

**INTERPRETASI OTOMATIS DAN PENINGKATAN KINERJA PADA  
CITRA MEDIS ULTRASONOGRAFI DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE DEEP LEARNING**

**DISERTASI**

Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Doktor Ilmu Teknik



Diajukan oleh

**ADE IRIANI SAPITRI**

**B.K.U TEKNIK INFORMATIKA**

**03013682126014**

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2023**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**INTERPRETASI OTOMATIS DAN PENINGKATAN KINERJA PADA  
CITRA MEDIS ULTRASONOGRAFI DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE DEEP LEARNING**

**DISERTASI**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Doktor Ilmu  
Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

**ADE IRIANI SAPITRI**

**03013682126014**

Indralaya, Desember 2023

Promotor



Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T., Ph.D  
NIP. 196908021994012001

Co-Promotor



Dian Palupi Rini, M.Kom, Ph.D  
NIP. 197802232006042002

Mengotahui  
Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T  
NIP. 196706151995121002

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Ie Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987061001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Akhir Disertasi ini dengan Judul “Interpretasi Otomatis dan Peningkatan Kinerja pada Citra Medis Ultrasonografi dengan menggunakan Metode Deep Learning” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 6 Desember 2023.

Palembang, 6 Desember 2023

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Disertasi

**Ketua :**

Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001

(  )

**Anggota:**

1. Prof. Dr. Ir. Bambang Tutuko., M.T  
NIP. 196001121989031002

(  )

2. Dr. Firdaus, S.T., M.Kom  
NIP. 197801212008121003

(  )

3. Dr. Nyayu Latifah Husni, S.T., M.T  
NIP. 197605032001122002

(  )

Mengetahui  
Dekan Fakultas Teknik  
  
Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T  
NIP. 196706151995121002

Ketua Program Studi

  
Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001  


## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ade Iriani Sapitri  
NIM : 03013682126014  
Judul : Interpretasi Otomatis dan Peningkatan Kinerja pada Citra  
Medis Ultrasonografi dengan menggunakan Metode Deep  
Learning

Menyatakan bahwa Disertasi\* saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim Promotor dan KoPromotor\* bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Disertasi\* ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi dan apabila dokumen ilmiah Disertasi ini di kemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan sengaja mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Palembang, 27 Desember 2023



Ade Iriani Sapitri

NIM. 03013682126014

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



**Ade Iriani Sapitri** dilahirkan di Palembang pada tanggal 13 Maret 1994. Anak ke dua dari dua bersaudara dari pasangan Ilham dan Jumaidah. Pendidikan SD sampai SMA ditempuh di kota Palembang. Pada tahun 2013 setelah lulus dari jenjang SMA melanjutkan Pendidikan pada Jurusan Teknik Informatika Universitas Telkom dan meraih gelar Diploma pada tahun 2016 dan gelar Sarjana pada tahun 2018 sebagai lulusan Fakultas Informatika. Selama tahun 2016 ke 2018 mulai mengajar sebagai asisten praktikum di laboratorium

fakultas ilmu terapan Universitas Telkom. Selama kurun waktu dua tahun aktif mengajar sebagai asisten praktikum matakuliah rekayasa perangkat lunak dan perancangan basis data. Setelah menyelesaikan Pendidikan jenjang sarjana di Bandung pada tahun 2018 di akhir tahun penulis memutuskan melanjutkan Pendidikan S2 di bidang ilmu komputer Universitas Sriwijaya. Pendidikan Magister Ilmu Komputer diselesaikan dalam kurun waktu dua tahun dengan memperoleh predikat “*Cumlaude*” dan menyandang lulusan terbaik pada program Magister Ilmu Komputer Desember 2020. Selama proses menyelesaikan S2 penulis aktif menjadi mentor pada salah satu laboratorium fakultas ilmu komputer intelligent system research group.

Setelah menyelesaikan S2, penulis kembali melanjutkan karir sebagai mentor dan asisten riset pada laboratorium intelligent system research group di lingkungan Universitas Sriwijaya. Penulis aktif sebagai mentor dan asisten peneliti dibidang image processing. Hal tersebut terus berlanjut dengan penelitian dan publikasi yang dilakukan penulis di bidang image processing. Pada pertengahan tahun 2022 hingga sekarang penulis mulai aktif kembali melanjutkan karir sebagai dosen luar biasa di lingkungan Universitas Sriwijaya dan menjadi mentor di laboratorium intelligent system research group Universitas Sriwijaya.

Di tahun 2021 penulis memutuskan untuk melanjutkan studi S3 Ilmu Teknik di Universitas Sriwijaya dengan bidang kajian Teknik Informatika. Topik penelitian di bidang image processing dan interpretasi dengan menggunakan algoritma *Deep Learning*. Berdasarkan arahan Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T sebagai promotor dan Dian Palupi Rini, S.Si, M.Kom, Ph.D selaku ko-promotor, penulis dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul “Interpretasi Otomatis dan Peningkatan Kinerja pada Citra Medis Ultrasonografi dengan menggunakan metode *Deep Learning*”.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Bismillahirrahmaanirrahim.....*

*Alhamdulillah*, segala puji Allah SWT dengan kemurahan dan ridho-Nya, Disertasi ini dapat ditulis dengan baik dan lancar sehingga bisa diselesaikan tepat waktu. Dengan ini akan kupersembahkan Disertasi ini kepada:

Kedua orang tua ku tersayang Bapak **Purn. Serda Ilham** dan Ibu **Jumaidah, S.Pd** yang tak hentinya selalu memberikan ku ketenangan, kenyamanan, motivasi serta doa sehingga aku bisa menyelesaikan studi Pendidikan ini kalian sangat berarti bagiku.

Suami tercinta **Diky Nanda Pratama** teman hidup dan pendamping setia terima kasih atas cinta, dukungan dan pengorbananmu yang tak terhitung jumlahnya. Terima kasih telah selalu menjadi bahu yang kuandalkan, telinga yang mendengarkan dan tangan yang selalu menggenggam erat memotivasi disetiap perjalanan hidup ini.

Papa **Akhirin** dan Mama **Hj. Napsiah**, terima kasih atas perhatian dan kasih sayang yang diberikan dan selalu memberikan dukungan tanpa syarat dalam setiap langkah perjalanan ini. Terima kasih juga atas doa yang selalu diberikan dengan segenap cinta dan kasih sayangnya.

Guruku Ibu **Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T, Ph.D** dan Ibu **Dian Palupi Rini, M.Kom, Ph.D** selaku promotor dan ko-promotor yang telah sabar membimbing, memotivasi, menasehati serta memberikan ilmu yang bermanfaat sehingga saya dapat menyelesaikan Disertasiku ini. Jasamu takkan pernah kulupakan.

Kakakku tercinta **Dr. Irja Putra Pratama, M.Pd** dan Ayuk **Rista Septiyana, S.Pd** yang senantiasa selalu memberiku dukungan semangat dan doa. Keponakkan tersayang **Rayyanka Dzaki Pratama, Rania Aqila Olivia** dan **Raisa Jennaira Syazani** sebagai penghibur dikala sulitnya mengerjakan Disertasi ini. Terima kasih telah menjadi keponakkan lucunya amma.

