ketiga menggunakan konvolusi 1×1 untuk mengembalikan dimensi fitur ke bentuk awal (Zaidi *et al.*, 2020). Kombinasi tiga tahap konvolusi dengan mengurangi dimensi fitur mampu mengurangi jumlah parameter sehingga dapat mengatasi *overfitting* (G. Li *et al.*, 2022).

Jabeen *et al.* (2024) menerapkan *bottleneck layer* pada arsitektur *ResNet50* untuk mengklasifikasi 5 kelas pada citra *pap smear*, menghasilkan nilai akurasi dan *f1-score* yaitu sebesar 96%, namun nilai sensitivitas, spesifisitas dan *Cohens Kappa* masih rendah. Tan *et al.* (2024) menerapkan *bottleneck layer* pada arsitektur *MobileNet* untuk mengklasifikasi 5 kelas pada citra *pap smear*, namun nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas, dan *f1-score* masih dibawah 90%. Sayangnya, penggunaan *Bottleneck layer* memiliki resiko hilangnya beberapa fitur akibat pengurangan dimensi fitur. Sebagai upaya mencegah hilangnya fitur perlu dilakukan penggunaan kembali fitur yang telah dilewati (Zaidi *et al.*, 2020). Untuk dapat menggunakan kembali fitur yang telah dilewati, diperlukan arsitektur yang mampu melakukan mekanisme penggunaan fitur-fitur yang telah dilewati. Salah satu arsitektur yang mampu melakukan hal tersebut adalah *Gate Recurrent Units* (GRU).

GRU tidak menggunakan lapisan konvolusi, tetapi menggunakan mekanisme *gating* yang berfungsi untuk mempertahankan dan menggunakan kembali informasi dari fitur yang telah dilewati (Jabeen *et al.*, 2024). GRU

menggunakan dua jenis gating, yaitu *update gate* dan *reset gate*. *Update gate* berguna untuk menentukan seberapa banyak informasi lama yang tetap dipertahankan. *Reset gate* berguna untuk menentukan seberapa banyak informasi dari fitur yang telah dilewati dapat digunakan kembali (Bui et al., 2020). Seluruh informasi disimpan ke dalam *hidden state* untuk mencegah hilangnya informasi dan menghubungkan informasi lama dan baru (Chen et al., 2023). Rohini & Kavitha. (2024) mengkombinasikan arsitektur GRU dengan Arsitektur *ResNet152* untuk mengklasifikasi 5 kelas pada citra *pap smear*, memperoleh nilai akurasi dan *f1-score* sebesar 99%. Namun nilai sensitifitas, spesifisitas, dan *Cohens Kappa* masih rendah. Chen et al. (2023) mengkombinasikan arsitektur GRU dan *EfficientNet* untuk mengklasifikasi 2 kelas pada citra *pap smear*, namun hanya menghitung nilai akurasi sebesar 91%. Namun, terdapat kekurangan pada GRU yaitu pencampuran informasi yang tidak relevan karena fitur yang tidak penting kembali tercampur sehingga mengurangi kemampuan model untuk fokus pada fitur penting (Ying et al., 2020). Modul pada CNN yang dapat melakukan pemilihan fitur adalah *attention gate*.

Attention gate adalah mekanisme jaringan saraf yang telah dikembangkan untuk tujuan memfokuskan model pada fitur-fitur yang relevan sekaligus menyaring fitur-fitur yang tidak relevan (Mazroa et al., 2023). Fitur-fitur disaring melalui penggunaan input yang dilakukan operasi konvolusi 1×1 , dan dua fungsi aktivasi, yaitu ReLU dan *sigmoid* (Peng et al., 2022). ReLU memperkuat fitur relevan dengan menekan nilai negatif, sehingga hanya nilai positif yang dipertahankan. *Sigmoid* mengidentifikasi fitur relevan dengan nilai mendekati 1

berarti fitur relevan, sedangkan nilai yang mendekati 0 berarti fitur tidak relevan, sehingga memungkinkan seleksi fitur dilakukan secara terukur (Finch *et al.*, 2021). Peng *et al.* (2022) mengkombinasikan *attention gate* dan *DanseNet* untuk mengklasifikasi 2 kelas pada citra *pap smear*, yaitu *dyskeratotic* dan *parabasal*, memperoleh nilai akurasi sebesar 88%, namun nilai sensitivitas, spesifisitas dan f1-score masih rendah. Mazroa *et al.* (2023) mengkombinasikan *attention gate* dan *EfficientNet* untuk mengklasifikasi 3 kelas pada citra *pap smear*, yaitu *superficial-intermediate*, *koilocytotic*, dan *dyskeratotic*, penelitian ini hanya menghitung nilai akurasi sebesar 81%.

