



Perbandingan Algoritma Pembelajaran Mesin untuk Klasifikasi Warna Kulit Berdasarkan Warna Piksel Citra

Muhammad Ali Ridla

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ibrahimy, Indonesia

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima : **22-04-2022**

Direvisi : **17-05-2022**

Disetujui : **18-05-2022**

Kata Kunci:

Deteksi warna kulit,

Klasifikasi,

Pembelajaran Mesin.

ABSTRAK

Klasifikasi warna citra digital untuk mendeteksi warna kulit atau bukan kulit merupakan hal yang sangat penting dalam dunia Computer Vision. Hal ini sangat membantu berbagai aplikasi dalam kehidupan nyata, seperti aplikasi deteksi wajah, gerakan tangan, sistem keamanan, deteksi penyakit kulit, pemblokiran konten dewasa, dan lain sebagainya. Warna merupakan komponen yang paling utama dalam hal mendeteksi warna kulit pada citra, oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan eksperimen klasifikasi warna kulit pada piksel sebuah citra menggunakan ruang warna yang berbeda-beda diantaranya, RGB, HSV, YCbCr, dan SCgCr dengan memanfaatkan algoritma pembelajaran mesin, yaitu KNN, Naive Bayes, dan Random Forest. Pada penelitian ini, data yang digunakan merupakan data public Skin Segmented yang bersumber dari UCI dengan ruang warna RGB dan transformasi ke ruang warna lainnya, hasil klasifikasi yang dilakukan ternyata menghasilkan performa yang sangat baik, untuk algoritma KNN dan Random Forest selalu mendapatkan tingkat akurasi di atas 95% di semua ruang warna tersebut.

Keywords:

Skin color detection,

Classification,

Machine Learning.

ABSTRACT

Digital image color classification to detect skin color or non-skin color is very important in the world of Computer Vision. This is very helpful for various applications in real life, such as face detection applications, hand gestures, security systems, skin disease detection, adult content blocking, and so on. Color is the most important component in detecting skin color in an image, therefore this research will conduct experiments on skin color classification on the pixels of an image using different color spaces including RGB, HSV, YCbCr, and SCgCr by utilizing a learning algorithm. machines, namely KNN, Naive Bayes, and Random Forest. In this study, the data used is public Skin Segmented data sourced from UCI with RGB color space and transformation to other color spaces, the results of the classification performed turn out to be very good performance, for KNN and Random Forest algorithms always get the above level of accuracy. 95% in all of these color spaces.

Penulis Korespondensi:

Muhammad Ali Ridla,
Program Studi Sistem Informasi,
Universitas Ibrahimy
Email: el.riedla@gmail.com

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



1. PENDAHULUAN

Klasifikasi warna pada sebuah piksel citra merupakan hal yang sangat umum dan penting dalam dunia image processing. Seperti klasifikasi data warna untuk mendeteksi warna kulit atau bukan kulit merupakan hal yang paling critical dalam mengenali objek manusia. Deteksi warna kulit sering kali digunakan dalam aplikasi yang berkaitan dengan computer vision seperti untuk mendeteksi wajah, gerakan tangan, sistem keamanan, deteksi penyakit kulit, pemblokiran konten dewasa, dan lain-lain [1].

Sudah banyak penelitian yang membahas topik ini, sejauh ini secara garis besar teknik yang dipakai untuk mendeteksi objek kulit atau tidak menggunakan dua teknik, yaitu berdasarkan tekstur citra dan warna citra. Namun setelah dibandingkan, para peneliti lebih sering menggunakan teknik berdasarkan warna citra untuk topik deteksi objek kulit pada citra. Deteksi kulit berdasarkan warna citra utamanya fokus pada warna setiap piksel citra satu per satu apakah menampung warna kulit atau tidak.

Warna merupakan komponen utama dalam mendeteksi warna kulit pada citra. Citra digital memiliki banyak jenis ruang warna, di antaranya: Ruang warna dasar (RGB, Normalized RGB), Ruang warna perseptual (HSI, HSV, HSL, TSL), Ruang Warna Ortogonal (YCbCr, YIQ, YUV, YES), Ruang warna selaras secara perseptual (CIE-Lab, CIE-XYZ and CIE-Luv), dan Ruang warna dengan rasio lainnya (IUV), mixture spaces [2].

