

**PERBANDINGAN KINERJA SPEKTROMETER
GENGGAM DAN KAMERA MULTISPEKTRAL PADA
PREDIKSI KONSENTRASI HARA N, P, K, Mg DAN Ca
PADA DAUN KELAPA SAWIT**

Tesis

Untuk memenuhi sebagian persyaratan

Mencapai derajat Sarjana S-2

Program Pasca Sarjana

Magister Manajemen Perkebunan



Diajukan oleh

BADI HARIADI

211366MMP

Kepada

PROGRAM PASCASARJANA

MAGISTER MANAJEMEN PERKEBUNAN

INSTITUT PERTANIAN STIPER

YOGYAKARTA

2023

TESIS

**PERBANDINGAN KINERJA SPEKTROMETER
GENGAM DAN KAMERA MULTISPEKTRAL PADA
PREDIKSI KONSENTRASI HARA N, P, K, Mg DAN Ca
PADA DAUN KELAPA SAWIT**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

BADI HARIADI

211366MMP

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada tanggal 31 Juli 2023

Susunan Dewan Penguji

Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Hermantoro, MS., IPU

Dosen Penguji,

Dr. Ismiasih, S. TP., M.Sc.

Dosen Penclaaah,



Dr. Ir. Andreas Wahyu Krisdiarto, M. Eng

Mengetahui
Direktur Pascasarjana
Magister Manajemen Perkebunan INSTIPER Yogyakarta



Dr. Ir. Hermantoro, MS., IPU

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 20 Juli 2023



Badi Hariadi

211366MMP

Pembimbing



Dr. Ir. Hermantoro, MS., IPU

PRAKATA

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الْحَمْدُ لِلَّهِ

Dengan memanjatkan Puji dan Syukur kepada Allah ﷻ atas segala rahmat dan karuniaNya pada penulis, akhirnya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis yang berjudul: “Perbandingan Kinerja Spektrometer Genggam Dan Kamera Multispektral Pada Prediksi Konsentrasi Hara N, P, K, Mg Dan Ca Pada Daun Kelapa Sawit”, dalam rangka memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Magister di Program Pascasarjana Magister Manajemen Perkebunan INSTIPER.

Penulis menyadari bahwa tesis ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis berterima kasih kepada semua pihak yang memberikan kontribusi dalam menyelesaikan tesis ini.

Selanjutnya ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Orang tua, istri, dan anak penulis yang telah memberikan dukungan dalam bentuk doa maupun semangat;
2. Dr. Ir. Hermantoro, MS., IPU, selaku dosen pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya untuk memberikan arahan dalam penyusunan tesis ini;
3. Dr. Ir. Andreas Wahyu Krisdiarto, M. Eng, selaku pembimbing kedua yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya untuk memberikan masukan, saran, dan koreksi pada penyusunan tesis ini;
4. Dosen Penguji, Dr. Ismiasih, S. TP., M.Sc. yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya untuk membantu menyempurnakan tesis ini;
5. Dr. Ir. Harsawardana, M.Eng, selaku rektor INSTIPER;
6. Tri Haryo Sagoro, ST, selaku pimpinan departemen tempat penulis bekerja yang telah mengizinkan saya untuk menempuh pendidikan program pascasarjana ini dan telah banyak memberikan dukungan, penulis doakan جَزَاكَ اللهُ خَيْرًا (“Semoga Allah membalasmu dengan kebaikan”);
7. Bapak Simon Siburat, selaku *Plantation Head* Indonesia di industri perkebunan kelapa sawit tempat penulis bekerja;

