

Identifikasi Tutupan Lahan Perkebunan dan Potensi Panen Tebu Menggunakan Citra Satelit dengan Metode *Linear Spectral Unmixing* di Kabupaten Ngawi

Muhammad Alvin Ali Fikri dan Lalu Muhamad Jaelani
Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: lmjaelani@geodesy.its.ac.id

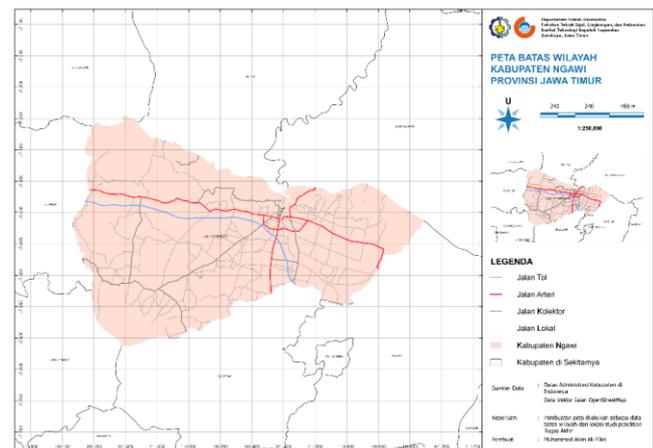
Abstrak—Tebu (*Saccharum spp*) merupakan tanaman dengan kandungan sukrosa tinggi dan merupakan sumber pemenuhan kebutuhan gula terbesar di Indonesia. Kabupaten Ngawi merupakan salah satu produsen tebu terbesar di Jawa Timur dengan total lahan perkebunan sebesar 4,500 ha pada Tahun 2022. Berdasarkan data Proyeksi Neraca Gula Nasional 2017-2021 diketahui bahwa Indonesia mengalami tren peningkatan defisit gula. Oleh karena itu, pemantauan sebaran tutupan lahan perkebunan dan potensi hasil panen tebu dibutuhkan sebagai informasi dasar untuk meningkatkan potensi produktivitas tebu. Salah satu metode digunakan untuk mengidentifikasi sebaran tutupan lahan perkebunan tebu adalah *linear spectral unmixing*. Metode ini memanfaatkan spektral murni (*endmember*) tebu yang diakuisisi menggunakan spektrometer. Data hasil panen tebu dari tahun 2018 hingga tahun 2022 yang dirilis oleh BPS Kabupaten Ngawi digunakan dalam pembuatan prediksi Potensi Hasil Panen Tebu menggunakan metode regresi linier. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini berupa peta fraksi tanaman tebu dan luasan lahan perkebunan tebu di Kabupaten Ngawi serta prediksi potensi hasil panen tebu. Dari hasil pengolahan diketahui bahwa pada tahun 2022 Kabupaten Ngawi memiliki lahan perkebunan tebu seluas 4136,560 hektar. Uji akurasi dilakukan di Desa Rejuno dengan 68 titik sampel dan diketahui *overall accuracy* sebesar 88,24% serta *kappa accuracy* sebesar 76,31%. Potensi hasil panen tebu dengan variabel tahun menghasilkan nilai korelasi pearson sebesar 0,802 sementara pada variabel luasan lahan dihasilkan nilai korelasi pearson sebesar 0,387.

Kata Kunci—*Endmember*, Kabupaten Ngawi, *Linear Spectral* Potensi Panen, Tebu, *Unmixing*.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan negara dengan 275,36 juta penduduk dikategorikan sebagai salah satu negara dengan jumlah penduduk terbanyak di dunia [1]. Adanya pertumbuhan penduduk Indonesia yang signifikan dari tahun ke tahun sejalan dengan kenaikan konsumsi gula nasional. Berdasarkan data dari BPS mengenai Proyeksi Neraca Gula Nasional 2017-2021 diketahui bahwa terdapat tren peningkatan defisit gula berturut-turut dengan nilai -2,6 ton; -2,6 ton; -2,7 ton; -2,7 ton; dan -2,8 ton. Guna memenuhi kebutuhan gula domestik serta menstabilkan harga dalam negeri, pemerintah setiap tahun harus impor gula dari luar negeri [2]. Di Indonesia, tanaman tebu memegang peranan penting dalam pemenuhan kebutuhan komersial gula di Indonesia. Menurut data BPS, produksi gula di Indonesia pada tahun 2017–2021 berturut-turut adalah 2,19 ton; 2,17 ton; 2,26 ton; 2,13 ton; dan 2,24 ton.

Kabupaten Ngawi merupakan salah satu wilayah dengan luas wilayah sebesar 1.394,74 km² dan luas lahan perkebunan pada tahun 2022 sebesar 9300 ha. Menurut data Badan Pusat

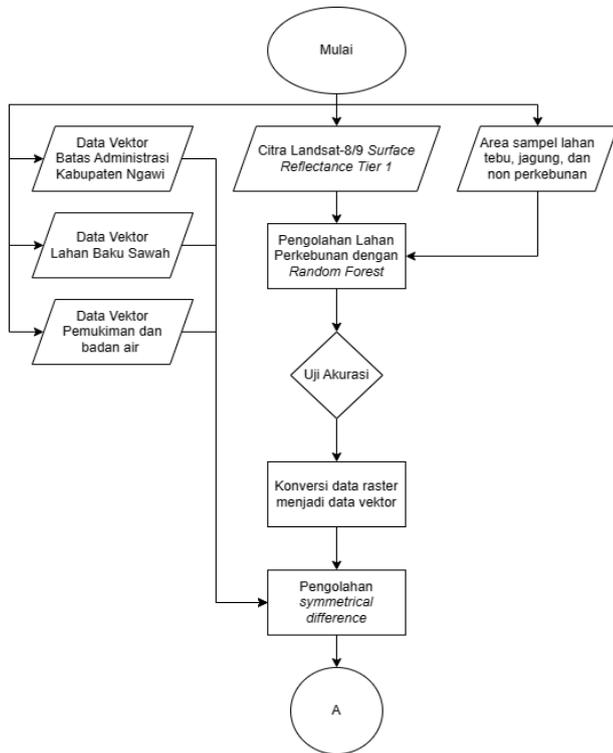


Gambar 1. Lokasi penelitian.

