



ANALISIS ENTROPI SHANNON PADA SENDI TIBIOFEMORAL UNTUK KLASIFIKASI KEPARAHAN OSTEOARTRITIS LUTUT BERBASIS CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

MUHAMMAD RAIHAN GHIFARI



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Analisis Entropi Shannon pada Sendi Tibiofemoral untuk Klasifikasi Keparahan Osteoarthritis Lutut Berbasis Convolutional Neural Network” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2026

Muhammad Raihan Ghifari
G7401221035



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

MUHAMMAD RAIHAN GHIFARI. Analisis Entropi Shannon pada Sendi Tibiofemoral untuk Klasifikasi Keparahan Osteoarthritis Lutut Berbasis *Convolutional Neural Network*. Dibimbing oleh MAHFUDDIN ZUHRI dan IRMANSYAH.

Penelitian ini bertujuan menentukan *region of interest* (ROI) sendi tibiofemoral, membentuk peta entropi multiskala, dan mengevaluasi model *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk klasifikasi keparahan osteoarthritis lutut. Data yang digunakan terdiri atas 9.251 citra lutut dari himpunan data *Osteoarthritis Initiative* yang diseimbangkan pada lima kelas KL. Citra diproses melalui pemisahan sisi lutut, penyeragaman orientasi, segmentasi femur dan tibia, pembentukan ROI, serta pembentukan peta entropi multiskala dengan *window* 9×9, 21×21, dan 41×41. Model CNN dilatih menggunakan dua jenis masukan, yaitu citra ROI satu kanal dan peta entropi tiga kanal, pada klasifikasi 5, 3, dan 2 kelas. Model berbasis citra ROI memperoleh akurasi 0,7035, 0,8229, dan 0,8643, sedangkan model berbasis peta entropi memperoleh akurasi 0,6564, 0,8004, dan 0,8387. Hasil ini menunjukkan bahwa citra ROI memberikan performa klasifikasi lebih baik, sedangkan peta entropi tetap merepresentasikan informasi tekstur yang relevan.

Kata kunci: CNN, Entropi Shannon, *Kellgren-Lawrence grade*, osteoarthritis lutut, ROI

ABSTRACT

MUHAMMAD RAIHAN GHIFARI. Shannon Entropy Analysis of the Tibiofemoral Joint for Knee Osteoarthritis Severity Classification Based on Convolutional Neural Network. Supervised by MAHFUDDIN ZUHRI and IRMANSYAH.

This study aimed to determine the tibiofemoral joint region of interest (ROI), generate multiscale entropy maps, and evaluate a Convolutional Neural Network (CNN) model for knee osteoarthritis severity classification. The dataset consisted of 9,251 knee images from the Osteoarthritis Initiative, balanced across five KL classes. The images were processed through knee-side separation, orientation standardization, femur and tibia segmentation, ROI extraction, and multiscale entropy map generation using 9×9, 21×21, and 41×41 *windows*. The CNN model was trained using two input types, namely one-channel ROI images and three-channel entropy maps, for 5-, 3-, and 2-class classification. The ROI image-based model achieved accuracies of 0.7035, 0.8229, and 0.8643, whereas the entropy map-based model achieved accuracies of 0.6564, 0.8004, and 0.8387. These results indicate that ROI images provided better classification performance, while entropy maps still represented relevant texture information.

Keywords: CNN, Kellgren-Lawrence grade, knee osteoarthritis, ROI, Shannon entropy



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



ANALISIS ENTROPI SHANNON PADA SENDI *TIBIOFEMORAL* UNTUK KLASIFIKASI KEPARAHAN OSTEOARTRITIS LUTUT BERBASIS CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

MUHAMMAD RAIHAN GHIFARI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Dr. Heriyanto Syafutra, S.Si., M.Si.
- 2 Abd. Djamil Husin, S.Si., M.Si.

Judul Skripsi : Analisis Entropi Shannon pada Sendi Tibiofemoral untuk
Klasifikasi Keparahan Osteoarthritis Lutut Berbasis Convolutional
Neural Network
Nama : Muhammad Raihan Ghifari
NIM : G7401221035

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Drs. Mahfuddin Zuhri, M.Si.
NIP. 196911041997021001




Pembimbing 2:
Dr. Ir. Irmansyah, M.Si.
NIP. 196809161994031001

Diketahui oleh

Ketua Departemen:
Dr. Ir. Irmansyah, M.Si.
NIP. 196809161994031001




Tanggal Ujian: 30 Juli 2026

Tanggal Lulus:

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Februari 2026 sampai bulan Mei 2026 ini ialah penggunaan peta entropi Shannon pada sendi tibiofemoral untuk klasifikasi keparahan osteoarthritis lutut menggunakan *convolutional neural network*, dengan judul “ANALISIS ENTROPI SHANNON PADA SENDI TIBIOFEMORAL UNTUK KLASIFIKASI KEPARAHAN OSTEOARTRITIS LUTUT BERBASIS CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK”.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, doa, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tersayang, ayah dan ibu yang selalu mendoakan serta memberikan semangat kepada penulis selama pengerjaan skripsi. Mengerahkan semua tenaganya supaya anak bungsunya dapat berkuliah dengan baik, semoga kalian berdua sehat selalu dan berada di bawah lindungan Allah subhanaahu wa ta'ala.
2. Bapak Drs. Mahfuddin Zuhri, M.Si. dan Bapak Dr. Ir. Irmansyah, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Ayu Bonita Pertiwi Harianja atau “Ujis Kecil” sebagai pasangan penulis yang selalu menemani penulis dalam senang maupun sedih, juga selalu memberi motivasi kepada penulis ketika sedang kebingungan.
4. Teman-teman kos (Fahmi, Fari, Bagir, Otniel) yang telah menjadi teman berbagi cerita, berdiskusi, dan mendukung penulis selama proses penyusunan skripsi.
5. Teman-teman departemen Fisika yang menambah *insight* serta membantu penulis lebih memahami bagaimana *Machine Learning* bekerja.
6. Seluruh dosen fisika yang telah membimbing, memberikan ilmu dan wawasan selama penulis belajar di departemen Fisika.

