

Optimasi decision tree menggunakan particle swarm optimization untuk identifikasi penyakit mata berdasarkan analisis tekstur

Optimizing decision tree using particle swarm optimization to identify eye diseases based on texture analysis

Toni Arifin^{1*)}, Asti Herliana²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas BSI Bandung
Jl. Sekolah Internasional No. 1-2, Antapani, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40282

²⁾ Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas BSI Bandung
Jl. Sekolah Internasional No. 1-2, Antapani, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40282

Cara sitasi: T. Arifin and A. Herliana, "Optimasi decision tree menggunakan particle swarm optimization untuk identifikasi penyakit mata berdasarkan analisis tekstur," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8, no. 1, pp. 59-63, 2020. doi: [10.14710/jtsiskom.8.1.2020.59-63](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.8.1.2020.59-63), [Online].

Abstract - The problem of visual impairment is a serious problem with increasing cases, ranging from visual impairment to the cause of blindness. This study examines the development of an identification application for the classification of patients with eye disorders using the Decision Tree (DT) method, which is optimized using Particle Swarm Optimization (PSO). This study used 311 eye image data, consisting of 233 normal eye images and 78 eye images with glaucoma, cataracts, and uveitis. The feature extraction used Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM), while the feature optimization used the PSO and the learning method used DT. This optimized visual impairment classification application can improve system accuracy to 88.09 %.

Keywords – optimization; classification; eye diseases, decision tree; particle swarm optimization; GLCM

Abstrak - Masalah gangguan penglihatan merupakan masalah serius seiring peningkatan kasus gangguan penglihatan hingga menyebabkan kebutaan. Penelitian ini mengkaji pengembangan aplikasi identifikasi untuk klasifikasi penderita gangguan mata dengan menggunakan metode Decision Tree (DT) yang dioptimasi menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO). Kajian ini menggunakan 311 data citra mata, yang terdiri atas 233 citra mata normal dan 78 citra mata berpenyakit glaukoma, katarak, dan uveitis. Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) digunakan untuk ekstraksi fitur, sedangkan PSO digunakan untuk optimasi fitur dan DT sebagai metode pembelajarannya. Aplikasi klasifikasi gangguan penglihatan teroptimasi ini dapat meningkatkan akurasi sistem menjadi 88,09 %.

Kata Kunci – optimasi; klasifikasi; gangguan mata; decision tree; particle swarm optimization; GLCM

I. PENDAHULUAN

Penyakit mata merupakan salah satu penyakit yang menjadi perhatian khusus dari pemerintah Republik Indonesia, bahkan dari organisasi kesehatan dunia [1]. Lebih dari 285 juta penduduk di dunia mengalami gangguan penglihatan dimana 39 juta di antaranya mengalami kebutaan dan 124 juta mengalami *low vision*. Sebagian besar mengalami gangguan penglihatan disebabkan oleh kelainan refraksi yang tidak terkoreksi. Keterlambatan proses identifikasi dan penanganan dapat mengakibatkan kerusakan pada mata atau bahkan kebutaan [2]. Menurut data dari *American Academy of Ophthalmology*, penyakit yang paling sering mengakibatkan kebutaan adalah di antaranya *glaukoma*, katarak, dan *uveitis* [3].

Identifikasi penyakit mata dapat dilakukan dengan mengamati perubahan di sekitar mata. Proses pengamatan ini bisa dilakukan secara langsung dan dilakukan oleh seorang *ophthalmologist* [4]. Proses pengamatan dengan teknik lain juga bisa dilakukan, yaitu dengan teknik pengolahan citra. Teknik ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan dalam pengamatan, di antaranya dengan mengembangkan sistem identifikasi penyakit mata, untuk kategori *glaukoma* berdasarkan citra *fundus* seperti dalam [5], [6], dan kategori katarak berdasarkan citra mata seperti dalam [5]-[9]. Pada kategori *uveitis*, teknik pengolahan citra belum banyak diterapkan. Identifikasi untuk mengenali perbedaan kategori penyakit *glaukoma*, katarak, *uveitis*, dan mata normal masih perlu dilakukan.