Statistik Kabupaten Ngawi diketahui bahwa pada tahun 2022 terdapat perkebunan tebu seluas 4500 ha dan merupakan komoditi dengan areal perkebunan terluas di Kabupaten Ngawi dengan cakupan sebesar 48,39% dari total lahan perkebunan di Kabupaten Ngawi. Kabupaten Ngawi memiliki 1 pabrik gula yang siap mengolah hasil tebu rakyat serta ada beberapa pabrik gula di sekitar wilayah ini seperti pabrik gula di Kabupaten Magetan dan Kabupaten Madiun. Pada tahun 2022, Kabupaten ini menghasilkan tebu sebesar 23,58 ton [3].

Tebu (*Saccharum spp*) merupakan tanaman rumput besar dari famili *poaceae*. Tebu merupakan tanaman yang memiliki kandungan sukrosa tinggi dan dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan pemanis pangan dalam bentuk gula pasir. Terdapat beberapa varietas tebu hibrida modern yang dibudidayakan di Indonesia. Varietas tebu tersebut umumnya merupakan hasil persilangan dari dua varietas, yaitu varietas *saccharum officinarum* dan *saccharum spontaneum* [4]. Berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 318/KPTS/KB.020/10/2015 diketahui bahwa terdapat beberapa varietas tebu unggul yang ditanam di Indonesia di antaranya adalah PS 881, Cening, Kentung, GMP 1 dan PSDK 923 [5].

Informasi sebaran tutupan lahan perkebunan tebu dan potensi hasil panennya dapat ditelusuri dengan penginderaan jauh dengan tujuan sebagai acuan dalam upaya peningkatan produktivitas tebu. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam pengukuran kuantitatif salah satunya adalah klasifikasi spektral dengan metode *linear spectral unmixing* (LSU) [6]. Metode *linear spectral unmixing* dapat digunakan untuk memperoleh informasi dari piksel campuran (*mixed pixel*) dengan menguantifikasi tutupan kanopi dari objek (*endmember*) pada tiap piksel dari citra [7]. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam pembuatan prediksi



Gambar 3. Diagram alir pembuatan lahan baku perkebunan tebu.

potensi hasil panen salah satunya adalah regresi linier. Salah satu contoh penggunaan metode ini adalah perhitungan potensi panen tebu di Queensland, Australia menggunakan regresi linier ganda [8].

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian tugas akhir ini ditujukan untuk mengidentifikasi tutupan lahan perkebunan serta potensi hasil panen tebu menggunakan data citra Landsat-8 dan Landsat-9 di Kabupaten Ngawi. Penelitian ini mengaplikasikan metode klasifikasi *random forest* dan *linear spectral unmixing* untuk mengidentifikasi tutupan lahan perkebunan tebu dan regresi linier sederhana untuk prediksi potensi hasil panen tebu. Luaran yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah informasi spasial berupa peta pada skala 1:100.000 guna memberikan gambaran terkait sebaran tutupan lahan perkebunan dan potensi hasil panen tebu di Kabupaten Ngawi.

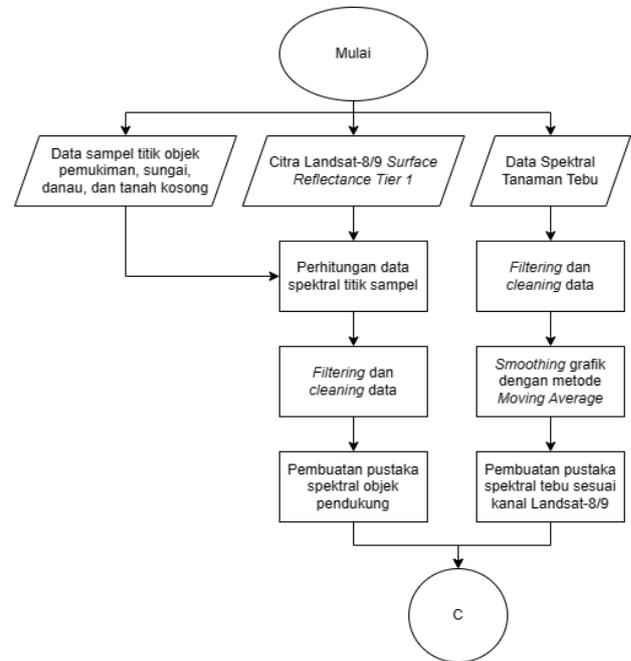
II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada Kabupaten Ngawi dengan koordinat geografis antara 7°21'–8°31' Lintang Selatan dan antara 110°10'–111°40' Bujur Timur seperti disajikan pada Gambar 1. Kabupaten Ngawi memiliki 9.300 ha lahan perkebunan dengan 4.500 ha atau 48,39% dari total lahan perkebunan merupakan lahan perkebunan tebu [9].

B. Data dan Peralatan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah lahan baku perkebunan tebu yang dibuat menggunakan *random forest* pada citra Landsat-8 *surface reflectance tier 1* dan hasil pengolahan *symmetrical difference* pada data vektor batas administrasi Kabupaten Ngawi, data vektor lahan baku sawah, data vektor pemukiman, dan data vektor badan air. Data fase tanaman tebu dan rentang nilai NDVI per fase diperlukan untuk penentuan *threshold* NDVI dalam pengolahan *linear spectral unmixing*. Pustaka spektral tebu



Gambar 2. Diagram alir pembuatan pustaka *spectral*.

diperoleh menggunakan spektrometer sementara pustaka spektral dengan objek sungai, danau/waduk, pemukiman, dan lahan kosong diperoleh dengan rerata nilai reflektan tiap titik sampel pada tiap kanal di Landsat-8 yang selanjutnya digunakan untuk pengolahan *linear spectral unmixing*. Data panen tebu dan luas lahan perkebunan tebu yang diperoleh melalui data BPS Kabupaten Ngawi pada Tahun 2018 hingga 2022 digunakan untuk perhitungan prediksi potensi hasil panen tebu.

