

**SISTEM IDENTIFIKASI PENYAKIT PNEUMONIA
MENGUNAKAN LIGHTGBM DENGAN GLRLM SEBAGAI
EKSTRAKSI FITUR TEKSTUR CITRA *CHEST X-RAY***

SKRIPSI



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh
AIRU SUFI NAHDLOH
09020222022

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Airu Sufi Nahdloh
NIM : 09020222022
Program Studi : Matematika
Angkatan : 2022

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul "Sistem Identifikasi Penyakit Pncumonia Menggunakan LightGBM dengan GLRLM sebagai Ekstraksi Fitur Tekstur Citra *Chest X-Ray*". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 29 Desember 2025

Yang menyatakan,



Airu Sufi Nahdloh
NIM. 09020222022

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi oleh

Nama : Airu Sufi Nahdloh
NIM : 09020222022
Judul proposal skripsi : Sistem Identifikasi Penyakit Pneumonia
Menggunakan LightGBM dengan GLRLM sebagai
Ekstraksi Fitur Tekstur Citra *Chest X-Ray*

telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Pembimbing I



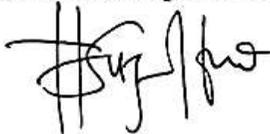
Dr. Dian Candra Rini Novitasari, M. Kom
NIP. 198511242014032001

Pembimbing II



Dr. Abdullah Hamid, M. Pd
NIP. 198508282014031003

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika
UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. Yuniar Farida, M.T
NIP. 197905272014032002

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Skripsi oleh:

Nama : Airu Sufi Nahdloh

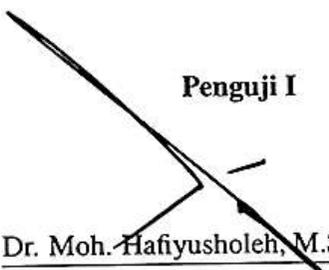
NIM : 09020222022

Judul : Sistem Identifikasi Penyakit Pneumonia Menggunakan
LightGBM dengan GLRLM sebagai Ekstraksi Fitur
Tekstur Citra *Chest X-Ray*

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal 06 Januari 2026.

Mengesahkan,
Tim Penguji

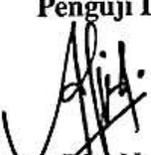
Penguji I


Dr. Moh. Hafiyusholeh, M.Si., M.PMat.
NIP. 198002042014031001

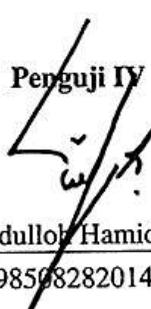
Penguji II


Dr. Yuniar Farida M.T
NIP. 197905272014032002

Penguji III


Dr. Dian Candra Kini Novitasari, M. Kom
NIP. 198511242014032001

Penguji IV


Dr. Abdulloh Hamid, M. Pd
NIP. 198508282014031003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. Saepul Hamdani, M.Pd
NIP. 08507312000031002



UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Airu Fufi Mahdloh
NIM : 09020222022
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika
E-mail address : 090222022@student.uinsby.ac.id

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Skripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)

yang berjudul :

Sistem Identifikasi penyakit pneumonia Menggunakan
LightGBM dengan GERM Sebagai Ekstraksi Fitur Teksor Citra
Chest X-Ray.

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya,

Penulis

(Airu Fufi Mahdloh)
nama terang dan tanda tangan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xviii
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	7
1.4. Manfaat Penelitian	7
1.5. Batasan Masalah	8
1.6. Sistematika Penulisan	8
II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1. Pneumonia	10
2.2. <i>Preprocessing</i>	12
2.3. Citra Digital	16
2.3.1. Citra Warna (RGB)	18
2.3.2. Citra Grayscale	18
2.3.3. Citra Biner	19
2.4. <i>K-Fold Cross Validation</i>	19

