

Mobile Munsell Soil Color Chart Berbasis Android Menggunakan Histogram Ruang Citra HVC dengan Klasifikasi KNN

Android-Based Mobile Munsell Soil Color Chart by Using HVC Color Model Histogram with KNN Classification

KARLISA PRIANDANA¹, AHMAD ZULFIKAR S^{*1}, SUKARMAN²

Abstrak

Penentuan warna tanah tidak mudah karena banyaknya jenis tanah dan tingginya tingkat kemiripan warna tanah. Untuk mengatasi kesulitan ini, para praktisi menggunakan suatu buku pedoman warna tanah yaitu *Munsell soil color chart* (MSCC). Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi *mobile* untuk mengidentifikasi warna tanah dalam menentukan warna mayor tanah sesuai buku MSCC. Aplikasi dibangun menggunakan pemodelan warna HVC dengan komponen warna *hue*, *value*, dan *chroma*. Penelitian ini menekankan klasifikasi untuk warna *hue* saja. Meskipun demikian, diteliti juga komponen warna *value* dan *chroma*. Citra yang digunakan sebagai data latih adalah 259 citra dari buku MSCC yang masing-masing berukuran 1600 piksel. Data warna *hue* dari setiap piksel ini dianalisis dalam bentuk histogram dan diklasifikasikan dengan KNN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akurasi tertinggi dalam klasifikasi nilai *hue* adalah 45% pada nilai $k = 5$. Akurasi mungkin dapat ditingkatkan dengan cara menggunakan data *soil color* yang sudah tersedia secara *online*.

Kata kunci: Android, HVC, KNN, *Munsell soil color chart*.

Abstract

Soil color determination is a challenging task because of the various types of soil and the high similarity of soil color. Munsell soil color chart (MSCC) is used to overcome this issue. The purpose of this research is to develop an Android-based mobile application to identify the major color of soil according to MSCC. The application utilized HVC color model with hue, value, and chroma color components. The hue color component had been the main concern of this research, although the value and chroma color components were also observed. The training data were 259 images from MSCC, with 1600 pixels each. Hue color data from these pixels were analyzed in the form of histogram and classified with KNN. The results showed that the highest classification accuracy of hue value was 45% at $k = 5$. This accuracy might be improved by utilizing the soil color data that are available online.

Keyword: Android, HVC, KNN, Munsell soil color chart.

PENDAHULUAN

Tanah sangat penting untuk mendukung kehidupan tumbuhan dengan menyediakan unsur hara dan air serta sebagai penopang akar. Di dalam tanah, terdapat berbagai unsur hara atau partikel yang sangat berperan penting bagi kelangsungan hidup tanaman, seperti kandungan bahan organik, kondisi drainase, dan aerasi (Soepardi 1983). Warna tanah sering digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengklasifikasikan tanah. Hasil klasifikasi tanah selanjutnya digunakan sebagai dasar penilaian kesesuaian lahan berbagai tanaman pertanian maupun tanaman kehutanan.

¹Departemen Ilmu Komputer, Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680

²Departemen Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680

*Penulis Korespondensi: Tel/Faks: 0251-8625584; Surel: totoharyanto@apps.ipb.ac.id

Dalam penelitian sumberdaya tanah saat ini, *Munsell soil color chart* (MSCC) digunakan sebagai standar: warna dasar atau warna matriks dan warna karatan sebagai hasil dari proses oksidasi dan reduksi di dalam tanah (Balai Penelitian Tanah 2004). Cara penggunaan MSCC adalah dengan mengecek kemiripan warna tanah pada pedoman warna yang terdapat dalam MSCC. Selama penggunaannya, buku tersebut perlu dibawa ke lapangan untuk dijadikan pedoman dalam mencocokkan warna tanah. Namun, apabila penetapan warna ini dilakukan secara manual, sangat mungkin terjadi kesalahan sehingga informasi yang diperoleh kurang akurat. Selain itu, pengukuran dengan buku MSCC secara langsung di lapangan membuat buku MSCC tersebut cepat rusak, sementara harganya sangat mahal. Berkaitan dengan hal tersebut, maka diperlukan alternatif lain untuk dapat mengukur warna tanah dengan lebih akurat, aman, dan praktis.