Dari banyak jenis ruang warna pada citra digital tersebut, yang paling terkenal dan sering digunakan untuk mendeteksi objek kulit berdasarkan warna adalah ruang warna RGB, HSV, dan YCbCr.. Beberapa penelitian juga menggunakan kombinasi ruang warna untuk melakukan klasifikasi warna kulit. Seperti penelitian yang dilakukan oleh yang mengkombinasikan warna HSV dan YCgCr yang merupakan bentuk variasi lainnya dari ruang warna YCbCr. Atribut yang dipilih dari kombinasi ini yaitu S (HSV), Cg, & Cr (YCgCr). Kombinasi warna tersebut juga dinyatakan sebagai kombinasi ruang warna yang bagus sebagai atribut dalam mendeteksi warna kulit pada citra [3].

Klasifikasi warna kulit pada piksel citra pada penelitian ini menggunakan atribut tiga ruang warna citra RGB, HSV, dan YCbCr dan satu kombinasi ruang warna SCgCr dari HSV dan YCgCr untuk dilakukan komparasi. Sedangkan metode klasifikasinya menggunakan beberapa metode pembelajaran mesin (machine learning), yaitu KNN, Random Forest, dan Naïve Bayes yang nantinya akan dilakukan komparasi.

Proses klasifikasi ini akan menggunakan dataset UCI Skin Segmentation yang berisi data piksel warna citra RGB berjumlah 245.057 dan sudah dilabeli warna kulit atau bukan warna kulit.

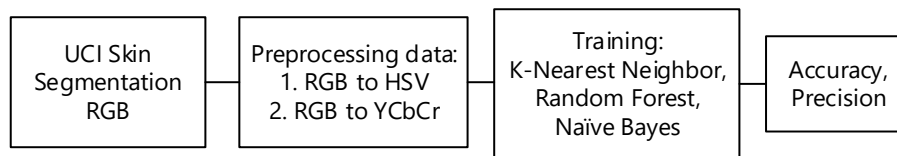
Beberapa peneliti telah melakukan penelitian terkait klasifikasi warna untuk mendeteksi warna kulit atau bukan warna kulit dengan atribut ruang warna dan metode klasifikasi yang berbeda-beda. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Francisco A. Pujol et al, mendeteksi wajah berdasarkan warna segmentasi kulit menggunakan metode Fuzzy Entropy. Atribut ruang warna yang digunakan untuk proses klasifikasinya adalah tiga ruang warna RGB, HSV dan YCbCr. Dataset yang digunakan merupakan 200 data citra wajah dari tiga database berbeda (The XM2VTS, The VALID, The Color FERET) dengan variasi ras wajah Kaukasia, Asia dan Afrika. Hasil akurasi yang didapatkan menggunakan Fuzzy Entropy ini sangat bagus yaitu berkisar 94% dan 96% dari tiga ruang warna yang berbeda-beda [4].

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Siddharth Roheda yang juga melakukan pendeteksian wajah berdasarkan hasil klasifikasi piksel citra warna kulit atau bukan kulit dengan membandingkan tiga algoritma sekaligus yaitu SVM, Bayesian, dan KNN. Atribut yang digunakan menggunakan ruang warna HSV. Dataset yang digunakan adalah ColorFERET yang berisi 14.051 citra wajah dari 1.208 orang. Akurasi yang diperoleh dari tiga metode tersebut adalah 92,6% (SVM), 92,9% (KNN), 86,8% (Bayesian) [5].

Deteksi warna kulit juga dilakukan oleh Hani K. Al-Mohair, Junita Mohamad-Saleh, Shahrel Azmin Suandi (2014) berdasarkan warna piksel citra menggunakan Neural Network untuk klasifikasinya. Penelitian ini lebih fokus pada komparasi ruang warna yang digunakan, ada lima ruang warna yang digunakan sebagai atribut klasifikasi warna kulit yaitu, RGB, YCbCr, YIQ, YDbDr, dan CIE l^*a^*b . Dataset yang digunakan bersumber dari dua dataset publik yaitu CUE dengan total 100 citra wajah dan dataset COMPAC dengan 800 citra wajah dengan berbagai variasi ras. Komparasi dari klasifikasi menggunakan Neural Network ini pada lima ruang warna yang berbeda, ternyata yang menghasilkan akurasi tertinggi adalah ruang warna YIQ pada dua dataset tersebut, yaitu CUE (92,18%) dan COMPAC (89,22%) [6].