Pada penelitian ini mengusulkan model Kombinasi Arsitektur VGG *Bottleneck Layer*, GRU dan *Attention Gate* pada Klasifikasi Penyakit Kanker Serviks Menggunakan Citra *Pap Smear*. Modifikasi arsitektur ini menggunakan lapisan konvolusi dan *maxpooling* dari arsitektur VGG, reduksi dimensi dari *bottleneck layer*, *gating* dari arsitektur GRU, *attention gate* ditujukan untuk memfokuskan model pada fitur-fitur yang relevan dan *fully connected layer* dari VGG. Lapisan konvolusi pada VGG berfungsi untuk membantu model belajar mengenali fitur dengan lebih detail, reduksi dimensi digunakan untuk mengurangi dimensi fitur agar parameter yang dihasilkan menjadi lebih sedikit, *gating* bertujuan untuk mencegah hilangnya fitur yang telah dilewati. Pada tahap klasifikasi dibagi kedalam 5 kelas, yaitu *superficial-intermediate*, *parabasal*, *koilocytotic*, *dyskeratotic*, dan *metaplastic*. Keberhasilan Kombinasi Arsitektur VGG *Bottleneck Layer*, GRU dan *Attention Gate* pada Klasifikasi Penyakit Kanker Serviks Menggunakan Citra *Pap Smear* akan diukur kinerjanya berdasarkan nilai akurasi,

sensitivitas, spesifisitas, *f1-score*, dan *Cohens Kappa*.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana penerapan Kombinasi Arsitektur *Visual Geometry Group Bottleneck Layer*, *Gate Recurrent Units* dan *Attention Gate* pada Klasifikasi Penyakit Kanker Serviks Menggunakan Citra *Pap Smear* berdasarkan evaluasi kinerja dengan menghitung nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas, *f1-score*, dan *Cohens Kappa*.

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian ini melakukan klasifikasi penyakit kanker serviks yang terdiri dari 5 kelas yaitu, *superficial-intermediate*, *parabasal*, *koilocytotic*, *dyskeratotic*, dan *metaplastic*.
- b. Kriteria evaluasi yang digunakan dalam klasifikasi penyakit kanker serviks penelitian ini adalah nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas, *f1-score*, dan *Cohens Kappa*.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil kinerja yang optimal dari penerapan kombinasi arsitektur *Visual Geometry Group Bottleneck Layer*, *Gate Recurrent Units* dan *Attention Gate* pada klasifikasi penyakit kanker serviks dengan mengukur hasil evaluasi kinerja model berdasarkan nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas, *f1-score*, dan *Cohens Kappa*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian yang diusulkan adalah:

- a. Memperoleh arsitektur baru yang dapat digunakan untuk klasifikasi citra, khususnya klasifikasi penyakit kanker serviks menggunakan citra *pap smear*.
- b. Dapat menjadi referensi penelitian terkait klasifikasi citra, khususnya klasifikasi penyakit kanker serviks menggunakan citra *pap smear*.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Saggaf, U. M., Botalb, A., Faisal, M., Moinuddin, M., Alsaggaf, A. U., & Alfakheh, S. A. (2022). Constraints on Hyper-parameters in Deep Learning Convolutional Neural Networks. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(11), 439–449. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0131150>
- Alshdaifat, E., Alshdaifat, D., Alsarhan, A., Hussein, F., & El-Salhi, S. M. F. S. (2021). The effect of preprocessing techniques, applied to numeric features, on classification algorithms' performance. *Data*, 6(2), 1–23. <https://doi.org/10.3390/data6020011>
- Azzahra, N. D., Ambarwati, A., Desiani, A., Maiyanti, S. I., & Ramayanti, I. (2024). Perbandingan Algoritma K-Nearest Neighbor Dan Logistic Regression Dalam Klasifikasi Penyakit Kanker Serviks. *Energy: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.51747/energy.v14i1.1843>
- Beucher, A., Rasmussen, C. B., Moeslund, T. B., & Greve, M. H. (2022). Interpretation of Convolutional Neural Networks for Acid Sulfate Soil Classification. *Frontiers in Environmental Science*, 9(January), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.809995>
- Bilal, M. A., Ji, Y., Wang, Y., Akhter, M. P., & Yaqub, M. (2022). Early Earthquake Detection Using Batch Normalization Graph Convolutional Neural Network (BNGCNN). *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/app12157548>
- Bingol, B., UZUN, S., & ÖZKURT, C. (2022). Serviks Kanser Hücrelerinin Öğretimli Ağ Temelli Otomatik Sınıflandırılması İçin Bir Ara Yüz Tasarımı ve Geliştirilmesi. *European Journal of Science and Technology*, July. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1045509>
- Bokhan, D., Mastiukova, A. S., Boev, A. S., Trubnikov, D. N., & Fedorov, A. K. (2022). Multiclass classification using quantum convolutional neural networks with hybrid quantum-classical learning. *Frontiers in Physics*, 10, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.1069985>
- Buiu, C., Dănilă, V. R., & Răduță, C. N. (2020). GRU-MobileNetV2 ensemble for cervical precancerous classification. *Processes*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/PR8050595>
- Chen, X., Pu, X., Chen, Z., Li, L., Zhao, K. N., Liu, H., & Zhu, H. (2023). Application of EfficientNet-B0 and GRU-based deep learning on classifying the colposcopy diagnosis of precancerous cervical lesions. *Cancer Medicine*, 12(7), 8690–8699. <https://doi.org/10.1002/cam4.5581>
- Chicco, D., & Jurman, G. (2022). An Invitation to Greater Use of Matthews Correlation Coefficient in Robotics and Artificial Intelligence. *Frontiers in Robotics and AI*, 9(March), 1–4. <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.876814>
- Darma, A. S., & Mohamad, F. S. B. (2021). The Regularization Effect of Pre-activation Batch Normalization on Convolutional Neural Network Performance for Face Recognition System Paper. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(11), 300–310. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0121135>