2.5.	GLRLM	20
2.5.1.	SRE (<i>Short Run Emphasis</i>)	23
2.5.2.	LRE (<i>Long Run Emphasis</i>)	23
2.5.3.	GLN (<i>Gray Level Nonuniformity</i>)	24
2.5.4.	RLN (<i>Run Length Nonuniformity</i>)	24
2.5.5.	RP (<i>Run Percentage</i>)	25
2.5.6.	LGRE (<i>Low Gray-level Run Emphasis</i>)	25
2.5.7.	HGRE (<i>High Gray-level Run Emphasis</i>)	26
2.5.8.	SRLGE (<i>Short Run Low Gray-level Emphasis</i>)	26
2.5.9.	SRHGE (<i>Short Run High Gray-level Emphasis</i>)	27
2.5.10.	LRLGE (<i>Long Run Low Gray-level Emphasis</i>)	27
2.5.11.	LRHGE (<i>Long Run High Gray-level Emphasis</i>)	28
2.5.12.	GLV (<i>Gray Level Variance</i>)	28
2.5.13.	RLV (<i>Run Length Variance</i>)	29
2.6.	LightGBM	30
2.7.	Evaluasi sistem (<i>confusion matrix</i>)	35
2.7.1.	Akurasi	36
2.7.2.	Sensitivitas	36
2.7.3.	Spesifitas	36
2.8.	Integrasi Keilmuan	37
2.8.1.	Menjaga Lingkungan dalam Perspektif Islam	39
2.8.2.	Klasifikasi dalam kajian Islam	41
III METODE PENELITIAN		44
3.1.	Jenis Penelitian	44
3.2.	Jenis dan Sumber Data	44
3.3.	Tahapan Penelitian	46
3.4.	Input Data <i>Image Chest X-ray</i>	46
3.5.	<i>Preprocessing</i>	47
3.6.	Ekstraksi Fitur	48
3.7.	Klasifikasi	49
3.8.	Evaluasi Hasil	52
3.9.	Skema Uji Coba Tuning Parameter	52
IV HASIL DAN PEMBAHASAN		54
4.1.	<i>Input Dataset</i>	54

4.2. <i>Preprocessing</i>	56
4.3. Ekstraksi Fitur	59
4.4. Klasifikasi LightGBM	105
4.4.1. <i>Training</i>	105
4.4.2. <i>Testing</i>	122
4.5. Pengujian Model dan Evaluasi Sistem	126
4.6. Analisis dan Interpretasi Hasil	141
4.7. GUI Deteksi Penyakit Pneumonia	144
4.8. Integrasi Keilmuan (Teknologi dalam Perpektif Islam)	146
V PENUTUP	150
5.1. Kesimpulan	150
5.2. Saran	151
DAFTAR PUSTAKA	152
LAMPIRAN	158
A Pohon Keputusan ke-1 LightGBM	158
B Pohon Keputusan ke-2 LightGBM	159
C Pohon Keputusan ke-29 LightGBM	160
D Pohon Keputusan ke-56 LightGBM	161
E Pohon Keputusan ke-57 LightGBM	162
F Pohon Keputusan ke-58 LightGBM	163

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

2.1	<i>Confusion Matrix Binary</i>	35
3.1	Tuning Parameter	53
4.1	Nilai Hasil Distribusi Fitur GLRLM sudut 90°	70
4.2	Nilai Hasil Distribusi Fitur GLRLM sudut 0°	95
4.3	Nilai Hasil Distribusi Fitur GLRLM sudut 45°	96
4.4	Nilai Hasil Distribusi Fitur GLRLM sudut 135°	97
4.5	Pembagian Data Training dan Testing pada Setiap Fold	105
4.6	Nilai Gradien Struktur Data Fitur dan Target	106
4.7	Nilai Gradien Struktur Data Fitur dan Target	107
4.8	<i>Information Gain Node 1</i>	111
4.9	<i>Information Gain Node 2 kanan</i>	113
4.10	<i>Information Gain Node 2 kiri</i>	115
4.11	<i>Information Gain Node 3 kanan</i> $X_{SRE} \leq -0.427$	117
4.12	<i>Information Gain Node 3 kiri</i>	119
4.13	Sample Data Testing	122
4.14	Nilai <i>Leaf</i> Proses Testing	123
4.15	Hasil Rata-rata Pengujian Model pada Setiap Fold	126
4.16	Hasil Evaluasi LightGBM pada <i>Fold</i> ke-1 (Arah 90°)	128
4.17	Hasil Evaluasi LightGBM pada <i>Fold</i> ke-2 (Arah 90°)	130
4.18	Hasil Evaluasi LightGBM pada <i>Fold</i> ke-3 (Arah 90°)	131
4.19	Hasil Evaluasi LightGBM pada <i>Fold</i> ke-4 (Arah 90°)	132
4.20	Hasil Evaluasi LightGBM pada <i>Fold</i> ke-5 (Arah 90°)	133
4.21	Hasil Evaluasi LightGBM pada <i>Fold</i> ke-6 (Arah 90°)	134
4.22	Hasil Evaluasi LightGBM (<i>Fold</i> ke-7)	135
4.23	Hasil Evaluasi LightGBM (<i>Fold</i> ke-8, Arah 90°)	136
4.24	Hasil Evaluasi LightGBM (<i>Fold</i> ke-9, Arah 90°)	137