Ayad R. Abbas, Ayat O. Farooq (2018) juga melakukan komparasi tiga ruang warna yang berbeda RGB, HSV, dan YCbCr untuk mengklasifikasi warna kulit pada piksel citra dengan menggunakan database UCI Skin Segmentation. Metode klasifikasi yang digunakannya adalah metode Bayesian Rough Decision Tree (BRDT). Hasil akurasi yang didapatkan dari komparasi tiga ruang warna RGB, HSV, dan YCbCr adalah 98%, 97%, 97%. Juga menggunakan dataset yang sama, yaitu UCI Skin Segmented, Mayank Arya Chandra, SS Bedi (2018) juga melakukan klasifikasi warna kulit atau bukan kulit dengan satu ruang warna saja yaitu RGB menggunakan algoritma Linear Norm Fuzzy Based Twin Support Vector Machine (LN-FTSVM) yang berhasil mendapatkan nilai akurasi sebesar 94,24% [7].

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Metode Penelitian

Gambar tersebut menunjukkan bahwa metode yang digunakan untuk mendeteksi piksel warna kulit atau bukan warna kulit dimulai dari input UCI Skin Segmentation dengan ruang warna RGB yang kemudian ditransformasikan menjadi HSV dan YCbCr. Langkah selanjutnya adalah mengklasifikasikan algoritma KNN, Random Forest dan Naïve Bayes untuk mendeteksi piksel warna kulit atau bukan warna kulit.

2.1. Ruang Warna/Color Space

Ruang Warna (*color space*) adalah representasi matematis (angka) dari informasi sebuah warna pada citra digital. Ruang warna adalah model matematika untuk mewakili dan memvisualisasikan warna sebagai rangkaian angka, biasanya tiga atau empat nilai komponen warna (atau channel) yang dapat dikombinasikan bersama untuk merepresentasikan warna tertentu.

Pada penelitian ini akan menggunakan tiga ruang warna, yaitu, RGB, HSV dan YCbCr sebagai atribut klasifikasi untuk mendeteksi piksel warna kulit atau bukan warna kulit.

2.1.1. RGB Color Space

Ruang warna RGB memiliki warna yang direpresentasikan dari gabungan 3 komponen utamanya: Red (R), Green (G), dan Blue (B). Warna-warna RGB didefinisikan oleh hasil perpaduan tiga warna utamanya R,G,B tersebut. Tiga warna utama ini masing-masing memiliki rentang angka 0-255. Ujung angka setiap warna utama tersebut adalah sebagai berikut: Red (255,0,0), Green (0,255,0), Blue (0,0,255). Sedangkan (0,0,0) merupakan warna hitam, dan sebagai kebalikannya (255,255,255) adalah warna putih [8].

2.1.2. HSV Color Spaces

HSV (Hue, Saturation, Value) merupakan ruang warna yang bersifat perseptual yang sebagian besar mengekspresikan kombinasi non-linear dari warna RGB. Hue merujuk pada sifat warna yang divariasikan dari merah ke hijau, Saturation adalah sifat warna yang divariasikan dari merah ke pink, Value (Intensitas atau Kecerahan) merupakan sifat yang divariasikan dari warna hitam ke putih. Transformasi ruang warna RGB ke HSV dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut [9].

$$H = \begin{cases} \left(\frac{G' - B'}{Max - Min} \right) / 6, & \text{if } R' = Max \\ \left(2 + \frac{B' - R'}{Max - Min} \right) / 6, & \text{if } G' = Max \\ \left(4 + \frac{R' - G'}{Max - Min} \right) / 6, & \text{if } B' = Max \end{cases}$$

$$S = \frac{Max - Min}{Max}$$

$$V = Max$$

(1)

Dimana Max dan Min merepresentasikan angka maksimal dari tiap-tiap R_G_B. $R' = R/255$; $G' = G/255$; $B' = B/255$.