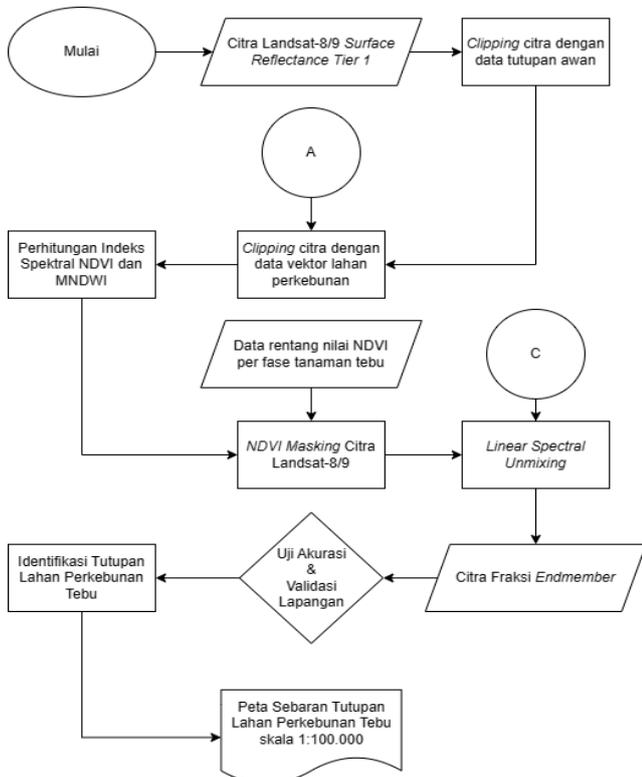
Piranti keras yang digunakan pada penelitian ini adalah spektrometer Ocean Optics USB4000 untuk merekam pustaka spektral tebu, Laptop Asus K413FQ untuk penyajian data dan laporan dan PC Workstation HP Z440 untuk pengolahan dan konversi data. Piranti lunak yang digunakan pada penelitian ini adalah Google Earth Engine untuk pengolahan data *random forest* dan *linear spectral unmixing*, QGIS untuk pengolahan *symmetrical difference* dan penyajian data berupa peta, dan Microsoft Office 365 untuk pengolahan data tabular, pembuatan laporan, dan penyajian laporan.

C. Tahap Pengolahan Data

Pada

Gambar 3 pembuatan lahan baku perkebunan tebu dilakukan dengan memanfaatkan data vektor lahan baku sawah yang dirilis oleh Kementerian Pertanian, data vektor batas administrasi Kabupaten Ngawi yang dirilis oleh BIG, dan data vektor pemukiman serta badan air yang dirilis oleh OpenStreetMap. Data raster yang digunakan adalah citra Landsat-8 *surface reflectance* yang selanjutnya dilakukan pengolahan *random forest* dengan beberapa titik sampel lahan tebu, jagung, dan non perkebunan. Data raster hasil klasifikasi kemudian dikonversi menjadi data vektor dan dilakukan pengolahan *symmetrical difference* dengan beberapa data vektor yang telah disiapkan untuk menghasilkan lahan baku perkebunan tebu.

Pada Gambar 2 pembuatan pustaka spektral tanaman tebu dilakukan dengan melakukan perekaman nilai reflektan daun tebu menggunakan alat spektrometer. Data reflektan tebu kemudian disatukan dan dilakukan *cleaning* untuk meminimalisir data *outlier*. Data tersebut selanjutnya

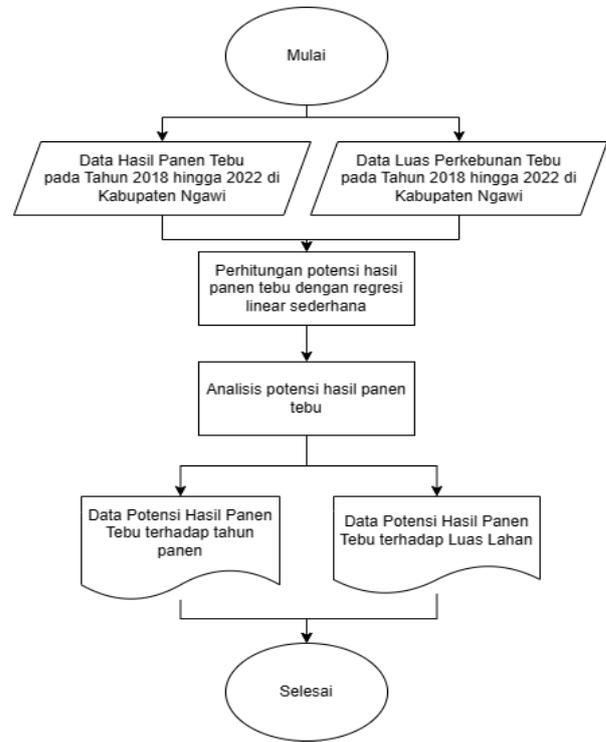


Gambar 4. Diagram alir pengolahan LSU.

dilakukan pengolahan *moving average* untuk memperhalus sebaran data pada grafiknya kemudian dilakukan perhitungan rerata nilai reflektan sesuai dengan kanal pada Landsat-8 untuk menghasilkan pustaka spektral tebu. Pembuatan pustaka spektral objek pendukung dilakukan dengan pembuatan titik sampel objek sungai, danau/waduk, pemukiman, dan lahan kosong pada citra Landsat-8 *surface reflectance*. Data reflektan pada tiap titik sampel selanjutnya dilakukan *cleaning* untuk meminimalisir data *outlier* yang selanjutnya dilakukan perhitungan rerata nilai tiap kanal untuk menghasilkan pustaka spektral objek pendukung.

Pada Gambar 4 pengolahan *linear spectral unmixing* (LSU) dilakukan dengan *clipping* citra Landsat-8 *surface reflectance* dengan data tutupan awan untuk meminimalisir efek tutupan awan dalam pengolahan selanjutnya. Data citra Landsat-8 selanjutnya dilakukan *clipping* dengan data lahan baku perkebunan untuk memperkecil area pengolahan pada objek perkebunan terduga. Perhitungan nilai indeks spektral NDVI dilakukan agar citra dapat dilakukan *masking* nilai NDVI sesuai dengan rentang nilai NDVI pada tiap fase pertumbuhan tebu. Selanjutnya dilakukan pengolahan LSU dengan pustaka spektral tebu dan pustaka spektral pendukung untuk mendapatkan citra fraksi *endmember*. Hasil pengolahan LSU selanjutnya dilakukan uji akurasi dan validasi lapangan untuk mengetahui tingkat keakuratan dari hasil klasifikasi. Selanjutnya dilakukan identifikasi tutupan lahan perkebunan tebu dan penyajian data berupa peta sebaran tutupan lahan perkebunan tebu skala 1:100.000.

Pada Gambar 5 perhitungan prediksi potensi hasil panen tebu dilakukan dengan metode regresi linier sederhana dengan kombinasi perhitungan potensi hasil panen tebu terhadap luas lahan perkebunan tebu dan perhitungan potensi hasil panen tebu terhadap tahun panen tebu. Hasil perhitungan potensi hasil panen tebu dilakukan uji korelasi menggunakan metode korelasi Pearson untuk mengetahui kekuatan hubungan antara kedua variabel tersebut.



Gambar 5. Diagram alir perhitungan prediksi potensi hasil panen tebu.