8. Bapak Rafizuddin Jailani, selaku General Manager (GM) PT. Mentaya Sawit Mas yang telah memberikan ijin penelitian dan dukungannya selama berkegiatan di lapangan;
9. Bapak Engkus Kusmana, selaku Asisten General Manager (AGM) PT. Mentaya Sawit Mas yang telah memberikan ijin penelitian dan dukungannya selama berkegiatan di lapangan;
10. Septa Primananda SP. M.Si., selaku pimpinan departemen agronomi yang telah memberikan saran, masukan, dan dukungan dalam penyusunan tesis ini;
11. Dr. Sukarman, S.ST., M.M., M.Si, kolega, sahabat, teman yang selalu siap dimintai saran dan masukan yang bermanfaat pada penyusunan tesis ini;
12. Ahmad Hasanuddin, Asyistadiah Kartika Ilmiya, Yulianto Bagus Ari Purnomo, Dwi Anggara, dan Ami Priyani, yang telah membantu selama kegiatan pengambilan data di lapangan, pengolahan data, dan analisa di laboratorium; dan
13. Rekan-rekan seperjuangan di kelas 23B Magister Manajemen Pertanian INSTIPER Yogyakarta yang telah memberikan dukungan dan terus menyemangati penulis dalam penyusunan tesis ini, dan juga pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Yogyakarta, 20 Juli 2023

Penulis,



Badi Hariadi

DAFTAR ISI

Bab	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	Error! Bookmark not defined.
Pernyataan	iii
Prakata.....	iv
Daftar Isi.....	vi
Daftar Tabel.....	ix
Daftar Gambar	xvii
Intisari	xxii
Abstract	xxii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Permasalahan	1
1.2. Perumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.4.1. Manfaat Teoritis	6
1.4.2. Manfaat Praktis.....	7
1.5. Keaslian Penelitian	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	13
2.1. Landasan Teori	13
2.1.1. Kesenjangan Produksi/Hasil	13
2.1.2. Faktor-Faktor Produksi Kelapa Sawit.....	15
2.1.3. Kebutuhan Nutrisi Kelapa Sawit	15
2.1.4. Aktivitas Fotosintesis Pada Tanaman Kelapa Sawit	17
2.1.5. Pemupukan Tanaman Kelapa Sawit	20

2.1.6. Spektrum Cahaya.....	22
2.1.8. Penginderaan Jauh	31
2.2. Kerangka Pemikiran.....	37
2.2.1. Penggunaan Teknik Spektroskopi Untuk Analisis Hara Daun Kelapa Sawit	37
2.2.2. Penggunaan Teknik Penginderaan Jauh Untuk Analisis Hara Daun Kelapa Sawit	39
2.2.3. Analisis Statistik untuk Mencari Hubungan Antara Nilai Reflektan Spektrometer dan Kamera Multispektral dengan Hasil Analisis Daun di Laboratorium.....	40
2.2.4. Diagram Alir Kerangka Pemikiran	43
2.3. Pertanyaan Penelitian	43
III. METODE PENELITIAN	45
3.1. Waktu dan Tempat	45
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	45
3.2.1. Alat Penelitian.....	45
3.2.2. Bahan Penelitian.....	45
3.3. Rancangan Penelitian.....	46
3.3.1. Pendekatan Penelitian	46
3.3.2. Populasi dan Sampel Penelitian	46
3.4. Pelaksanaan Penelitian.....	48
3.4.1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian	48
3.4.2. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	49
3.4.3. Survei Pendahuluan dan Penentuan Sampel	51
3.4.4. Pengambilan Sampel Daun dan Penyiapan Data	52
3.4.5. Pengambilan Foto Udara dan Penyiapan Data.....	55
3.4.6. Pengembangan Model Prediksi Spektrometer Genggam	57
3.4.7. Pengembangan Model Prediksi Kamera Multispektral	59
3.5. Variabel Pengamatan	60
3.6. Analisis Data	62

