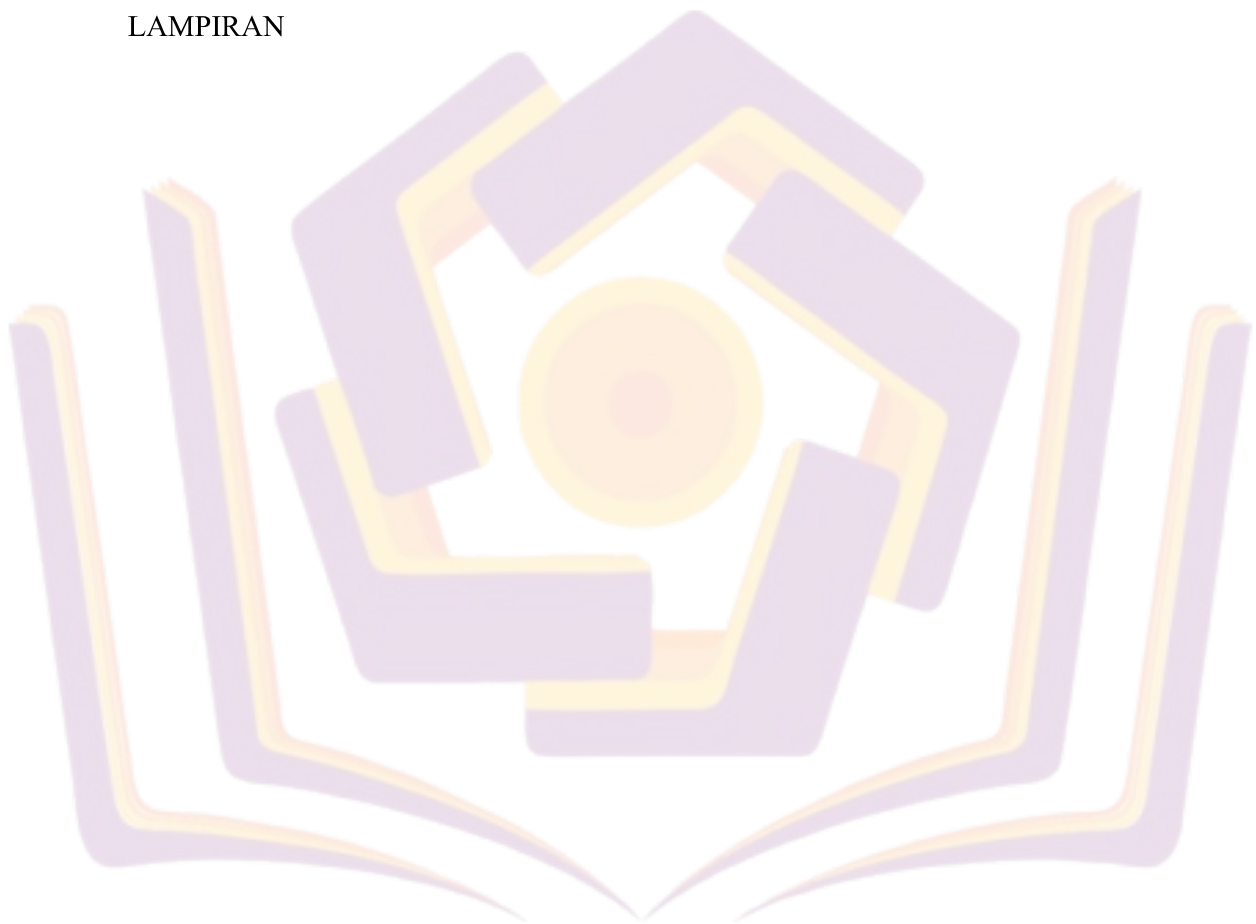


DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL..	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR ISTILAH	xvi
DAFTAR KODE.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
ABSTRAK	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Batasan Masalah.....	6
D. Tujuan Penelitian	7
E. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
A. Landasan Teori.....	9
a. Osteoporosis.....	9
b. Lutut	11
c. Deep Learning.....	12
d. Convolutional Neural Networks (CNN)	13
e. EfficientNet	14

