

DAFTAR ISI

PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
ABSTRAK	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Penelitian	12
1.4 Tujuan Penelitian	13
1.5 Manfaat Penelitian	13
1.6 Kebaruan Penelitian	16
Tinjauan ontologi, epistemologi dan aksiologi	21
II. TINJAUAN PUSTAKA	24
2.1 Sejarah, Taksonomi dan Morfologi Kedelai (<i>Glycine max</i> L.)	24
2.2 Kedelai sebagai Produk Pangan Global.	28
2.3 Optimasi Produksi dengan Penerapan Pertanian Presisi.	32
2.4 Karakterisasi dan Kendali Mutu Kedelai.	34
2.5 Pengukuran Non-destruktif dalam Karakterisasi Bahan Pangan.	41
2.5.1 Metode spektroskopi	43
Pengertian spektroskopi	43
Metode spektroskopi dalam karakterisasi bahan pangan	46
2.5.2 Pengolahan citra	50
Pengertian pengolahan citra	50
Pengolahan citra dalam karakterisasi bahan pangan	51
2.5 Sistem Informasi dalam Kendali Mutu.	55
III. LANDASAN TEORI	59
3.1 Landasan Pengambilan Topik Penelitian	59
3.2 Spektroskopi Vis-NIR dan Kemometrik	60
3.2.1 Spektrometer Vis-NIR	61
3.2.2 Karakterisasi pengukuran spektrometer	64
3.2.3 Analisis kemometrik	66

	Pra-pengolahan data.....	67
	Analisis komponen utama (PCA)	69
	Regresi <i>Partial Least Square</i> (PLSR).....	70
3.3	Evaluasi Model.....	73
3.4	Parameter Karakterisasi Kedelai	76
3.4.1	Parameter proksimat	76
	Protein.....	76
	Lemak	77
	Karbohidrat	78
	Serat kasar	78
	Abu	79
	Air	79
3.4.2	Parameter pigmen	80
	Klorofil	80
	Karoten	80
3.4.3	Parameter mikronutrisi, vitamin C	81
3.4.3	Parameter warna, CIELAB	81
3.5	Pengolahan Citra	82
3.5.1	Perolehan data citra.....	82
3.5.2	Segmentasi citra.....	85
	Metode segmentasi warna HSV.....	85
	Metode segmentasi warna JST	87
IV.	METODOLOGI.....	89
4.1	Bahan dan Peralatan	89
4.2	Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	94
4.2.1	Tahapan penelitian.....	95
4.2.2	Karakterisasi kedelai dengan analisis spektrum	98
	Metode pengamatan spektrum	98
	Karakterisasi pengukuran non-destruktif menggunakan spektrometer Vis-NIR.....	101
	Pengaruh pengecilan ukuran kedelai warna kuning berbasis kolorimetri	102
	Pemodelan karakterisasi kedelai dengan metode spektroskopi Vis- NIR dan kemometrik	103
	A. Pengukuran parameter warna dan kimia.....	104
	B. Analisis Kemometrik	105
	Karakterisasi kedelai dengan analisis citra	106
	A. Metode perolehan citra	106
	B. Karakterisasi kedelai menggunakan analisis fitur warna HSV dan JST	108
	i. Pra-pengolahan dan segmentasi citra.....	109
	ii. Pemodelan HSV dan JST/HSV.....	115