3.6.1. Koefisien Determinasi (R ²), MSE, RMSE, MAE, MAPE dan Correctness.....	63
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	68
4.1. Hasil Penelitian.....	68
4.1.1. Survei Pendahuluan dan Penentuan Sampel	68
4.1.2. Hasil Analisis Laboratorium Terhadap Sampel Daun Kelapa Sawit dan Penyiapan Data.....	72
4.1.3. Hasil Pemindaian Sampel Daun Menggunakan Spektrometer Genggam dan Penyiapan Data	77
4.1.4. Hasil Pengambilan Foto Udara dengan Kamera Multispektral dan Penyiapan Data.....	81
4.1.5. Pengembangan Model Prediksi Kandungan Nutrisi Daun Kelapa Sawit Menggunakan Spektrometer Genggam	93
4.1.6. Pengembangan Model Prediksi Kandungan Nutrisi Daun Kelapa Sawit Menggunakan Kamera Multispektral	109
4.2. Pembahasan.....	119
4.2.1. Karakteristik Distribusi Kandungan Unsur Hara Daun Pada Sampel Penelitian	119
4.2.2. Kinerja Prediksi Konsentrasi Hara N, P, K, Mg Dan Ca Daun Kelapa Sawit Menggunakan Alat Spektrometer Genggam.....	120
4.2.3. Kinerja Prediksi Konsentrasi Hara N, P, K, Mg Dan Ca Daun Kelapa Sawit Menggunakan Kamera Multispektral	145
4.2.4. Perbandingan Kinerja Model Prediksi Unsur Hara Menggunakan Spektrometer Genggam dan Kamera Multispektral.....	171
V. KESIMPULAN DAN SARAN	179
5.1. Kesimpulan.....	179
5.2. Saran	181
DAFTAR PUSTAKA.....	183

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Keaslian Penelitian.....	8
Tabel 2.1	Daftar indeks vegetasi	36
Tabel 3.1	Jadwal pelaksanaan penelitian	48
Tabel 3.2	Contoh tampilan tabel nilai reflektan sampel daun pada panjang gelombang tertentu.....	54
Tabel 3.3	Contoh tampilan tabel kadar hara N, P, K, Ca, Mg sampel daun hasil analisis laboratorium.	55
Tabel 3.4	Contoh tampilan tabel data indeks vegetasi dari foto udara kamera multispektral	57
Tabel 4.1	Kondisi topografi lahan di area penelitian.....	68
Tabel 4.2	Sampel terdapat pelepah rusak	73
Tabel 4.3	Sampel tidak memiliki data komposit.....	74
Tabel 4.4	Jumlah sampel daun dianalisis untuk masing-masing nomor pelepah	75
Tabel 4.5	Cuplikan data hasil analisis laboratorium pelepah nomor 3. Nilai dalam %Dry Matter (%DM).....	75
Tabel 4.6	Cuplikan data hasil analisis laboratorium pelepah nomor 9. Nilai dalam %DM.....	76
Tabel 4.7	Cuplikan data hasil analisis laboratorium pelepah nomor 17. Nilai dalam %DM.....	76
Tabel 4.8	Cuplikan data hasil analisis laboratorium pelepah nomor 25. Nilai dalam %DM.....	76
Tabel 4.9	Cuplikan data hasil analisis laboratorium komposit pelepah. Nilai dalam %DM.....	76
Tabel 4.10	Nilai reflektan (%DM) hasil pemindaian sampel daun dengan spektrometer genggam pada pelepah nomor 3.	78
Tabel 4.11	Nilai reflektan (%DM) hasil pemindaian sampel daun dengan spektrometer genggam pada pelepah nomor 9.	79

Tabel 4.12	Nilai reflektan (%DM) hasil pemindaian sampel daun dengan spektrometer genggam pada pelepah nomor 17.	79
Tabel 4.13	Nilai reflektan (%DM) hasil pemindaian sampel daun dengan spektrometer genggam pada pelepah nomor 25.	80
Tabel 4.14	Nilai reflektan (%DM) hasil pemindaian sampel daun dengan spektrometer genggam pada komposit pelepah.	81
Tabel 4.15	Nilai standard error untuk menentukan foto udara yang digunakan sebagai variabel bebas penelitian.	83
Tabel 4.16	Cuplikan nilai indeks vegetasi tiap sampel pohon kelapa sawit dari foto udara multispektral, pada penerbangan 1, 2, 3, 5, 7, dan 8, dengan pra-pemrosesan no-masking (tanpa segmentasi kanopi)...	87
Tabel 4.17	Cuplikan nilai indeks vegetasi tiap sampel pohon kelapa sawit dari foto udara multispektral, pada penerbangan 1, 2, 3, 5, 7, dan 8, dengan pra-pemrosesan ExG-masking (segmentasi kanopi dengan indeks vegetasi ExG).....	88
Tabel 4.18	Cuplikan nilai indeks vegetasi tiap sampel pohon kelapa sawit dari foto udara multispektral, pada penerbangan 1, 2, 3, 5, 7, dan 8, dengan pra-pemrosesan SAVI-masking (segmentasi kanopi dengan indeks vegetasi SAVI).....	90
Tabel 4.19	Cuplikan nilai indeks vegetasi tiap sampel pohon kelapa sawit dari foto udara multispektral, pada penerbangan 1, 2, 3, 5, 7, dan 8, dengan pra-pemrosesan ExG-SAVI-masking (segmentasi kanopi dengan indeks vegetasi ExG dan SAVI).	91
Tabel 4.20	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Nitrogen pada daun kelapa sawit menggunakan metode Regresi Linear Sederhana. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Keterangan: Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.).....	95
Tabel 4.21	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Phosphate pada daun kelapa sawit menggunakan metode Regresi Linear Sederhana. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang	