## KATA PENGANTAR

*Assalaamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh*

Segala puji Syukur penulis haturkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat, taufiq dan hidayah-Nya serta pertolongan-Nya. Sehingga Disertasi yang berjudul **Interpretasi Otomatis dan Peningkatan Kinerja pada Citra Medis Ultrasonografi dengan menggunakan Metode Deep Learning** ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada tauladan kita, Nabi Muhammad SAW, keluarganya serta sahabatnya yang dinantikan syafaatnya di yaumul akhir.

Dengan tersusunya Penelitian Disertasi ini, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Yth. Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T, Ph.D selaku Promotor dan Yth. Dian Palupi Rini, M.Kom, Ph.D selaku Ko-Promotor yang telah berkenan memberi bimbingan, arahan dan masukan atas tersusunya Disertasi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

- 1) Yth. Rektor Universitas Sriwijaya
- 2) Yth. Ketua Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya
- 3) Yth. Ketua Program Studi Doktor Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
- 4) Yth. Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya Prof. Dr. Erwin, S.Si., M.Si.
- 5) Dosen-dosen Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya
- 6) Laboratorium Intelligent System Research Group (ISysRG) sebagai tempat untuk berdiskusi dan menuangkan ide terkait permasalahan Disertasi dan terima kasih atas infrastruktur lab yang digunakan dalam mengerjakan Disertasi.
- 7) Asisten Peneliti di Intelligent System Research Group Muhammad Naufal Rachmatullah, M.T. Annisa Darmawahyuni, M.Kom dan Anggun Islami, M.Kom. Terima kasih atas pengalaman yang berharganya.

- 8) Suami tercinta Diky Nanda Pratama yang sangat saya cintai
- 9) Bapak Purn. Serda Ilham, Ibu Jumaidah, S.Pd, Papa Akhirin dan Mama Hj. Napsiah selaku orang tua yang telah mendoakan dan memberikan dukungan dalam proses perkuliahan dan penyelesaian disertasi ini.
- 10) Saudara Kandung, Dr. Irja Putra Pratama, M.Pd dan ayuk tercinta Rista Septiyana, S.Pd senantiasa menasehati dan mendukung saya untuk segera menyelesaikan Disertasi ini.
- 11) Keponakan tersayang sebagai penghibur dikala suka duka dalam pengerjaan disertasi ini.
- 12) Bapak Dr. Firdaus, M.Kom dan Rossi Passarella, M.Eng selaku dosen yang senantiasa memberikan dukungan dan arahan dan masukan untuk penelitian disertasi yang lebih baik.
- 13) Semua Dosen Program Studi Doktor Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya
- 14) Ibu Yuni selaku admin Program Studi Doktor Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya
- 15) Teman-teman seangkatan 2021 Program Studi Doktor Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya
- 16) Adik-adik di Intelligent System Research Group yang selalu memberikan dukungan moril, semangat dan lingkungan positif untuk berdiskusi dan memberikan ilmu.
- 17) Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun secara tidak langsung yang tidak bisa penulis jelaskan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Disertasi ini. Penulis berharap semoga Disertasi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak khususnya pada Program Studi Doktor Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya

Palembang, November 2023

Ade Iriani Sapitri



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR SINGKATAN .....	xiii
RINGKASAN .....	xiv
SUMMARY .....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Ruang Lingkup Penelitian.....	5
1.5. Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Pengolahan Citra .....	7
2.1.1. Representasi Citra .....	8
2.1.2. Segmentasi Citra .....	9
2.2. Aplikasi Medis dengan <i>Deep Learning</i> .....	11
2.3. Aplikasi Citra Medis menggunakan <i>Deep Learning</i> .....	15
2.4. <i>Deep Learning</i> Citra Ultrasonografi .....	19
2.5. Ultrasonografi .....	23
2.6. <i>Instance segmentation</i> pada Aplikasi Medis.....	26
2.7. <i>Image Enhancement</i> .....	30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1. Kerangka Kerja Penelitian .....	32
3.2. Kerangka Umum Rancangan <i>Instance segmentation</i> .....	34
3.2.1. Pengumpulan Data .....	36
3.2.2. Pra-Pemrosesan Data .....	37
3.2.3. Implementasi <i>Instance Segmentation</i> .....	40
3.2.4. Evaluasi Kinerja.....	42
3.3. Kerangka Umum <i>Image Enhancment</i> .....	44
3.3.1. Pengumpulan Data .....	45
3.3.2. Pra-Pemrosesan Data .....	46
3.3.3. Implementasi <i>Image Enhancment</i> .....	48
3.3.4. Evaluasi.....	51
A. <i>Peak Signal to Noise Ratio</i> .....	52
B. <i>Structural Similarity</i> .....	53
C. <i>Composite Image Index</i> .....	54
BAB IV HASIL PENELITIAN .....	55
4.1. Dataset.....	55
4.2. Hasil Pengujian Image Enhancment .....	56
4.2.1. Kebutuhan Pengujian .....	56
4.2.2. Pra-pemrosesan Data.....	57
4.2.3. Hasil Uji Model <i>Image Enhancement</i> .....	59
4.3. Hasil Pengujian <i>Instance Segmentation</i> .....	66
4.3.1. Hasil Pengujian .....	66
4.3.2. Kinerja <i>Instance segmentation</i> Citra Jantung Janin Ultrasonografi....	66
4.3.3. Kinerja <i>Instance segmentation</i> Citra Jantung Bayi Ultrasonografi.....	69
4.3.4. Kinerja <i>Instance segmentation</i> Citra Kepala Janin Ultrasonografi.....	71
4.3.5. Kinerja <i>Instance segmentation</i> Citra Perut Ultrasonografi .....	74
BAB V KESIMPULAN DAN PENUTUP .....	77
5.1. Kesimpulan .....	77
5.2. Kontribusi Penelitian.....	77
DAFTAR PUSTAKA .....	79
LAMPIRAN A CONTOH LISTING PROGRAM .....	89

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ringkasan Penelitian <i>Deep Learning</i> Aplikasi Medis .....	14
Tabel 2. 2 Ringkasan Penelitian Kecerdasan Buatan Citra Medis.....	18
Tabel 2. 3 Ringkasan Penelitian Deep Learning Citra Ultrasonografi.....	22
Tabel 2. 4 Ringkasan Penelitian <i>Instance segmentation</i> Aplikasi Medis .....	29
Tabel 2. 5 Ringkasan Penelitian <i>Image Enhancment</i> .....	31
Tabel 3. 1 Informasi Data Resize .....	39
Tabel 3. 2 Informasi layer arsitektur YOLACT.....	41
Tabel 3. 3 Informasi modifikasi arsitektur (EDR-CNNs).....	50
Tabel 4. 1 Sebaran Data .....	56
Tabel 4. 2 Model dihasilkan untuk memilih struktur terbaik.....	59
Tabel 4. 3 Performansi Model <i>Image Enhancment</i> .....	61
Tabel 4. 4 Hyperparameter Tuning .....	66
Tabel 4. 5 Performansi Kinerja Deteksi Hole Citra Jantung Janin Ultrasonografi	67
Tabel 4. 7 Performansi Kinerja Deteksi Hole Citra Jantung Bayi Ultrasonografi	69
Tabel 4. 9 Performansi Kinerja Deteksi Citra Kepala Janin Ultrasonografi.....	72
Tabel 4. 11 Performansi Kinerja Deteksi Citra Perut Ultrasonografi .....	74

