



Algoritme Spatial Decision Tree untuk Evaluasi Kesesuaian Lahan Padi Sawah Irigasi

Andi Nurkholis¹, Muhaqiqin², Try Susanto³

^{1,3}Program Studi Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia

²Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia

¹andinh@teknokrat.ac.id*, ²muhaqiqin@teknokrat.ac.id, ³try_susanto@teknokrat.ac.id

Abstract

Agriculture has a strategic role in a country whereas food self-sufficiency being the main goal to be achieved. Indonesia has set a strategic plan for increasing the productivity of several commodities, including rice, especially irrigated lowland rice. That matter can be done by agricultural land extensification, which requires a land suitability directional map. This study aims to produce irrigated lowland rice land suitability maps which can be obtained by evaluation using spatial decision tree algorithm. The model is made in two different types, where model Y is an optimized version of model X. The dataset consists of two categories, namely eleven explanatory layers which are land and weather characteristics, and a target layer that represents irrigated lowland rice land suitability in study area of Grobogan Regency, Central Java Province. As an addition to planting requirements, two spatial weather datasets were generated using ordinary cokriging interpolation, which was not used in previous research, while actually being important element for determining plant timing an agricultural commodity. Based on accuracy, model Y is the best model with 96.67%, compared to model X with 86%. Both models make relief variable as the root node, but in spatial decision tree result, model X involves all variables, while model Y does not involve an elevation variable. The addition of weather variables in models is appropriate, as evidenced by the involvement in rules.

Keywords: irrigated lowland rice, land characteristic, land suitability, ordinary cokriging interpolation, spatial decision tree, weather

Abstrak

Pertanian memiliki peran strategis dalam sebuah negara, dengan swasembada pangan menjadi tujuan utama yang hendak dicapai. Indonesia telah menetapkan rencana strategis berupa peningkatan produktivitas beberapa komoditas, diantaranya padi, khususnya varietas padi sawah irigasi. Hal tersebut dapat dilakukan dengan ekstensifikasi lahan pertanian, yang membutuhkan arahan berupa peta kesesuaian lahan. Penelitian ini bertujuan menghasilkan peta kesesuaian lahan padi sawah irigasi yang dapat diperoleh melalui evaluasi menggunakan algoritme *spatial decision tree*. Model dibuat dalam dua jenis berbeda, dimana model Y merupakan versi optimalisasi model X. Dataset terdiri dari dua kategori, yakni *layer* penjelas yang merupakan karakteristik lahan dan cuaca, serta sebuah *layer* target yang merepresentasikan kesesuaian lahan padi sawah irigasi di wilayah studi Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah. Sebagai tambahan syarat tumbuh, dua dataset cuaca spasial dihasilkan menggunakan interpolasi *ordinary cokriging*, yang pada penelitian sebelumnya tidak digunakan, padahal merupakan elemen penting dalam penentuan waktu penanaman suatu komoditas pertanian. Berdasarkan akurasi, menjadikan model Y sebagai model terbaik dengan 96.67%, berbanding dengan model X dengan 86%. Kedua model menjadikan variabel relief sebagai simpul akar, namun dalam penyusunan pohon keputusan spasial, model X melibatkan keseluruhan variabel, sedangkan model Y tidak melibatkan variabel elevasi. Penambahan variabel cuaca dalam model merupakan hal yang tepat, dibuktikan oleh keterlibatan dalam aturan yang dihasilkan.

Kata kunci: cuaca, interpolasi *ordinary cokriging*, karakteristik lahan, kesesuaian lahan, padi sawah irigasi, *spatial decision tree*

1. Pendahuluan

Badan Pusat Statistik (BPS) memperkirakan bahwa jumlah penduduk Indonesia dalam 25 tahun ke depan akan bertambah dari 238.5 juta pada tahun 2010 menjadi

305.6 juta pada tahun 2035 [1]. Hal ini tentu menjadi tantangan bagi Indonesia dalam menunjang ketersediaan pangan yang dapat memenuhi kebutuhan/konsumsi (*food-self sufficiency*) pada tahun 2035 [2]. Pencapaian

swasembada pangan nasional bukanlah hal yang mudah [3], bahkan Indonesia diprediksi akan sulit mencapai swasembada pangan hingga tahun 2050 [4].

Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Pertanian telah menetapkan sebelas arah Kebijakan Pembangunan Pertanian 2015–2019 dengan tujuan utama untuk mencapai kemandirian pangan yang kuat dan berkelanjutan sekaligus ramah lingkungan [5]. Sebagai tindak lanjut, telah diterbitkan Peraturan Menteri Pertanian No. 9/Permentan/RC.020/3/2016 tentang Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2015-2019 menegaskan untuk fokus pada peningkatan produktivitas beberapa komoditas pertanian strategis, yang salah satunya adalah padi [5]. Padi merupakan bahan pangan utama bagi masyarakat Indonesia yang berjumlah 255.46 juta jiwa dengan laju pertumbuhan 1.31% dan tingkat konsumsi beras mencapai 124.89 kg/kapita/tahun [6], sehingga peningkatan pertanian/produksi padi menjadi prioritas dalam mengimbangi suplai kebutuhan bagi masyarakat. Jenis padi yang paling umum dan mayoritas dibudidayakan di Indonesia adalah padi sawah [7], baik varietas padi sawah irigasi ataupun padi sawah tadah hujan. Dalam penelitian ini, pengembangan akan berfokus pada padi sawah irigasi, yang didasarkan oleh usahatani padi sawah irigasi lebih baik dibandingkan padi sawah tadah hujan [8].

Menurut Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, peningkatan produksi dapat dilakukan dengan perluasan area dan optimasi lahan [6]. Analisis potensi sumberdaya lahan yang telah dilakukan BBSDLP diperoleh bahwa lahan potensial tersedia untuk pengembangan pertanian Indonesia tersisa 34.58 juta hektar (ha) yang sebagian besar berada di kawasan hutan [9]. Pengembangan suatu komoditas memerlukan arahan berupa peta kesesuaian lahan sebagai panduan untuk penerapan teknologi dalam meningkatkan produksi dan produktivitasnya [10]. Peta kesesuaian lahan dapat diperoleh melalui kegiatan evaluasi terhadap data kesesuaian lahan yang telah ada sebelumnya.

Evaluasi lahan adalah proses penilaian kinerja (*performance*) lahan untuk suatu tujuan [11] seperti halnya mengetahui potensi sumber daya lahan yang dalam penelitian ini menilai suatu syarat tumbuh yang dikorelasikan dengan kesesuaian lahan padi sawah irigasi. Penilaian kesesuaian lahan yang digunakan merujuk berdasarkan *Food and Agriculture Organization* (FAO), yaitu: sangat sesuai (S1), cukup sesuai (S2), sesuai marginal (S3), dan tidak sesuai (N) [12]. Teknik konvensional yang sering digunakan untuk evaluasi kesesuaian lahan adalah pencocokan (*matching*) antara karakteristik lahan (*land characteristics*) dengan persyaratan penggunaan lahan (*land use requirement*) [13][14][15][16]. Namun, mayoritas tidak melibatkan korelasi atribut-atribut spasial (posisi, kedekatan, orientasi, dll.) yang

merupakan elemen penting dalam analisis berkaitan dengan geografis [17], dalam hal ini kesesuaian lahan.

Penelitian kesesuaian lahan juga telah dikaji dalam evaluasi kesesuaian lahan kedelai [18] dan kelapa sawit [19] yang menghasilkan model prediksi. Evaluasi dilakukan dengan menerapkan teknik klasifikasi yang melibatkan korelasi atribut spasial, yakni *spatial decision tree*. Algoritme tersebut merupakan pengembangan dari algoritme ID3 konvensional oleh Quinlan [20], dimana nilai *entropy* tidak diperoleh dari jumlah data melainkan dari jumlah ukuran spasial yang dihasilkan melalui interaksi antar atribut spasial [17]. Efektifitas algoritme ini dapat dikatakan cukup baik, yang dibuktikan dari penelitian sebelumnya pada klasifikasi spasial titik panas dengan menghasilkan akurasi yang cukup tinggi, yakni 74.72% [21], 87.69% [22], 71.66% [23], 75.66% [24]. Kekurangan pada penelitian sebelumnya [18][19] adalah masih belum dilibatkannya faktor cuaca, yang merupakan elemen penting dalam menentukan kesesuaian lahan [25].