Saat ini, belum tersedia aplikasi *mobile* untuk mendeteksi warna tanah secara otomatis berdasarkan buku MSCC. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan suatu aplikasi *mobile* berbasis Android yang dapat mengklasifikasikan warna tanah berdasarkan MSCC secara otomatis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengurangi kemungkinan kesalahan pencocokan warna tanah, serta mempermudah pengguna MSCC dalam mengklasifikasikan warna tanah.

Teknologi *mobile device* berbasis Android berkembang sangat pesat sehingga memotivasi para pengembang untuk membuat berbagai aplikasi yang dapat mempermudah aktivitas dan pekerjaan sehari-hari. Menurut data yang dikeluarkan oleh International Data Corporation pada tahun 2012, sistem operasi Android menguasai sekitar 52% dari total *smartphone* yang dipakai oleh masyarakat Indonesia (Wahyudi 2012). Oleh karena itu, dalam penelitian ini, aplikasi akan dibangun dengan menggunakan sistem operasi Android.

Pada buku MSCC (Munsell 2009), dijelaskan bahwa terdapat tiga variabel penting pada warna tanah seperti: *hue*, *value*, dan *chroma* (HVC). Berdasarkan hal tersebut, maka fitur warna tanah yang akan diekstraksi pada aplikasi yang dibuat adalah fitur warna pada ruang citra *hue*, *value*, dan *chroma* (HVC). *Hue* adalah warna spektrum yang dominan sesuai dengan panjang gelombangnya, *value* menunjukkan gelap terangnya warna sesuai dengan banyaknya sinar yang dipantulkan, dan *chroma* menunjukkan kemurnian atau kekuatan dari warna spektrum. *Chroma* didefinisikan juga sebagai gradasi kemurnian dari warna atau derajat pembeda adanya perubahan warna dari kelabu atau putih netral ke warna lainnya.

Menurut Boiman *et al.* (2008) metode klasifikasi *k-nearest neighbor* (KNN) sangat sederhana, efisien, dan kinerjanya sangat baik dalam klasifikasi citra. Oleh karena itu, untuk mengklasifikasikan skala warna tanah pada perangkat *mobile*, akan digunakan warna mayor pada tanah dengan klasifikasi KNN.

Data uji dan data latih yang digunakan adalah data foto yang diperoleh dari buku MSCC milik Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP), Kementerian Pertanian. Pengambilan citra dilakukan pada keadaan cerah pada pukul 08.00 sampai 11.00. Kamera yang digunakan adalah kamera dari perangkat *mobile* dengan resolusi 8 megapiksel. Penelitian difokuskan pada model warna *hue* dengan menampilkan warna dominan saja.

TINJAUAN PUSTAKA

Warna Tanah dan Karatan

Menurut Hardjowigeno (1985), “warna tanah merupakan sifat morfologi yang paling mudah dibedakan. Warna merupakan petunjuk untuk beberapa sifat tanah, misalnya: warna hitam menunjukkan kandungan bahan organik tinggi. Warna merah menunjukkan adanya oksidasi bebas (tanah-tanah yang teroksidasi). Warna abu-abu atau kebiruan menunjukkan adanya reduksi”.

Perlu diketahui bahwa hubungan antara warna tanah dengan kandungan bahan organik di daerah tropika banyak yang tidak sesuai dengan yang ditemukan di benua Amerika atau Eropa atau daerah beriklim sedang. Misal, tanah-tanah merah di Indonesia banyak yang mempunyai bahan organik lebih dari satu persen, sama dengan kandungan organik tanah hitam di daerah-daerah yang beriklim sedang. Menurut Hardjowigeno (1985), selain warna tanah, karatan tanah juga perlu dipelajari lebih lanjut khususnya penyifatan tanah yang meliputi jumlah, ukuran, dan bandingan (kontras).