4.25 Hasil Evaluasi LightGBM (Fold ke-10, Arah 90°)	138
4.26 Perbandingan Kinerja Metode Klasifikasi	142



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

2.1	Paru-Paru Pneumonia	10
2.2	<i>Pneumonia X-ray</i>	11
2.3	Koordinat <i>Resize</i>	13
2.4	Citra sebelum dan sesudah <i>Resize</i>	16
2.5	Koordinat Representasi Citra	17
2.6	Citra Warna RGB	18
2.7	Citra <i>Grayscale</i>	19
2.8	Citra Biner	19
2.9	Prosedur <i>K-Fold Cross Validation</i>	20
2.10	Representasi arah <i>Run Length</i>	21
2.11	<i>Run Lenth Matrix</i> 0°	22
2.12	<i>Run Lenth Matrix</i> 45°	22
2.13	<i>Run Lenth Matrix</i> 90°	22
2.14	<i>Run Lenth Matrix</i> 135°	22
2.15	Teknik pembelahan node daun pada XGBoost	30
2.16	Teknik pembelahan node daun pada LightGBM	31
3.1	Sampel Paru Normal	45
3.2	Sampel Paru <i>Pneumonia</i>	45
3.3	Alur Penelitian	46
3.4	Alur <i>Preprocessing</i>	47
3.5	Alur Ekstraksi Fitur	48
3.6	Alur <i>Training</i>	49
3.7	Alur <i>Testing</i>	51
4.1	Sampel Normal	54
4.2	Sampel <i>Pneumonia</i>	55
4.3	Hasil <i>Resize</i>	59

4.4	<i>Boxplot</i> Fitur SRE	98
4.5	<i>Boxplot</i> Fitur LRE	98
4.6	<i>Boxplot</i> Fitur GLN	99
4.7	<i>Boxplot</i> Fitur RLN	99
4.8	<i>Boxplot</i> Fitur RP	100
4.9	<i>Boxplot</i> Fitur LGRE	100
4.10	<i>Boxplot</i> Fitur HGRE	101
4.11	<i>Boxplot</i> Fitur SRLGE	101
4.12	<i>Boxplot</i> Fitur SRHGE	102
4.13	<i>Boxplot</i> Fitur LRLGE	102
4.14	<i>Boxplot</i> Fitur LRHGE	103
4.15	<i>Boxplot</i> Fitur GLV	103
4.16	<i>Boxplot</i> Fitur RLV	104
4.17	Node 1 pada $X_{SRE} \leq 0.634$	108
4.18	Node 1 pada $X_{LGRE} \leq -0.238$	109
4.19	Node 1 pada $X_{RLV} \leq -0.399$	110
4.20	Node 2 pada $X_{SRE} \leq 0.284$	112
4.21	Node 2 pada sisi kiri	114
4.22	Node 3 pada $X_{SRE} \leq -0.427$	116
4.23	Node 3 pada $X_{SRLGE} \leq -0.7289$	118
4.24	Node 3 pada sisi kiri	120
4.25	Contoh Jalur Pohon Keputusan	125
4.26	Confusion Matrix pada fold 1-3	139
4.27	Confusion Matrix pada fold 4-7	139
4.28	Confusion Matrix pada Fold 8-10	139
4.29	Tampilan awal	144
4.30	tampilan informasi	144
4.31	tampilan input	145
4.32	Tampilan <i>output</i>	145

ABSTRAK

Sistem Identifikasi Penyakit Pneumonia Menggunakan LightGBM dengan GLRLM sebagai Ekstraksi Fitur Tekstur Citra *Chest X-Ray*