Identifikasi penyakit mata ini dapat dilakukan dengan mengenali fitur tekstur [8]. Teknik ini melakukan ekstraksi fitur dengan baik, di antaranya dengan menggunakan *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) untuk menentukan matriks *co-occurrence* yang menunjukkan hubungan parsial antara level keabuan dalam citra tekstur seperti dalam [10]. Identifikasi menggunakan GLCM mempunyai akurasi yang memadai. Tiap objek mempunyai ciri yang bisa

^{*)} Penulis korespondensi (Toni Arifin)
Email: toni.tfn@bsi.ac.id

membedakan dengan objek lain, misalnya dalam identifikasi penyakit kulit [11], anemia [12], *hepatocellular carcinoma* [13], dan sel pap smear [14].

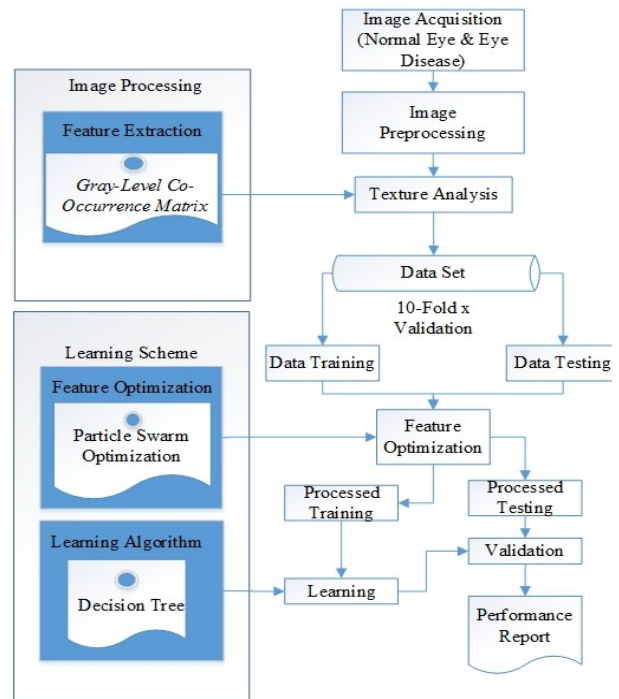
Salah satu metode klasifikasi yang populer adalah *decision tree* (DT). DT dapat memproses data multi dimensi dan memproses hasil data ekstraksi fitur dengan GLCM seperti dalam [14]-[16]. DT berguna untuk mengeksplorasi data yang sudah melewati tahap *preprocessing* dan menemukan model atau pola yang tersembunyi dari data. Metode DT menghasilkan akurasi lebih tinggi dari metode lain untuk data kelulusan mahasiswa [17], klasifikasi penyakit kulit [18], dan klasifikasi mahasiswa baru [19]. Hasil dari metode klasifikasi dapat ditingkatkan akurasinya dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) seperti dalam [20]. Secara umum, karakteristik metode ini mempunyai konsep sederhana, komputasi yang efisien, dan implementasi yang mudah [21].

Identifikasi citra mata untuk kategori normal, *glaukoma*, katarak, dan *uveitis* berdasarkan analisa tekstur teroptimasi belum banyak yang mengkaji. Penelitian ini bertujuan melakukan penerapan metode GLCM untuk ekstraksi fitur, dan metode klasifikasi *decision tree* yang dioptimasi dengan metode PSO untuk meningkatkan akurasi identifikasi penyakit mata. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk membantu para ahli *ophthalmologist* dalam mendeteksi gangguan penglihatan sejak dini dengan lebih baik lagi.

II. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian secara detail ditunjukkan dalam kerangka penelitian pada Gambar 1. Tahapan pertama pada penelitian ini adalah *image acquisition* untuk mengumpulkan data awal yang diproses. Data ini berupa citra dan termasuk ke dalam data publik. Jumlah data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 311 citra, yaitu terdiri dari mata normal 233 citra yang diperoleh dari *Center For Biometrics and Security Research* [22], dan mata berpenyakit sebanyak 78 citra yang terdiri dari 28 citra *glaukoma*, 28 citra katarak, dan 22 citra *uveitis*. Data mata berpenyakit didapat dari *Eye Health Center* [23]. Jumlah data lebih detail data disajikan dalam Tabel 1. Data citra mata yang digunakan dalam penelitian ini bisa diunduh dalam lampiran dataset.