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Kerangka Kerja Penelitian .....	33
Gambar 3. 2 Kerangka Umum <i>Instance Segmentation</i> .....	35
Gambar 3. 3 Data Pengumpulan Citra Medis .....	37
Gambar 3. 4 Tahapan Pra-Pemrosesan Data.....	38
Gambar 3. 5 Sampel Frame dari Video.....	39
Gambar 3. 6 Anotasi Dataset .....	40
Gambar 3. 7 Arsitektur YOLACT .....	41
Gambar 3. 8 Kerangka Umum <i>Image Enhancement</i> .....	44
Gambar 3. 9 Kumpulan Data Citra Jantung Janin.....	46
Gambar 3. 10 Pra-Pemrosesan <i>Image Enhancement</i> .....	47
Gambar 3. 11 <i>High Resolution</i> dan <i>Low Resolution</i> .....	48
Gambar 3. 12 Arsitektur EDR-CNNs .....	50
Gambar 4. 1 Gambar sebagai data mentah.....	57
Gambar 4. 2 Prapemrosesan Data <i>Image Enhancement</i> .....	58
Gambar 4. 3 Hasil Pra-Pemrosesan Data .....	58
Gambar 4. 4 Performansi validasi dari beberapa model .....	62
Gambar 4. 5 Gambar grafik training validasi loss .....	63
Gambar 4. 6 Prediksi Hasil Model <i>Image Enhancement</i> .....	65
Gambar 4. 7 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen belum ditingkatkan.....	68
Gambar 4. 8 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan LLCNN.....	68
Gambar 4. 9 Visualisasi Prediksi Uji data Unseen dengan AutoEncoder.....	68
Gambar 4. 10 Visualiasai Prediksi Uji Data Unseen dengan MirNet .....	68
Gambar 4. 11 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan EDR-CNNs.....	69
Gambar 4. 12 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen Original .....	70
Gambar 4. 13 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan LLCNN.....	71
Gambar 4. 14 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan AutoEncoder.....	71
Gambar 4. 15 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan MirNet .....	71
Gambar 4. 16 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan EDR-CNNs.....	71
Gambar 4. 17 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen Original .....	73
Gambar 4. 18 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan LLCNN.....	73
Gambar 4. 19 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan AutoEncoder.....	73
Gambar 4. 20 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan MirNet .....	74
Gambar 4. 21 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan EDR-CNNs.....	74
Gambar 4. 22 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen Original .....	76
Gambar 4. 23 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan LLCNN.....	76
Gambar 4. 24 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan AutoEncoder.....	76
Gambar 4. 25 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan MirNet .....	76
Gambar 4. 26 Visualisasi Prediksi Uji Data Unseen dengan EDR-CNNs.....	76

## DAFTAR SINGKATAN

### Singkatan

CHD	<i>Congenital Heart Disease</i>
ASD	Atrial Septal Defek
VSD	Ventrikular Septal Defek
AVSD	Atrioventrikular Septal Defek
DL	Deep Learning
AI	<i>Artificial Intelligence</i>
USG	Ultrasonografi
IoU	<i>Intersection Over Union</i>
mAP	<i>Mean Average Precision</i>
SSIM	<i>Structural Similarity Index</i>
PSNR	<i>Peak Signal Ratio</i>
CII	<i>Composite Image Index</i>
FCN	<i>Fully Convolutional Network</i>
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i>
MRI	<i>Magnetic Resonance</i>
RGB	<i>Red Green Blue</i>
CMYK	<i>Cyan Magenta Yellow Black</i>
YOLO	<i>You Only Look Once</i>
EDR	<i>Enhanced Deep Residual</i>
LLCNN	<i>Low Light Convolutional Neural Networks</i>

## RINGKASAN

### **INTERPRETASI OTOMATIS DAN PENINGKATAN KINERJA PADA CITRA MEDIS ULTRASONOGRAFI DENGAN MENGGUNAKAN METODE DEEP LEARNING**

Karya Tulis Ilmiah Berupa Disertasi, 6 Desember 2023

Ade Iriani Sapitri; dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T dan Dian Palupi Rini, S.Si,M.Kom, Ph.D

Program Studi Doktor Ilmu Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.

Interpretasi Otomatis dan Peningkatan Kinerja pada Citra Medis Ultrasonografi dengan menggunakan Metode *Deep Learning*.

Pencitraan ultrasonografi (USG) merupakan metode medis yang menggunakan gelombang suara frekuensi tinggi untuk menghasilkan gambar visual dinamis dalam bidang kesehatan, khususnya pada kasus prenatal. Meskipun pencitraan USG menjadi pemeriksaan rutin dalam perawatan medis, gambar citra medis ultrasonografi sering kali memiliki masalah seperti resolusi rendah, noise, dan artefak. Kendala teknologi dan metode konvensional dalam meningkatkan kualitas gambar citra medis membuka peluang untuk pengembangan solusi yang lebih canggih.

Penelitian ini mengusulkan pendekatan yang berfokus pada penggunaan teknologi canggih, terutama deep learning, preprocessing, dan image enhancement, untuk meningkatkan kualitas gambar citra medis ultrasonografi. Pendekatan ini memiliki beberapa tujuan utama. Pertama, meningkatkan akurasi diagnosis dan efisiensi waktu serta biaya dalam praktik medis. Kedua, mengatasi masalah kualitas gambar kompleks pada citra medis melalui teknologi deep learning, image enhancement, dan preprocessing. Ketiga, mengurangi keterlibatan manusia dalam proses interpretasi dengan memanfaatkan teknologi yang diusulkan.

Metode penelitian ini akan menggabungkan hasil preprocessing dan image enhancement pada berbagai dataset citra medis. Teknologi deep learning akan digunakan untuk mengukur peningkatan kualitas gambar dan performa diagnosis. Hasil dari penelitian ini diharapkan akan memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi medis dengan meningkatkan akurasi diagnosis, efisiensi, dan produktivitas dalam bidang klinik dan rumah sakit.

Dalam keseluruhan, penelitian ini menggarisbawahi pentingnya kualitas gambar citra medis ultrasonografi, tantangan yang dihadapi dalam meningkatkannya, dan potensi solusi yang diusulkan menggunakan teknologi canggih seperti deep learning, preprocessing, dan image enhancement. Dengan pendekatan ini, diharapkan akurasi dan efisiensi dalam diagnosis pasien dapat ditingkatkan secara signifikan.

Kata Kunci: Citra medis, ultrasonografi, *image processing*, *deep learning*

## SUMMARY

### **AUTOMATIC INTERPRETATION AND PERFORMANCE IMPROVEMENT OF ULTRASOUND MEDICAL IMAGES USING DEEP LEARNING METHODS**

Scientific writing in the form of a dissertation, 6 December 2023

Ade Iriani Sapitri; dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T dan Dian Palupi Rini, S.Si,M.Kom, Ph.D

Study Program Of Ph.D., Engineering Department, Post Graduate Program of Sriwijaya University.