2.1.3. YCbCr Color Spaces

YCbCr merupakan ruang warna orthogonal yang warnanya direpresentasikan dengan komponen independent secara statistic. YCbCr memiliki komponen luminance dan chrominance terpisah secara eksplisit, oleh karenanya jenis ruang warna orthogonal seperti ini yang sering menjadi pilihan favorit untuk deteksi warna kulit.

Ruang warna YCbCr umumnya digunakan untuk sistem video dan digital fotografi. Pada ruang warna ini komponen luminance berhubungan dengan kecerahan (brightness) yang merupakan satu komponen independent, ditandai dengan (Y), sedangkan komponen chrominance direpresentasikan oleh dua komponen yaitu Cb dan Cr. Adapun persamaan untuk melakukan konversi ruang warna RGB to YCbCr adalah sebagai berikut [9]:

$$\begin{aligned} Y &= 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B \\ C_r &= R - Y \\ C_b &= B - Y \end{aligned} \quad (2)$$

2.2. Algoritma Pembelajaran Mesin

Algoritma pembelajaran mesin dewasa ini diketahui sebagai suatu teknik yang tepat untuk mengatasi masalah klasifikasi. Teknik pembelajaran sudah sangat umum dan sering diaplikasikan untuk menyelesaikan masalah klasifikasi data yang rumit dan banyak. Sesuai dengan namanya, metode pembelajaran mesin bekerja dengan mempelajari data-data yang sudah ada (lampau) atau yang biasa disebut dengan data latih untuk memprediksi data baru atau data uji. Pada bagian ini akan dipaparkan secara singkat algoritma pembelajaran mesin yang akan digunakan sebagai classifier untuk klasifikasi warna kulit pada piksel citra pada penelitian ini.

2.2.1. K-Nearest Neighbor (KNN)

K-Nearest Neighbor (KNN) adalah teknik klasifikasi yang termasuk dalam pembelajaran malas (*lazy learning*). KNN merupakan algoritma pembelajaran terawasi (*supervised*) bekerja dengan cara mengklasifikasi data baru berdasarkan berdasarkan mayoritas (*majority*) kedekatan jarak dari kategori yang ada dalam K-NN. Jarak minimal antara data uji dan data latih dihitung untuk menentukan kategori KNN. Prediksi KNN pada data uji ditentukan berdasarkan voting mayoritas pada kategori tetangga dengan jarak terdekat [10].

Pada penelitian ini, setiap jarak terdekat dari data pixel dengan atribut yang berbeda sesuai dengan ruang warnanya (RGB, HSV & YCbCr) yang diuji ke data latih akan dihitung guna menetapkan kategori tetangga K terdekat terhadap data yang sudah dilatih. Euclidean Distance akan digunakan sebagai ukuran dekat atau tidaknya setiap data yang dilatih dengan data uji. Persamaan Euclidean Distance dapat didefinisikan secara berikut:

$$d(p, q) = d(q, p) = \sqrt{(q_1 - p_1)^2 + \dots + (q_n - p_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2} \quad (3)$$

2.2.2. Random Forest

Algoritma Random Forest adalah sebuah ensemble classifier yang menggunakan CARTs untuk melakukan prediksi. Algoritma Random Forest adalah salah satu algoritma/metode dalam metode Decision Tree. Algoritma random forest adalah perpaduan dari masing – masing pohon-pohon keputusan yang kemudian dipadukan pada satu model. Setiap pohon keputusan di Random Forest melakukan prediksi kelas atau kategori dan kelas dengan jumlah vote terbanyak akan menjadi model hasil prediksinya.