	Desain sistem informasi kendali mutu kedelai	118
	A. Desain sistem informasi.....	118
	B. Penyusunan perangkat antar muka	119
4.2.3	Pengujian laboratorium.....	122
	Metode analisis kadar air	122
	Metode analisis kadar protein	123
	Metode analisis kadar lemak	124
	Metode analisis kadar serat.....	125
	Metode analisis kadar abu	127
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	129
5.1	Karakteristik spektrofotometer Vis-NIR.....	129
5.1.1	Data spektrum pantulan	129
5.1.2	Analisis ragam (ANOVA) dan simpangan baku	131
5.1.3	Analisis komponen utama (PCA)	135
5.2	Pengaruh Pengecilan Ukuran pada Karakterisasi Biji Kedelai berbasis Kolorimetri.....	137
5.2.1	Karakterisasi warna	137
5.2.2	Klasifikasi	141
5.2.3	Korelasi	146
5.3	Karakterisasi Kedelai dengan Spektroskopi Vis-NIR dan Kemometrik... 147	
5.3.1	Parameter warna dan kimia	147
5.3.2	Analisis komponen utama (PCA)	154
	PCA berdasarkan karakteristik kedelai.....	154
	PCA berdasarkan spektrum pantulan kedelai	157
5.3.3	<i>Partial least square regression</i> (PLSR)	165
	Pemodelan dengan <i>partial last square regression</i> (PLSR)	165
	Koefisien regresi model spektroskopi	171
	A. Serat kasar.....	171
	B. Klorofil	173
	C. Karoten total	175
	D. Vitamin C.....	176
5.2.4	Koefisien korelasi dan prediksi parameter secara tidak langsung	178
5.4	Prediksi Bahan Campuran Kedelai Berdasarkan Pengolahan Citra	186
5.4.1	Pra-pengolahan data.....	186
5.4.2	Model segmentasi HSV	189
5.4.3	Model segmentasi JST/HSV	190
5.4.3	Validasi model segmentasi HSV dan JST/HSV	193
5.5	Sistem Informasi Kendali Mutu Kedelai	195
5.5.1	Hasil perancangan sistem informasi kendali mutu kedelai.....	196
	<i>Library</i> dan fungsi dalam perancangan Simuka	198
	Fungsi perhitungan dalam Simuka	200

5.5.2 Validasi prediksi kadar parameter dalam Simuka	203
5.6 Rekomendasi Pengendalian Mutu Kedelai berbasis Pengukuran Non- destruktif	208
VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....	211
6.1 Kesimpulan	211
6.2 Saran	212
DAFTAR PUSTAKA	213

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Keaslian penelitian berdasarkan penelitian serta publikasi terkini dan terkait.....	18
Tabel 2.1	Persyaratan mutu biji kedelai menurut SNI 3922-2022	35
Tabel 2.2	Ukuran biji (berat 100 biji) dan komposisi kimia beberapa varietas/galur kedelai.	38
Tabel 2.3	Wilayah spektrum beserta hubungannya dengan jenis spektroskopi	46
Tabel 3.1	Spektrometer portable dan genggam komersial dengan rentang spektrum Vis-NIR	63
Tabel 3.2	Langkah perhitungan PLS dengan NIPALS (Chu et al., 2022)	72
Tabel 3.3	Interpretasi nilai koefisien determinasi (R^2).....	74
Tabel 4.1	Peralatan yang digunakan dalam penelitian.	92
Tabel 5.1	Hasil ANOVA dari perlakuan jarak, sudut dan jenis sampel.....	131
Tabel 5.2	Penampakan visual dari kedelai Anjasmoro, Argomulyo, Grobogan, dan pasar lokal pada beberapa ukuran sampel.....	138
Tabel 5.3	Hasil ANOVA dari parameter warna dengan perlakuan pengecilan ukuran	139
Tabel 5.4	Hasil ANOVA dari parameter warna dengan perlakuan varietas	141
Tabel 5.5	Gambar dari partikel biji kedelai (in μm ; 1 pxl : 500 μm) yang diperoleh dari <i>digital microscope magnifier</i>	145
Tabel 5.6	Foto beberapa genotipe kedelai dengan perlakuan utuh, remah, tepung dan pasta.....	151
Tabel 5.7	Hasil ANOVA nilai L , a^* , dan b^* pada perlakuan utuh, remah, tepung, dan pasta dari tiap sampel genotipe kedelai.....	152
Tabel 5.8	Parameter kimia pada beberapa genotipe kedelai	154
Tabel 5.9	Koefisien determinasi (R^2) dari kalibrasi, validasi, dan prediksi model PLSR berdasarkan perlakuan sampel	166
Tabel 5.10	<i>Root mean square error of calibration</i> (RMSEC), <i>cross-validation</i> (RMSECV), dan <i>prediction</i> (RMSEP) dari hasil PLSR	169
Tabel 5.11	Matrik kovarian parameter kimia dari hasil analisis PCA	178
Tabel 5.12	<i>Library Python</i> yang digunakan dalam penyusunan Simuka.....	198
Tabel 5.13	Fungsi-fungsi <i>QtWidgets</i> yang digunakan dalam penyusunan Simuka .	199
Tabel 5.14	Klasifikasi kualitas pada parameter hasil pemodelan terbaik berdasarkan hasil uji kimia	202