Automatic Interpretation and Performance Improvement of Ultrasound Medical Images using Deep Learning Methods

Ultrasonography (USG) is a medical method that uses high-frequency sound waves to produce dynamic visual images in the health sector, especially in prenatal cases. Although ultrasound imaging is a routine examination in medical treatment, medical ultrasound images often have problems such as low resolution, noise, and artifacts. Technological constraints and conventional methods in improving the image quality of medical images open up opportunities for the development of more sophisticated solutions.

This study proposes an approach that focuses on the use of advanced technology, especially deep learning, preprocessing, and image enhancement, to improve the image quality of ultrasound medical images. This approach has several main objectives. First, improve the accuracy of diagnosis and time and cost efficiency in medical practice. Second, overcoming complex image quality problems in medical images through deep learning, image enhancement, and preprocessing technologies. Third, reducing human involvement in the interpretation process by utilizing the proposed technology.

This research method will combine the results of preprocessing and image enhancement on various medical image datasets. Deep learning technology will be used to measure improvements in image quality and diagnostic performance. The results of this study are expected to make a significant contribution to the development of medical technology by increasing diagnostic accuracy, efficiency and productivity in clinics and hospitals.

Overall, this study underscores the importance of image quality of medical ultrasound images, the challenges faced in enhancing it, and the potential of proposed solutions using advanced technologies such as deep learning, preprocessing, and image enhancement. With this approach, it is expected that accuracy and efficiency in patient diagnosis can be significantly improved.

Kata Kunci: medical image, ultrasonography, *image processing*, *deep learning*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pencitraan ultrasonografi merupakan metode medis yang menggunakan gelombang frekuensi tinggi untuk menghasilkan gambar visual yang dinamis [1][2]. Citra medis ultrasonografi memiliki beberapa permasalahan yang perlu diperhatikan diantaranya adalah permasalahan resolusi pada citra medis yang bergantung pada banyak faktor, seperti frekuensi gelombang, kedalaman dan jenis jaringan. Kualitas gambar yang kurang baik dapat mengurangi kemampuan dokter untuk membuat diagnosis yang akurat. Citra medis seringkali terpengaruh oleh *noise* yang dapat mengurangi kejelasan citra dan menyulitkan proses interpretasi [3]. Teknologi ultrasonografi juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti keterbatasan dalam mendapatkan citra yang optimal pada pasien dengan jaringan tubuh yang lebih dalam. Hal ini dapat mempersulit pengambilan gambar yang optimal dan mengurangi keakuratan diagnosis [4].

Interpretasi citra medis ultrasonografi memerlukan keahlian dan pengalaman cukup, sehingga dibutuhkan pelatihan yang tepat bagi para ahli untuk dapat menginterpretasi citra dengan benar. Peningkatan kualitas gambar citra medis menjadi salah satu fokus utama dalam bidang kedokteran dan teknologi medis. Citra medis yang berkualitas baik sangat penting dalam menentukan diagnosis dan pengobatan yang tepat. Namun, kualitas gambar citra medis seringkali terbatas oleh faktor seperti *noise*, artefak dan kontras yang rendah. Masalah kualitas gambar citra medis ini dapat mengakibatkan kesulitan dalam membedakan antara jaringan yang berbeda, mengurangi akurasi diagnosis dan bahkan dapat mengakibatkan kesalahan dalam pengobatan [5]. Berbagai teknologi dan metode telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas gambar citra medis, termasuk teknologi *deep learning* dan *computer vision* yang dapat secara efektif meningkatkan keakuratan dan kualitas citra medis.



Beberapa metode konvensional yang umum digunakan untuk meningkatkan kualitas gambar pada citra medis seperti *filtering* untuk meningkatkan kualitas gambar pada citra medis dengan cara mengurangi *noise* pada citra [6]. Teknik kontras metode konvensional yang digunakan untuk meningkatkan jarak antara intensitas *pixel* pada citra medis. Teknik ini dapat dilakukan dengan cara memperbesar rentang intensitas atau memperbaiki distribusi intensitas pada citra. *Sharpening* digunakan untuk meningkatkan ketajaman citra medis dengan menggunakan filter *sharpening* seperti *high pass filter* untuk meningkatkan ketajaman dan kejelasan pada citra [7]. *Histogram equalization* mampu meningkatkan kualitas gambar dengan cara memperbaiki distribusi intensitas pada citra lebih terlihat. Meskipun metode konvensional dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas gambar pada citra medis, namun terdapat beberapa kelemahan dari metode konvensional yaitu terbatas pada jenis perbaikan tertentu sehingga kurang efektif dalam menangani permasalahan yang kompleks seperti *denoising* dan peningkatan resolusi [8].

Selain itu metode konvensional memiliki resiko *overfitting*. Hal ini terjadi ketika teknik yang digunakan hanya cocok untuk citra tertentu, sehingga teknik tersebut tidak dapat digunakan pada citra medis yang berbeda. Kemudian, memerlukan parameter yang optimal untuk menghasilkan gambar yang baik dimana pengaturan parameter yang tidak tepat dapat menyebabkan hasil yang tidak memuaskan atau bahkan merusak kualitas citra medis [9]. Metode konvensional juga tidak mampu mengatasi citra yang rumit dikarenakan kesulitan mengatasi citra yang memiliki noise yang tinggi atau menghasilkan detail gambar yang sangat kecil [10]. Teknologi canggih seperti *deep learning* menjadi penting dalam mengatasi kelemahan yang dimiliki oleh metode konvensional dalam meningkatkan kualitas citra medis.

Beberapa teknologi dan metode yang telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas gambar citra medis diantaranya *deep learning* yang mempelajari pola dari citra medis sehingga mampu mengurangi *noise*, menghilangkan artefak, meningkatkan kontras dan memperbaiki resolusi pada citra medis [11]. Rekonstruksi adalah teknik metode yang digunakan untuk

menghasilkan citra medis baru yang lebih baik dari gambar awal yang berkualitas [12]. Metode rekonstruksi ini dapat memperbaiki resolusi, mengurangi *noise* dan menghasilkan citra yang lebih jelas dan akurat. *Image enhancement* juga menjadi teknik untuk meningkatkan kualitas gambar dengan cara meningkatkan kontras, mengurangi *noise* dan memperbaiki detail pada citra medis [13] [14] [15].

Disertasi ini melakukan kombinasi beberapa teknologi seperti *deep learning* dan *image enhancement* untuk menghasilkan citra medis yang lebih berkualitas. Teknologi kombinasi ini dapat menggabungkan kelebihan dari masing-masing teknologi untuk meningkatkan performansi dan kualitas citra medis. Memahami permasalahan tersebut, ada beberapa ide penelitian yang akan dilakukan pada citra medis dengan memanfaatkan teknologi dan metode yang diusulkan dalam meningkatkan kualitas gambar pada citra medis dan membantu para ahli untuk membuat diagnosis yang lebih akurat.