Pneumonia merupakan salah satu penyakit infeksi paru-paru yang masih menjadi penyebab utama kematian di dunia. Proses diagnosis pneumonia melalui citra *Chest X-ray* secara manual sangat bergantung pada ketelitian radiolog sehingga berpotensi menimbulkan subjektivitas dalam penentuan hasil diagnosis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem identifikasi penyakit pneumonia secara otomatis menggunakan metode *Light Gradient Boosting Machine* (LightGBM) dengan *Gray Level Run Length Matrix* (GLRLM) sebagai teknik ekstraksi fitur tekstur citra. Dataset yang digunakan adalah *Chest X-ray Pneumonia* yang diperoleh dari *website* Kaggle dan terdiri atas dua kelas, yaitu normal dan pneumonia. Tahapan penelitian meliputi *preprocessing* citra berupa *resize* bilinear berukuran 256×256 piksel untuk menyeragamkan ukuran citra. Citra hasil *preprocessing* selanjutnya diekstraksi menggunakan metode GLRLM untuk menghasilkan fitur tekstur yang digunakan sebagai masukan pada model klasifikasi LightGBM. Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan metode *K-Fold Cross Validation* dengan nilai $k = [10 k]$. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model LightGBM berbasis fitur GLRLM mampu mencapai nilai akurasi sebesar **92.56%**, sensitivitas sebesar **94.19%**, dan spesifisitas sebesar **88%**. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode yang diusulkan memiliki kinerja klasifikasi yang baik dan berpotensi digunakan sebagai sistem pendukung dalam proses identifikasi pneumonia berbasis citra medis.

Kata kunci: Pneumonia, *Chest X-ray*, GLRLM, LightGBM

ABSTRACT

Pneumonia disease identification system using lightGBM with GLRLM as chest x-ray image texture feature extraction

Pneumonia is one of the leading causes of death worldwide and remains a major infectious disease affecting the lungs. The manual diagnosis of pneumonia using *Chest X-ray* images highly depends on the radiologist's expertise, which may introduce subjectivity in the diagnostic decision-making process. Therefore, this study aims to develop an automated pneumonia identification system using the *Light Gradient Boosting Machine* (LightGBM) method combined with the *Gray Level Run Length Matrix* (GLRLM) as a texture feature extraction technique. The dataset used in this study was the *Chest X-ray Pneumonia* dataset obtained from the Kaggle website, consisting of two classes, namely normal and pneumonia. The research stages included image *preprocessing* through bilinear *resize* to a resolution of 256×256 pixels to ensure uniform image size. The preprocessed images were then processed using the GLRLM method to extract texture features, which served as input for the LightGBM classification model. Model performance was evaluated using the *K-Fold Cross Validation* method with $k = 10$. The experimental results showed that the proposed LightGBM model based on GLRLM features achieved an accuracy of **92.56%**, a sensitivity of **94.19%**, and a specificity of **88.00%**. These results indicate that the proposed method demonstrates good classification performance and has the potential to be utilized as a decision-support system for pneumonia identification based on medical imaging.

Keywords: Pneumonia, *Chest X-ray*, GLRLM, LightGBM

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M. S. et al. (2023). Joint diagnosis of pneumonia, covid-19, and tuberculosis from chest x-ray images: A deep learning approach. *Diagnostics*, 13(15):2562.
- Al Nufaiei, Z. F. and Alshamrani, M. (2025). Comparing ultrasound, chest x-ray, and ct scan for detection of pneumonia: A review of diagnostic accuracy. *Medical Devices: Evidence and Research*, 18:143–157.
- Alexita, A. C. S., Kusumaningtyas, P., and Rofi'i, M. (2025). Optimasi algoritma random forest menggunakan pso untuk klasifikasi kanker payudara dengan citra mammograms. *Jurnal Teknik: Teknologi, Rekayasa, dan Sains*, 11(1):47–55.
- Amazon Web Services (2025). Tune a lightgbm model – amazon sagemaker developer guide. Technical report, Amazon Web Services. Accessed: 2025-11-03.
- Astiti, F. M. (2022). Deteksi citra x-ray covid-19 dengan menggunakan glrlm dan extreme learning machine (elm).
- Barakat, W. M., Soliman, M. A., and El-Bakry, H. M. (2023). A machine learning approach on chest x-rays for pediatric pneumonia detection. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 14(1):356–364.
- Basak, H., Kundu, R., Singh, P. K., Ijaz, M. F., Woźniak, M., and Sarkar, R. (2022). A union of deep learning and swarm-based optimization for 3d human action recognition. *Scientific Reports*, 12(1):5494.
- Beena Godbin, A. et al. (2024). Pediatric pneumonia detection in chest x-ray images: A deep feature analysis approach enhanced with lightgbm. *IEEE Access*, 12:10861642.
- Chandra, E. et al. (2022). Model matematika penyebaran penyakit pneumonia. *Jurnal Matematika Indonesia*, 18(1):63–72.