Tahap kedua adalah *image processing* (Gambar 1). Tahapan pengolahan data awal dilakukan agar citra yang sudah dipilih dapat diolah dengan baik. Tahap ini merubah citra RGB ke *grayscale*, yaitu mengubah citra RGB menjadi skala abu-abu dengan menghilangkan informasi *hue* dan *saturation* [24]. Proses selanjutnya adalah perbaikan kualitas citra menggunakan teknik *contrast limited adaptive histogram equalization* (CLAHE) seperti [25]. Setelah citra diperbaiki, proses *top hat* dan *bottom hat filtering* dilakukan untuk menghilangkan pencahayaan yang berlebih dan pencahayaan yang tidak merata pada citra. Proses *range filtering* dilakukan untuk menampilkan tekstur citra, termasuk tekstur yang primitif atau sulit dikenali,



Gambar 1. Kerangka penelitian

Tabel 1. Dataset yang digunakan

No	Kategori	Data Latih	Data Uji	Jumlah
1	Normal	187	46	233
2	Glaukoma	22	6	28
3	Katarak	22	6	28
4	Uveitis	18	4	22
	Total	249	62	311

sehingga memudahkan dalam penarikan informasi atau *feature extraction* [24].

Proses ekstraksi fitur bertujuan untuk menampilkan informasi mengenai tekstur dalam citra. Proses ini menggunakan metode GLCM dengan 4 arah derajat keabuan yaitu 0 derajat, 45 derajat, 90 derajat dan 135 derajat seperti dalam [26], [27]. Metode ini digunakan untuk tujuan klasifikasi. Tahapan ini menghasilkan dataset mata normal dan dataset penyakit mata dengan kategori *glaukoma*, katarak, dan *uveitis*. Tahapan metode GLCM dinyatakan dalam Algoritme 1.

Tahap pembagian data (Gambar 1) menggunakan 10 *fold cross-validation*. Teknik ini digunakan untuk membagi data pengujian dan data pelatihan secara otomatis. Penelitian ini menggunakan 249 data latih yang diperoleh dari 80% dari data total, dan 62 data uji yang diperoleh dari 20% dari data total.

PSO pada tahap *learning scheme* merupakan tahapan optimasi data atau fitur untuk setiap data yang dihasilkan [28]. Tahapan dari metode PSO dinyatakan dalam Algoritme 2. Metode DT digunakan untuk mencari pola klasifikasi dari dataset hasil dari GLCM seperti dalam [29]. Pola yang dihasilkan diimplementasikan ke dalam program identifikasi penyakit mata. Tahapan metode DT dinyatakan dalam Algoritme 3.

Algoritme 1. Gray level co-occurrence matrix

1: Menghitung nilai *Contrast*

$$C(k, n) = \sum_i \sum_j (i-j)^k P_d[i, j]^n$$

2: Menghitung nilai *Correlation*

$$C_c = \frac{\sum_i \sum_j [ijP_d[i, j]] - \mu_i \mu_j}{\sigma_i \sigma_j}$$

3: Menghitung nilai *Energy*

$$L_e = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |C(i, j)|$$

4: Menghitung nilai *Homogeneity*

$$C_h = \sum_i \sum_j \frac{P_d[i, j]}{1+|i-j|}$$

5: Menghitung nilai *Entropy*

$$C_e = - \sum_i \sum_j P_d[i, j] \ln P_d[i, j]$$

Tahap validasi menggunakan *confusion matrix* dan bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi keseluruhan dari sistem yang dirancang. Akurasi sistem dinyatakan dalam Persamaan 1. Parameter *TP* menyatakan nilai prediksi benar dan nilai sebenarnya benar, *FN* nilai prediksi salah dan nilai sebenarnya benar, *TP* nilai prediksi benar dan nilai sebenarnya salah, dan *TN* nilai prediksi salah dan nilai sebenarnya salah.

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari GLCM dan PSO pada penelitian ini berupa data teksur dan nilai bobot dari setiap atribut yang digunakan dalam tahapan klasifikasi. Nama-nama atribut hasil dari metode GLCM dan nilai bobot dari hasil dari metode PSO yang dinyatakan dalam [Tabel 2](#). [Gambar 2](#) menunjukkan hasil dari metode DT yang menunjukkan deskripsi struktural untuk dataset mata yang diimplementasikan ke dalam aplikasi program.