D. Indeks Vegetasi

Pada penelitian ini digunakan indeks vegetasi berupa NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Indeks ini merupakan kombinasi matematis antara kanal spektrum *Red* dan kanal spektrum *NIR* (*Near Infrared Band*). Nilai NDVI memiliki rentang dari -1 hingga +1 dimana nilai 0 menuju +1 menunjukkan area vegetasi. Indeks NDVI dapat dinyatakan sebagai berikut [10]:

$$NDVI = \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \right) \quad (1)$$

E. Linear Spectral Unmixing

Linear Spectral Unmixing merupakan suatu metode di mana piksel campuran pada citra didekomposisi secara linear menggunakan pustaka spektral yang kemudian menjadi kumpulan spektrum murni (*endmember*). Pengolahan ini menghasilkan peta fraksi yang menunjukkan proporsi setiap *endmember* pada suatu piksel [11].

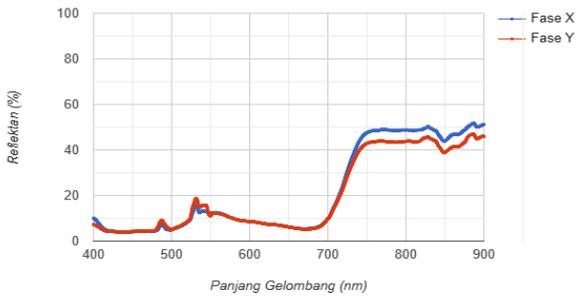
Endmember merupakan nilai reflektan murni suatu objek [12]. Pada penelitian ini digunakan *endmember* inti berupa *endmember* tanaman tebu yang diakuisisi menggunakan spektrometri. Kemudian digunakan *endmember* pendukung berupa objek pemukiman, lahan kosong, area sungai, dan area danau/waduk yang diperoleh dengan ekstraksi nilai pada titik sampel di citra Landsat-8/9 *Surface Reflectance Tier 1*.

F. Regresi linier

Regresi linier adalah suatu uji statistik terapan yang dapat menjelaskan hubungan antar variabel serta pembuatan prediksi berdasarkan variabel masukan [13]. Regresi linier dapat dinyatakan dengan rumus berikut di mana *y* adalah variabel terikat dan *x* adalah variabel bebas.

$$y = mx + c \quad (2)$$

Korelasi Pearson dapat digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antar variabel secara linier dengan



Gambar 6. Grafik nilai spektral tanaman tebu.

Tabel 1. Nilai Reflektan Tebu pada Landsat-8/9

Kanal	Landsat-8/9	
	Tebu Fase X	Tebu Fase Y
B1	0.0406	0.0399
B2	0.0551	0.0507
B3	0.1199	0.1156
B4	0.0597	0.0604
B5	0.4174	0.4705

Tabel 2. Nilai Reflektan Objek Pendukung

Kanal	Pemukiman	Sungai	Danau/Waduk	Tanah Kosong
B1	0,1490	0,1319	0,1375	0,1567
B2	0,1294	0,1073	0,1141	0,1457
B3	0,1111	0,0790	0,0930	0,1456
B4	0,1063	0,0572	0,0685	0,1684
B5	0,2168	0,0607	0,0665	0,3242

rentang nilai -1 hingga +1. Pada nilai korelasi Pearson 0 diketahui bahwa kedua variabel tidak memiliki hubungan secara linier [14]. Korelasi Pearson dapat dinyatakan sebagai berikut dengan S_{xy} merupakan nilai kovarian dari x dan y sementara S_x dan S_y masing-masing merupakan nilai standar deviasi dari x dan y .

$$r_{x,y} = \frac{S_{xy}}{S_x \times S_y} \tag{3}$$

G. Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk mengetahui tingkat kesalahan saat klasifikasi tutupan lahan sehingga dapat diketahui besaran ketelitian atau akurasi dari hasil klasifikasi yang dilakukan. Uji akurasi dapat dilakukan dengan melakukan pembuatan matriks kontingensi yang secara umum disebut dengan matriks konfusi (*confusion matrix*). *Overall Accuracy* dapat dinyatakan dengan rumus berikut dengan X_{ii} merupakan nilai diagonal matriks kontingensi dan N adalah total data pada matriks kontingensi [15].

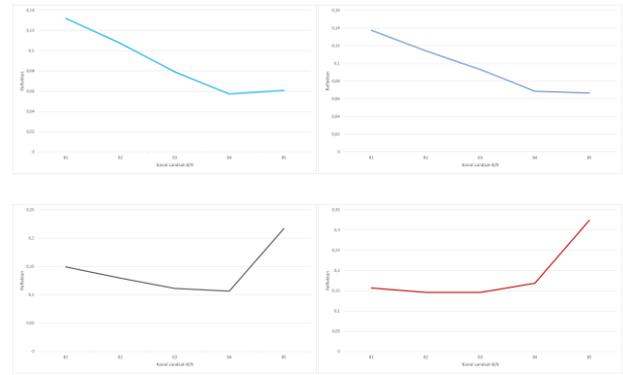
$$Overall Accuracy = \sum_i^r \frac{X_{ii}}{N} \times 100\% \tag{4}$$

Menurut Badan Standarisasi Nasional akurasi hasil klasifikasi dianggap benar apabila memiliki hasil akurasi minimal 80% dari tiap kelas penutup lahan dan total akurasi seluruh kelas 90% [16]. Menurut US *Geological Survey* (USGS) hasil klasifikasi dianggap benar apabila memiliki hasil akurasi keseluruhan minimal 85%.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pembuatan Pustaka Spektral

Pustaka spektral diperlukan dalam pengolahan *linear spectral unmixing* sehingga diperlukan beberapa data



Gambar 7. Pustaka spektral objek pendukung.

Tabel 3. Rentang Nilai NDVI Tiap Fase Tanaman Tebu

Fase	NDVI	
	Minimum	Maksimum
Perkecambahan	0,2200	0,3005
Pertunasan	0,3006	0,6140
Pemanjangan Batang	0,7125	0,8630
Kemasakan	0,6150	0,7124

Tabel 4. Luas Lahan Per Fase

Fase Tebu	Luas Lahan (ha)
Perkecambahan	0,000
Pertunasan	120,842
Pemanjangan Batang	2182,691
Kemasakan	1833,027

endmember. Pada penelitian ini digunakan *endmember* tanaman tebu pada fase 3 dan data *endmember* pendukung seperti objek sungai, danau/waduk, lahan kosong, dan lahan terbangun. Data *endmember* tebu digunakan untuk pengolahan *linear spectral unmixing*. Data *endmember* tebu kemudian digunakan dalam pembuatan grafik indeks spektral. Grafik nilai spektral tanaman tebu disajikan pada Gambar 6.