f.	EfficientNetV2	20
g.	ConvNext	22
h.	Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE).....	24
i.	Median Filter	25
j.	Normalisasi	26
k.	Augmentasi Data	27
l.	Transfer Learning.....	28
m.	Dropout	29
n.	Optimizer.....	31
o.	Ensemble Learning.....	33
p.	Confusion Matrix	37
q.	Biaya Komputasi.....	39
B.	Penelitian Sebelumnya.....	41
BAB III	METODE PENELITIAN.....	55
A.	Metode Pengumpulan Data.....	55
B.	Alat dan Bahan Penelitian.....	55
C.	Konsep Penelitian.....	57
a.	Dataset Citra <i>X-ray</i> lutut	58
b.	Preprocessing	59
c.	Pelatihan Model	61
d.	Evaluasi.....	64
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	66
A.	Implementasi.....	66
a.	Dataset.....	66
b.	Preprocessing	66
c.	Pelatihan Model	74
B.	Hasil Pengujian	96
a.	Evaluasi Perbandingan Performa	96
b.	Evaluasi Biaya Komputasi	105
C.	Pembahasan.....	110
a.	Analisis Hasil Klasifikasi.....	110

b. Analisis Efisiensi komputasi	112
c. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu.....	114
BAB V PENUTUP.....	118
A. Kesimpulan	118
B. Saran.....	119
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



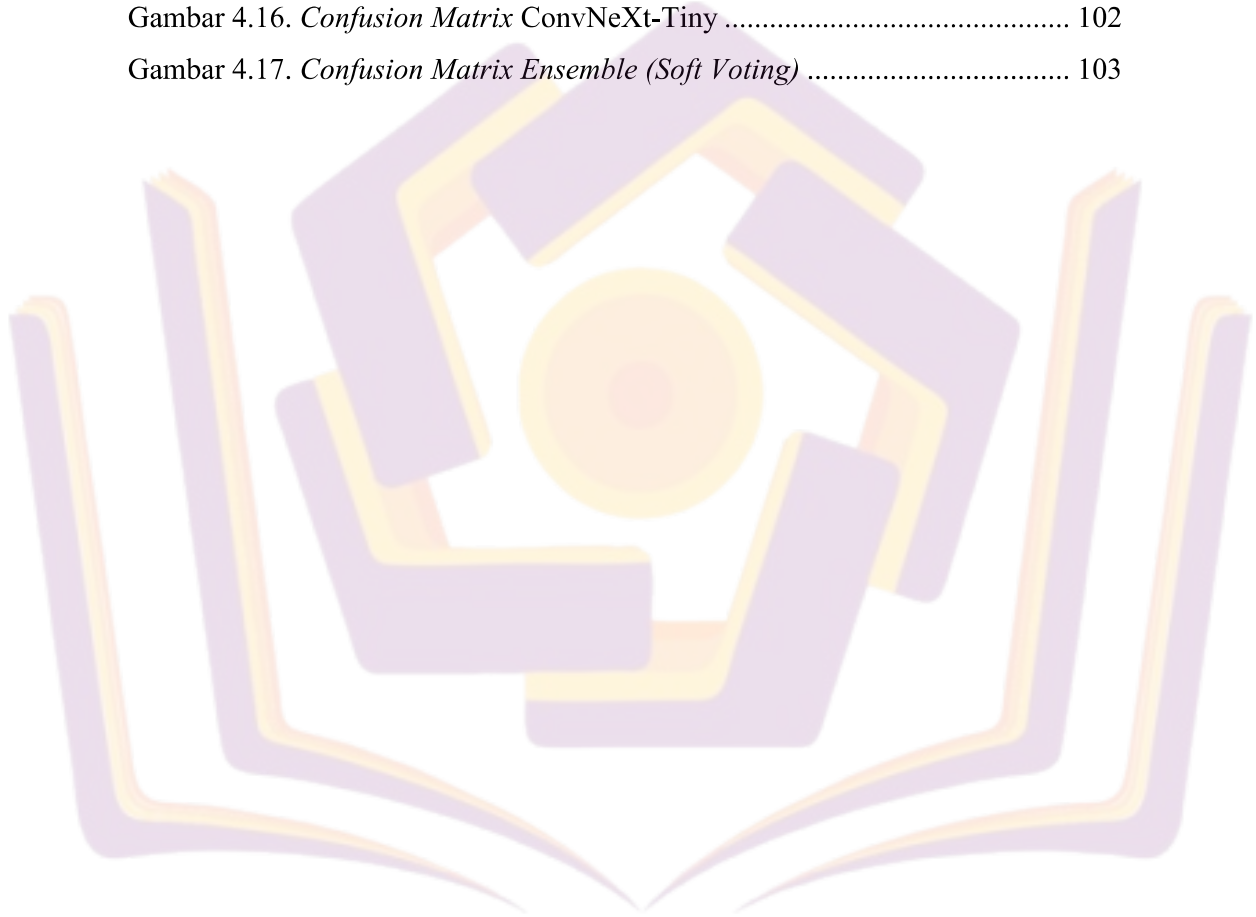