[Gambar 3](#) menunjukkan implementasi dari *rule* klasifikasi DT. Program yang digunakan dalam pembuatan aplikasi ini adalah Matlab 2013a. Dalam aplikasi terdapat menu pilih citra. Format citra yang digunakan adalah JPG, JPEG, dan BMP. Setelah citra dipilih, maka citra asli muncul di bagian proses citra beserta informasi detail mengenai citra tersebut, mulai dari ukuran, direktori, dan histogram RGB. Bagian citra hasil menampilkan hasil dari tahapan *image preprocessing*, di antaranya adalah *grayscale*, *adjust*, *ahist*, *imadjust*, *range*, dan menampilkan histogram. Analisis tekstur dengan menggunakan metode GLCM dan nilai hasilnya ditampilkan di program.

Tahapan berikutnya yaitu klasifikasi. Tahapan ini dilakukan setelah analisa tekstur. Nilai hasil GLCM diklasifikasikan dengan metode DT yang dioptimasi dengan menggunakan metode PSO.

Algoritme 2. Particle swarm optimization

1: Asumsi bahwa ukuran kelompok atau kawanan (jumlah partikel) adalah *N*.2: Membangkitkan populasi awal *X* dengan rentang *X(B)* dan *X(A)* secara random sehingga didapat *X1, X2, ..., XN*. Setelah itu, partikel *j* dan kecepatannya pada iterasi *i* dinotasikan sebagai *X(i)j* dan *V(i)j* sehingga partikel-partikel awal ini menjadi *X1(0), X2(0), ..., XN(0)*.3: Menghitung kecepatan dari semua partikel. Mengeset iterasi *i = 1*.4: Pada iterasi ke-*i*, menemukan 2 parameter penting untuk setiap partikel *j*.5: Menghitung kecepatan partikel *j* pada iterasi ke *i*
$$v_i, m = w \cdot v_i + c_1 * R * (pbest_i, m - x_i, m) + c_2 * R * (gbest_m - x_i, m)$$
6: Menghitung posisi atau koordinat partikel *j* pada iterasi ke-*i* dengan cara
$$xid = x_i, m + v_i, m$$

Algoritme 3. Decision tree

1: Menentukan atribut, diambil dari dataset mata hasil ekstraksi fitur dengan GLCM

2: Menentukan atribut yang terpilih lebih dahulu dengan menghitung nilai entropi

$$entropi(y) = \sum_{i=1} -p_i * \log_2 p_i$$

3: Menghitung nilai *information gain* terbesar4: Menghitung *information gain* dari output *y* data yang dikelompokkan berdasarkan atribut *A*, *Gain(y, A)*

$$Gain(y, A) = Entropi(y) - \frac{y_c}{y} Entropi(y_c)$$

5: Mengulangi langkah ke-2 hingga semua atribut terpecah

Tabel 2. Atribut GLCM dan nilai bobotnya

No	Atribut	Bobot	No	Atribut	Bobot
1	<i>Entropy</i>	1	11	<i>Energy 45</i>	1
2	<i>Contrast 0</i>	1	12	<i>Energy 90</i>	0
3	<i>Contrast 45</i>	0,549	13	<i>Energy 135</i>	0,793
4	<i>Contrast 90</i>	1	14	<i>Homogeneity 0</i>	0
5	<i>Contrast 135</i>	0,932	15	<i>Homogeneity 45</i>	0,426
6	<i>Correlation 0</i>	1	16	<i>Homogeneity 90</i>	1
7	<i>Correlation 45</i>	1	17	<i>Homogeneity 135</i>	1
8	<i>Correlation 90</i>	0,991	18	<i>Deviation</i>	0,126
9	<i>Correlation 135</i>	1	19	<i>Brightness</i>	0,203
10	<i>Energy 0</i>	0,692			