Merujuk buku MSCC, penentuan nilai *hue* dimulai dari spektrum dominan paling merah (5R) sampai spektrum dominan paling kuning (5Y). Selain itu, di dalam beberapa buku MSCC sering terdapat juga spektrum untuk warna-warna tanah tereduksi (*gley*). *Value* tanah bernilai antara 2–8. Semakin tinggi nilai *value*, maka warna tanah makin terang, yang menandakan bahwa jumlah sinar yang dapat dipantulkan oleh tanah tersebut semakin banyak. Nilai *value* pada lembar buku MSCC terbentang secara vertikal dari bawah ke atas dengan angka 2 menunjukkan warna paling gelap dan angka 8 menunjukkan warna paling terang. Nilai *chroma* tanah pada lembar buku MSCC dibagi dengan rentang 1–8. nilai *chroma* yang tinggi menunjukkan kemurnian spektrum atau kekuatan warna spektrum yang makin meningkat dan begitu pula sebaliknya.

Model Warna

Suatu warna didasarkan pada perbedaan eksitasi dari 3 penerima cahaya di dalam retina. Ketiga warna tersebut adalah merah, hijau, dan biru (RGB) yang akan menentukan warna dari suatu obyek (Ford dan Roberts 1998). Nilai *hue*, *saturation*, dan *value* (HSV) dapat diperoleh dari nilai model warna RGB (Acharya dan Ray 2005). Dari model warna tersebut, dapat pula diperoleh nilai *C* (*chroma*) melalui persamaan berikut.

$$R = \frac{R}{255}; G = \frac{G}{255}; B = \frac{B}{255} \quad (1)$$

$$H' = \begin{cases} \text{tidak terdefinisi, } C = 0 \\ \frac{G-B}{C} \text{ mod } 6 & , M = R \\ \frac{B-R}{C} + 2 & , M = G \\ \frac{R-G}{C} & , M = B \end{cases} \quad (2)$$

$$H = 60^\circ \times H' \quad (3)$$

$$V = M \quad (4)$$

$$S = \begin{cases} 0, C = 0 \\ C/V, \text{ lainnya} \end{cases} \quad (5)$$

$$C = S \times V$$

dengan:

$$M = \max\{R, G, B\}; m = \min\{R, G, B\}; C = M - m$$

Metode Klasifikasi *k*-Nearest Neighbor (KNN)

Konsep dasar metode KNN adalah mencari jarak terdekat antara data uji dengan sejumlah *k* tetangga terdekat dalam data latih. Berikut langkah-langkah algoritme KNN (Song *et al.* 2007):

- 1 menentukan nilai *k*,
- 2 menghitung jarak antara data uji dengan setiap data latih,
- 3 mendapatkan *k* data yang memiliki jarak terdekat,
- 4 jumlah *k* data yang memiliki jarak terdekat merupakan kelas yang paling banyak muncul,

5 kelas yang paling banyak muncul ditentukan sebagai kelas dari data uji.

Jarak Histogram

Perhitungan jarak antara histogram *A* dan *B* dilakukan dengan rumus jarak Euclidean (Gonzales *et al.* 1987):

$$d(A,B) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (H_j^A - H_j^B)^2} \tag{6}$$

dengan:

H_j^A : histogram *A*, indeks *array* ke-*j*

H_j^B : histogram *B*, indeks *array* ke-*j*

n : panjang/rentang histogram

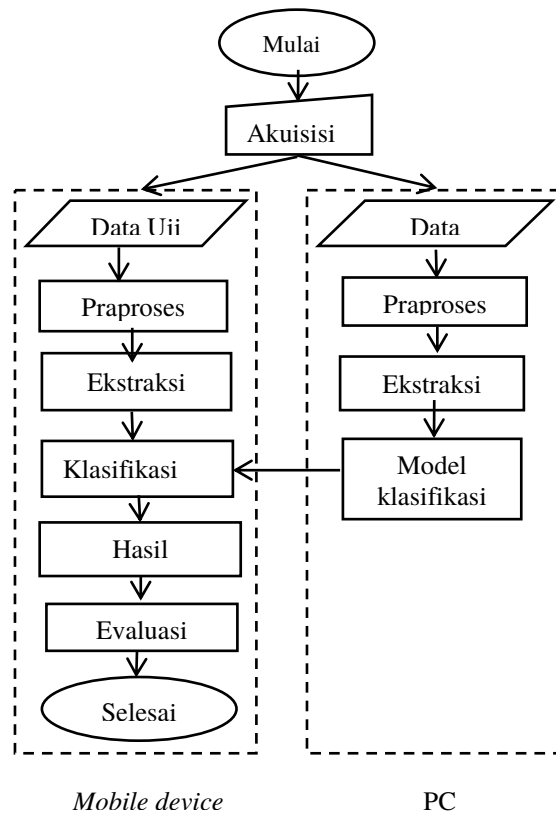
METODE

Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu citra yang diambil dari buku MSCC sebagai data latih dan sebagai data uji yang disediakan oleh Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Kementerian Pertanian.

Tahapan Penelitian

Pembuatan aplikasi *mobile* untuk mengidentifikasi warna tanah berbasis citra diimplementasikan pada *mobile device* untuk tempat penyimpanan *database*. Tahapan penelitian mengacu pada penelitian sebelumnya oleh Satyaesmana (2013), seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Metode penelitian

Tahap awal penelitian merupakan proses akuisisi citra dengan mengambil citra data uji dan data latih. Masukan untuk data uji dan data latih berasal dari buku MSCC. Pembangunan model, klasifikasi dan *database* histogram dilakukan pada PC untuk kemudian digunakan pada *mobile device*.

PC

Citra dari buku MSCC akan digunakan untuk pembuatan model. Model dibuat dengan cara melakukan *training* pada citra. Berikut ini adalah tahapan dalam proses *training*:

- **Akuisisi.** Tahap ini dilakukan untuk pengambilan citra digital dari buku MSCC dari Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian yang bertujuan guna pembuatan data latih dan data uji citra.
- **Praproses.** Praproses dilakukan untuk pemotongan citra digital yang bertujuan untuk mengambil bagian citra yang ingin diproses. Proses ini dilakukan untuk menurunkan waktu komputasi dikarenakan citra yang diambil lebih kecil dan bagian yang tidak terkait warna larutan dapat dihilangkan. Tahap praproses data latih dilakukan di PC untuk menghasilkan model klasifikasi yang akan digunakan pada saat implementasi pada aplikasi *mobile*, sedangkan tahap praproses untuk data uji dilakukan di ponsel pada saat pengujian.
- **Ekstraksi Ciri.** Tahap ini dilakukan untuk mengambil nilai komponen warna pada setiap citra yang diperoleh dari tahapan praproses. Komponen warna yang diperoleh tersebut merupakan model warna RGB. Untuk memperoleh model warna HVC maka dilakukan konversi warna dari RGB tersebut. Hasil konversi tersebut kemudian ditampilkan dalam histogram dengan mengambil nilai dari setiap piksel dengan rentang 0–255.
- **Model Klasifikasi.** Klasifikasi dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh dari tahap sebelumnya. Metode klasifikasi yang digunakan adalah membandingkan nilai HVC masing-masing piksel pada data uji dengan nilai HVC pada data latih untuk menemukan nilai histogramnya. Nilai histogram akan diklasifikasi dengan KNN. Perhitungan jarak yang dipakai untuk menentukan jarak antar-histogram adalah jarak Euclidean, yang akan menghitung jarak histogram warna dari citra tanah sebagai data uji dengan setiap 259 histogram warna sebagai data latih yang terdapat pada model klasifikasi. Setelah diperoleh sebanyak k data yang memiliki jarak terdekat, kemudian diketahui kelas yang paling banyak muncul, kelas tersebut adalah kelas dari data uji.
- **Pengujian dan Evaluasi.** Evaluasi hasil klasifikasi dapat dilakukan dengan cara menghitung tingkat akurasi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{akurasi} = \frac{\sum \text{data uji yang prediksi benar}}{\sum \text{data uji keseluruhan}} \quad (7)$$

Evaluasi hasil pengujian dilihat dengan menghitung nilai koefisien determinasi (R^2). R^2 digunakan untuk mengukur seberapa baik garis regresi yang terbentuk oleh nilai dugaan dengan nilai aktualnya, semakin baik jika mendekati 1. Menurut Walpole (1992), R^2 dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 8.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 (y_i - \bar{y})^2} \quad (8)$$

dengan:

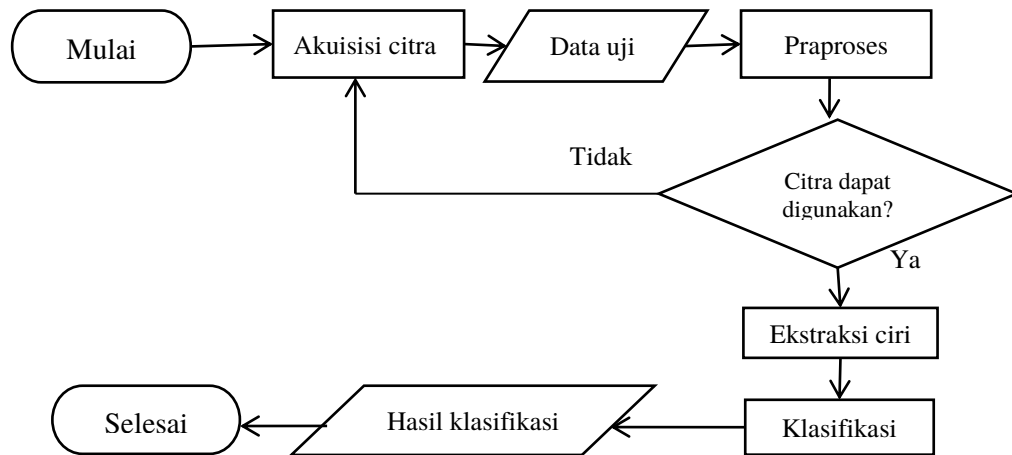
y_i : nilai aktual, \hat{y}_i : nilai prediksi, \bar{y} : nilai aktual rata-rata, dan $\bar{\hat{y}}$: nilai prediksi rata-rata.

Mobile Device

Mobile device melakukan proses pengenalan citra menggunakan perbandingan nilai HVC antara masing-masing nilai HVC pada data uji dengan nilai HVC data latih. Ketika dijalankan, aplikasi secara otomatis melakukan praproses (*cropping*) dan proses ekstraksi fitur (pengambilan nilai *hue*, *value*, dan *chroma*). Kemudian, basis data yang diperoleh dari PC

digunakan untuk membandingkan nilai HVC citra data uji pada *mobile* dengan nilai HVC pada basisdata.

Alur sistem untuk identifikasi citra pada aplikasi *mobile* yang akan dibangun dapat dilihat pada Gambar 2. Tahapan identifikasi citra dimulai dengan proses pengambilan citra tanah untuk memperoleh data uji. Selanjutnya, citra dari data uji yang tidak ingin diproses dipotong. Jika citra digital yang diperoleh kurang baik, maka aplikasi akan meminta untuk melakukan akuisisi citra kembali. Jika citra digital yang diperoleh sudah baik, maka dilakukan ekstraksi ciri untuk tahap klasifikasi. Hasil klasifikasi akan dievaluasi sebagai tahap akhir dari tahapan ini.



Gambar 2 Alur sistem untuk identifikasi citra

Lingkungan Pengembangan

Lingkungan pengembangan yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut.

- Perangkat lunak: OpenCV, Notepad++, Inkscape, Macromedia, dan XAMPP.
- Perangkat keras: *smartphone* Lenovo P780 (Android 4.2.1, kamera 8MP) dan *notebook* Samsung (spesifikasi prosesor AMD Vision A6, AMD Radeon grafik 2.70 GHz).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi yang dibangun yaitu aplikasi *mobile* berbasis Android yang bertujuan untuk mengidentifikasi warna tanah. Aplikasi ini diimplementasikan pada *mobile device*.

Akuisisi

Tahap ini dilakukan untuk mengambil citra digital dari buku MSCC sebagai data latih dan data uji. Hasil akuisisi citra tersebut menghasilkan sebanyak 47 data citra dari setiap skala warna *hue*. Buku MSCC memiliki 7 variasi nilai *hue*. Oleh karena itu, total data yang diperoleh yaitu 259 data citra, yang seluruhnya digunakan sebagai data latih. Data uji yang digunakan adalah 140 data citra, yang diambil secara acak dari data latih yang ada.