- De Luca, G. (2022). A Survey of NISQ Era Hybrid Quantum-Classical Machine Learning Research. *Journal of Artificial Intelligence and Technology*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.37965/jait.2021.12002>
- Deo, B. S., Pal, M., Panigrahi, P. K., & Pradhan, A. (2024). CerviFormer: A pap smear-based cervical cancer classification method using cross-attention and latent transformer. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 34(2), 1–15. <https://doi.org/10.1002/ima.23043>
- Desiani, A., Affandi, A. K., Andhini, S. P., Yahdin, S., Andirani, Y., & Arhami, M. (2022). Implementation of Sample Sample Bootstrapping for Resampling Pap Smear Single Cell Dataset. *Lontar Komputer: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 13(2), 72. <https://doi.org/10.24843/lkjiti.2022.v13.i02.p01>
- Desiani, A., Erwin, Suprihatin, B., Efriliyanti, F., Arhami, M., & Setyaningsih, E. (2022). VG-DropDNet a Robust Architecture for Blood Vessels Segmentation on Retinal Image. *IEEE Access*, 10(September), 92067–92083. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3202890>
- Desiani, A., Kresnawati, E. S., Arhami, M., Resti, Y., Eliyati, N., Yahdin, S., Charisa, T. J., & Nawawi, M. (2023). Majority Voting as Ensemble Classifier for Cervical Cancer Classification. *Science and Technology Indonesia*, 8(1), 84–92. <https://doi.org/10.26554/sti.2023.8.1.84-92>
- Diniz, D. N., Rezende, M. T., Bianchi, A. G. C., Carneiro, C. M., Luz, E. J. S., Moreira, G. J. P., Ushizima, D. M., de Medeiros, F. N. S., & Souza, M. J. F. (2021). A deep learning ensemble method to assist cytopathologists in pap test image classification. *Journal of Imaging*, 7(7). <https://doi.org/10.3390/jimaging7070111>
- Dishar, H. K., & Muhammed, L. A. (2023). A Review of the Overfitting Problem in Convolution Neural Network and Remedy Approaches. *Journal of Al-Qadisiyah for Computer Science and Mathematics*, 15(2). <https://doi.org/10.29304/jqcm.2023.15.2.1240>
- Divyanth, L. G., Guru, D. S., Soni, P., Machavaram, R., Nadimi, M., & Paliwal, J. (2022). Image-to-Image Translation-Based Data Augmentation for Improving Crop/Weed Classification Models for Precision Agriculture Applications. *Algorithms*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/a15110401>
- Edeh, M. O., Khalaf, O. I., Tavera, C. A., Tayeb, S., Ghouali, S., Abdulsahib, G. M., Richard-Nnabu, N. E., & Louni, A. R. (2022). A Classification Algorithm-Based Hybrid Diabetes Prediction Model. *Frontiers in Public Health*, 10(March), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.829519>
- Fekri-Ershad, S., & Alsaffar, M. F. (2023). Developing a Tuned Three-Layer Perceptron Fed with Trained Deep Convolutional Neural Networks for Cervical Cancer Diagnosis. *Diagnostics*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/diagnostics13040686>
- Finch, A., Crowell, A., Chang, Y. C., Parameshwarappa, P., Martinez, J., & Horberg, M. (2021). A comparison of attentional neural network architectures for modeling with electronic medical records. *JAMIA Open*, 4(3), 1–8. <https://doi.org/10.1093/jamiaopen/ooab064>
- Furtado, P. (2021). Testing segmentation popular loss and variations in three multiclass medical imaging problems. *Journal of Imaging*, 7(2).

<https://doi.org/10.3390/jimaging7020016>

- Galanis, N. I., Vafiadis, P., Mirzaev, K. G., & Papakostas, G. A. (2022). Convolutional Neural Networks: A Roundup and Benchmark of Their Pooling Layer Variants. *Algorithms*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/a15110391>
- Goh, K. W., Surono, S., Firza Afiatin, M. Y., Mahmudah, K. R., Irsalinda, N., Chaimanee, M., & Onn, C. W. (2024). Comparison of Activation Functions in Convolutional Neural Network for Poisson Noisy Image Classification. *Emerging Science Journal*, 8(2), 592–602. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2024-08-02-014>
- Govathoti, S., Reddy, A. M., Kamidi, D., BalaKrishna, G., Padmanabhuni, S. S., & Gera, P. (2022). Data Augmentation Techniques on Chilly Plants to Classify Healthy and Bacterial Blight Disease Leaves. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(6), 131–139. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0130618>
- Handayani, V. W., Yudianto, A., Mieke Sylvia, M. A. R., Rulaningtyas, R., & Caesarardhi, M. R. S. (2024). Classification of Indonesian adult forensic gender using cephalometric radiography with VGG16 and VGG19: a Preliminary research. *Acta Odontologica Scandinavica*, 83(47), 308–316. <https://doi.org/10.2340/aos.v83.40476>
- Jabeen, K., Khan, M. A., Hameed, M. A., Alqahtani, O., Alouane, M. T. H., & Masood, A. (2024). A novel fusion framework of deep bottleneck residual convolutional neural network for cervical cancer classification from mammogram images. *Frontiers in Oncology*, 14(February), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1347856>
- Jiang, S., & Zavala, V. M. (2021). Convolutional neural nets in chemical engineering: Foundations, computations, and applications. *AIChE Journal*, 67(9), 1–42. <https://doi.org/10.1002/aic.17282>
- Jiang, Y., Liu, Z., Li, Y., Li, J., Lian, Y., Liao, N., Li, Z., & Zhao, Z. (2020). A digital grayscale generation equipment for image display standardization. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/app10072297>
- Jiang, Z. P., Liu, Y. Y., Shao, Z. E., & Huang, K. W. (2021). An improved VGG16 model for pneumonia image classification. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(23). <https://doi.org/10.3390/app112311185>
- Kaddoura, S. (2022). Evaluation of Machine Learning Algorithm on Drinking Water Quality for Better Sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/su141811478>
- Kulathunga, N., Ranasinghe, N. R., Vrinceanu, D., Kinsman, Z., Huang, L., & Wang, Y. (2021). Effects of nonlinearity and network architecture on the performance of supervised neural networks. *Algorithms*, 14(2), 1–17. <https://doi.org/10.3390/a14020051>
- Kupas, D., Hajdu, A., Kovacs, I., Hargitai, Z., Szombathy, Z., & Harangi, B. (2024). Annotated Pap cell images and smear slices for cell classification. *Scientific Data*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03596-3>
- Kusunose, K., Haga, A., Inoue, M., Fukuda, D., Yamada, H., & Sata, M. (2020). Clinically feasible and accurate view classification of echocardiographic images using deep learning. *Biomolecules*, 10(5), 1–8.