Hasil pengujian aplikasi program dengan menggunakan dataset dalam [Tabel 1](#) dinyatakan dalam [Tabel 3](#). Hasil ini menunjukkan bahwa metode GLCM dapat menghasilkan hasil akhir yang memadai dan meminimalkan kesalahan dalam identifikasi seperti pada identifikasi penyakit kulit [11], anemia [12], *hepatocellular carcinoma* [13], dan sel pap smear [14]. Hasil nilai tekstur GLCM yang diimplementasikan dengan metode klasifikasi DT yang dioptimasi dengan PSO dapat menghasilkan akurasi yang lebih tinggi dari pada [8]-[14] yaitu sebesar 88,09 %. Hal ini disebabkan karena PSO dapat meningkatkan bobot atribut sehingga

Tabel 3. Matriks konfusi dari pengujian sistem

Prediksi	Kondisi Aktual	Presisi (%)			
		Normal	Glaukoma	Katarak	Uveitis
Normal	231	1	2	1	98,3
Glaukoma	1	18	1	0	90
Katarak	0	7	15	10	46,88
Uveitis	1	3	10	10	41,67
Recall (%)		99,14	62,07	53,57	47,62

akurasi yang dihasilkan dari suatu algoritma klasifikasi dapat lebih tinggi, yang sesuai dengan [17]-[21].

IV. KESIMPULAN

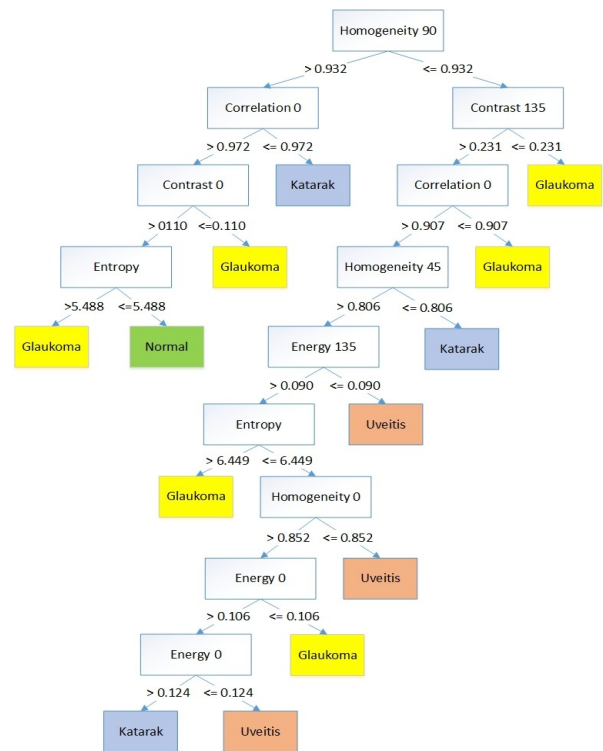
Hasil ekstraksi fitur citra mata dengan menggunakan metode GLCM dan klasifikasi DT yang dioptimasi PSO dapat diimplementasikan ke dalam program aplikasi deteksi penyakit mata dan menghasilkan nilai akurasi sistem yang lebih baik, yaitu sebesar 88,09 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