Beberapa kontribusi peneliti dalam permasalahan yang dianalisis sebelumnya. Pertama meningkatkan performansi diagnosis dan efisiensi waktu dan biaya yang dapat membantu meningkatkan efisiensi dan produktivitas klinik bahkan rumah sakit. Kedua menangani citra medis yang kompleks teknologi *deep learning* dan *image enhancement* dapat mengatasi permasalahan kualitas citra medis yang kompleks seperti citra medis yang berkualitas rendah atau memiliki *noise* tinggi. Ketiga menyederhanakan proses interpretasi dalam beberapa kasus teknologi ini dapat mengeliminasi kebutuhan dan intervensi manusia dalam proses interpretasi dimana hasil interpretasi ini akan diuji untuk semua dataset citra medis seperti pada data ultrasonografi seperti data jantung janin, kepala janin, abdomen dan jantung bayi. Keempat melakukan proses *preprocessing* dan *image enhancement* pada semua dataset yang diusulkan dan menguji semua hasil *preprocessing* dan *image enhancement* dengan teknik dan metode *deep learning* yang diusulkan dengan beberapa kasus deteksi. Kemudian menganalisa hasil dari citra sebelum diproses dan setelah diproses apakah mengalami peningkatan yang optimal dengan menguji performansi berdasarkan evaluasi kinerja kasus masing-masing.

## 1.2. Perumusan Masalah

Beberapa teknik sudah dikembangkan terkait kualitas citra medis namun peningkatan interpretasi otomatis memiliki tantangan dan masih sangat terbatas. Untuk itu pertanyaan riset yang akan dijawab pada penelitian ini adalah:

*“Bagaimana mengembangkan model interpretasi otomatis dan peningkatan citra medis ultrasonografi dengan menggunakan metode deep learning?”*

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, beberapa isu penting yang harus dipertimbangkan antara lain:

1. Bagaimana mengembangkan model interpretasi otomatis prediksi model citra medis ultrasonografi yang menghasilkan kinerja yang meningkat
2. Bagaimana proses meningkatkan kualitas citra medis ultrasonografi dengan menggunakan deep learning
3. Bagaimana mengukur kinerja evaluasi berbagai model terbaik dari citra medis ultrasonografi?
4. Bagaimana cara menguji beberapa dataset citra medis ultrasonografi dengan menggunakan model deep learning?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan spesifik dari penelitian ini adalah:

1. Meningkatkan kualitas citra medis ultrasonografi melalui teknologi visi komputer dengan menggunakan metode deep learning.
2. Mengembangkan model dengan melihat perbandingan hasil kinerja yang meningkat
3. Mengukur kinerja model terbaik pada semua citra medis ultrasonografi yang dibangun dengan metode deep learning.
4. Menguji coba pada semua dataset citra medis ultrasonografi dengan menggunakan model deep learning.

Dengan tujuan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan kualitas citra medis ultrasonografi.

#### 1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini terfokus pada pengembangan dan pengujian sistem pengolahan citra medis ekokardiografi ultrasonografi dengan teknologi preprocessing, image enhancement dan deep learning. Berikut ini beberapa batasan penelitian yang ditentukan:

1. Dataset yang digunakan merupakan data gambar ultrasonografi yang telah tervalidasi oleh para ahli.
2. Dataset yang digunakan adalah data ultrasonografi berupa data kasus ruang jantung, view jantung, objek jantung dan kepala pada janin.
3. Penelitian ini tidak akan membahas tentang pengolahan citra medis dari modality lain selain ultrasonografi.
4. Penelitian ini mencakup perancangan dan pengembangan sistem pengolahan citra medis yang melibatkan teknologi *computer vision* menggunakan metode *deep learning* tidak mencakup metode dan teknologi konvensional.
5. Pengolahan preprocessing data yang dilakukan berdasarkan kasus masing-masing tidak dilakukan untuk semua data melainkan melakukan preprocessing data berdasarkan kebutuhan kasus data yang diusulkan.
6. Pengukuran dan perbandingan kinerja sistem pengolahan citra medis yang dibangun berdasarkan kasus seperti image enhancement diukur berdasarkan *Peak Signal Ratio (PSNR)* dan *Structural Similarity Index Measurement (SSIM)* dan metode *deep learning* terjadi kasus deteksi berdasarkan *mean Average Precision (mAP)* dan *Intersection Over Union (IOU)*.
7. Melakukan eksplorasi cara meningkatkan kualitas citra medis ekokardiografi ultrasonografi dengan metode *deep learning*.
8. Penelitian ini akan membandingkan kinerja sistem pengolahan citra medis ultrasonografi yang menggunakan teknologi *computer vision* berbasis *deep learning* dengan metode konvensional.
9. Penelitian ini hanya menilai pengaruh kualitas citra medis ultrasonografi menggunakan teknologi *computer vision* berbasis *deep learning* terhadap performansi diagnosis dan efisiensi waktu pada proses diagnosis.

### **1.5. Sistematika Penulisan**

Penelitian ini terdiri dari empat bab. Sistematika penulisan bertujuan untuk lebih memudahkan dalam menyusun dan memperjelas isi dari setiap bab yang ada pada penelitian ini yang dirangkum sebagai berikut:

#### **1. BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi pengantar yang terdiri dari latar belakang penelitian, rumusan masalah yang akan diteliti, batasan lingkup masalah, tujuan, serta manfaat penelitian dengan mengacu pada kajian literatur terdahulu.

#### **2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi kerangka teori dan studi literatur terkait permasalahan topik yang diusulkan. Bab ini juga menjelaskan tentang penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait dengan multi objek pada kasus struktur organ janin menggunakan pendekatan deep learning.

#### **3. BAB III METODOLOGI / PERANCANGAN**

Bab ini merangkum metodologi yang mendetail dan terstruktur, menjelaskan langkah-langkah yang digunakan dalam pengumpulan dan analisis data terkait dengan permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya. Metodologi ini disusun dalam serangkaian tahapan yang sistematis dengan tujuan mencapai hasil yang diharapkan.

#### **4. BAB IV HASIL PENELITIAN**

Bab ini memaparkan hasil penelitian yang diusulkan berdasarkan pada batasan masalah dan tujuan penelitian, yang didukung oleh literatur yang telah disajikan. Diharapkan bahwa temuan dari penelitian ini akan memberikan manfaat yang berarti bagi penelitian lanjutan.