- <https://doi.org/10.3390/biom10050665>
- Li, G., Jian, X., Wen, Z., & Alsultan, J. (2022). Algorithm of overfitting avoidance in CNN based on maximum pooled and weight decay. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 7(2), 965–974. <https://doi.org/10.2478/amns.2022.1.00011>
- Li, X., Cui, J., Song, J., Jia, M., Zou, Z., Ding, G., & Zheng, Y. (2022). Contextual Features and Information Bottleneck-Based Multi-Input Network for Breast Cancer Classification from Contrast-Enhanced Spectral Mammography. *Diagnostics*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/diagnostics12123133>
- Mabotja, M. C., Levin, J., & Kawonga, M. (2021). Beliefs and perceptions regarding cervical cancer and screening associated with Pap smear uptake in Johannesburg: A crosssectional study. *PLoS ONE*, 16(2 February), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246574>
- Markoulidakis, I., & Markoulidakis, G. (2024). Probabilistic Confusion Matrix: A Novel Method for Machine Learning Algorithm Generalized Performance Analysis. *Technologies*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/technologies12070113>
- Mazroa, A. Al, Ishak, M. K., Aljarbough, A., & Mostafa, S. M. (2023). Improved Bald Eagle Search Optimization with Deep Learning-Based Cervical Cancer Detection and Classification. *IEEE Access*, 11(November), 135175–135184. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3337032>
- Mostafa, A. M., Zakariah, M., & Aldakheel, E. A. (2023). Brain Tumor Segmentation Using Deep Learning on MRI Images. *Diagnostics*, 13(9), 1–22. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13091562>
- Naranjo-Torres, J., Mora, M., Hernández-García, R., Barrientos, R. J., Fredes, C., & Valenzuela, A. (2020). A review of convolutional neural network applied to fruit image processing. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/app10103443>
- Pansambal, B. H., & Nandgaokar, A. B. (2023). Integrating Dropout Regularization Technique at Different Layers to Improve the Performance of Neural Networks. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(4), 716–722. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140478>
- Park, K., Chae, M., & Cho, J. H. (2021). Image pre-processing method of machine learning for edge detection with image signal processor enhancement. *Micromachines*, 12(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/mi12010073>
- Peng, Y., Liu, Y., Chen, Z., Zhang, G., Ma, C., Xu, S., & Yin, Y. (2022). Accuracy Improvement Method Based on Characteristic Database Classification for IMRT Dose Prediction in Cervical Cancer: Scientifically Training Data Selection. *Frontiers in Oncology*, 12(March), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.808580>
- Perez, H., & Tah, J. H. M. (2020). Improving the accuracy of convolutional neural networks by identifying and removing outlier images in datasets using t-SNE. *Mathematics*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/MATH8050662>
- Rachmad, A., Fuad, M., & Rochman, E. M. S. (2023). Convolutional Neural Network-Based Classification Model of Corn Leaf Disease. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 10(2), 530–536.