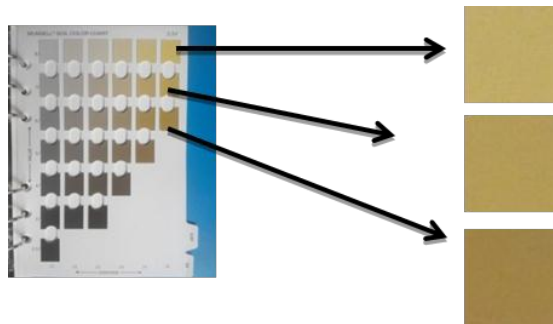
Praproses

Citra yang telah diakuisisi pada tahap sebelumnya dipotong sehingga menjadi berukuran 40×40 piksel. Proses pemotongan citra dari buku MSCC ditunjukkan pada Gambar 3.

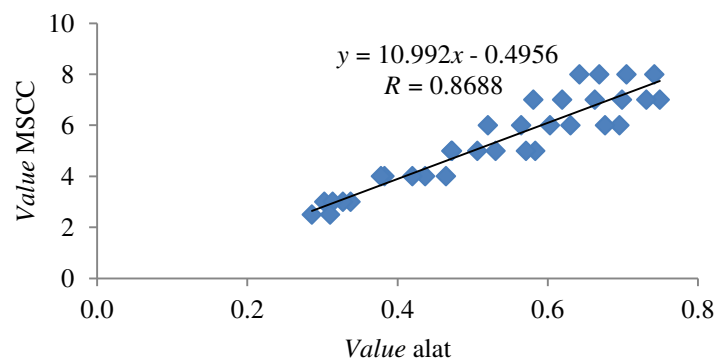
Ekstraksi Ciri

Setiap citra hasil pemotongan menghasilkan 1600 piksel. Setiap piksel memiliki nilai *red*, *green*, dan *blue* (RGB) yang dikonversi menjadi nilai *hue*, *value*, dan *chroma* (HVC) antara 0–255. Frekuensi kemunculan nilai HVC ini ditampilkan dalam bentuk histogram

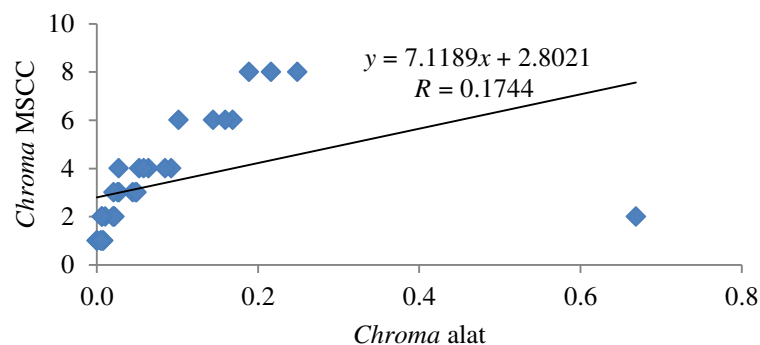
warna. Perbandingan antara nilai *value* dan *chroma* yang ditunjukkan pada buku MSCC dengan rata-rata nilai *value* dan *chroma* hasil konversi dari data citra RGB untuk skala warna *hue* 5YR ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Gambar 4 menunjukkan bahwa koefisien determinasi untuk *value* cukup tinggi, yaitu $R = 0.8688$, sedangkan Gambar 5 menunjukkan bahwa koefisien determinasi *chroma* cukup rendah, yaitu $R = 0.1744$. Hal ini terjadi karena pada nilai *chroma* terdapat data pencilan yang membuat fungsi tidak linear, berbeda dengan nilai *value*. Meskipun ekstraksi ciri untuk *value* dan *chroma* belum menunjukkan hasil yang memuaskan, namun perbandingan antara nilai *value* dan *chroma* dari buku MSCC dengan hasil pengukuran alat (Gambar 6) memiliki *trend* yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa kedua komponen warna ini mungkin dapat diklasifikasikan pada penelitian selanjutnya. Untuk penelitian ini, klasifikasi hanya akan dilakukan untuk komponen warna *hue* saja.