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Sebelumnya.....	41
Tabel 3.1. Perangkat Keras	55
Tabel 3.2. Perangkat Keras <i>Cloud</i>	56
Tabel 3.3. Perangkat Lunak	56
Tabel 3.4. Gambar Citra <i>X-ray</i> Lutut	58
Tabel 4.1. Distribusi Pembagian Data.....	73
Tabel 4.2. Ringkasan Parameter EfficientNetV2	75
Tabel 4.3. Ringkasan Parameter ConvNeXt-Tiny	76
Tabel 4.4. Konfigurasi Strategi Pelatihan	78
Tabel 4.5. Hasil <i>Training</i> EfficientNetV2-S dari Awal	79
Tabel 4.6. Hasil <i>Training</i> ConvNeXt-Tiny dari Awal	82
Tabel 4.7. Hasil <i>Training</i> EfficientNetV2-S <i>Feature Extraction</i>	85
Tabel 4.8. Hasil <i>Training</i> ConvNeXt-Tiny <i>Feature Extraction</i>	88
Tabel 4.9. Hasil <i>Training</i> EfficientNetV2-S <i>Fine-Tuning</i>	91
Tabel 4.10. Hasil <i>Training</i> ConvNeXt-Tiny <i>Fine-Tuning</i>	93
Tabel 4.11. Perbandingan Performa Tujuh Model untuk Data Uji	104
Tabel 4.12. Biaya Komputasi saat Pelatihan Enam Model	105
Tabel 4.13. Biaya Komputasi saat Pengujian untuk Tujuh Model	107
Tabel 4.14. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu.....	115