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Pengendalian mutu kedelai secara konvensional dengan sistem terbuka (<i>open loop system</i>).....	11
Gambar 1.2	Diagram lingkaran kausal peran pengukuran non destruktif dengan sistem informasi mutu dalam sistem produksi kedelai.....	14
Gambar 1.3	Hasil visualisasi analisis VOS <i>viewer</i> dalam jaringan topik penelitian.....	17
Gambar 2.1	Morfologi biji kedelai, (a) potongan melintang polong (Pandey, 1987); (b) biji kedelai; (c) potongan melintang biji kedelai (Snyder dan Kwon, 1987) dalam Adie & Krisnawati (2013).....	26
Gambar 2.2	Perdagangan kedelai global (juta ton) tahun 2000-2018 (Guan <i>et al.</i> , 2019).....	29
Gambar 2.3	Rantai pasok kedelai. (a) lokal contoh kasus di Kabupaten Grobogan (Bubun <i>et al.</i> , 2018); (b) eksportir global, contoh kasus Brazil (August Sjauw-Koen-Fa, 2010).....	31
Gambar 2.4	Mutu kedelai dalam perspektif sistem penanganan pasca panen kedelai (Ginting dan Tastra, 2013).....	40
Gambar 2.5	Spektrum elektromagnetik dalam skala logaritmik (Engel, 2019).....	45
Gambar 2.6	Gambaran umum langkah operasional dalam <i>computer vision</i>	52
Gambar 2.7	Macam jenis kendali (Haugen <i>et al.</i> , 2016).....	56
Gambar 3.1	Fitur utama dari instrument NIR spectroscopy (Manley and Baeten, 2018).....	62
Gambar 3.2	Contoh proses digitasi citra (Park dan Lu, 2015).....	83
Gambar 3.3	Sistem warna yang umum digunakan (a) RGB <i>color cube</i> ; (b) HSV <i>color cone</i> ; (c) <i>Cielab color system</i> (Park & Lu, 2015).....	84
Gambar 3.4	Skema pemodelan menggunakan JST.....	87
Gambar 4.1	Varietas kedelai yang digunakan dalam penelitian meliputi kedelai varietas unggul produksi BPSIP Taka, Kementerian Pertanian di Jawa Timur dan kedelai produksi lokal serta sampel yang diperoleh dari pasar di wilayah DIY di tahun 2020-2022.....	91
Gambar 4.2	Peralatan yang digunakan dalam persiapan sampel dan pengambilan data.....	94
Gambar 4.3	Diagram alir tahapan penelitian.....	97
Gambar 4.4	Perangkat dan mekanisme pengamatan spektrum dengan spektroskopi.....	99
Gambar 4.5	Perangkat dan mekanisme pengamatan pengecilan ukuran.....	103
Gambar 4.6	Prosedur kerja dari analisis kemometrik dalam karakterisasi kedelai.....	105
Gambar 4.7	Perangkat dan mekanisme perolehan citra.....	107