Salah satu alasan bahwa algoritma Random Forest dapat bekerja dengan baik adalah, Sejumlah besar model (trees) yang relatif tidak berkorelasi namun beroperasi sebagai komite akan mengungguli salah satu model konstituen secara individu. [11]

2.2.3. Naïve Bayes

Naïve Bayes Classifier adalah teknik probabilitas yang menggunakan aturan teorema Bayes yang memiliki asumsi indenpdensi yang sangat kuat (naif) pada fitur-fitur yang sedang diklasifikasi. Salah satu keuntungan

algoritma Naïve Bayes Classifier ini adalah dia dapat diaplikasikan dengan data latih yang sedikit untuk menghitung suatu prediksi. Sebagai contoh, ambil saja data piksel sebagai d dengan kelas c kulit dan non kulit, jadi probabilitas nya d di antara semua kelas dapat dituliskan $P(d|c)$. Berdasarkan terorema Bayes, persamaannya dapat dituliskan seperti berikut [12]:

$$P = (c|d) = \frac{P(d|c) \cdot P(c)}{P(d)} \tag{4}$$

2.3. Dataset UCI Skin Segmentation

Pada penelitian ini menggunakan dataset public/ global dari UCI repository yaitu Skin Segmentation Dataset. Dataset ini terdiri dari data ruang warna B, G, R hasil ekstraksi feature citra yang semuanya sudah dilabeli dengan warna kulit dan bukan warna kulit. Dataset kulit dan bukan kulit ini dibuat dari hasil mengekstraksi tekstur kulit pada citra wajah manusia dari database FERET dan PAL, dengan kelompok umur, gender, dan ras yang bermacam-macam.

Dataset ini memiliki empat atribut dengan tiga atribut sebagai fitur yaitu ruang warna dari B, G, R serta satu atribut sebagai target atau label yaitu warna kulit ditandai dengan (1) dan bukan warna kulit ditandai dengan (2). Jumlah data nya adalah sebanyak 245.057, yang terbagi menjadi dua kelas, data dengan label warna kulit berjumlah 50.859, dan data dengan label bukan warna kulit berjumlah 194.198.

Feature B, G, R pada dataset ini berjenis numerik, sedangkan label kelas nya berjenis *categorical*. Berikut sample dataset Skin Segmentation dari UCI tersebut pada tabel 1.

Tabel 1. Sample Dataset Skin Segmentation Ruang Warna RGB

Domain	B	G	R	Class
U1	74	85	123	1
U2	123	177	178	2
...
U245057	255	255	255	2

Seperti yang telah dijelaskan di pendahuluan, di sini juga akan mengklasifikasi ruang warna selain RGB, yaitu HSV. Dataset HSV diperoleh dengan mentransformasikan angka ruang warna RGB ke HSV menggunakan persamaan (1) di atas. Berikut sample dataset ruang warna HSV pada tabel 2.

Tabel 2. Sample Dataset Ruang Warna HSV

Domain	H	S	V	Class
U1	0,215591	0,3983740	123	1
U2	3,14159	0,202020	198	2
:	:	:	:	:
U245057	0	0	255	2

Dataset selanjutnya adalah hasil transformasi ruang warna RGB ke YCbCr yang diperoleh dengan menggunakan persamaan (2) yang telah di jelaskan bagian II.

Tabel 1. Sample Dataset Ruang Warna YCbCr

Domain	Y	Cb	Cr	Class
U1	95,108	-218,108	-21,108	1
U2	186,04	-344,04	11,96	2
...
U245057	255	-510	0	2

Dataset selanjutnya adalah hasil kombinasi antara ruang warna HSV dan YCgCr.

Tabel 2. Sample Dataset Ruang Warna SCgCr

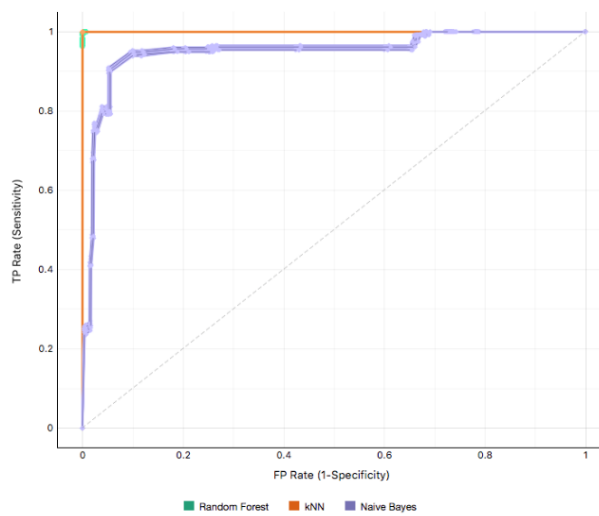
Domain	S	Cg	Cr	Class
U1	0,3983740	-10,108	-21,108	1
U2	186,04	11,96	11,96	2
...
U245057	0	0	0	2