DAFTAR GAMBAR

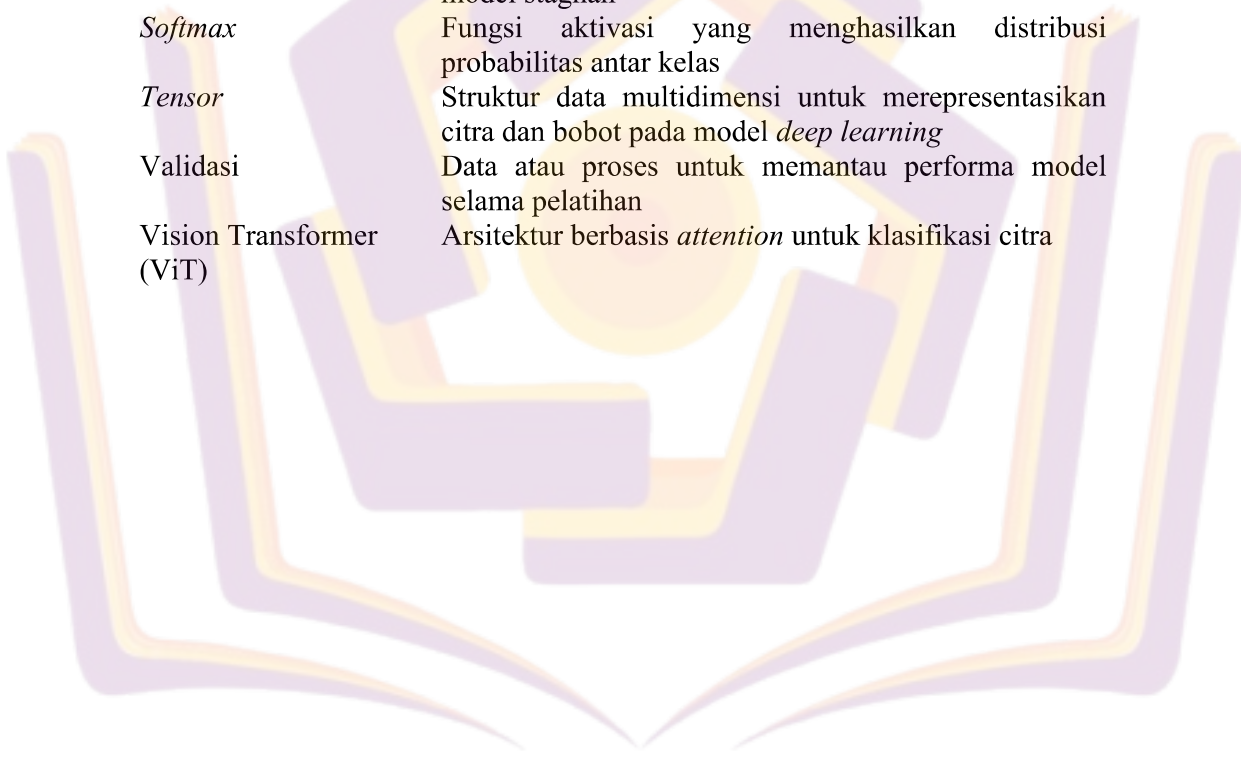
Gambar 2.1. Gambar tulang lutut.....	11
Gambar 2.2. Arsitektur CNN	13
Gambar 2.3. <i>Model Scaling</i>	16
Gambar 2.4. Arsitektur <i>EfficientNet-B0</i>	17
Gambar 2.5. Arsitektur <i>Mobile Inverted Bottleneck</i>	18
Gambar 2.6. Struktur MBConv dan Fused-MBConv	20
Gambar 2.7. Arsitektur <i>EfficientNetV2-S</i>	21
Gambar 2.8. Arsitektur ConvNeXt	23
Gambar 2.9. Arsitektur Dropout	29
Gambar 2.10. Arsitektur <i>Hard Voting</i>	35
Gambar 2.11. Arsitektur <i>Soft Voting</i>	36
Gambar 3.1. Alur Konsep Penelitian	57
Gambar 3.2. Tahapan <i>Preprocessing</i>	59
Gambar 3.3. Tahapan Pelatihan Model.....	62
Gambar 3.4. Evaluasi	64
Gambar 4.1. Citra sebelum dan sesudah <i>median filter</i>	67
Gambar 4.2. Citra Sebelum dan Sesudah CLAHE	69
Gambar 4.3. Citra Sebelum dan Sesudah Normalisasi dan Pengubahan Ukuran .	70
Gambar 4.4. Hasil Augmentasi	73
Gambar 4.5. Grafik <i>Model Accuracy</i> dan <i>Loss</i> Arsitektur <i>EfficientNetV2</i> dari Awal	78
Gambar 4.6. Grafik <i>Model Accuracy</i> dan <i>Loss</i> Arsitektur ConvNeXt-Tiny dari Awal	81
Gambar 4.7. Grafik <i>Model Accuracy</i> dan <i>Loss</i> Arsitektur <i>EfficientNetV2 Feature Extraction</i>	85
Gambar 4.8. Grafik <i>Model Accuracy</i> dan <i>Loss</i> Arsitektur <i>ConvNeXt-Tiny Feature Extraction</i>	87
Gambar 4.9. Grafik <i>Model Accuracy</i> dan <i>Loss</i> Arsitektur <i>EfficientNetV2 Fine-Tuning</i>	90

Gambar 4.10. Grafik <i>Model Accuracy</i> dan <i>Loss</i> Arsitektur	92
Gambar 4.11. <i>Confusion Matrix</i> EfficientNetV2-S dari Awal	97
Gambar 4.12. <i>Confusion Matrix</i> EfficientNetV2-S <i>Feature Extraction</i>	98
Gambar 4.13. <i>Confusion Matrix</i> EfficientNetV2-S <i>Fine-Tuning</i>	99
Gambar 4.14. <i>Confusion matrix</i> ConvNeXt-Tiny	100
Gambar 4.15. <i>Confusion Matrix</i> ConvNeXt-Tiny	101
Gambar 4.16. <i>Confusion Matrix</i> ConvNeXt-Tiny	102
Gambar 4.17. <i>Confusion Matrix Ensemble (Soft Voting)</i>	103