	memberikan kinerja prediksi terbaik. (Keterangan: Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.).....	96
Tabel 4.22	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Kalium pada daun kelapa sawit menggunakan metode Regresi Linear Sederhana. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Keterangan: Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.).....	97
Tabel 4.23	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Magnesium pada daun kelapa sawit menggunakan metode Regresi Linear Sederhana. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Keterangan: Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.).....	98
Tabel 4.24	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Kalsium pada daun kelapa sawit menggunakan metode Regresi Linear Sederhana. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Keterangan: Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.).....	98
Tabel 4.25	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Nitrogen pada daun kelapa sawit menggunakan metode PLS Regression. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Keterangan: Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.)	103
Tabel 4.26	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Phosphate pada daun kelapa sawit menggunakan metode PLS Regression. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Keterangan: Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.).....	103
Tabel 4.27	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Kalium pada daun kelapa sawit menggunakan metode PLS Regression. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan	

	kinerja prediksi terbaik. (Keterangan: Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.) 104
Tabel 4.28	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Magnesium pada daun kelapa sawit menggunakan metode PLS Regression. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Keterangan: Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.) 105
Tabel 4.29	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Kalsium pada daun kelapa sawit menggunakan metode PLS Regression. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Keterangan: Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.) 105
Tabel 4.30	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Nitrogen pada daun kelapa sawit menggunakan metode regresi linear sederhana. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.) 112
Tabel 4.31	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Phosphate pada daun kelapa sawit menggunakan metode regresi linear sederhana. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.) 113
Tabel 4.32	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Kalium pada daun kelapa sawit menggunakan metode regresi linear sederhana. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.) 113
Tabel 4.33	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Magnesium pada daun kelapa sawit menggunakan metode regresi linear sederhana. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang

	memberikan kinerja prediksi terbaik. (Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.) 114
Tabel 4.34	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Kalsium pada daun kelapa sawit menggunakan metode regresi linear sederhana. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.) 114
Tabel 4.35	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Nitrogen pada daun kelapa sawit menggunakan metode PLS Regression. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.)..... 116
Tabel 4.36	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Phosphate pada daun kelapa sawit menggunakan metode PLS Regression. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.) 116
Tabel 4.37	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Kalium pada daun kelapa sawit menggunakan metode PLS Regression. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.)..... 117
Tabel 4.38	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Magnesium pada daun kelapa sawit menggunakan metode PLS Regression. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan kinerja prediksi terbaik. (Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.) 117
Tabel 4.39	Kinerja model prediksi kandungan nutrisi Kalsium pada daun kelapa sawit menggunakan metode PLS Regression. Nilai correctness menjadi parameter untuk menilai model manakah yang memberikan