Pustaka spektral yang telah diolah kemudian dilakukan rerata sesuai dengan rentang nilai pada tiap kanal citra satelit Landsat-8/9.

Tabel 1 menunjukkan nilai pustaka spektral dari tanaman tebu pada citra satelit Landsat-8/9.

Pada Gambar 7 (kiri atas) menunjukkan nilai rerata reflektan objek sungai, Gambar 7 (kanan atas) menunjukkan nilai rerata reflektan objek danau/waduk, Gambar 7 (kiri bawah) menunjukkan nilai rerata reflektan objek pemukiman dan Gambar 7 (kanan bawah) menunjukkan nilai rerata objek tanah kosong. Nilai reflektan objek didapatkan dari pembuatan titik sampel tiap objek pada citra Landsat-8 *surface reflectance*.

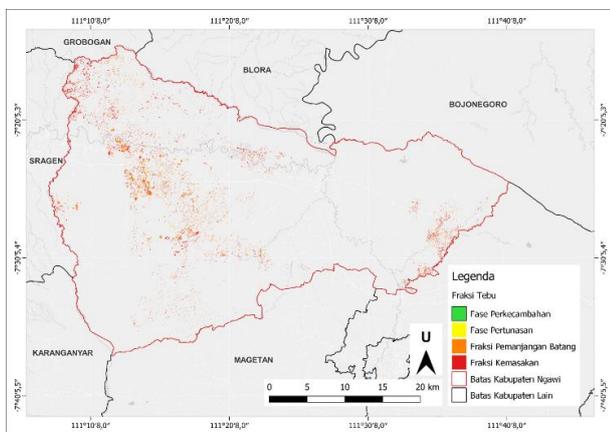
Pustaka spektral objek pendukung yang telah dilakukan rerata pada tiap kanal citra Landsat-8 selanjutnya digunakan dalam pengolahan LSU. Nilai pustaka spektral dari tiap objek pendukung pada tiap kanal Landsat-8 disajikan pada Tabel 2.

B. Sebaran Tutupan Lahan Perkebunan Tebu

Identifikasi fase pertumbuhan tanaman tebu perlu diketahui sebelum melakukan identifikasi tutupan lahan perkebunan tebu yang dilakukan menggunakan metode *linear spectral unmixing*. Informasi fase pertumbuhan tanaman tebu diperlukan untuk mengetahui rentang nilai indeks spektral NDVI pada tiap fase pertumbuhan tanaman tebu. Tabel 3 Menunjukkan rentang nilai NDVI pada tiap fase menurut penelitian Stefani & Jaelani pada Tahun 2023 [17].

Tabel 5.
Sebaran Tebu Per Kecamatan

No	Kecamatan	Luas Lahan (ha)	Persentase
1	Bringin	23,871	0,58
2	Geneng	16,254	0,39
3	Gerih	20,166	0,49
4	Jogorogo	208,582	5,04
5	Karangjati	341,669	8,26
6	Karanganyar	808,807	19,55
7	Kedunggalar	711,712	17,21
8	Kendal	158,380	3,83
9	Kwadungan	27,511	0,67
10	Kasreman	0,429	0,01
11	Mantingan	200,328	4,84
12	Ngawi	6,078	0,15
13	Ngrambe	84,029	2,03
14	Padas	32,264	0,78
15	Pangkur	84,682	2,05
16	Paron	274,404	6,63
17	Pitu	138,651	3,35
18	Sine	10,588	0,26
19	Widodaren	988,155	23,89
Total		4.136,560	100,00

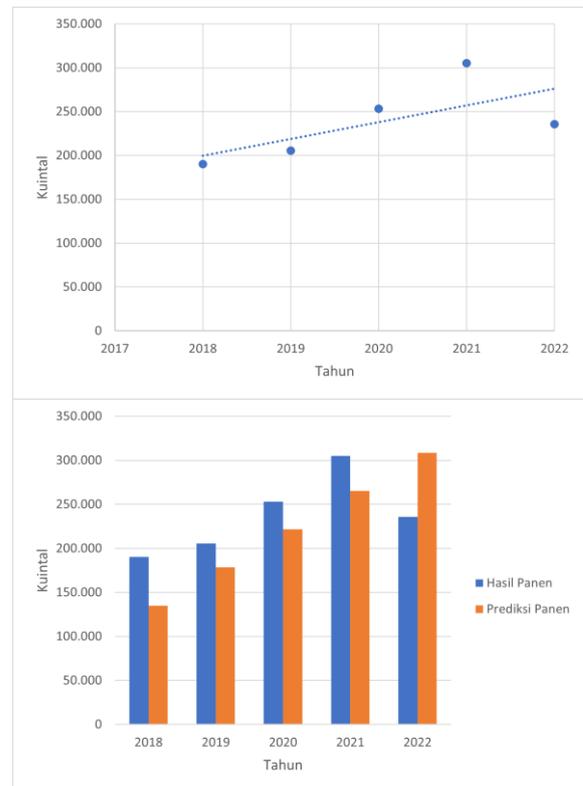


Gambar 8. Peta sebaran tebu kabupaten Ngawi pada tahun 2022.

Identifikasi tutupan lahan perkebunan tebu di Kabupaten Ngawi dilakukan menggunakan metode *linear spektral unmixing* pada platform Google Earth Engine. Citra yang digunakan pada pengolahan dengan metode *linear spektral unmixing* adalah citra satelit Landsat-9 *surface reflectance tier 1* yang diakuisisi pada tanggal 8 Oktober 2022 dengan tutupan awan sebesar 40,35%. Citra satelit yang dipilih memiliki pertimbangan bahwa satelit ini diakuisisi pada rentang waktu kuartal terakhir pada Tahun 2022.

Pengolahan dengan metode *linear spektral unmixing* menghasilkan luaran berupa peta fraksi. Peta fraksi merupakan representasi dari persentase *endmember* pada setiap piksel dengan rentang nilai 0 hingga 1. Pada peta fraksi yang dihasilkan didapatkan nilai minimum sebesar 0 dan maksimum sebesar 0,831. Pada penelitian ini digunakan nilai *threshold* sebesar 0,51 untuk mendeteksi lahan dominan perkebunan tebu.