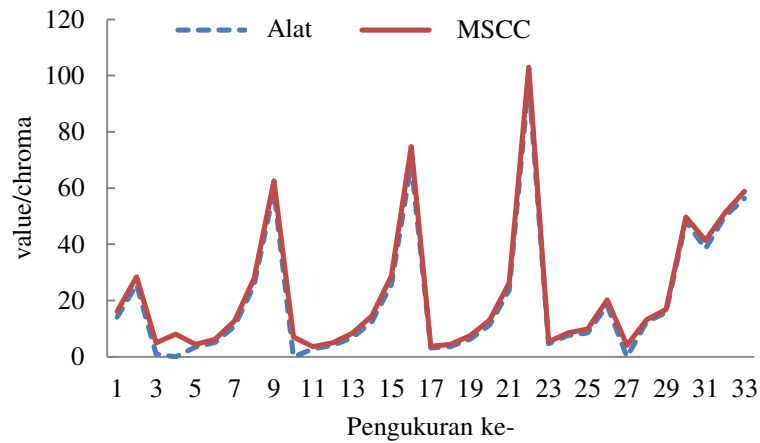
Gambar 3 Proses pemotongan citra dari buku MSCC



Gambar 4 Nilai *value* untuk skala warna *hue* 5YR



Gambar 5 Nilai *chroma* untuk skala warna *hue* 5YR

Gambar 6 Pola perbandingan antara *value* dan *chroma* untuk skala warna *hue* 5YR

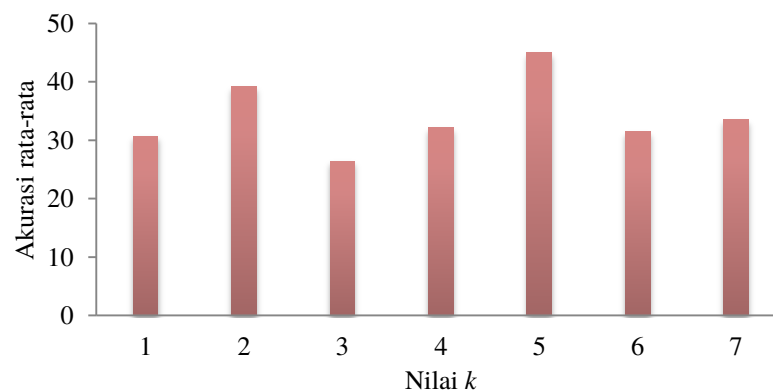
Ekstraksi ciri untuk nilai *hue* ditunjukkan dalam bentuk histogram. Data histogram ini yang digunakan untuk membuat model klasifikasi dengan KNN pada PC. Walaupun pembuatan model klasifikasi dilakukan pada PC, namun pengujiannya dilakukan pada *mobile device* tanpa harus terkoneksi dengan PC.

Klasifikasi

Hasil ekstraksi ciri adalah data histogram warna *hue*. Data ini digunakan untuk klasifikasi KNN dengan beberapa nilai k yaitu 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7. Penggunaan beberapa nilai k yang berbeda ini menghasilkan nilai akurasi yang berbeda-beda seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. Klasifikasi menggunakan KNN pada komponen warna *hue* menunjukkan nilai akurasi tertinggi pada nilai $k = 5$ yaitu 45%. Adapun akurasi tertinggi diperoleh pada skala warna 2.5YR. Visualisasi dalam bentuk grafik untuk data pada Tabel 1 ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 1 Perbandingan nilai akurasi setiap komponen warna *hue*

Nilai k	Akurasi tiap skala warna MSCC							Rataan
	2.5Y	2.5YR	5.5Y	5.5YR	7.5Y	10R	10YR	
1	20.00	100.00	10.00	5.00	30.00	10.00	40.00	30.71
2	40.00	80.00	40.00	15.00	35.00	40.00	25.00	39.28
3	40.00	75.00	30.00	20.00	0.00	5.00	15.00	26.42
4	20.00	75.00	50.00	30.00	20.00	0.00	30.00	32.14
5	30.00	50.00	45.00	50.00	55.00	40.00	45.00	45.00
6	55.00	30.00	15.00	35.00	40.00	15.00	30.00	31.42
7	25.00	40.00	40.00	40.00	20.00	20.00	50.00	33.57
Rataan	32.85	64.28	32.85	30.71	28.57	18.57	33.57	