	kinerja prediksi terbaik. (Cal = Calibration, Cv = Cross Validation, Pred = Prediksi.).....	118
Tabel 4.40	Kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Nitrogen menggunakan alat spektrometer genggam.....	121
Tabel 4. 41	Grafik scatter plot, boxplot, dan residual plot kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Nitrogen menggunakan alat spektrometer genggam	122
Tabel 4.42	Kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Phosphate menggunakan alat spektrometer genggam.....	125
Tabel 4.43	Grafik scatter plot, boxplot, dan residual plot kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Phosphate menggunakan alat spektrometer genggam	127
Tabel 4.44	Kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Kalium menggunakan alat spektrometer genggam.....	128
Tabel 4.45	Grafik scatter plot, boxplot, dan residual plot kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Kalium menggunakan alat spektrometer genggam	130
Tabel 4.46	Kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Magnesium menggunakan alat spektrometer genggam	131
Tabel 4.47	Grafik scatter plot, boxplot, dan residual plot kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Magnesium menggunakan alat spektrometer genggam.....	133
Tabel 4.48	Kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Kalsium menggunakan alat spektrometer genggam	134
Tabel 4. 49	Grafik scatter plot, boxplot, dan residual plot kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Kalsium menggunakan alat spektrometer genggam	136
Tabel 4.50	Kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Kalsium menggunakan alat kamera multispektral.....	146

Tabel 4.51	Grafik scatter plot, boxplot, dan residual plot kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Nitrogen menggunakan alat kamera multispektral.	148
Tabel 4.52	Kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Phosphate menggunakan alat kamera multispektral.	149
Tabel 4.53	Kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Phosphate menggunakan alat kamera multispektral.	151
Tabel 4.54	Kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Kalium menggunakan alat kamera multispektral.	152
Tabel 4.55	Grafik scatter plot, boxplot, dan residual plot kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Kalium menggunakan alat kamera multispektral.	154
Tabel 4.56	Kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Magnesium menggunakan alat kamera multispektral.	155
Tabel 4.57	Grafik scatter plot, boxplot, dan residual plot kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Magnesium menggunakan alat kamera multispektral.	157
Tabel 4.58	Kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Kalsium menggunakan alat kamera multispektral.	158
Tabel 4.59	Grafik scatter plot, boxplot, dan residual plot kinerja model prediksi terbaik untuk memprediksi unsur hara Kalsium menggunakan alat kamera multispektral.	160
Tabel 4.60	Perbandingan kinerja model prediksi Kamera Multispektral dan Spektrometer Genggam untuk memprediksi unsur Nitrogen pada daun kelapa sawit	172
Tabel 4.61	Perbandingan kinerja model prediksi Kamera Multispektral dan Spektrometer Genggam untuk memprediksi unsur Phosphate pada daun kelapa sawit	173
Tabel 4.62	Perbandingan kinerja model prediksi Kamera Multispektral dan Spektrometer Genggam untuk memprediksi unsur Kalium pada daun kelapa sawit	174

Tabel 4.63	Perbandingan kinerja model prediksi Kamera Multispektral dan Spektrometer Genggam untuk memprediksi unsur Magnesium pada daun kelapa sawit	175
Tabel 4.64	Perbandingan kinerja model prediksi Kamera Multispektral dan Spektrometer Genggam untuk memprediksi unsur Kalsium pada daun kelapa sawit	176
Tabel 4.65	Perbandingan kinerja alat Spektrometer Genggam dan Kamera Multispektral.....	177

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi Grafik Kesenjangan Produksi (Donough, Witt, & Fairhurst, 2010).....	14
Gambar 2.2	Ilustrasi penentuan nomor pelepah (Foster, 2003).....	22
Gambar 2.3	Daerah spektrum elektromagnetik (Zwinkels, 2015).....	23
Gambar 2.4	Pemisahan spektrum warna menggunakan prisma (Zwinkels, 2015)	24
Gambar 2.5	Ilustrasi interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan benda- benda di permukaan bumi (Hadi, 2019).....	25
Gambar 2.6	Grafik persentase refleksi dan transmisi dari daun terhadap paparan radiasi matahari dengan sumbu X sebagai rentang spektrum radiasi matahari (Al-Rajab, 2021).....	26
Gambar 2.7	Ilustrasi seleksi penyerapan radiasi cahaya oleh tanaman (Al-Rajab, 2021).....	27
Gambar 2.8	Ilustrasi pantulan gelombang elektromagnetik dari 350-2500 nm pada tanaman yang sehat (Cotrozzi, 2022).....	28
Gambar 2.9	Rentang resolusi spektral pada kamera multispektral RedEdge-P (MicaSense, 2022b).....	34
Gambar 2.10	Ilustrasi respon pantulan gelombang elektromagnetik pada daun tanaman sehat dan tanaman dalam kondisi cekaman (MicaSense, 2022b).....	35
Gambar 2.11	Diagram alir kerangka pemikiran secara umum	43
Gambar 3.1	Alur teknik penentuan populasi yang diteliti dan sampel penelitian	48
Gambar 3.2	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Tahap 1, Tahap 2 dan Tahap 3	49
Gambar 3.3	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Tahap 5, Tahap 6 dan Tahap 7	50
Gambar 3.4	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Tahap 8	51