3. HASIL DAN ANALISIS

Setelah dataset semua sudah terkumpul, selanjutnya dilakukan percobaan klasifikasi menggunakan algoritma pembelajaran mesin yaitu KNN, Random Forest, & Naive Bayes. Percobaan ini menggunakan tools data mining Orange. Lalu untuk mengevaluasi performa klasifikasinya akan digunakan beberapa parameter, diantaranya: *Accuracy*, *Precision*, *Recall or True Positive Rate (TPR)*, dan *False Positive Rate (FPR)*. Semua proses klasifikasi menggunakan teknik Cross Validation dengan jumlah Fold= 10. Algoritma KNN semuanya menggunakan nilai K=3.

Tabel 3. Komparasi Performa Algoritma Pada Dataset Ruang Warna RGB

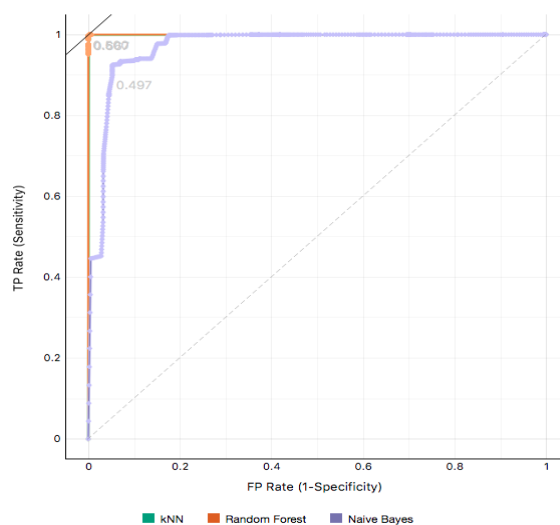
Method	Accuracy	Precision	TPR	FPR
KNN	99,96%	99,97%	99,83%	0,005%
RF	99,95%	99,95%	99,80%	0,010%
NB	93%	80%	84%	5%



Gambar 2. Curva Receiver operating characteristic (ROC) Ruang Warna RGB

Tabel 4. Komparasi Performa Algoritma Pada Dataset Ruang Warna HSV

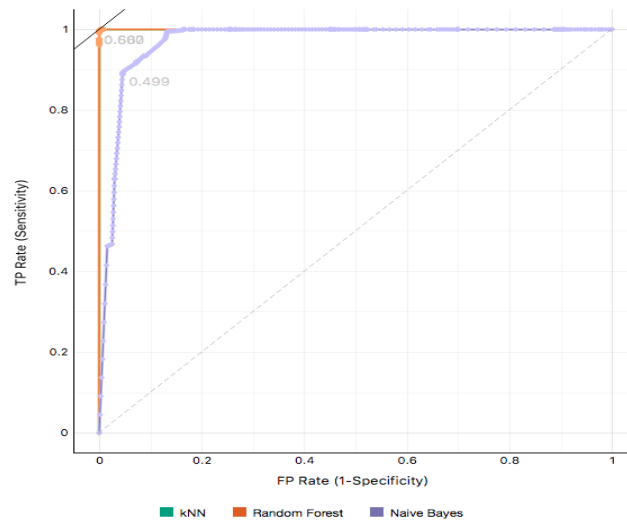
Method	Accuracy	Precision	TPR	FPR
KNN	99,71%	99,79%	98,83%	0,052%
RF	99,88%	99,91%	99,53%	0,022%
NB	94%	90%	82%	3%