Penelitian ini bertujuan membuat model prediksi yang menghasilkan peta sebaran dan luas kesesuaian lahan padi sawah irigasi di wilayah studi. Model prediksi diperoleh berdasarkan hasil aturan yang berisikan referensi syarat tumbuh yang dibutuhkan dalam penanaman padi sawah irigasi. Aturan merupakan informasi dari pohon keputusan yang dihasilkan oleh evaluasi kesesuaian lahan padi sawah irigasi menggunakan algoritme *spatial decision tree* yang melibatkan atribut spasial, terdiri dari variabel karakteristik lahan dan cuaca. Sebagai implikasi, pemetaan yang dihasilkan pada penelitian ini dapat memberikan informasi kepada pihak terkait (pemerintah, swasta, petani, dll.) dalam menentukan area prioritas untuk ekstensifikasi lahan pertanian padi sawah irigasi berdasarkan kelas kesesuaian lahan. Sehingga, akan dapat meningkatkan produktivitasnya dibandingkan dengan area yang bukan prioritas pada hasil pemetaan, yakni memiliki kelas kesesuaian lahan tidak sesuai.

2. Metode Penelitian

Wilayah kajian pada penelitian ini adalah Kabupaten Grobogan dengan luas $\pm 202,867$ ha [26], yang merupakan penghasil utama padi sawah di Provinsi Jawa Tengah [27]. Hal tersebut diiringi dengan padi sawah sebagai penyumbang nilai luas panen dan produksi terbesar dengan proporsi 59% dari total produksi keseluruhan tanaman pangan di Jawa Tengah, sehingga menjadikan Jawa Tengah sebagai salah satu provinsi penyangga pangan nasional [7]. Digunakannya Kabupaten Grobogan sebagai data latih (*role model*) klasifikasi *spatial decision tree* diharapkan dapat merepresentasikan karakteristik lahan dan cuaca yang sesuai dalam pemetaan kesesuaian lahan padi sawah irigasi bagi daerah lainnya.

Tabel 1. Data penelitian

Kategori	Variabel	Deskripsi	Format	Sumber
Layer penjas	Elevasi	Ketinggian tanah dari permukaan laut yang diperoleh dari data <i>digital elevation model</i> (DEM)	Raster	USGS
	Drainase	Klasifikasi pengaruh laju perlokasi air ke dalam tanah terhadap aerasi udara dalam tanah	Vektor	BBSDLP
	Relief	Kemiringan lahan yang diukur dalam %	Vektor	BBSDLP
	Kejujahan basa (KB)	Jumlah basa-basa (NH ₄ OAc) yang ada dalam 100g contoh tanah	Vektor	BBSDLP
	Kapasitas tukar kation (KTK)	Nilai KTK dari fraksi liat	Vektor	BBSDLP
	Tekstur tanah	Istilah dalam distribusi partikel tanah halus dengan ukuran <2 mm	Vektor	BBSDLP
	pH tanah	Nilai unsur hara/kemasaman tanah	Vektor	BBSDLP
	Kedalaman mineral tanah	Nilai kedalaman mineral pada lapisan tanah	Vektor	BBSDLP
	Jenis tanah	Klasifikasi sifat dan komponen penyusun tanah	Vektor	BBSDLP
	Curah hujan	Total nilai curah hujan dalam rentang waktu sebulan (desember 2019)	Tabular	BMKG
Layer target	Temperatur	Rata-rata nilai temperatur dalam rentang waktu sebulan (desember 2019)	Tabular	BMKG
	Kesesuaian lahan	Klasifikasi tingkat kecocokan suatu bidang lahan untuk penggunaan tertentu yang terdiri dari empat kelas yaitu S1, S2, S3, dan N	Vektor	BBSDLP

Pada penelitian ini, data yang digunakan terdiri atas dua kategori, yaitu *layer penjas* dan *layer target*. *Layer penjas* merupakan data syarat tumbuh berupa karakteristik lahan dan cuaca, sedangkan *layer target* adalah data kesesuaian lahan yang diperoleh berdasarkan survei lapangan oleh Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP). Data karakteristik lahan berjumlah sembilan variabel dengan rincian delapan berasal dari BBSDLP dan satu berasal dari *United States Geological Survey* (USGS), kemudian data cuaca yang berjumlah dua diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Keseluruhan data yang berasal dari BBSDLP telah berformat vektor, namun data yang diperoleh dari USGS berformat raster dan BMKG berformat tabular, sehingga perlu dilakukan praproses data terlebih dahulu agar dapat saling diintegrasikan [21]. Daftar variabel beserta deskripsi, format dan sumber selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