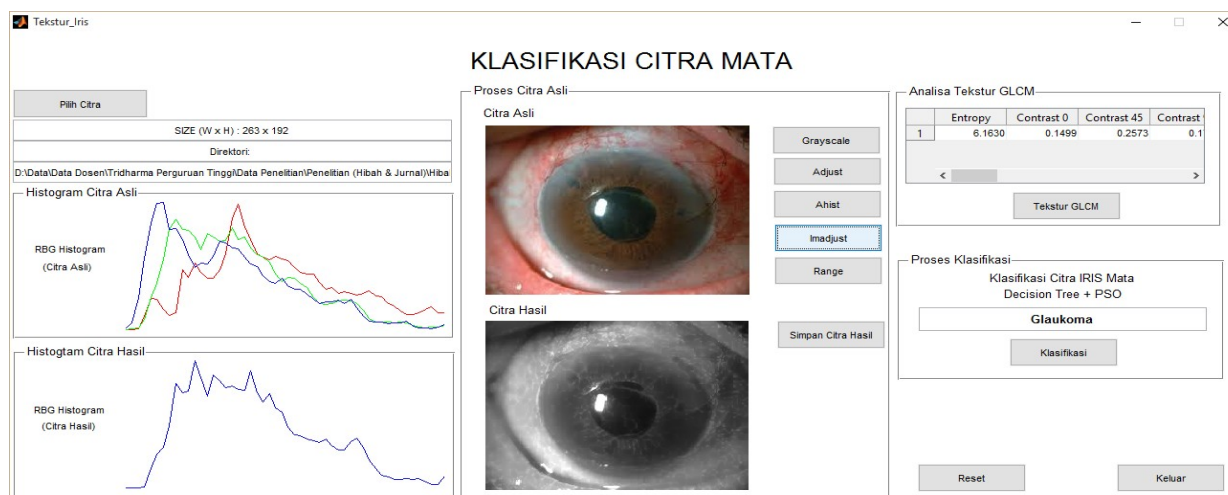
Terima kasih diberikan kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia untuk pendanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] WHO, "Priority eye diseases," 2019. [Online]. Available: <https://www.who.int/blindness/causes/priority/en/index1.html>. [Accessed: 11 Aug 2019].
- [2] S. Siswoyo, L. A. Susuma, and S. Rahayu, "Hubungan tingkat pengetahuan dengan upaya pencegahan penyakit glaukoma pada klien berisiko di wilayah kerja puskesmas Jenggawah kabupaten Jember," *Pustaka Kesehatan*, vol. 6, no. 2, pp. 286-291, 2018.
- [3] American Academy of Ophthalmology, "Eye disease," 2019. [Online]. Available: <http://www.aao-igh.com/>. [Accessed: 11 Aug 2019].
- [4] I. W. B. Sentana and A. E. Wardani, "Pengolahan citra untuk klasifikasi penyakit katarak," *Semnasteknomedia Online*, vol. 3, no. 1, pp. 6-8, 2015.
- [5] E. P. Purwandari, R. U. Hasibuan, and D. Andreswari, "Identifikasi jenis bambu berdasarkan tekstur daun dengan metode gray level co-occurrence matrix dan gray level run length matrix," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 6, no. 4, pp. 146-151, 2018. doi: [10.14710/jtsiskom.6.4.2018.146-151](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.6.4.2018.146-151)
- [6] A. Kadir and A. Susanto, *Teori dan aplikasi pengolahan citra digital*. Yogyakarta: Andi, 2013.