Semoga penelitian ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan, Aamiin.

Bogor, Juni 2026

Muhammad Raihan Ghifari



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Osteoarthritis dan Anatomi Lutut	4
2.2 Kellgren-Lawrence <i>Grade</i>	6
2.3 Radiografi dalam Osteoarthritis Lutut	6
2.4 <i>Machine Learning</i>	7
2.5 <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN)	9
2.6 Peta Parametrik dan Peta Fitur Tekstur	10
2.7 Entropi Shannon	11
III METODE	13
3.1 Waktu dan Tempat	13
3.2 Alat dan Bahan	13
3.3 Prosedur Kerja	13
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Persiapan Data dan Segmentasi Citra	28
4.2 Hasil Penetapan <i>Region of Interest</i> (ROI) Sendi Tibiofemoral	29
4.3 Hasil Pembentukan Peta Entropi Multiskala	30
4.4 Hasil Evaluasi Model	32
V SIMPULAN DAN SARAN	38
5.1 Simpulan	38
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	47
RIWAYAT HIDUP	50



DAFTAR TABEL

Distribusi data berdasarkan KL <i>grade</i>	28
Distribusi data berdasarkan waktu kunjungan	28
Pembagian data latih, validasi, dan uji	32
Hasil evaluasi model berbasis citra ROI radiografi pada data uji	35
Hasil evaluasi model berbasis peta entropi multiskala pada data uji	35
Nilai <i>precision</i> , <i>recall</i> , dan F1-score per kelas pada model berbasis citra ROI	36
Nilai <i>precision</i> , <i>recall</i> , dan F1-score per kelas pada model berbasis peta entropi	36

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram skematik struktur anatomi sendi lutut dengan: (i) femur, (ii) patela, (iii) LCL, (iv) MCL, (v) PCL, (vi) ACL, (vii) meniskus lateral, (viii) meniskus medial, (ix) fibula, (x) tibia (Li <i>et al.</i> 2024)	5
2	Pola OA pada kompartemen lutut (Stoddart <i>et al.</i> 2021)	5
3	Osteoarthritis lutut (Bayramoglu <i>et al.</i> 2020)	6
4	Contoh citra x-ray lutut normal dan lutut dengan OA berat (Bayramoglu <i>et al.</i> 2020)	7
5	Alur sistem ML secara umum (Kokkotis <i>et al.</i> 2020)	8
6	Gambaran umum arsitektur CNN untuk klasifikasi citra (Rangel <i>et al.</i> 2024)	9
7	Contoh peta parametrik fitur radiomik pada citra <i>computed tomography phantom</i> : (a) citra asli, (b) peta entropi, (c) peta <i>uniformity</i> , (d) peta GLCM IDMN, (e) peta GLRLM <i>run percentage</i> , dan (f) peta GLSZM <i>small area emphasis</i> (Jensen <i>et al.</i> 2022)	11
8	Contoh citra radiografi lutut bilateral dari dataset <i>Osteoarthritis Initiative</i> (OAI)	13
9	Proses segmentasi tulang lutut menggunakan perangkat lunak BoneFinder	14
10	Kontur femur dan tibia pada citra radiografi lutut	15
11	Penentuan rentang horizontal ROI berdasarkan batas kiri dan batas kanan kontur femur	16
12	Penentuan batas bawah femur dan batas atas tibia pada rentang horizontal ROI	17
13	ROI setelah penyesuaian tinggi area sumber	18
14	ROI akhir pada citra radiografi asal	18
15	Ilustrasi perhitungan entropi lokal pada satu <i>window</i> 9×9	20
16	Ilustrasi ukuran <i>window</i> lokal 9×9, 21×21, dan 41×41 pada ROI celah sendi tibiofemoral	21

17	Arsitektur CNN untuk klasifikasi derajat keparahan osteoarthritis lutut pada dua skenario masukan	24
18	<i>Confusion matrix</i> (Kautz <i>et al.</i> 2017)	25
19	Pemisahan dan penyeragaman orientasi citra radiografi	29
20	Hasil segmentasi kontur femur dan tibia menggunakan BoneFinder	29
21	Contoh ROI sendi tibiofemoral pada setiap Kellgren-Lawrence <i>grade</i> : (a) KL0, (b) KL1, (c) KL2, (d) KL3, dan (e) KL4	30
22	Contoh pembentukan peta entropi multiskala dari ROI sendi tibiofemoral: (a) ROI, (b) peta entropi <i>window</i> 9×9, (c) peta entropi <i>window</i> 21×21, dan (d) peta entropi <i>window</i> 41×41	31
23	Contoh peta entropi <i>window</i> 9×9 pada setiap Kellgren-Lawrence <i>grade</i> : (a) KL0, (b) KL1, (c) KL2, (d) KL3, dan (e) KL4	32
24	<i>Confusion matrix</i> model berbasis citra ROI: (a) klasifikasi 5 kelas, (b) klasifikasi 3 kelas, dan (c) klasifikasi 2 kelas	33
25	<i>Confusion matrix</i> model berbasis peta entropi: (a) klasifikasi 5 kelas, (b) klasifikasi 3 kelas, dan (c) klasifikasi 2 kelas	34

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.