Hasil perhitungan luasan tutupan lahan perkebunan tebu pada peta fraksi tebu dengan nilai *threshold* 0.51 atau 51% menunjukkan luasan total sebesar 4.136,560 ha dengan uraian 0 ha perkebunan tebu pada fase perkecambah, 120,842 ha perkebunan tebu pada fase pertunasan, 2.182,691 ha perkebunan tebu pada fase pemanjangan batang, dan 2123,101 ha perkebunan tebu pada fase kemasakan seperti tersaji pada Tabel 4. Diketahui terdapat perbedaan luas lahan perkebunan tebu hasil pengolahan *linear spektral unmixing* terhadap data luas lahan perkebunan tebu yang dirilis oleh BPS Kabupaten Ngawi sebesar 363,440 ha atau 8,076% dari



Gambar 9. Regresi linier potensi panen berdasarkan tahun.

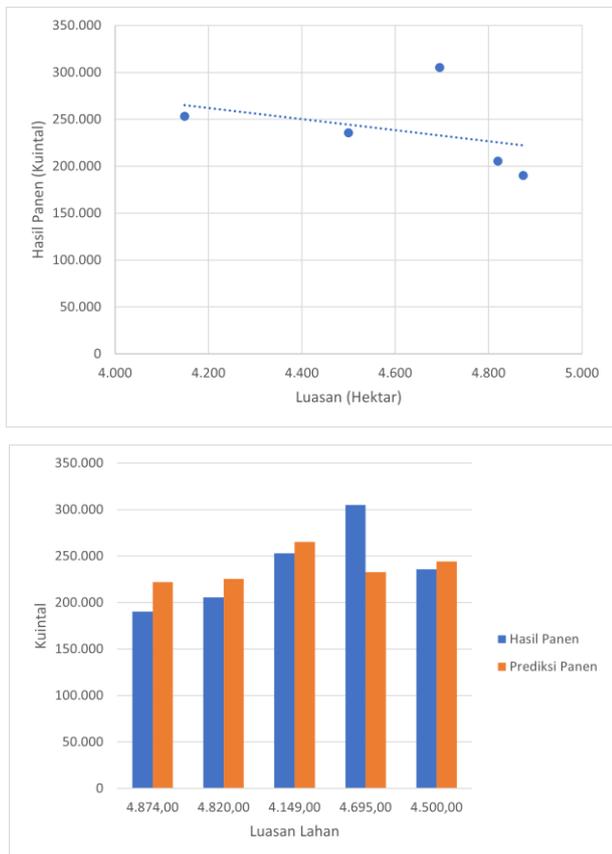
total lahan perkebunan tebu Kabupaten Ngawi pada Tahun 2022.

Berdasarkan Gambar 8, sebaran lahan perkebunan tebu Kabupaten Ngawi pada Tahun 2022 terkonsentrasi pada sisi tengah menuju timur Kabupaten Ngawi utamanya pada Kecamatan Widodaren dengan luas lahan perkebunan tebu sebesar 988,155 ha atau 23,89% dari total luas lahan perkebunan tebu di Kabupaten Ngawi dan Kecamatan Karanganyar dengan luas lahan perkebunan tebu sebesar 808,807 ha atau 19,55% dari total luas lahan perkebunan tebu di Kabupaten Ngawi. Kecamatan Kasreman memiliki luas lahan perkebunan paling sedikit, yaitu sebesar 0,429 ha atau 0,01% dari total luas lahan perkebunan tebu di Kabupaten Ngawi. Tabel 5 menunjukkan luas lahan perkebunan tebu dalam unit hektar pada tiap kecamatan di Kabupaten Ngawi pada Tahun 2022.

C. Potensi Hasil Panen Tebu Kabupaten Ngawi

Perhitungan prediksi potensi hasil panen tebu dilakukan menggunakan metode regresi linier sederhana. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan prediksi potensi hasil panen tebu berdasarkan tahun panen dan berdasarkan luas lahan perkebunan tebu di Kabupaten Ngawi. Berdasarkan Gambar 9, hasil prediksi potensi panen tebu terhadap tahun panen memiliki nilai korelasi Pearson sebesar 0,802 yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan linier positif kuat antara variabel hasil panen tebu terhadap variabel tahun panen tebu. Hasil perhitungan regresi linier sederhana pada variabel hasil panen tebu terhadap tahun panen tebu dari tahun 2018 hingga 2022 memiliki nilai prediksi panen masing-masing 134.907 kuintal; 178.326,8 kuintal; 221.746,6 kuintal; 265.166,4 kuintal; dan 308.586,2 kuintal.

Berdasarkan Gambar 10, hasil prediksi potensi panen tebu terhadap luas lahan perkebunan tebu memiliki nilai korelasi Pearson sebesar 0,387 yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan linear positif lemah antara variabel hasil panen



Gambar 10. Regresi linier potensi panen berdasarkan luas lahan.

tebu terhadap variabel luas lahan perkebunan tebu. Hasil perhitungan regresi linier sederhana pada variabel hasil panen tebu terhadap tahun panen tebu dari tahun 2018 hingga 2022 memiliki nilai prediksi panen masing-masing 222.173,4 kuintal; 225.374,7 kuintal; 265.153,1 kuintal; 232.784,9 kuintal; dan 244,345 kuintal.

D. Uji Akurasi dan Validasi Lapangan

Validasi lapangan dilakukan dengan *geotagging* pada beberapa lokasi perkebunan tebu yang berlokasi di Desa Rejuno, Kecamatan Karangjati, Kabupaten Ngawi pada tanggal 3–5 Februari 2023 dengan 75 titik sampel tebu. Peta sebaran lahan tebu yang digunakan pada validasi lapangan adalah peta sebaran tebu dengan citra satelit Landsat-9 yang diakuisisi pada tanggal 12 Januari 2023 yang disajikan Gambar 11. Citra tersebut dipilih dikarenakan tanggal akuisisi yang dinilai dekat dengan tanggal validasi lapangan serta memiliki tutupan awan paling rendah pada rentang akuisisi Januari hingga Februari 2023 dengan tutupan awan sebesar 22,28%. Diketahui bahwa 61 dari 75 titik validasi lapangan memiliki posisi yang sesuai dengan peta sebaran lahan perkebunan tebu Desa Rejuno sementara 14 dari 75 titik memiliki posisi yang tidak sesuai dengan peta sebaran lahan perkebunan tebu Desa Rejuno.