#### **5. BAB V KESIMPULAN**

Bab ini merupakan rangkuman dari penelitian yang telah dilakukan. Selain itu, juga merangkum temuan utama yang didasarkan pada metodologi yang mendetail, menguraikan langkah-langkah pengumpulan dan analisis data yang terkait dengan permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya. Tujuan dari tahapan terstruktur ini adalah untuk mencapai hasil yang diharapkan dari penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Ravishankar *et al.*, “Understanding the mechanisms of deep transfer learning for medical images,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 10008 LNCS, pp. 188–196, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-46976-8\_20.
- [2] J. Yu, Y. Wang, and P. Chen, “Fetal ultrasound image segmentation system and its use in fetal weight estimation,” *Med. Biol. Eng. Comput.*, vol. 46, no. 12, pp. 1227–1237, 2008, doi: 10.1007/s11517-008-0407-y.
- [3] B. Al-Bander, T. Alzahrani, S. Alzahrani, B. M. Williams, and Y. Zheng, “Improving Fetal Head Contour Detection by Object Localisation with Deep Learning,” *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 1065 CCIS, pp. 142–150, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-39343-4\_12.
- [4] D. Popescu, M. El-Khatib, H. El-Khatib, and L. Ichim, “New Trends in Melanoma Detection Using Neural Networks: A Systematic Review,” *Sensors*, vol. 22, no. 2, 2022, doi: 10.3390/s22020496.
- [5] Y. Pathak, P. K. Shukla, and K. V. Arya, “Deep bidirectional classification model for COVID-19 disease infected patients,” *IEEE/ACM Trans. Comput. Biol. Bioinforma.*, vol. 5963, no. c, pp. 1–1, 2020, doi: 10.1109/tcbb.2020.3009859.
- [6] L. Gondara, “Medical Image Denoising Using Convolutional Denoising Autoencoders,” *IEEE Int. Conf. Data Min. Work. ICDMW*, vol. 0, pp. 241–246, 2016, doi: 10.1109/ICDMW.2016.0041.
- [7] Z. Al-Ameen, S. Al-Ameen, and A. Al-Othman, “Improving the Sharpness of Digital Images Using a Modified Laplacian Sharpening Technique,” *IPTEK J. Technol. Sci.*, vol. 29, no. 2, p. 44, 2019, doi: 10.12962/j20882033.v29i2.3356.
- [8] J. S. Yoo, J. H. Choi, K. S. Choi, D. Y. Lee, H. Y. Kim, and J. O. Kim, “Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Image Processing to Improve the Detection of Simulated Spiculations in Dense Mammograms,”

- IEICE Trans. Inf. Syst.*, vol. E99D, no. 8, pp. 2194–2198, 2016, doi: 10.1587/transinf.2016EDL8049.
- [9] R. Qu, G. Xu, C. Ding, W. Jia, and M. Sun, “Deep Learning-Based Methodology for Recognition of Fetal Brain Standard Scan Planes in 2D Ultrasound Images,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 44443–44451, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2950387.
- [10] W. Dürr, “Ultrasound imaging,” *Hysterect. A Compr. Surg. Approach*, pp. 69–94, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-22497-8\_5.
- [11] E. J. Topol, “High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence,” *Nat. Med.*, vol. 25, no. 1, pp. 44–56, 2019, doi: 10.1038/s41591-018-0300-7.
- [12] S. Kaji and S. Kida, “Overview of image-to-image translation by use of deep neural networks: denoising, super-resolution, modality conversion, and reconstruction in medical imaging,” *Radiol. Phys. Technol.*, vol. 12, no. 3, pp. 235–248, 2019, doi: 10.1007/s12194-019-00520-y.
- [13] Z. Huang, Z. Wang, J. Zhang, Q. Li, and Y. Shi, “Image enhancement with the preservation of brightness and structures by employing contrast limited dynamic quadri-histogram equalization,” *Optik (Stuttg.)*, vol. 226, p. 165877, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2020.165877>.
- [14] B. Sirisha and B. Mohan, “Review on spatial domain image steganography techniques,” *J. Discret. Math. Sci. Cryptogr.*, vol. 24, pp. 1873–1883, Sep. 2021, doi: 10.1080/09720529.2021.1962025.
- [15] N. Patel, A. Shah, M. Mistry, and K. Dangarwala, “A Study of Digital Image Filtering Techniques in Spatial Image Processing,” *Int. Conf. Conver. Technol.*, pp. 1–7, 2014.
- [16] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *4TH EDITION Digital image processing*. 2018.
- [17] P. Wang, Z. Wang, D. Lv, C. Zhang, and Y. Wang, “Low illumination color image enhancement based on Gabor filtering and Retinex theory,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 80, no. 12, pp. 17705–17719, 2021, doi: 10.1007/s11042-021-10607-7.

- [18] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning,” *Nat. Methods*, vol. 13, no. 1, p. 35, 2015, doi: 10.1038/nmeth.3707.
- [19] P. Coupé, J. V Manjón, V. Fonov, J. Pruessner, M. Robles, and D. L. Collins, “Patch-based segmentation using expert priors: Application to hippocampus and ventricle segmentation,” *Neuroimage*, vol. 54, no. 2, pp. 940–954, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.09.018>.
- [20] S. Vedula and P. P. Mujumdar, “Water Resources Systems: Modelling Techniques and Analysis,” *Water Resour. Syst.*, no. October, p. 279, 2005.
- [21] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, “Image pre-processing BT - Image Processing, Analysis and Machine Vision,” M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, Eds. Boston, MA: Springer US, 1993, pp. 56–111. doi: 10.1007/978-1-4899-3216-7\_4.
- [22] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, “Deep Residual Learning for Image Recognition Kaiming,” in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 770–778. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00124.
- [23] Y. Yang and S. Newsam, “Bag-of-visual-words and spatial extensions for land-use classification,” *GIS Proc. ACM Int. Symp. Adv. Geogr. Inf. Syst.*, pp. 270–279, 2010, doi: 10.1145/1869790.1869829.
- [24] S. Lazebnik, C. Schmid, and J. Ponce, “Beyond Bags of Features: Spatial Pyramid Matching for Recognizing Natural Scene Categories,” in *2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)*, 2006, vol. 2, pp. 2169–2178. doi: 10.1109/CVPR.2006.68.
- [25] V. Chandrasekhar, J. Lin, O. Morère, H. Goh, and A. Veillard, “A practical guide to CNNs and Fisher Vectors for image instance retrieval,” *Signal Processing*, vol. 128, pp. 426–439, 2016, doi: 10.1016/j.sigpro.2016.05.021.
- [26] L. Weng, L. Ye, J. Tian, J. Cao, and J. Wang, “Random VLAD based Deep Hashing for Efficient Image Retrieval,” pp. 1–10, 2020, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2002.02333>



- [27] Z. Huang, Z. Wang, J. Zhang, Q. Li, and Y. Shi, "Image enhancement with the preservation of brightness and structures by employing contrast limited dynamic quadri-histogram equalization," *Optik (Stuttg.)*, vol. 226, p. 165877, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.ijleo.2020.165877.
- [28] M. R. Tur and R. Bayindir, "Project surveys for determining and defining key performance indicators in the development of smart grids in energy systems," *Int. J. Smart Grid*, vol. 3, no. 2, 2019, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Mehmet\\_Rida\\_Tur/publication/334099057\\_Project\\_Surveys\\_for\\_Determining\\_and\\_Defining\\_Key\\_Performance\\_Indicators\\_in\\_the\\_Development\\_of\\_Smart\\_Grids\\_in\\_Energy\\_Systems/links/5d168bfb92851cf44054c8ef/Project-Surveys-for-Deter](https://www.researchgate.net/profile/Mehmet_Rida_Tur/publication/334099057_Project_Surveys_for_Determining_and_Defining_Key_Performance_Indicators_in_the_Development_of_Smart_Grids_in_Energy_Systems/links/5d168bfb92851cf44054c8ef/Project-Surveys-for-Deter)
- [29] K. Yamashita and K. Markov, "Medical Image Enhancement Using Super Resolution Methods BT - Computational Science – ICCS 2020," 2020, pp. 496–508.
- [30] A. Kalinovsky and V. Kovalev, "Lung Image Segmentation Using Deep Learning Methods and Convolutional Neural Networks," *Int. Conf. Pattern Recognit. Inf. Process.*, no. July 2017, pp. 21–24, 2016.
- [31] Z. Liang, G. Zhang, J. X. Huang, and Q. V Hu, "Deep learning for healthcare decision making with EMRs," in *2014 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)*, 2014, pp. 556–559. doi: 10.1109/BIBM.2014.6999219.
- [32] G. Litjens *et al.*, "State-of-the-Art Deep Learning in Cardiovascular Image Analysis," *JACC. Cardiovasc. Imaging*, vol. 12, no. 8 Pt 1, pp. 1549–1565, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.jcmg.2019.06.009.
- [33] F. Zhu, F. Ye, Y. Fu, Q. Liu, and B. Shen, "Electrocardiogram generation with a bidirectional LSTM-CNN generative adversarial network," *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–11, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-42516-z.
- [34] J. A. Copel, G. Pilu, J. Green, J. C. Hobbins, and C. S. Kleinman, "Fetal echocardiographic screening for congenital heart disease: the importance of the four-chamber view," *Am. J. Obstet. Gynecol.*, vol. 157, no. 3, pp. 648–655, 1987.