Gambar 3. Curva Receiver operating characteristic (ROC) Ruang Warna HSV

Tabel 5. Komparasi Performa Algoritma Pada Dataset Ruang Warna YCbCr

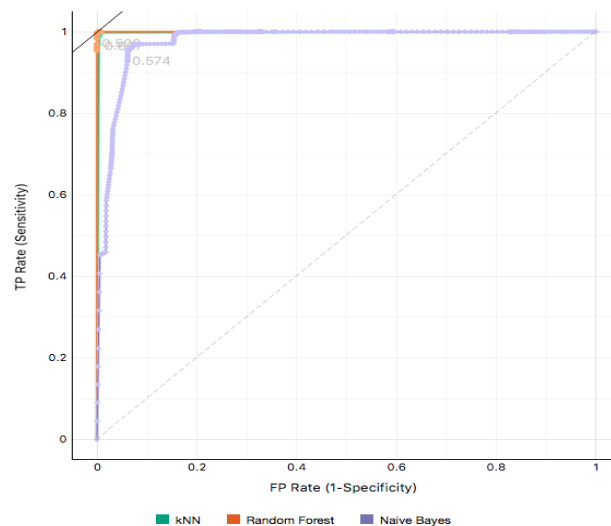
Method	Accuracy	Precision	TPR	FPR
KNN	99,94%	99,98%	98,76%	0,005%
RF	99,93%	99,93%	99,74%	0,017%
NB	94%	89%	84%	3%



Gambar 4. Curva Receiver operating characteristic (ROC) Ruang Warna YcbCr

Tabel 6. Komparasi Performa Algoritma Pada Dataset Ruang Warna SCgCr

Method	Accuracy	Precision	TPR	FPR
KNN	99%	99%	97,71%	0,240%
RF	99,86%	99,82%	98,50%	0,046%
NB	94%	95%	80%	1%



Gambar 5. Curva Receiver operating characteristic (ROC) Ruang Warna SCgCr

Setelah melakukan percobaan klasifikasi, jumlah performa setiap metode klasifikasi sudah dapat diketahui. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, di sini menggunakan parameter Accuracy, Precision, TPR, dan FPR yang ditampilkan dalam bentuk tabel, dari parameter tersebut juga dibuat kurva ROC untuk mengetahui metode mana yang lebih bagus antara satu sama lain. Pada kurva ROC setiap garis adalah grafik yang menunjukkan perbandingan TPR dan FPR pada ambang batas tertentu. Garis pada ROC jika semakin kiri menandakan tingkat keakuratan algoritmanya semakin baik.

Pada penelitian ini akan dijelaskan hasil dari klasifikasinya berdasarkan ruang warnanya. Untuk mendeteksi warna kulit atau bukan pada setiap piksel citra dapat menggunakan beberapa ruang warna yang berbeda serta hasil dari transformasi warna RGB, seperti HSV dan YCbCr.

Hasil klasifikasi menggunakan atribut ruang warna RGB didapatkan bahwa metode KNN mendapatkan skor performa terbaik, walaupun sebenarnya Random Forest juga memiliki performa yang sangat baik yang juga memiliki akurasi di atas 99%, sangat kecil sekali perbedaannya dengan KNN. Pada ruang warna RGB ini, hasil klasifikasi terkecil terdapat pada metode Naïve Bayes. Namun Naïve Bayes juga dapat dikatakan memiliki performa yang cukup baik dengan akurasi sebesar 93%.

Untuk ruang warna HSV juga memiliki hasil klasifikasi yang sangat baik. Disini Random Forest memiliki performa yang paling baik di antara KNN & Naïve Bayes, namun antara KNN & Naïve Bayes hanya memiliki perbedaan yang sangat kecil, dalam artian kedua metode ini memiliki performa yang baik untuk mengklasifikasi warna kulit pada piksel citra dengan ruang warna HSV.

Ruang warna YCrCb juga berhasil diklasifikasi menggunakan ketiga metode tersebut, namun yang memiliki performa yang baik, dengan skor akurasi di atas 90% hanya metode KNN & Random Forest. Untuk Naïve Bayes memiliki akurasi sebesar 89%.