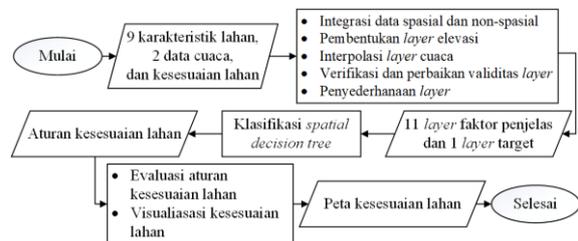
Penggunaan data cuaca yang terdapat pada Tabel 1, yakni bulan desember 2019 didasarkan secara absolut luas tanam padi di Indonesia mencapai luasan tertinggi pada bulan desember tahun 2013-2015 dengan luas tanam mencapai 2.57 juta ha [6]. Data statistik terbaru yang dirilis oleh BPS menyatakan bahwa dalam dua tahun terakhir (2018 dan 2019) puncak luas panen padi, khususnya di Provinsi Jawa Tengah adalah pada bulan maret [27]. Hal tersebut berkaitan dengan umur padi yang mencapai kisaran antara 90-110 hari. Artinya, penanaman padi dilaksanakan mundur sebelum dalam kisaran waktu tersebut, yakni bulan desember. Berdasarkan paparan, maka pada penelitian ini menggunakan data cuaca pada bulan desember 2019, yang berfokus pada kesesuaian lahan pada awal masa penanaman padi sawah irigasi.

Tahapan penelitian yang dilakukan terdiri dari empat proses utama, ditunjukkan pada Gambar 1.

2.1. Praproses Data

Praproses data dilakukan dalam 5 tahapan, yakni 1) Integrasi data spasial dan non-spasial, 2) Pembentukan

layer elevasi, 3) Interpolasi *layer* curah hujan dan temperatur, 4) Verifikasi dan perbaikan validitas *layer*, 5) Penyederhanaan *layer*.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahap praproses data pertama adalah melakukan integrasi data spasial dan non-spasial pada delapan variabel yang diperoleh dari BBSDLP, yakni drainase, relief, kejenuhan basa, kapasitas tukar kation, tekstur tanah, pH tanah, kedalaman mineral tanah, dan jenis tanah. Variabel-variabel tersebut terdiri atas dua jenis, yakni objek spasial dan atribut non-spasial. Objek spasial mengandung nilai geometri yang merepresentasikan koordinat lokasi, sedangkan atribut non-spasial mengandung label penjas objek spasial tersebut yang dapat digabungkan berdasarkan satuan peta tanah (SPT). Proses integrasi dilakukan dengan bantuan *Database Management System* (DBMS) PostgreSQL versi 12.4, guna menyatukan objek spasial berformat vektor berekstensi *shapefile* dan atribut non-spasial berformat tabular berekstensi *spreadsheet* menjadi suatu *layer*.

Tahap kedua yang dilakukan adalah pembentukan *layer* elevasi. Setelah pada praproses pertama dihasilkan delapan *layer* yang diperoleh dari BBSDLP, pada tahap ini bertujuan menghasilkan *layer* elevasi dengan memanfaatkan data DEM. Hal tersebut dimungkinkan dikarenakan DEM merupakan representasi kuantitatif, tiga dimensi dari permukaan bumi yang berasal dari data ketinggian [28]. Data DEM yang bersumber dari USGS berformat raster yang merupakan hasil penginderaan satelit sehingga menghasilkan gambar citra. Pembentukan *layer* elevasi dilakukan dengan mengubah

Tabel 2. Stasiun Cuaca Terdekat Kabupaten Grobogan

Stasiun	Longitude	Latitude	Curah Hujan (mm)	Temperatur (°C)
Stasiun Geofisika Banjarnegara	109.7069	-7.333	349	24.9
Stasiun Meteorologi Ahmad Yani	110.3778	-6.97683	254.1	28.72
Stasiun Klimatologi Semarang	110.3812	-6.9847	231.1	28.66
Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Emas	110.4199	-6.9486	372.8	28.92
Stasiun Klimatologi Sleman	110.354	-7.731	338	26.83
Stasiun Geofisika Sleman	110.3	-7.82	214.5	27.49
Stasiun Geofisika Nganjuk	111.76682	-7.73486	285.9	25.48
Stasiun Meteorologi Tuban	111.99177	-6.8229	100.5	29.07

data raster menjadi vektor menggunakan bantuan aplikasi ArcMap versi 10.3.