Gambar 3.5	Peta Sebaran Sampel Pohon Kelapa Sawit di area penelitian dilengkapi dengan nomor identitas sampel.	53
Gambar 4.1	Gambaran kandungan hara tanah di lokasi penelitian. Sumber: Departemen Agronomi PT. MSM.....	69
Gambar 4.2	Kondisi warna tanah di lokasi penelitian	69
Gambar 4.3	Peta Lokasi Penelitian.	70
Gambar 4.4	(a) Foto udara area penelitian, (b) Peta Kelas Indeks Vegetasi NDRE dengan lingkaran warna hitam merupakan sampel pohon terpilih, (c) Lingkaran warna merah merupakan sampel pohon terpilih, dan (d) Foto udara area area penelitian di-overlay-kan dengan lokasi sampel pohon kelapa sawit.....	71
Gambar 4.5	Grafik histogram populasi dan sampel pohon kelapa sawit di dalam area penelitian. Sampel diambil sebesar 15% dari total populasi secara acak terstruktur berdasarkan bentuk histogram.....	72
Gambar 4.6	Proses pengambilan sampel daun di lapangan.....	73
Gambar 4.7	Proses pemindaian sampel daun menggunakan spektrometer genggam.	77
Gambar 4.8	Grafik nilai reflektan (%DM) hasil pemindaian sampel daun dengan spektrometer genggam pada pelepah nomor 3. Sumbu y menunjukkan nilai reflektan sedangkan sumbu x menunjukkan panjang gelombang dalam satuan nanometer.	78
Gambar 4.9	Grafik nilai reflektan (%DM) hasil pemindaian sampel daun dengan spektrometer genggam pada pelepah nomor 9. Sumbu y menunjukkan nilai reflektan sedangkan sumbu x menunjukkan panjang gelombang dalam satuan nanometer.	79
Gambar 4.10	Grafik nilai reflektan hasil pemindaian sampel daun dengan spektrometer genggam pada pelepah nomor 17. Sumbu y menunjukkan nilai reflektan sedangkan sumbu x menunjukkan panjang gelombang dalam satuan nanometer.	80

Gambar 4.11	Grafik nilai reflektan (%DM) hasil pemindaian sampel daun dengan spektrometer genggam pada pelepah nomor 25. Sumbu y menunjukkan nilai reflektan sedangkan sumbu x menunjukkan panjang gelombang dalam satuan nanometer.	80
Gambar 4.12	Grafik nilai reflektan (%DM) hasil pemindaian sampel daun dengan spektrometer genggam pada komposit pelepah. Sumbu y menunjukkan nilai reflektan sedangkan sumbu x menunjukkan panjang gelombang dalam satuan nanometer.	81
Gambar 4.13	Proses pengambilan foto udara menggunakan pesawat udara tanpa awak DJI Matrice 300 RTK dan kamera multispektral MicaSense RedEdge-P. Gambar sebelah kiri menunjukkan gambar pesawat udara tanpa awak sebelum terbang dan gambar sebelah kanan menunjukkan gambar pesawat udara tanpa awak saat terbang melakukan misi pengambilan foto udara.....	82
Gambar 4.14	Pesawat Udara Tanpa Awak DJI Matrice 300 RTK, dilengkapi dengan Kamera Multispektral, <i>Down Light Sensor</i> dan <i>Calibrated Reflectance Panel</i>	83
Gambar 4.15	Grafik nilai <i>irradiance</i> tiap foto udara di masing-masing penerbangan. Angka 1, 2, 3, dan seterusnya memberikan informasi nomor penerbangan.	85
Gambar 4.16	<i>Image masking</i> kanopi pohon kelapa sawit menggunakan metode Otsu-Threshold (Kim, et al., 2018) sebagai pembatas antara area kanopi pohon dan bukan-area-kanopi-pohon-kelapa-sawit.....	86
Gambar 4.17	Grafik dominasi pelepah pada tiap jenis pra-pemrosesan data pada pengembangan model prediksi menggunakan teknis statistik Regresi Linear Sederhana. (a) Grafik dominasi pelepah untuk data original, (b) grafik dominasi pelepah untuk pra-pemrosesan data Savitzky-Golay 2nd Derivatives, (c) grafik dominasi pelepah untuk pra-pemrosesan data Multiplicative Scatter Correction (MSC), dan (d) grafik dominasi pelepah untuk pra pemrosesan data MSC-Savitzky-Golay 2nd Derivatives.....	100