Gambar 4.8	Mekanisme pengambilan dan persiapan data...	109
Gambar 4.9	Prosedur segmentasi citra menggunakan metode HSV dengan pemrograman <i>Python 3.12.1</i> ; (a) algoritma; (b) kode sumber...	112
Gambar 4.10	Prosedur segmentasi citra menggunakan metode JST/HSV dengan pemrograman <i>Python 3.12.1</i> ; (a) algoritma; (b) kode sumber...	113
Gambar 4.11	Prosedur pemodelan segmentasi warna HSV dan JST...	115
Gambar 4.12	Skema pemodelan menggunakan JST/HSV...	117
Gambar 4.13	Pengendalian mutu kedelai berbasis NDT dengan sistem tertutup (<i>close loop control sistem</i>)...	119
Gambar 4.14	Diagram mekanisme dan wilayah kerja aplikasi sistem informasi kendali mutu kedelai...	121
Gambar 4.15	Prosedur analisis protein dengan metode <i>Kjeldahl</i> ...	124
Gambar 4.16	Prosedur analisis lemak dengan metode <i>Soxhlet</i> ...	125
Gambar 4.17	Langkah penentuan serat kasar...	127
Gambar 4.18	Penentuan kadar abu...	128
Gambar 5.1	Rata-rata data spektrum pantulan dengan: (a) jarak pengamatan 0 cm; 0,5 cm; 1 cm dan 1,5 cm; (b) sudut pengamatan 90° dan 45°; (c) jenis sampel biji (tunggal) dan curah, serta (d) keseluruhan perlakuan dari sampel biji kedelai...	131
Gambar 5.2	Simpangan baku spektrum pantulan pada jarak pengamatan 0 cm; 0,5 cm; 1 cm dan 1,5 cm...	132
Gambar 5.3	Simpangan baku spectrum pantulan pada sudut pengamatan 45° dan 90°...	133
Gambar 5.4	Simpangan baku spektrum pantulan pada jenis sampel biji (tunggal) dan curah...	134
Gambar 5.5	Hasil PCA dari semua perlakuan (jarak 0 cm; 0,5 cm; 1 cm; dan 1,5 cm; sudut 90° dan 45° serta mode preparasi biji tunggal dan bulk (PC-1 = 92% dan PC-2 = 8%))...	135
Gambar 5.6	Skor PCA dari sampel berdasarkan (a) ukuran dan (b) kelompok varietas...	142
Gambar 5.7	<i>Bi-plot</i> dari skor dan <i>loading</i> hasil PCA...	144
Gambar 5.8	Regresi linier ordinal dari ukuran partikel dan parameter warna (a) <i>L</i> , (b) <i>a*</i> , dan (c) derajat...	147
Gambar 5.9	Plot skor PCA dari (a) karakteristik parameter (b) <i>bi-plot</i> skor dan <i>loading</i> ...	156
Gambar 5.10	Reflektan spectra pada tiap perlakuan sampel dari beberapa genotipe kedelai (a) K1, (b) K2, (c) K3, (d) K4, (e) K5, (f) K6, (g) K7, dan (h) K8...	160
Gambar 5.11	Hasil PCA dari klasifikasi kedelai berdasarkan jenis perlakuan sampel: (a) plot skor (b) plot <i>loading</i> menggunakan metode transformasi <i>range-normalization</i> ...	162

Gambar 5.12 Hasil PCA klasifikasi kedelai berdasarkan genotipe sampel: (a) plot skor (b) plot <i>loading</i> menggunakan metode <i>multiplicative scatter correction</i> pada <i>pre-processing</i>	164
Gambar 5.13 Diagram MAPE pada semua parameter dari kalibrasi dan prediksi...	171
Gambar 5.14 Koefisien regresi parameter serat kasar hasil pemodelan PLSR.....	172
Gambar 5.15 Struktur serat terdiri dari ikatan C-H dan C-O (Richards <i>et al.</i> , 2012)...	172
Gambar 5.16 Koefisien regresi parameter klorofil hasil pemodelan PLSR.....	173
Gambar 5.17 Struktur klorofil a dan b (Pai and Nair, 2015).....	174
Gambar 5.18 Koefisien regresi parameter karoten total hasil pemodelan PLSR....	175
Gambar 5.19 Rumus struktur karoten (Trchounian <i>et al.</i> , 2016).....	176
Gambar 5.20 Koefisien regresi parameter vitamin C total hasil pemodelan PLSR...	177
Gambar 5.21 Rumus struktur vitamin C (Trchounian <i>et al.</i> , 2016).....	177
Gambar 5.22 Hubungan antara (a) protein dengan karoten total; (b) karbohidrat dan serat kasar; (c) klorofil dan karoten total serta (d) <i>L</i> dan <i>b*</i>	182
Gambar 5.23 Validasi model prediksi (a) protein dengan karoten total; (b) karbohidrat dengan serat kasar; (c) klorofil dengan karoten total; (d) Vitamin C dengan serat kasar, serta (e) <i>b*</i> dengan <i>L</i>	185
Gambar 5.24 Pola warna sampel HSV dalam (1) RGB dan (2) HSV dalam 3 dimensi, (a) Kedelai; (b) Jagung; (c) Kacang Hijau; dan (d) Kotoran lain (pasir)...	188
Gambar 5.25 Contoh hasil segmentasi menggunakan model rentang HSV pada campuran kotoran 5%.....	190
Gambar 5.26 Contoh hasil segmentasi menggunakan model JST dengan rentang warna HSV pada campuran kotoran 5%.....	192
Gambar 5.27 Pemodelan menggunakan metode segmentasi HSV; (a) kalibrasi; (b) validasi.....	193
Gambar 5.28 Pemodelan menggunakan metode segmentasi JST/HSV; (a) kalibrasi; (b) validasi.....	194
Gambar 5.29 Tampilan <i>GUI</i> halaman dalam Simuka.....	197
Gambar 5.30 Mekanisme hubungan antar halaman yang ditentukan oleh halaman ke- 1 dan ke-2.....	200
Gambar 5.31 Algoritma percabangan dalam klasifikasi mutu (a) dan contoh kode sumber yang ditulis dalam <i>Python</i> (b).....	203
Gambar 5.32 Contoh penggunaan aplikasi prediksi kadar parameter dan klasifikasi mutu pada Simuka; (a) data spektrum; (b) pengolahan citra; pada sampel campuran 5%.....	205
Gambar 5.33 Hasil validasi prediksi kadar parameter dalam Simuka; (a) serat kasar; (b) klorofil; (c) karoten total; (d) vitamin C.....	207