Berbeda dengan ruang warna YCrCb, ruang warna dari hasil kombinasi dari ruang warna HSV dan YCbCr yaitu ruang warna SCgCr dapat diklasifikasi dengan baik oleh ketiga metode tersebut, yang sebelumnya akurasi Naïve Bayes hanya 89% pada ruang warna YCrCb, di ruang warna SCgCr memiliki performa yang lebih baik, 95%. Adapun metode yang paling baik pada ruang warna SCgCr ini adalah metode Random Forest. Namun overall ketiga metode tersebut memiliki performa yang sama baik pada ruang warna SCgCr ini.

4. KESIMPULAN

Klasifikasi pada dataset Skin Segmentation dari UCI yang berisi data sebanyak 245.057, hampir semuanya memiliki hasil performa yang bagus pada algoritma yang digunakan, yakni KNN, Random Forest, & Naïve Bayes. Namun di beberapa percobaan Naïve Bayes masih memiliki selisih performa dari KNN dan Random Forest di beberapa ruang warna yang berbeda. Dari semua percobaan yang dilakukan dan dari ruang warna yang berbeda RGB, HSV, YCbCr, SCgCr, algoritma KNN dan Random Forest selalu mendapatkan performa akurasi di atas 95% yang artinya sangat bagus. Ini mengindikasikan bahwa algoritma KNN dan Random Forest sangat efektif digunakan untuk mengklasifikasi warna kulit pada pixel sebuah citra dengan ruang warna yang berbeda-beda RGB, HSV, YCbCr, dan SCgCr.

REFERENSI

- [1] R. Khan, A. Hanbury, J. Stöttinger, and A. Bais, "Color based skin classification," *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 33, no. 2, pp. 157–163, 2012, doi: 10.1016/j.patrec.2011.09.032.
- [2] S. Kolkur, D. Kalbande, P. Shimpi, C. Bapat, and J. Jatakia, "Human Skin Detection Using RGB, HSV and YCbCr Color Models," vol. 137, pp. 324–332, 2017, doi: 10.2991/iccasp-16.2017.51.
- [3] K. B. Shaik, P. Ganesan, V. Kalist, B. S. Sathish, and J. M. M. Jenitha, "Comparative Study of Skin Color Detection and Segmentation in HSV and YCbCr Color Space," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 57, pp. 41–48, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.07.362.
- [4] F. A. Pujol, M. Pujol, A. Jimeno-Morenilla, and M. J. Pujol, "Face detection based on skin color segmentation using fuzzy entropy," *Entropy*, vol. 19, no. 1, pp. 1–22, 2017, doi: 10.3390/e19010026.
- [5] S. Roheda and H. Kalva, "A multi-scale approach to skin pixel detection," *IS T Int. Symp. Electron. Imaging Sci. Technol.*, pp. 18–23, 2017, doi: 10.2352/ISSN.2470-1173.2017.4.SRV-352.
- [6] H. K. Al-Mohair, J. Mohamad-Saleh, and S. A. Suandi, "Color space selection for human skin detection using color-texture features and neural networks," *2014 Int. Conf. Comput. Inf. Sci. ICCOINS 2014 - A Conf. World Eng. Sci. Technol. Congr. ESTCON 2014 - Proc.*, 2014, doi: 10.1109/ICCOINS.2014.6868362.
- [7] A. R. Abbas and A. O. Farooq, *Human skin colour detection using Bayesian Rough Decision Tree*, vol. 938. Springer International Publishing, 2018.
- [8] D. Yi, W. Yang, and S. Z. Li, "Skin Spectroscopy," *Encycl. Biometrics*, pp. 1414–1419, 2015, doi: 10.1007/978-1-4899-7488-4_1027.
- [9] N. a Ibraheem, M. M. Hasan, R. Z. Khan, and P. K. Mishra, "Understanding Color Models: A Review,"

ARPN J. Sci. Technol., vol. 2, no. 3, pp. 265–275, 2012.

- [10] S. Dhanabal and S. Chandramathi, "A Review of various k-Nearest Neighbor Query Processing Techniques," vol. 31, no. 7, 2011.
- [11] U. Sharma, S. Saran, and S. M. Patil, "Fake News Detection using Machine Learning Algorithms," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 509–518, 2021.
- [12] K. M. Al-aidaroos, A. A. Bakar, and Z. Othman, "Naïve Bayes Variants in Classification Learning," pp. 276–281, 2010.