Tahap selanjutnya adalah interpolasi data cuaca, yakni suatu metode penyebaran nilai dugaan pada lokasi-lokasi yang datanya tidak tersedia berdasarkan data yang tersedia pada lokasi terdekat. Tujuan dari interpolasi ini adalah menghasilkan *layer* curah hujan dan *layer* temperatur untuk Kabupaten Grobogan yang dapat diprediksi berdasarkan data pada stasiun terdekat. Metode interpolasi yang digunakan adalah *Ordinary Cokriging* (OCK), yang didasarkan penelitian sebelumnya diperoleh bahwa akurasi yang dihasilkan lebih baik dibandingkan metode lainnya, yakni *Ordinary Kriging* (OK) dan *Kriging with External Drift* (KED) [29]. Interpolasi OCK merupakan metode yang menggunakan dua atau lebih variabel yang saling berkorelasi [30], dimana variabel utama dijadikan sebagai nilai yang akan disebar, sedangkan variabel lainnya dijadikan sebagai pendukung.

Pada penelitian ini, interpolasi curah hujan menggunakan nilai total curah hujan sebagai variabel utama sedangkan nilai elevasi dijadikan sebagai variabel pendukung. Pada interpolasi temperatur, nilai rata-rata temperatur dijadikan sebagai variabel utama sedangkan nilai elevasi dijadikan sebagai variabel pendukung. Penggunaan nilai elevasi sebagai variabel pendukung pada interpolasi curah hujan dan temperatur didasarkan oleh ketinggian tempat sangat mempengaruhi cuaca/iklim [31]. Dalam penelitian ini, interpolasi OCK menggunakan koordinat beberapa stasiun cuaca terdekat dari lokasi yang ingin dihasilkan nilai cuacanya sebagai titik untuk penyebaran pada lokasi sekitarnya, yang keseluruhan prosesnya dibantu aplikasi ArcMap. Berikut adalah stasiun-stasiun cuaca terdekat Kabupaten Grobogan yang yang diperoleh dari layanan data online BMKG [32], ditunjukkan pada Tabel 2.

Pada tahap keempat dilakukan verifikasi dan perbaikan validitas pada keseluruhan *layer* penjas dan *layer* target yang telah dihasilkan, untuk menghindari *error* saat proses relasi spasial pada klasifikasi *spatial decision tree*. *Error* tersebut disebabkan oleh validitas suatu objek spasial dalam *layer* bernilai *false*, yang artinya tidak memenuhi ketentuan oleh OpenGIS [33]. Dalam penelitian ini, nilai *false* yang diperoleh dikarenakan suatu poligon dalam *layer* penjas atau *layer* target berstatus *self-intersection*. Setelah dilakukannya verifikasi validitas pada suatu *layer* dengan memanfaatkan fungsi *ST_IsValid* pada DBMS

PostgreSQL, jika ditemukan poligon yang bernilai *false*, maka perbaikan berupa penghapusan pada sedikit bagiannya [19] dengan bantuan aplikasi ArcMap.

Pada tahap terakhir, dilakukan penyederhanaan sekaligus finalisasi pada keseluruhan nama *layer* dan setiap atribut didalamnya. Secara proses, pada dasarnya tahap ini tidak berpengaruh, hanya mempermudah dalam melakukan klasifikasi *spatial decision tree*. Proses penyederhanaan yang dimaksud adalah dimana setiap nama *layer* dan nama atribut suatu *layer* diubah menjadi lebih pendek, misalnya *layer* elevasi disederhanakan menjadi *l0*, kemudian atribut didalamnya, yakni perbukitan diubah menjadi *lv1 dst*.

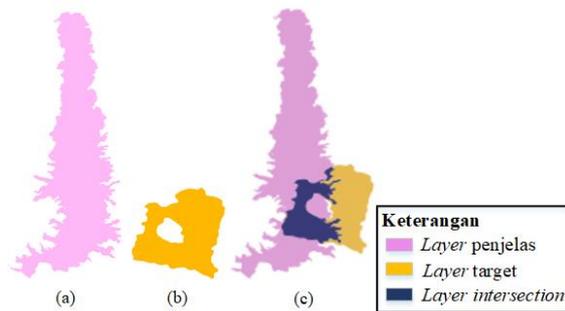
2.2. Klasifikasi *Spatial decision tree*

Klasifikasi adalah teknik ekstraksi data dimana data yang disimpan dalam dataset dianalisis untuk memperoleh aturan yang menggambarkan partisi dataset ke dalam himpunan kelas tertentu [34]. Perbedaan mendasar dari klasifikasi biasa dan klasifikasi spasial adalah dilibatkannya atribut spasial [19] yang dalam penelitian ini merepresentasikan suatu lokasi. Atribut spasial tersebut disimpan dalam suatu DBMS yang dapat menangani data dalam bentuk geometri, dimana atribut non-spasial digunakan sebagai penjelasnya. Secara umum, klasifikasi *spatial decision tree* memiliki konsep yang sama dengan algoritme dasarnya, yakni ID3, dimana setiap simpul internal merepresentasikan suatu variabel, sedangkan simpul daun merepresentasikan suatu kelas [35].