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar perangkat ukur spektrum dan citra	231
Lampiran 2. Data analisis kimia dan CIELAB	232
Lampiran 3. Hasil ANOVA perlakuan jarak, sudut dan jenis sampel	238
Lampiran 4. Hasil ANOVA pengecilan ukuran	241
Lampiran 5. Kode sumber perancangan Simuka	262

DAFTAR SIMBOL

a	: Tingkat aktivasi
a^*	: Parameter warna CIELAB
Δ	: Matrik diagonal dari nilai tunggal
Δ_{JG}	: Total bagian jagung
ΔO	: Respon keluaran
ΔI	: Perubahan masukan
B	: Parameter warna RGB (<i>blue</i>)
B	: Matrik koefisien regresi
β	: Beta koefisien
bo	: Koefisien regresi ke 0
b	: Parameter warna RGB (<i>blue</i>) ternormalisasi
b	: Koefisien regresi
b^*	: Parameter warna CIELAB
b_{PLS}	: koefisien regresi dari PLS
C^*	: <i>Chroma</i>
c	: Kecepatan cahaya
E	: Energi cahaya
ED_{JG}	: Bagian <i>endosperm</i> jagung
f	: skor dari k -th komponen utama matrik X
G	: Parameter warna RGB (<i>green</i>)
g	: Parameter warna RGB (<i>green</i>) ternormalisasi
H	: Faktor normalisasi
H	: Parameter warna HSV (<i>hue</i>)
h	: Konstanta <i>Planck</i>
h_i	: Faktor pemulusan
I	: Observasi
J	: Pengamatan variabel
k	: Nilai tengah
L	: Parameter warna CIELAB (<i>Lightness</i>)
Lr	: <i>Singular vectors</i>
P	: Matrik <i>loading</i> X dan Y
p_{ixel}	: Banyaknya pixel terpilih
p	: <i>Loading</i> dari spektrum X
p_k	: <i>Loading</i> dari k -th komponen utama matrik spektrum X
Q	: Matrik <i>loading</i> X dan Y
φ	: Fungsi aktivasi
q	: <i>Loading</i> dari konsentrasi Y

- q_k : *Loading* dari k - t_h komponen utama matrik konsentrasi Y
 R : Parameter warna RGB (*red*)
 R^2 : Simpangan baku
 r : Parameter warna RGB (*red*) ternormalisasi
 S : Sensitivitas
 S : Parameter warna HSV (*saturation*)
 T : Matrik skor X dan Y
 t : Skor dari spektrum X
 T : Transformasi matrik
 t_k : Skor dari k - t_h komponen utama matrik spektrum X
 σ : Simpangan baku
 U : Matrik skor X dan Y
 u : Skor dari konsentrasi Y
 Σu : Sinyal masukan keseluruhan
 u_k : Skor dari k - t_h komponen utama dari matrik konsentrasi Y
 μ : rata-rata populasi
 V : Parameter warna HSV (*value*)
 v : Frekwensi gelombang cahaya
 \bar{v} : Bilangan gelombang
 w : Pembebanan
 X : Matrik spektrum
 X_n : Data spektrum ke- n
 X_i : nilai ke- i
 x' : Data ter-normalisasi (*range*)
 x_k : Data setelah pemulusan
 x_{MSC} : Data setelah transformasi MSC
 x_{un} : Spektrum
 Y : Matrik konsentrasi
 Y' : Prediksi parameter
 Y_{un} : Prediksi konsentrasi Y
 y_a : Nilai observasi parameter sampel
 y_c : Hasil perhitungan parameter sampel
 y'_i : Prediksi
 y_i : hasil observasi
 y_m : Nilai rata-rata parameter sampel
 y_p : Nilai prediksi parameter sampel
 λ : Panjang gelombang cahaya