Uji akurasi dilakukan dengan beberapa titik sampel perkebunan tebu dan lahan bukan tebu dengan titik sampel sejumlah 68 titik dengan uraian 30 titik sampel perkebunan tebu dan 38 titik sampel non-perkebunan tebu seperti Gambar 12. Diperoleh hasil matriks konfusi yang terbentuk seperti Tabel 6. Diketahui *user accuracy* perkebunan tebu dan non perkebunan tebu masing-masing sebesar 90,00% (Tabel 7), dan 86,84% serta *producer accuracy* perkebunan tebu dan non perkebunan tebu masing-masing sebesar 84,38% dan

Tabel 6. Confusion Matrix Lahan Tebu dan Non Tebu

Producer's Accuracy / Commission Error	User's Accuracy / Omission Error		
	Tebu	Non-Tebu	Total
	Tebu	27	3
Non_Tebu	5	33	38
Total	32	36	68

Tabel 7. User Accuracy Lahan Tebu dan Non Tebu

User's Accuracy	
Tebu	90,00%
Non Tebu	86,84%

Tabel 8. Producer Accuracy Lahan Tebu dan Non-Tebu

Producer's Accuracy	
Tebu	84,38%
Non Tebu	91,67%

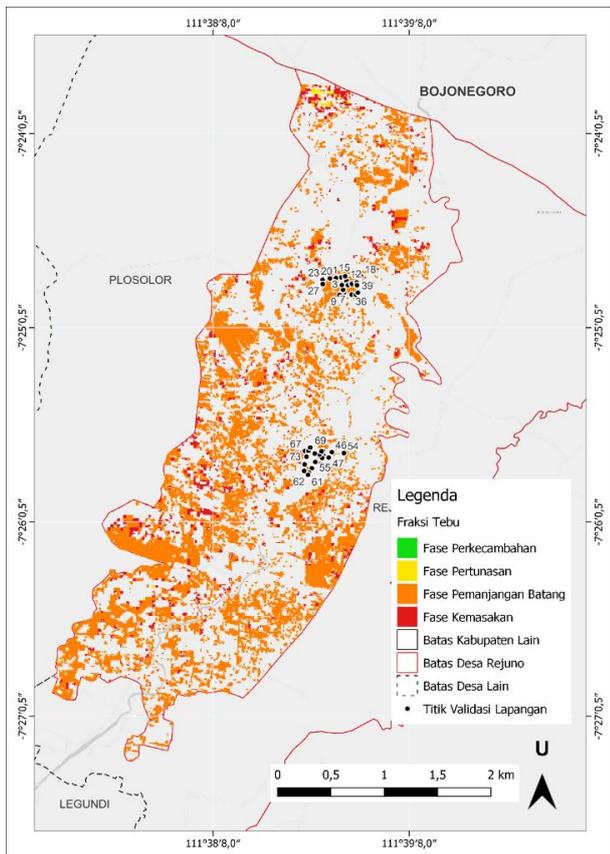
91,67% (Tabel 8). Dengan begitu hasil klasifikasi ini memiliki *overall accuracy* sebesar 88,24% dan *kappa accuracy* sebesar 76,31%.

Menurut US *Geological Survey* (USGS) tingkat ketelitian klasifikasi atau interpretasi minimum ditetapkan dengan nilai minimum sebesar 85% sehingga dengan *overall accuracy* 88,24% maka klasifikasi lahan perkebunan tebu dengan metode *linear spectral unmixing* dapat dinyatakan memenuhi kriteria tersebut [18]. Apabila ditinjau dari akurasi Kappa sebesar 76,31% maka dapat ditetapkan bahwa akurasi tersebut memiliki tingkat kepercayaan yang sedang karena menurut Landis and Koch (1975) nilai akurasi kappa 50%–80% dianggap memiliki tingkat kepercayaan yang sedang [19].

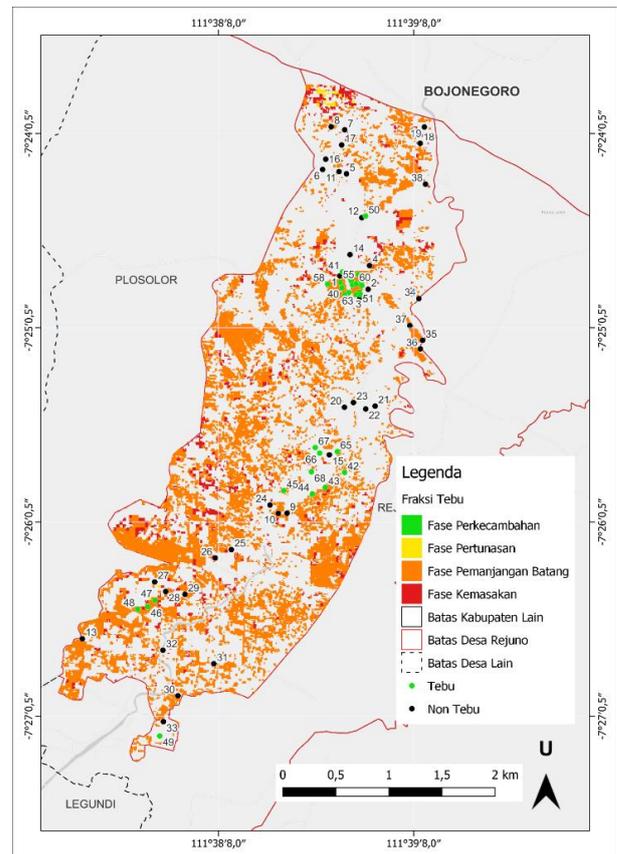
Berdasarkan hasil validasi lapangan pada Gambar 11, adanya beberapa titik yang tidak sesuai antara peta sebaran lahan perkebunan tebu dan kondisi lapangan adalah antara lain terkait dengan citra satelit yang digunakan di mana Landsat-9 merupakan citra satelit resolusi menengah, kemudian pustaka spektral terkait tanaman tebu yang digunakan hanya terdapat 1 varietas pada 1 fase. Faktor lainnya adalah penggunaan nilai *threshold* yang kurang mendekati kondisi lapangan dan adanya faktor nilai tutupan awan yang besar dikarenakan pada bulan Januari hingga Maret merupakan rentang waktu musim hujan.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan, sebagai berikut: (1) Peta fraksi tebu Kabupaten Ngawi dihasilkan menggunakan citra satelit Landsat-8 pada 8 Oktober 2022 dan memiliki rentang nilai 0 hingga 0,831. Dengan nilai *threshold* 0,51 didapatkan luasan lahan perkebunan tebu seluas 4136,560 ha. (2) Luasan lahan perkebunan tebu dari pengolahan *linear spectral unmixing* memiliki luasan 4.136,560 ha sementara data luasan lahan dari BPS Kabupaten Ngawi pada tahun 2022 dinyatakan seluas 4500 ha sehingga terdapat kesalahan sebesar 363,440 ha. Hasil uji akurasi menunjukkan *User Accuracy* pada lahan tebu dan non-tebu masing-masing sebesar 90% dan 86,84%, *Producer's Accuracy* pada lahan tebu dan non-tebu masing-masing sebesar 84,38% dan 91,67%, *Overall Accuracy* sebesar 88,24% dan tergolong memenuhi standar minimum akurasi klasifikasi sebesar 85% serta *Kappa Accuracy* sebesar 76,31% dan tergolong sebagai tingkat kepercayaan sedang.