Secara khusus, algoritme *spatial decision tree* menggunakan hasil relasi spasial sebagai nilai masukan penghitung *entropy* [17], yang pada algoritme ID3 menggunakan jumlah data. Berdasarkan bentuk data spasial dalam format vektor, terbagi menjadi tiga, yakni titik, garis, dan poligon. Perbedaan bentuk tersebut membuat relasi spasial yang digunakan juga berbeda-beda antar objeknya, yang sebelumnya telah dikembangkan sebagai formulasi *Spatial Join Relationship* (SJR) [21]. Penerapan formulasi SJR akan menghasilkan ukuran spasial (*spatial measure*) dalam relasi spasial antar *layer* penjas dan *layer* target yang kemudian digunakan dalam perhitungan *entropy*. Misal terdapat *layer* L_i (*layer* penjas) dan L_j (*layer* target) di sekumpulan *layer* L , $L_i \neq L_j$, untuk setiap fitur r_i dalam $R = \text{SpatRel}(L_i, L_j)$, ukuran spasial untuk r_i dilambangkan dengan $\text{SpatMes}(r_i)$ dengan ketentuan sebagai berikut [21]:

- Hitung luas area r_i , jika $\langle L_i, \text{di dalam}, L_j \rangle$ atau $\langle L_i, \text{overlap}, L_j \rangle$ ambil semua fitur di L_i dan L_j yang direpresentasikan dalam poligon
- Hitung jumlah r_i , jika $\langle L_i, \text{di dalam}, L_j \rangle$ ambil semua fitur L_i yang direpresentasikan dalam poin dan L_j direpresentasikan dalam poligon.

Dalam penelitian ini, keseluruhan *layer* penjas dan *layer* target yang digunakan merupakan data spasial bentuk poligon, sehingga pendekatan yang diterapkan adalah *overlap/intersection*. Pendekatan tersebut dapat dilakukan dengan bantuan fungsi *ST_Intersection* yang tersedia pada DBMS PostgreSQL. Contoh ilustrasi proses *intersection* antar poligon suatu *layer* penjas dan *layer* target ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi (a) *Layer* Penjas, (b) *Layer* target, dan (c) Proses *Intersection* [18]

2.3. Evaluasi Model Kesesuaian Lahan

Dalam mengetahui keefektifan suatu model, dilakukan evaluasi terhadap hasil aturan yang telah diperoleh. Evaluasi dilakukan dengan pengujian model terhadap data uji, yakni data kesesuaian lahan padi sawah irigasi di Kabupaten Grobogan. Pengujian yang dilakukan akan menghasilkan akurasi yang dalam penelitian ini menggunakan metode *confusion matrix* [36], sehingga akan dapat menentukan model terbaik.

2.4. Visualisasi Peta Kesesuaian Lahan

Visualisasi peta kesesuaian lahan padi sawah irigasi dilakukan menggunakan hasil aturan yang diperoleh model terbaik. Hasil aturan diterapkan pada data karakteristik lahan dan cuaca di Kabupaten Grobogan yang diperoleh dari BBSDLP. Pada tahap visualisasi spasial ini, dibantu oleh aplikasi ArcMap.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Praproses Data

Pada praproses data pertama, delapan data syarat tumbuh dan sebuah data kesesuaian lahan padi sawah irigasi yang diperoleh dari BBSDLP dilakukan integrasi atribut spasial dan non-spasial nya berdasarkan SPT. Praproses data ini dapat dilakukan, dikarenakan telah disediakan atribut spasial dan atribut non-spasial pada masing-masing data, yang kemudian dapat saling diintegrasikan (digabungkan) menjadi suatu *layer*

sehingga menghasilkan delapan *layer* penjas dan sebuah *layer* target. Dalam penelitian ini, dibutuhkan tiga *layer* tambahan sebagai *layer* penjas, yakni *layer* elevasi, *layer* curah hujan, dan *layer* temperatur.