Gambar 2. Deskripsi struktural dataset mata menggunakan DT



Gambar 3. Implementasi aplikasi identifikasi penyakit mata

- [7] S. Anwar and U. Sudibyo, "Implementasi metode jaringan syaraf tiruan backpropagation untuk prediksi penyakit glaukoma di kota Pati," *Skripsi*, Universitas Dian Nuswantoro, Indonesia, 2017.
- [8] D. S. Tobias and A. R. Widiarti, "Deteksi glaukoma pada citra fundus retina dengan metode k-nearest neighbor," in *Seminar Nasional Ilmu Komputer (SNIK 2016)*, Semarang, Indonesia, Oct. 2016, pp. 92–99.
- [9] R. Z. I. Ramli, R. D. Atmaja, and I. Widjayanto, "Deteksi dan klasifikasi stadium katarak senilis berdasarkan citra mata menggunakan metode support vector machine (SVM)," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 2023–2030, 2018.
- [10] A. Halim, H. Hardy, and M. Mytosin, "Aplikasi image retrieval dengan histogram warna dan multi-scale GLCM," *Jurnal SIFO Mikroskil*, vol. 16, no. 1, pp. 41-51, 2015.
- [11] S. R. Listyanto, "Implementasi k-nearest neighbor untuk mengenali pola citra dalam mendeteksi penyakit kulit," *Skripsi*, Universitas Dian Nuswantoro, Indonesia, 2018.
- [12] S. Yastika, "Identifikasi penyakit anemia defisiensi besi berdasarkan kelainan sel darah merah menggunakan metode probabilistic neural network," *Skripsi*, Universitas Dian Nuswantoro, Indonesia, 2018.
- [13] N. Saragih, "Identifikasi penyakit hepatocellular carcinoma (HCC) pada citra ct-scan menggunakan probabilistic neural network," *Skripsi*, Universitas Sumatera Utara, Indonesia, 2018.
- [14] T. Arifin, D. Riana, and G. I. Hapsari, "Klasifikasi statistik tekstur sel pap smear dengan decision tree," *Jurnal Informatika*, vol. 1, no. 1, pp. 1-7, 2014. doi: [10.31311/ji.v1i1.180](https://doi.org/10.31311/ji.v1i1.180)
- [15] S. Supangat, A. R. Amna, and T. Rahmawati, "Implementasi decision tree C4.5 untuk menentukan status berat badan dan kebutuhan energi pada anak usia 7-12 tahun," *Teknika*, vol. 7, no. 2, pp. 5-10, 2018. doi: [10.34148/teknika.v7i2.90](https://doi.org/10.34148/teknika.v7i2.90)
- [16] T. Hidayatulloh, A. Herliana, and T. Arifin, "Klasifikasi Sel tunggal pap smear berdasarkan analisis fitur berbasis Naive Bayes classifier dan particle swarm optimization," *Swabumi*, vol. 4, no. 2, pp. 186-193, 2016.
- [17] S. A. Zega, "Penggunaan pohon keputusan untuk klasifikasi tingkat kualitas mahasiswa berdasarkan jalur masuk kuliah," in *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*, Yogyakarta, Indonesia, Jun. 2014, pp. 7-13.
- [18] A. Hermawan, A. R. Sukma, and R. Halfis, "Analisis algoritma klasifikasi C4.5 untuk memprediksi keberhasilan immunotherapy pada penyakit kutil," *Jurnal Teknik Komputer*, vol. 5, no. 2, pp. 155-160, 2019. doi: [10.31294/jtk.v5i2.4851](https://doi.org/10.31294/jtk.v5i2.4851)
- [19] N. Yahya and A. Jananto, "Komparasi kinerja algoritma C4.5 dan Naive Bayes untuk prediksi kegiatan penerimaan mahasiswa baru (studi kasus : Universitas Stikubank Semarang)," in *Seminar Nasional Multi Disiplin 2019*, Semarang, Indonesia, Jul. 2019, pp. 221-228.
- [20] A. Herliana, T. Arifin, S. Susanti, and A. B. Hikmah, "Feature selection of diabetic retinopathy disease using particle swarm optimization and neural network," in *6th International Conference on Cyber and IT Service Management*, Parapat, Indonesia, Aug. 2018, pp. 1-4. doi: [10.1109/CITSM.2018.8674295](https://doi.org/10.1109/CITSM.2018.8674295)
- [21] T. Arifin and A. Herliana, "Optimasi metode klasifikasi dengan menggunakan particle swarm optimization untuk identifikasi penyakit diabetes retinopathy," *Khazanah Informatika*, vol. 4, no. 2, pp. 77-81, 2018. doi: [10.23917/khif.v4i2.6825](https://doi.org/10.23917/khif.v4i2.6825)
- [22] Center For Biometrics and Security Research, "CASIA iris image databases," 2005. [Online]. Available: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/english/IrisDatabase.asp>. [Accessed: 10-Jan-2019].
- [23] WebMD, "Eye health center," 2019. [Online]. Available: <https://www.webmd.com/eye-health/>.
- [24] R. C. Gonzalez, S. L. Eddins, and R. E. Woods, *Digital image processing using Matlab*. McGraw Hill Education, 2016.
- [25] R. Scherer, *Computer vision methods for fast image classification and retrieval (studies in computational intelligence book 821)*. Springer, 2019.
- [26] T. Arifin, "Metode data mining untuk klasifikasi data sel nukleus dan sel radang berdasarkan analisa tekstur," *Jurnal Informatika*, vol. 2, no. 2, pp. 425-433, 2015.
- [27] T. Arifin, "Klasifikasi inti sel pap smear berdasarkan analisis tekstur menggunakan correlation-based feature selection berbasis algoritma C4.5," *Jurnal Informatika*, vol. 1, no. 2, pp. 123-129, 2014.
- [28] Y. Zhang, S. Wang, P. Phillips, and G. Ji, "Binary PSO with mutation operator for feature selection using decision tree applied to spam detection," *Knowledge-Based System*, vol. 64, pp. 22-31, 2014. doi: [10.1016/j.knosys.2014.03.015](https://doi.org/10.1016/j.knosys.2014.03.015)
- [29] M. Hall, I. H. Witten, E. Frank, and C. J. Pal, *Data mining practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann, 2016.