Gambar 4.18	Grafik dominasi pelepas pada tiap jenis pra-pemrosesan data pada pengembangan model prediksi menggunakan teknik statistik <i>PLS Regression</i> . (a) Grafik dominasi pelepas untuk data original, (b) grafik dominasi pelepas untuk pra-pemrosesan data <i>Savitzky-Golay 2nd Derivatives</i> , (c) grafik dominasi pelepas untuk pra-pemrosesan data <i>Multiplicative Scatter Correction (MSC)</i> , dan (d) grafik dominasi pelepas untuk pra pemrosesan data <i>MSC-Savitzky-Golay 2nd Derivatives</i>	107
Gambar 4.19	Status ketersediaan nutrisi daun sampel pohon penelitian.	119
Gambar 4.20	Diagram <i>Boxplot</i> perbandingan nilai <i>Correctness</i> antara Regresi Linear Sederhana dan <i>Partial Least Squares Regression</i>	138
Gambar 4.21	Diagram <i>Boxplot</i> perbandingan nilai <i>Correctness</i> antara Regresi Linear Sederhana dan <i>Partial Least Squares Regression</i> untuk mencari dominasi nomor pelepas dengan nilai <i>Correctness</i> tertinggi.	141
Gambar 4.22	<i>Heatmap</i> nilai korelasi seluruh kombinasi indeks pada model prediksi Nitrogen.....	142
Gambar 4.23	<i>Heatmap</i> nilai korelasi seluruh kombinasi indeks pada model prediksi Phosphate.	143
Gambar 4.24	<i>Heatmap</i> nilai korelasi seluruh kombinasi indeks pada model prediksi Kalium.....	143
Gambar 4.25	<i>Heatmap</i> nilai korelasi seluruh kombinasi indeks pada model prediksi Magnesium.	144
Gambar 4.26	<i>Heatmap</i> nilai korelasi seluruh kombinasi indeks pada model prediksi Kalsium.	144
Gambar 4.27	Diagram <i>Boxplot</i> Perbandingan Hasil Prediksi Unsur Hara Daun Kelapa Sawit Menggunakan Kamera Multispektral dengan teknik Regresi Linear Sederhana dan <i>PLS Regression</i>	162
Gambar 4.28	Diagram <i>Boxplot</i> perbandingan nilai <i>Correctness</i> antara Regresi Linear Sederhana dan <i>Partial Least Squares Regression</i> untuk	

	mencari dominasi nomor pelepah dengan nilai <i>Correctness</i> tertinggi.	166
Gambar 4.29	Diagram <i>Boxplot</i> perbandingan nilai <i>Correctness</i> antara Regresi Linear Sederhana dan <i>Partial Least Squares Regression</i> untuk mencari dominasi pra-pemrosesan dengan nilai <i>Correctness</i> tertinggi.....	167
Gambar 4.30	Diagram <i>Boxplot</i> perbandingan nilai <i>Correctness</i> antara Regresi Linear Sederhana dan <i>Partial Least Squares Regression</i> untuk mencari dominasi nomor penerbangan dengan nilai <i>Correctness</i> tertinggi.....	169

INTISARI

Pemupukan menjadi faktor yang penting untuk menunjang pertumbuhan dan produktivitas tanaman kelapa sawit. Salah satu aspek yang berkaitan dengan pemupukan adalah mengenai ketepatan, yaitu tepat jenis, dosis, waktu, cara, tempat, dan alat. Saat ini, penentuan besarnya dosis pemupukan dilakukan melalui evaluasi terhadap kadar hara daun yang dilakukan secara destruktif. Perkembangan teknologi telah menghasilkan alat yang dapat digunakan mengevaluasi kadar hara daun tanpa destruktif, yaitu spektrometer genggam dan kamera multispektral.