Dalam menghasilkan *layer* elevasi, dilakukan dengan ekstraksi data DEM berformat raster yang diperoleh dari USGS yang keseluruhannya dibantu aplikasi ArcMap. Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

- 1) Menghitung nilai statistik berupa ketinggian terhadap data DEM dengan memanfaatkan *tool Calculate Statistic*.
- 2) Melakukan reklasifikasi terhadap nilai ketinggian dengan memanfaatkan *tool Reclassify*, dimana terbagi menjadi tiga kelas berdasarkan ketentuan ketinggian relatif [37], yakni 50-200 mdpl, 201-500 mdpl, 501-1000 mdpl. Diawalnya kelas pada nilai 50-200 mdpl, dikarenakan elevasi paling rendah di Kabupaten Grobogan adalah kelas tersebut, sama halnya dengan kelas paling tinggi.
- 3) Melakukan konversi terhadap data raster hasil reklasifikasi menjadi data berformat vektor dengan memanfaatkan *tool Raster to Polygon*, sehingga menjadi sebuah *layer* elevasi.

Interpolasi *layer* curah hujan dan temperatur juga dilakukan secara keseluruhan dengan bantuan aplikasi ArcMap. Proses ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yakni:

- 1) Mengekstrak nilai elevasi pada data DEM dengan memanfaatkan *tool Build Raster Attribute Table*. Proses ini dilakukan dalam membentuk data pendukung sebagai variabel sekunder dalam interpolasi OCK.
- 2) Melakukan konversi data curah hujan dan temperatur yang berformat tabular menjadi data spasial berbentuk titik yang merepresentasikan stasiun cuaca dengan memanfaatkan *tool Display XY Data*.
- 3) Melakukan proses interpolasi dengan memanfaatkan *tool Geostatistical Analyst*, yang menggunakan data cuaca sebagai variabel primer dan data elevasi sebagai variabel sekunder.
- 4) Interpolasi yang dilakukan akan menghasilkan *Geostatistical Layer*, kemudian dikonversi menjadi data raster dengan memanfaatkan *tool GA Layer to Grid*. Hal tersebut dikarenakan proses reklasifikasi dapat dilakukan hanya pada data berformat raster.
- 5) Melakukan reklasifikasi terhadap nilai curah hujan dan temperatur dengan memanfaatkan *tool Reclassify*. Pada data curah hujan, kelas terbagi berdasarkan rekomendasi oleh BMKG yang memisahkan kelas dalam rentang 25 [38], yakni 225-250 mm, 251-275 mm, 276-300 mm. Sedangkan pada data temperatur, dikarenakan hanya dalam rentang 27-29°C, maka direklasifikasi menjadi nilai diskret.

Tabel 3. Daftar *Layer* Penjelas dan *Layer* Target

Nama <i>layer</i>	Jumlah Poligon	Atribut
Elevasi (mdpl)	101	Perbukitan rendah (50-200), perbukitan (201-500), perbukitan tinggi (501-1000)
Drainase*	16	Baik, agak terhambat
Relief (%)	111	Datar (0), agak datar (1-3), berombak (4-8), bergelombang (9-15), berbukit kecil (16-25), berbukit (26-40)
Kejujahan basa (%)	3	Tinggi (61-80), sangat tinggi (>80)
Kapasitas tukar kation (cmol)	75	Sedang (17-24), tinggi (25-40), sangat tinggi (>40)
Tekstur tanah*	6	Halus, agak halus
Kemasaman tanah (°)	49	Agak masam (5.6-6.5), netral (6.6-7.5), agak alkalis (7.6-8.5)
Kedalaman mineral tanah (cm)	36	Dangkal (25-50), sedang (51-75), dalam (76-100), sangat dalam (>100)
Jenis tanah*	30	Gleisol eutrik, kambisol eutrik, kambisol litik
Curah hujan (mm)	23	225-250, 251-275, 276-300
Temperatur (°C)	5	27, 28, 29
Kesesuaian lahan kelapa sawit	150	S2 (cukup sesuai), S3 (sesuai marjinal), N (tidak sesuai)

*Nilai syarat tumbuh bersifat kelas

6) Melakukan konversi terhadap data raster hasil reklasifikasi menjadi data berformat vektor dengan memanfaatkan *tool* Raster to Polygon, sehingga menghasilkan dua *layer* cuaca, yakni curah hujan dan temperatur.