Gambar 7 Perbandingan akurasi rata-rata untuk setiap nilai k

Akurasi klasifikasi komponen warna *hue* yang rendah mungkin diakibatkan oleh tahapan praproses dan akuisisi citra yang kurang optimal. Optimisasi dapat dilakukan dengan beberapa cara, di antaranya dengan menggunakan data dari Google Play Store. Penggunaan data dari database yang telah ada akan meminimalisir pengaruh negatif dari penggunaan alat beresolusi rendah. Secara teoritis, informasi yang terkandung di dalam komponen warna *hue* adalah informasi mengenai keragaman warna, sehingga akurasi klasifikasi untuk *hue* seharusnya dapat menjadi lebih baik lagi.

Perlu diketahui bahwa penelitian ini merupakan tahap awal untuk penelitian atau pengembangan selanjutnya, yang juga akan mengklasifikasikan komponen warna *value* dan *chroma*. Jika penelitian selanjutnya berhasil, maka aplikasi ini akan memiliki nilai ekonomis yang tinggi, mengingat harga buku MSCC yang mencapai puluhan juta rupiah.

SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah berhasil mengimplementasikan metode ekstraksi fitur histogram warna untuk masing-masing komponen warna pada model warna RGB dan HVC. Pada penelitian ini, klasifikasi warna tanah telah diimplementasikan dengan KNN untuk komponen warna *hue*. Hasil akurasi rata-rata tertinggi pada kelompok warna *hue* mencapai 45% pada nilai $k = 5$. Akurasi tertinggi diperoleh pada skala warna hue 2.5YR.

Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk memperbaiki aplikasi ini di antaranya: (1) melakukan praproses data tambahan, (2) menggunakan data *soil color chart* di Google Play Store sebagai data, (3) menggunakan metode hierarki dalam melakukan klasifikasi 7 kelompok warna *hue*, dan (4) mengembangkan aplikasi untuk klasifikasi nilai *value* dan *chroma* tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya T, Ray AK. 2005. *Image Processing Principles and Applications*. New Jersey (US): J Wiley.
- Balai Penelitian Tanah. 2004. *Petunjuk Teknis Pengamatan Tanah*. Hidayat A, editor. Bogor (ID): Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Boiman O, Shechtman E, Irani M. 2008. In defense of nearest neighbor based image classification. Di dalam: *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*; 2008 Jun 24–26; Anchorage, USA. hlm 1–8.
- Ford A, Roberts A. 1998. Colour space conversion [internet]. [diunduh 2014 Feb 23]. Tersedia pada: <http://www.poynton.com/PDFs/coloureq.pdf>.
- Gonzales RC, Wintz P. 1987. *Digital Image Processing*. 2nd ed. Boston (US): Addison-Wesley.
- Hardjowigeno S. 1985. *Genesis dan Klasifikasi Tanah*. Jakarta (ID): Akademi Prasinindo.
- Munsell AH. 2009. *Munsell Soil Color Book*. Grand Rapids (US): X-Rite.
- Satyaesmana E. 2013. Aplikasi bagan warna daun untuk optimasi pemupukan tanaman padi menggunakan k-nearest neighbor [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Soepardi G. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Song Y, Huang J, Zhou D, Zha H, Giles CL. 2007. Informative k-nearest neighbor pattern classification. Di dalam: *Knowledge Discovery in Databases: PKDD*. hlm 248–264.
- Wahyudi. 2012. Robot hijau masih kuasai Indonesia [internet]. [diunduh 2014 Feb 23]. Tersedia pada: <http://tekno.kompas.com/read/2012/12/18/09270540/2013.Robot.Hijau.Masih.Kuasai.Indonesia>.
- Walpole ER. 1992. *Pengantar Statistika*. Jakarta (ID): Gramedia.