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan kinerja model prediksi dari kedua alat tersebut untuk memprediksi kadar hara Nitrogen (N), Phosphate (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), dan Kalsium (Ca) yang dikembangkan dengan teknik statistik Regresi Linear Sederhana dan *Partial Least Squares Regression*. Analisis hara daun sebagai variabel terikat, dilakukan terhadap pelepah 3, 9, 17, 25 dan komposit. Sementara variabel bebas, yaitu nilai pantulan daun, diperoleh dari spektrometer genggam dan kamera multispektral.

Hasil penelitian ini adalah kinerja model prediksi konsentrasi unsur hara N, P, K, Mg, dan Ca daun kelapa sawit menggunakan alat spektrometer, memiliki nilai *Correctness* tertinggi berturut-turut sebesar 96,12%; 97,32%; 91,16%; 91,37%; dan 90,31%, seluruhnya pada pelepah komposit.

Kinerja model prediksi konsentrasi unsur hara N, P, K, Mg, dan Ca daun kelapa sawit menggunakan alat kamera multispektral, memiliki nilai *Correctness* berturut-turut sebesar 96,06%; 97,49%; 90,29%; 92,65%; dan 89,91%, yaitu pada pelepah komposit untuk unsur hara N, P, Mg dan Ca, serta pada pelepah nomor 3 untuk unsur hara K.

Spektrometer genggam memberikan kinerja model prediksi dengan nilai *Correctness* tertinggi untuk memprediksi unsur N, K, dan Ca; sementara kamera multispektral untuk memprediksi unsur P dan Mg.

Kata Kunci: Spektrometer genggam, Kamera multispektral, Kadar hara daun.

Dosen Pembimbing,



Dr. Ir. Hermantoro, MS., IPU

Penulis / Peneliti,



Badi Hariadi

Dosen Penelaah,



Dr. Ir. Andreas Wahyu Krisdiarto, M. Eng

ABSTRACT

Fertilization is an important factor to support the growth and productivity of oil palm plants. One aspect related to fertilization, regarding accuracy, there are the right type, dose, time, method, place, and tool. Currently, the determination of the amount of fertilization dose is done by evaluating the nutrient content of the leaves which is done destructively. Technological developments have resulted in tools that can be used to evaluate leaf nutrient levels without being destructive, there are hand-held spectrometers and multispectral cameras.

This study was conducted to compare the performance of the prediction models of the two tools for predicting levels of Nitrogen (N), Phosphate (P), Potassium (K), Magnesium (Mg), and Calcium (Ca) nutrients which were developed using the Multiple Linear Regression statistical technique and Partial Least Squares Regression. Leaf nutrient analysis as the dependent variable was carried out on fronds 3, 9, 17, 25, and composited. While the independent variable, the value of leaf reflection, was obtained from a hand-held spectrometer and a multispectral camera.

The results of this study are the performance of the prediction models for the concentration of nutrients N, P, K, Mg, and Ca in oil palm leaves using a spectrometer, which has the highest correctness value of 96.12%; 97.32%; 91.16%; 91.37%; and 90.31%, all in the composited frond.

The performance of the prediction model for the concentration of nutrients N, P, K, Mg, and Ca in oil palm leaves using a multispectral camera has a Correctness value of 96.06%; 97.49%; 90.29%; 92.65%; and 89.91%, in the composited fronds for nutrients N, P, Mg, and Ca, and in frond number 3 for K nutrients.

The hand-held spectrometer provides predictive model performance with the highest Correctness values for predicting elements of N, K, and Ca; while the multispectral camera predicts elements of P and Mg.

Key Words: Hand-held spectrometer, multispectral camera, Leaf nutrient content.