- Cilloniz, C. et al. (2024). Fighting pneumonia and antimicrobial resistance. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*.
- Clark, T. W. et al. (2023). Rapid multiplex polymerase chain reaction for respiratory virus detection significantly reduces clinical impact in pneumonia diagnosis. *Journal of Infection*, 39(4):971–982.
- Demirturk, D., Mintemur, ., and Arslan, A. (2025). Optimizing lightgbm and xgboost algorithms for estimating compressive strength in high-performance concrete. *Arabian Journal for Science and Engineering*, pages 1–23.
- Dheepak, G. and Vaishali, D. (2024). Brain tumor classification: A novel approach integrating glcm, lbp and composite features. *Frontiers in Oncology*, 13:1248452.
- Dijaya, R. (2023). *Buku Ajar Pengolahan Citra Digital*. UMSIDA Press, Sidoarjo, Jawa Timur. Lisensi Creative Commons Attribution (CC BY).
- Du Plessis, T. (2023). *Quantification of pulmonary tuberculosis characteristics from digital chest x-rays using radiomics*. PhD thesis, University of Pretoria (South Africa).
- Fachriyah, N. et al. (2025). Kasus pneumonia dengan riwayat tuberkulosis dan komorbiditas pada pasien dewasa di amerika serikat. *Syntax Literate Journal*, 10(2).
- Galloway, M. M. (1975). Texture analysis using gray level run lengths. *Computer Graphics and Image Processing*, 4(2):172–179.
- Gonzalez, R. C. et al. (2018). *Digital Image Processing*. Pearson, New York, 4 edition.
- Goswami, B., Bhuyan, M. K., Alfarhood, S., and Safran, M. (2024a). Classification of oral cancer into pre-cancerous stages from white light images using lightgbm algorithm. *IEEE Access*, 12:10445257.
- Goswami, B., Bhuyan, M. K., Alfarhood, S., and Safran, M. (2024b). Classification of oral cancer into pre-cancerous stages from white light images using lightgbm algorithm. *IEEE Access*, 12:31626–31639.

- Hoang, U. N., Mirmomen, S. M., Meirelles, O., Yao, J., Merino, M., Metwalli, A., Linehan, W. M., and Malayeri, A. A. (2021). Assessment of multiphasic contrast-enhanced MR textures in differentiating small renal mass subtypes. *Abdominal Radiology*, 44(11):3860–3871.
- Howroyd, F. et al. (2024). Ventilator-associated pneumonia: Pathobiological heterogeneity and diagnostic challenges. *Nature Communications*, 15:6447.
- Kurniawati, I., Akbar, R., Kusumawati, I. F., and Kusuma, Y. A. (2024). Identifikasi pneumonia pada balita melalui citra x-ray menggunakan metode convolutional neural network (cnn). *Journal of Manufacturing in Industrial Engineering and Technology (MINE-TECH)*, 3(1):10–18.
- Lahmer, T. et al. (2021). Invasive pulmonary aspergillosis in critically ill patients with severe covid-19 pneumonia: Results from the prospective aspcovid-19 study. *PLoS ONE*, 16(3):e0238825.
- Li, L., Lin, Y., Yu, D., Liu, Z., Gao, Y., and Qiao, J. (2021a). A multi-organ fusion and lightgbm based radiomics algorithm for high-risk esophageal varices prediction in cirrhotic patients. *IEEE Access*, 9:15041–15052.
- Li, X., Wang, S., and Tang, X. (2021b). Comparative evaluation of glcm and glrlm texture features for medical image classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 70:102091.
- Lokker, C., Abdelkader, W., Bagheri, E., Parrish, R., Cotoi, C., Navarro, T., and Iorio, A. (2024). Boosting efficiency in a clinical literature surveillance system with lightgbm. *PLOS Digital Health*, 3(9):e0000299.
- Mayo Clinic (2024). Pneumonia. Retrieved from <https://www.mayoclinic.org>.
- Moncada, D. C., Rueda, Z. V., Macías, A., Suárez, T., Ortega, H., and Vélez, L. A. (2011). Reading and interpretation of chest x-ray in adults with community-acquired pneumonia. *Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 15(6):540–546.
- Mu'jizah, F. (2022). Implementasi ekstraksi fitur glcm dengan klasifikasi pada citra ct scan dada. *Jurnal Ilmiah Polinema*, 9(4):356–367.