Gambar 11. Lokasi sebaran titik sampel validasi lapangan.



Gambar 12. Lokasi sebaran titik uji akurasi.

(3) Prediksi hasil panen tebu dilakukan menggunakan metode regresi linier sederhana dengan data luasan perkebunan dan hasil panen tebu tahun 2018 hingga 2022. Pada regresi linier dengan variabel tahun dan hasil panen masing-masing memiliki nilai 134.907; 178.326,8; 221.746,6; 265.166,4; dan 308.586,2 sementara pada regresi linier dengan variabel luasan lahan dan hasil panen masing-masing memiliki nilai 222.173,4; 225.374,7; 265.153,1; 232.784,9; dan 244.345. (4) Pada regresi linier dengan variabel tahun dan hasil panen tebu memiliki nilai korelasi Pearson sebesar 0,802 yang menunjukkan hubungan korelasi positif kuat sementara pada regresi linier dengan variabel luasan perkebunan dan hasil panen tebu memiliki nilai korelasi Pearson sebesar 0,387 yang menunjukkan hubungan korelasi positif lemah.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Jumlah Penduduk Pertengahan Tahun (Ribuan Jiwa)," Badan Pusat Statistik, Jakarta, 2022.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Proyeksi Produksi Konsumsi dan Neraca Gula Indonesia (2017-2021)," Badan Pusat Statistik, Jakarta, 2018.
- [3] Badan Pusat Statistik Kabupaten Ngawi, "Kabupaten Ngawi Dalam Angka 2022," Badan Pusat Statistik Kabupaten Ngawi, 2022.
- [4] J. Daniels and B. T. Roach, "Chapter 2 - Taxonomy and Evolution," in *Sugarcane Improvement through Breeding*, vol. 11, D. J. B. T.-D. in C. S. Heinz, Ed. Elsevier, 1987, pp. 7–84. ISBN: 0378-519X.
- [5] Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, "Keputusan Menteri Pertanian No. 318/KPTS/KB.020/10/2015 Tentang Pedoman Produksi, Sertifikasi, Peredaran dan Pengawasan Benih Tanaman Tebu," Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, Jakarta, 2015.
- [6] L. Gandharum and H. Sanjaya, "Penerapan Metode Linear Spectral Unmixing pada Citra Landsat TM dan Data Spektrometer untuk Memetakan Tanaman Padi Terserang Penyakit Hawar Daun Bakteri," in *PIT XX dan Kongres MAPIN*, Bogor, 2015, pp. 1–13.
- [7] C. Yang, J. H. Everitt, Q. Du, B. Luo, and J. Chansuot, "Using High-Resolution Airborne and Satellite Imagery to Assess Crop Growth and Yield Variability for Precision Agriculture," in *Proceedings of the*

- IEEE*, 2013, vol. 101, no. 3, pp. 582–592. doi: 10.1109/JPROC.2012.2196249.
- [8] M. M. Rahman and A. Robson, "Integrating landsat-8 and sentinel-2 time series data for yield prediction of sugarcane crops at the block level," *Remote Sens.*, vol. 12, no. 8, 2020, doi: 10.3390/rs12081313.
- [9] Badan Pusat Statistik Kabupaten Ngawi, "Kabupaten Ngawi dalam Angka 2023," Badan Pusat Statistik Kabupaten Ngawi, 2023.
- [10] H. Barbosa, A. Huete, and W. Baethgen, "A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil," *J. Arid Environ.*, vol. 67, pp. 288–307, Oct. 2006, doi: 10.1016/j.jaridenv.2006.02.022.
- [11] C. Small, "The landsat ETM+ spectral mixing space," *Remote Sens. Environ.*, vol. 93, no. 1, pp. 1–17, 2004, doi: https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.06.007.
- [12] J. M. Bioucas-Dias *et al.*, "Hyperspectral unmixing overview: Geometrical, statistical, and sparse regression-based approaches," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 5, no. 2, pp. 354–379, 2012, doi: 10.1109/JSTARS.2012.2194696.
- [13] K. Kumari and S. Yadav, "Linear regression analysis study," *J. Pract. Cardiovasc. Sci.*, vol. 4, no. 1, p. 33, Jan. 2018, doi: 10.4103/jpcs.jpcs_8_18.
- [14] B. Williams *et al.*, "Data-driven model development for cardiomyocyte production experimental failure prediction," *Comput. Aided Chem. Eng.*, vol. 48, pp. 1639–1644, 2020, doi: 10.1016/B978-0-12-823377-1.50274-3.
- [15] K. K. Singh, A. Singh, M. Elhoseny, and A. A. Elngar, *Machine Learning and the Internet of Medical Things in Healthcare*. Chennai: Academic Press, 2021. doi: 10.1016/B978-0-12-821229-5.00013-6. ISBN: 9780128212295.
- [16] E. H. Purwanto and R. Lukiawan, "Parameter teknis dalam usulan standar pengolahan penginderaan jauh: metode klasifikasi terbimbing," *J. Stand.*, vol. 21, no. 1, p. 67, Mar. 2019, doi: 10.31153/js.v21i1.737.
- [17] O. Stefani and L. M. Jaelani, "Model Fenologi Tebu Selama Sepuluh Tahun Menggunakan Fusi Spektrel Data Citra Satelit Landsat dan Modis (Studi Kasus: Kabupaten Ngawi)," Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2023.
- [18] J. R. Anderson, E. E. Hardy, J. T. Roach, and R. E. Witmer, "Land Use and Land Cover Classification System for Use With Remote Sensor Data," United States Department of the Interior, Washington, 1983.
- [19] D. Kosasih, M. B. Saleh, and L. B. Prasetyo, "Interpretasi visual dan digital untuk klasifikasi tutupan lahan di kabupaten Kuningan, Jawa Barat," *J. Ilmu Pertan. Indones.*, vol. 24, no. 2, pp. 101–108, 2019, doi: 10.18343/jipi.24.2.101.