- <https://doi.org/10.18280/mmep.100220>
- Ramadhan, A. A., & Baykara, M. (2022). A Novel Approach to Detect COVID-19: Enhanced Deep Learning Models with Convolutional Neural Networks. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/app12189325>
- Riza, B. S., Na'am, J., & Sumijan, S. (2022). Convolutional Neural Network as an Image Processing Technique for Classification of Bacilli Tuberculosis Extra Pulmonary (TBEP) Disease. *TEM Journal*, 11(3), 1331–1340. <https://doi.org/10.18421/TEM113-43>
- Rohini, D., & Kavitha, M. (2024). ABC-Optimized CNN-GRU Algorithm for Improved Cervical Cancer Detection and Classification Using Multimodal Data. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(9), 701–714. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0150971>
- Safdar, M. F., Alkobaisi, S. S., & Zahra, F. T. (2020). A comparative analysis of data augmentation approaches for magnetic resonance imaging (MRI) scan images of brain tumor. *Acta Informatica Medica*, 28(1), 29–36. <https://doi.org/10.5455/AIM.2020.28.29-36>
- Sharma, A., Lysenko, A., Boroevich, K. A., Vans, E., & Tsunoda, T. (2021). DeepFeature: feature selection in nonimage data using convolutional neural network. *Briefings in Bioinformatics*, 22(6), 1–12. <https://doi.org/10.1093/bib/bbab297>
- Sunyoto, A., Pristyanto, Y., & Setyanto, A. (2022). The Performance Evaluation of Transfer Learning VGG16 Algorithm on Various Chest X-ray Imaging Datasets for COVID-19 Classification. (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(9), 196–203.
- Tan, S. L., Selvachandran, G., Ding, W., Paramesran, R., & Kotecha, K. (2024). Cervical Cancer Classification From Pap Smear Images Using Deep Convolutional Neural Network Models. *Interdisciplinary Sciences – Computational Life Sciences*, 16(1), 16–38. <https://doi.org/10.1007/s12539-023-00589-5>
- Tripathi, A., Arora, A., & Bhan, A. (2021). Classification of cervical cancer using Deep Learning Algorithm. *Proceedings - 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2021, Iccics*, 1210–1218. <https://doi.org/10.1109/ICICCS51141.2021.9432382>
- Vujović, Ž. (2021). Classification model evaluation metrics. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(6), 599–606. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120670>
- Williams, C. K. I. (2021). The Effect of Class Imbalance on Precision-Recall Curves. *Neural Computation*, 33(4), 853–857. https://doi.org/10.1162/neco_a_01362
- Win, K. P., Kitjaidure, Y., Hamamoto, K., & Aung, T. M. (2020). Computer-assisted screening for cervical cancer using digital image processing of pap smear images. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/app10051800>
- Wisky, I. A., Yanto, M., Wiyandra, Y., Syahputra, H., & Hadi, F. (2022). Machine learning classification of infectious disease distribution status. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 27(3), 1557–1566.

- <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v27.i3.pp1557-1566>
- Wu, T., Eising, C., Glavin, M., & Jones, E. (2024). An Efficient and Effective Image Decolorization Algorithm Based on Cumulative Distribution Function. *Journal of Imaging*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/jimaging10030051>
- Xu, C., Coen-Pirani, P., & Jiang, X. (2023). Empirical Study of Overfitting in Deep Learning for Predicting Breast Cancer Metastasis. *Cancers*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/cancers15071969>
- Younis, A., Qiang, L., Nyatega, C. O., Adamu, M. J., & Kawuwa, H. B. (2022). Brain Tumor Analysis Using Deep Learning and VGG-16 Ensembling Learning Approaches. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/app12147282>
- Zaidi, A., Estella-Aguerrri, I., & Shamai, S. (2020). On the information bottleneck problems: Models, connections, applications and information theoretic views. *Entropy*, 22(2), 1–51. <https://doi.org/10.3390/e22020151>
- Zhang, X., Han, N., & Zhang, J. (2023). *Comparative analysis of VGG , ResNet , and GoogLeNet architectures evaluating performance , computational efficiency , and convergence rates*. 0, 172–181. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/44/20230676>
- Zhu, Q., He, Z., Zhang, T., & Cui, W. (2020). Improving classification performance of softmax loss function based on scalable batch-normalization. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(8), 1–8. <https://doi.org/10.3390/APP10082950>