- Nguyen, A. D., Stamm, D. R., and Stankewicz, H. A. (2025). Pneumonia bakteri atipikal. Retrieved April 6, 2025.
- Novitasari, D. C. R., Ramadanti, A. N., and Haq, D. Z. (2024). Enhancing covid-19 diagnosis: Grlm texture analysis and kelm for lung x-ray classification. *Fountain of Informatics Journal*, 9(1):11–18.
- Ortiz-Toro, C., García-Pedrero, Lillo-Saavedra, M., and Gonzalo-Martín, C. (2022). Automatic detection of pneumonia in chest x-ray images using textural features. *Computers in Biology and Medicine*, 146:105466.
- Rachmadi, R. R., Sudarsono, A., and Santoso, T. B. (2021). Implementasi metode lightgbm untuk klasifikasi kondisi abnormal pada pengemudi sepeda motor berbasis sensor smartphone. *Jurnal Komputer Terapan*, 7(2):218–227.
- Rukundo, O., Schmidt, S. E., and Ramm, O. T. V. (2020). Software implementation of optimized bicubic interpolated scan conversion in echocardiography. *arXiv preprint arXiv:2005.11269*.
- Saputri, E., Endarti, D., and Andayani, T. M. (2020). Tingkat pengetahuan orang tua terhadap penyakit pneumonia dan imunisasi pneumococcal conjugate vaccine (pcv) di indonesia. *Jurnal Manajemen dan Pelayanan Farmasi (JMPPF)*, 10(2):156–166.
- Sattar, S. B. A., Nguyen, A. D., and Sharma, S. (2024). *Bacterial Pneumonia*. StatPearls Publishing, Treasure Island, FL, last update february 26 2024 edition.
- Sollmann, N., Rayudu, N. M., Lim, J. J. S., Dieckmeyer, M., Burian, E., Löffler, M. T., Kirschke, J. S., Baum, T., and Subburaj, K. (2021). Multi-detector computed tomography (mdct) imaging: Association of bone texture parameters with finite element analysis (fea)-based failure load of single vertebrae and functional spinal units. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 11(6):2706–2722.
- Stotts, C. et al. (2023). Pneumonia-induced inflammation, resolution and cardiovascular risk. *Circulation Research*.

- Syafei, R. M. et al. (2023). Machine learning model using extreme gradient boosting (xgboost) feature importance and light gradient boosting machine (lightgbm) to improve accurate prediction of bankruptcy. *Recursive Journal of Informatics*, 1(2):64–72.
- Tang, X., Zhang, Z., and Wang, S. (2020). Comparative study of texture features based on glcm and glrlm for medical image classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 62:102091.
- Thibault, G., Angulo, J., and Meyer, F. (2021). Texture indexes and gray level run length matrix: A comparative analysis in radiomics. *Medical Physics*, 48(9):4710–4723.
- Triwijoyo, B. K. and Adil, A. (2021). Analisis perubahan ukuran citra medis menggunakan algoritma interpolasi bikubik. *Jurnal Ilmu Komputer*, 14(2):-. *Jurnal Manajemen Perangkat Lunak*.
- Truong, J. and Ashurst, J. V. (2023). *Pneumocystis jirovecii pneumonia*. StatPearls Publishing, Treasure Island, FL.
- Wang, J., Gao, X., Zhang, S., and Zhang, Y. (2023). Machine-learning methods based on the texture and non-texture features of mri for the preoperative prediction of sentinel lymph node metastasis in breast cancer. *Translational Cancer Research*, 12(12):3471–3485.
- Wang, Y. and Wang, T. (2020). Application of improved lightgbm model in blood glucose prediction. *Applied Sciences*, 10(9):3227.
- Wibowo, A. (2021). Tingkat akurasi pemeriksaan ultrasonografi paru pada diagnosis pneumonia: Evidence-based case report. *Jurnal Respirasi Indonesia*, 41(2):141–146.
- Wibowo, H., Nurdiyanto, H., and Rahmawati, N. (2022). Feature extraction of lung x-ray images using glrlm and machine learning. In *Procedia Computer Science*, volume 197, pages 375–382.
- World Health Organization (2023). Pneumonia. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/pneumonia>. Accessed: 20 October 2025.