- [35] A. Esteva *et al.*, “Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks,” *Nature*, vol. 542, p. 115, Jan. 2017.
- [36] Y. Wen *et al.*, “Data augmentation in training CNNs: injecting noise to images,” no. 2017, pp. 1–21, 2021.
- [37] Y. Guo, G. Wang, D. Zeng, H. Li, and H. Chao, “A Thyristor Full-Bridge-Based DC Circuit Breaker,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 35, no. 1, pp. 1111–1123, 2020, doi: 10.1109/TPEL.2019.2915808.
- [38] J. De Fauw *et al.*, “Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease.,” *Nat. Med.*, vol. 24, no. 9, pp. 1342–1350, Sep. 2018, doi: 10.1038/s41591-018-0107-6.
- [39] C. H. Defects, “Nihms699826,” *Pediatrics*, vol. 131, no. 5, 2015, doi: 10.1542/peds.2012-3435.Temporal.
- [40] J. H. Park, S. K. Zhou, C. Simopoulos, J. Otsuki, and D. Comaniciu, “Automatic cardiac view classification of echocardiogram,” in *2007 IEEE 11th International Conference on Computer Vision*, 2007, pp. 1–8.
- [41] O. S. Albahri *et al.*, “Systematic review of artificial intelligence techniques in the detection and classification of COVID-19 medical images in terms of evaluation and benchmarking: Taxonomy analysis, challenges, future solutions and methodological aspects,” *J. Infect. Public Health*, vol. 13, no. 10, pp. 1381–1396, 2020, doi: 10.1016/j.jiph.2020.06.028.
- [42] L. Faes *et al.*, “Automated deep learning design for medical image classification by health-care professionals with no coding experience: a feasibility study,” *Lancet Digit. Heal.*, vol. 1, no. 5, pp. e232–e242, 2019, doi: 10.1016/S2589-7500(19)30108-6.
- [43] H. Haick and N. Tang, “Artificial Intelligence in Medical Sensors for Clinical Decisions,” *ACS Nano*, vol. 15, no. 3, pp. 3557–3567, Mar. 2021, doi: 10.1021/acsnano.1c00085.
- [44] K. Munadi, K. Muchtar, N. Maulina, and B. Pradhan, “Image Enhancement for Tuberculosis Detection Using Deep Learning,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 217897–217907, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3041867.
- [45] N. Tajbakhsh *et al.*, “Convolutional Neural Networks for Medical Image

- Analysis: Full Training or Fine Tuning?,” *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 35, no. 5, pp. 1299–1312, 2016, doi: 10.1109/TMI.2016.2535302.
- [46] N. Ahmed and Y. Zhu, “Early detection of atrial fibrillation based on ecg signals,” *Bioengineering*, vol. 7, no. 1, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3390/bioengineering7010016.
- [47] D. Ravi *et al.*, “Deep Learning for Health Informatics,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 21, no. 1, pp. 4–21, 2017, doi: 10.1109/JBHI.2016.2636665.
- [48] L. Xu *et al.*, “DW-Net: A cascaded convolutional neural network for apical four-chamber view segmentation in fetal echocardiography,” *Comput. Med. Imaging Graph.*, vol. 80, 2020, doi: 10.1016/j.compmedimag.2019.101690.
- [49] B. H. M. van der Velden, H. J. Kuijf, K. G. A. Gilhuijs, and M. A. Viergever, “Explainable artificial intelligence (XAI) in deep learning-based medical image analysis,” *Med. Image Anal.*, vol. 79, p. 102470, 2022, doi: 10.1016/j.media.2022.102470.
- [50] H. Mohsen, E.-S. A. El-Dahshan, E.-S. M. El-Horbaty, and A.-B. M. Salem, “Classification using deep learning neural networks for brain tumors,” *Futur. Comput. Informatics J.*, vol. 3, no. 1, pp. 68–71, 2018, doi: 10.1016/j.fcij.2017.12.001.
- [51] R. Arnaout, L. Curran, Y. Zhao, J. C. Levine, E. Chinn, and A. J. Moon-Grady, “An ensemble of neural networks provides expert-level prenatal detection of complex congenital heart disease,” *Nat. Med.*, vol. 27, no. 5, pp. 882–891, 2021, doi: 10.1038/s41591-021-01342-5.
- [52] M. D. Sinclair *et al.*, “Cascaded Transforming Multi-task Networks For Abdominal Biometric Estimation from Ultrasound,” *Midl*, no. Midl 2018, pp. 1–10, 2018.
- [53] C. Chen *et al.*, “Deep Learning for Cardiac Image Segmentation: A Review,” *Front. Cardiovasc. Med.*, vol. 7, no. March, 2020, doi: 10.3389/fcvm.2020.00025.
- [54] A. Ter-Sarkisov, “COVID-CT-Mask-Net: Prediction of COVID-19 from CT Scans Using Regional Features,” *Sci. Inf. Technol. Lett.*, vol. 50, pp. 1–