DAFTAR ISTILAH

Istilah	Penjelasan
<i>Accuracy</i>	Proporsi prediksi benar terhadap seluruh data uji.
<i>Batch Normalization</i>	Teknik menstabilkan distribusi <i>input</i> antar lapisan untuk mempercepat pelatihan.
Batch Size	Jumlah citra yang diproses dalam satu kali iterasi pelatihan.
<i>Bone Mineral Density (BMD)</i>	Ukuran kepadatan mineral tulang untuk mendiagnosis osteoporosis.
<i>Callback</i>	Fungsi yang dijalankan otomatis pada tahap tertentu selama pelatihan.
<i>Channel</i>	Kanal warna atau peta fitur pada citra dan lapisan konvolusi.
<i>Deep Learning</i>	Cabang <i>machine learning</i> berbasis jaringan saraf berlapis banyak.
<i>Depthwise Convolution</i>	Operasi konvolusi per kanal yang hemat parameter.
DEXA	<i>Dual-Energy X-ray Absorptiometry</i> , metode rujukan pengukuran kepadatan tulang.
<i>Eager Mode</i>	Mode eksekusi TensorFlow yang menjalankan perintah satu per satu secara langsung.
<i>EarlyStopping</i>	<i>Callback</i> yang menghentikan pelatihan saat performa validasi berhenti membaik untuk mencegah <i>overfitting</i> .
<i>Epoch</i>	Satu siklus pelatihan penuh pada seluruh data latih
FLOPs	<i>Floating Point Operations</i> , jumlah operasi komputasi suatu model
Fraktur	Patah tulang, salah satu risiko utama osteoporosis
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i> , perangkat keras pemroses paralel untuk pelatihan model
<i>Graph Mode</i>	Mode eksekusi TensorFlow (<i>tf.function</i>) yang menyusun seluruh perintah menjadi satu alur untuk mempercepat komputasi
<i>Grayscale</i>	Citra dengan satu kanal warna (keabuan)
Inferensi	Proses model melakukan prediksi pada data baru
Kaggle	Platform daring penyedia dataset publik
Kernel	Matriks bobot pada operasi konvolusi
Latensi	Waktu yang dibutuhkan model untuk memprediksi satu citra
<i>Layer Normalization</i>	Teknik normalisasi pada tiap lapisan, digunakan pada ConvNeXt
<i>Learning Rate</i>	Besar langkah pembaruan bobot pada tiap iterasi pelatihan



<i>Loss</i>	Nilai yang mengukur kesalahan prediksi model terhadap label sebenarnya
<i>ModelCheckpoint</i>	<i>Callback</i> yang menyimpan model terbaik berdasarkan metrik tertentu selama pelatihan
<i>Noise</i>	Gangguan atau bintik yang menurunkan kualitas citra
<i>Overfitting</i>	Kondisi model terlalu menyesuaikan data latih sehingga lemah pada data baru
Parameter	Bobot yang dipelajari model selama pelatihan
<i>Pooling</i>	Operasi pengurangan dimensi citra pada CNN
<i>Pretrained</i>	Bobot model hasil pelatihan awal pada dataset besar
RAM	<i>Random Access Memory</i> , memori sistem yang digunakan selama pelatihan dan inferensi
<i>ReduceLROnPlateau</i>	<i>Callback</i> yang menurunkan <i>learning rate</i> saat performa model stagnan
<i>Softmax</i>	Fungsi aktivasi yang menghasilkan distribusi probabilitas antar kelas
<i>Tensor</i>	Struktur data multidimensi untuk merepresentasikan citra dan bobot pada model <i>deep learning</i>
Validasi	Data atau proses untuk memantau performa model selama pelatihan
Vision Transformer (ViT)	Arsitektur berbasis <i>attention</i> untuk klasifikasi citra

DAFTAR KODE

Kode 4.1. Implementasi Median Filter	67
Kode 4.2. Implementasi CLAHE	68
Kode 4.3. Implementasi Normalisasi dan Pengubahan Ukuran.....	70
Kode 4.4. Implementasi Augmentasi Data	72



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kartu Bimbingan Dosen Pembimbing 1