- 9, 2020, doi: 10.1101/2020.10.11.20211052.
- [55] L. Tao, C. Zhu, G. Xiang, Y. Li, H. Jia, and X. Xie, “LLCNN: A convolutional neural network for low-light image enhancement,” in *2017 IEEE Visual Communications and Image Processing (VCIP)*, 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/VCIP.2017.8305143.
- [56] Z. Du, J. Yin, and J. Yang, “Expanding receptive field yolo for small object detection,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1314, no. 1, p. 12202.
- [57] G. Mcleod *et al.*, “Echocardiography in Congenital Heart Disease,” *Prog. Cardiovasc. Dis.*, vol. 61, no. 5–6, pp. 468–475, 2018, doi: 10.1016/j.pcad.2018.11.004.
- [58] M. T. Donofrio *et al.*, “Diagnosis and treatment of fetal cardiac disease: A scientific statement from the american heart association,” *Circulation*, vol. 129, no. 21, pp. 2183–2242, 2014, doi: 10.1161/01.cir.0000437597.44550.5d.
- [59] R. Chaoui, A. Abuhamad, J. Martins, and K. S. Heling, “Recent Development in Three and Four Dimension Fetal Echocardiography,” *Fetal Diagn. Ther.*, vol. 47, no. 5, pp. 345–353, 2020, doi: 10.1159/000500454.
- [60] S. Nurmaini *et al.*, “Accurate Detection of Septal Defects With Fetal Ultrasonography Images Using Deep Learning-Based Multiclass Instance Segmentation,” *IEEE Access*, 2020.
- [61] S. Nurmaini *et al.*, “Deep Learning-Based Computer-Aided Fetal Echocardiography: Application to Heart Standard View Segmentation for Congenital Heart Defects Detection,” *Sensors*, vol. 21, no. 23, p. 8007, 2021.
- [62] S. Nurmaini *et al.*, “Deep Learning for Improving the Effectiveness of Routine Prenatal Screening for Major Congenital Heart Diseases,” *J. Clin. Med.*, vol. 11, no. 21, 2022, doi: 10.3390/jcm11216454.
- [63] A. U. Ibrahim, M. Ozsoz, S. Serte, F. Al-Turjman, and P. S. Yakoi, “Pneumonia Classification Using Deep Learning from Chest X-ray Images During COVID-19,” *Cognit. Comput.*, no. 0123456789, 2021, doi:

10.1007/s12559-020-09787-5.

- [64] I. Castiglioni *et al.*, “AI applications to medical images: From machine learning to deep learning,” *Phys. Medica*, vol. 83, no. February, pp. 9–24, 2021, doi: 10.1016/j.ejmp.2021.02.006.
- [65] Z. Lin *et al.*, “Multi-task learning for quality assessment of fetal head ultrasound images,” *Med. Image Anal.*, vol. 58, 2019, doi: 10.1016/j.media.2019.101548.
- [66] M. E. Philip, A. Sowmya, H. Avnet, A. Ferreira, G. Stevenson, and A. Welsh, “Convolutional Neural Networks for Automated Fetal Cardiac Assessment using 4D B-Mode Ultrasound School of Computer Science and Engineering , UNSW , Sydney , Australia School of Womens ’ & Childrens ’ Health , Faculty of Medicine , UNSW , Australia Institu,” *2019 IEEE 16th Int. Symp. Biomed. Imaging (ISBI 2019)*, no. Isbi, pp. 824–828, 2019.
- [67] L. Xu, M. Liu, J. Zhang, and Y. He, “Convolutional-Neural-Network-Based Approach for Segmentation of Apical Four-Chamber View from Fetal Echocardiography,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 80437–80446, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2984630.
- [68] C. F. Baumgartner *et al.*, “SonoNet: Real-Time Detection and Localisation of Fetal Standard Scan Planes in Freehand Ultrasound,” *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 36, no. 11, pp. 2204–2215, 2017, doi: 10.1109/TMI.2017.2712367.
- [69] B. Pu, N. Zhu, K. Li, and S. Li, “Fetal cardiac cycle detection in multi-resource echocardiograms using hybrid classification framework,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 115, pp. 825–836, 2021, doi: 10.1016/j.future.2020.09.014.
- [70] A. Patra and J. A. Noble, “Multi-anatomy localization in fetal echocardiography videos,” *Proc. - Int. Symp. Biomed. Imaging*, vol. 2019-April, no. Isbi, pp. 1761–1764, 2019, doi: 10.1109/ISBI.2019.8759551.
- [71] S. Nurmaini *et al.*, “An improved semantic segmentation with region proposal network for cardiac defect interpretation,” *Neural Comput. Appl.*,

- 2022, doi: 10.1007/s00521-022-07217-1.
- [72] S. Nurmaini *et al.*, “Accurate detection of septal defects with fetal ultrasonography images using deep learning-based multiclass instance segmentation,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 196160–196174, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3034367.
- [73] S. Nurmaini *et al.*, “Deep learning-based computer-aided fetal echocardiography: Application to heart standard view segmentation for congenital heart defects detection,” *Sensors*, vol. 21, no. 23, 2021, doi: 10.3390/s21238007.
- [74] R. Nova, S. Nurmaini, R. U. Partan, and S. T. Putra, “Automated image segmentation for cardiac septal defects based on contour region with convolutional neural networks: A preliminary study,” *Informatics Med. Unlocked*, vol. 24, p. 100601, 2021, doi: 10.1016/j.imu.2021.100601.
- [75] A. Paul, P. Bhattacharya, and S. P. Maity, “Histogram modification in adaptive bi-histogram equalization for contrast enhancement on digital images,” *Optik (Stuttg.)*, vol. 259, p. 168899, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.168899>.
- [76] K. Munadi, K. Muchtar, N. Maulina, and B. Pradhan, “Image Enhancement for Tuberculosis Detection Using Deep Learning,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 217897–217907, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3041867.
- [77] B. Lim, S. Son, H. Kim, S. Nah, and K. M. Lee, “Enhanced Deep Residual Networks for Single Image Super-Resolution,” *IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. Work.*, vol. 2017-July, pp. 1132–1140, 2017, doi: 10.1109/CVPRW.2017.151.
- [78] N. Salem, H. Malik, and A. Shams, “Medical image enhancement based on histogram algorithms,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 163, pp. 300–311, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.12.112.
- [79] B. Kurt, V. V. Nabiyev, and K. Turhan, “Medical images enhancement by using anisotropic filter and CLAHE,” *INISTA 2012 - Int. Symp. Innov. Intell. Syst. Appl.*, pp. 1–4, 2012, doi: 10.1109/INISTA.2012.6246971.
- [80] V. NagaPrudhviRaj and T. Venkateswarlu, “Ultrasound Medical Image

- denoising using Hybrid Bilateral filtering,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 56, no. 14, pp. 44–51, 2012, doi: 10.5120/8963-3171.
- [81] J. Guo, J. Chen, C. Lu, and H. Huang, “Medical image enhancement for lesion detection based on class-aware attention and deep colorization,” *Proc. - Int. Symp. Biomed. Imaging*, vol. 2021-April, no. 4, pp. 1746–1750, 2021, doi: 10.1109/ISBI48211.2021.9434019.
- [82] W. Li, Y. He, W. Kong, F. Gao, J. Wang, and G. Shi, “Enhancement of retinal image from line-scanning ophthalmoscope using generative adversarial networks,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 99830–99841, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2930329.
- [83] T. A. Soomro *et al.*, “Impact of Image Enhancement Technique on CNN Model for Retinal Blood Vessels Segmentation,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 158183–158197, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2950228.
- [84] K. Berggren, D. Ryd, E. Heiberg, A. H. Aletras, and E. Hedström, “Super-Resolution Cine Image Enhancement for Fetal Cardiac Magnetic Resonance Imaging,” *J. Magn. Reson. Imaging*, 2021, doi: 10.1002/jmri.27956.
- [85] Rekha G and Rupali B, “Liver Ultrasound Image Enhancement Using Bilateral Filter,” *Int. J. Eng. Tech. Res.*, vol. 8, no. 4, pp. 2454–4698, 2018, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/264832-liver-ultrasound-image-enhancement-using-f1cca4c5.pdf>