Setelah sebelas *layer* penjelas dan sebuah *layer* target tersedia dalam format vektor, maka dilakukan verifikasi dan perbaikan validitas terhadap keseluruhannya. Setelah diketahui poligon suatu *layer* yang bernilai *false*, maka dilakukan penghapusan pada sebagian kecil yang bernilai *false* tersebut dengan memanfaatkan *tool* Editor. Hasil dari perbaikan poligon kemudian dilakukan penyederhanaan terhadap nama *layer* serta atribut-atribut yang terdapat didalamnya. Hasil akhir dari tahap praproses data yang telah dilakukan adalah telah siapnya *layer* penjelas dan *layer* target untuk proses klasifikasi *spatial decision tree*. Keseluruhan *layer* penjelas beserta keterangan jumlah poligon dan atribut didalamnya dapat dilihat pada Tabel 3.

3.2. Model Kesesuaian Lahan Padi Sawah Irigasi

Evaluasi kesesuaian lahan padi sawah irigasi dilakukan dengan menerapkan algoritme *spatial decision tree* terhadap sekumpulan data spasial yang terdapat pada Tabel 3. Untuk memperoleh hasil aturan terbaik dari suatu model, pada penelitian dibuat dua model sebagai perbandingan, khususnya dalam hal akurasi. Pembuatan dua model tersebut juga didasarkan oleh penelitian sebelumnya yang berhasil melakukan optimalisasi terhadap model *spatial decision tree* [19].

Model pertama (selanjutnya disebut sebagai X) dibuat menggunakan algoritme *spatial decision tree* dengan menerapkan formulasi SJR berupa *intersection*. Model kedua (selanjutnya disebut sebagai Y) dibuat dengan perbedaan dari model X adalah ditambahkannya kondisi *intersection* dalam formulasi SJR. Hal tersebut diadopsi dari penelitian sebelumnya yang terbukti berhasil meningkatkan akurasi dari model dasar/*original*. Penambahan kondisi *intersection* yang dimaksud adalah dengan memberikan kondisi dalam proses *intersection*, dimana tidak akan menghitung suatu luas area hasil *intersection* sebagai *spatial measure*. Hal ini akan mempengaruhi nilai *entropy* yang diperoleh, sehingga

secara tidak langsung akan memangkas pertumbuhan pohon keputusan spasial.

Ilustrasi dari pemangkasan dijelaskan sebagai berikut: Misal hasil dari *intersection* antara suatu poligon dari *layer* penjelas dan suatu poligon dari *layer* penjelas adalah nilainya dibawah kondisi, maka nilai *spatial measure* untuk perhitungan *entropy* dianggap tidak ada, sehingga pertumbuhan cabang di bagian tersebut tidak dilakukan. Nilai kondisi *intersection* yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan oleh luas ubinan padi terkecil yang biasa digunakan [39], sehingga dianggap dapat merepresentasikan suatu area pertanian padi sawah irigasi. Penerapan kondisi ini juga dapat disebut sebagai teknik *pruning* [24]. Berikut adalah hasil model klasifikasi yang diperoleh, ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Model Klasifikasi

Model	Simpul Akar	Variabel Tidak Terlibat	Jumlah Aturan
X	Relief	-	64
Y	Relief	Elevasi	11

Berdasarkan Tabel 4, diperoleh variabel relief yang dijadikan sebagai simpul akar oleh kedua model. Artinya, bagi kedua model, variabel relief merupakan variabel dengan keragaman paling rendah, sehingga menghasilkan nilai *gain* tertinggi yang kemudian dijadikan simpul akar. Lebih lanjut, terdapat perbedaan antara model X dan Y dalam hasil variabel yang tidak terlibat, dimana pada model X melibatkan keseluruhan variabel syarat tumbuh, sedangkan pada model Y tidak melibatkan sebuah variabel, yakni elevasi. Ketidakterlibatan variabel elevasi pada model Y memiliki arti variabel elevasi dianggap tidak terlalu penting/esensial dalam menentukan kesesuaian lahan padi sawah irigasi. Merujuk buku petunjuk teknis kesesuaian lahan oleh BBSDLP [11], dalam kriteria yang dibutuhkan oleh padi sawah irigasi juga tidak menyertakan variabel elevasi sebagai syarat tumbuh.

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa hasil model Y yang merupakan optimalisasi dari model X menghasilkan jumlah aturan yang jauh lebih sedikit. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat dikatakan optimalisasi yang diterapkan berhasil untuk memangkas pertumbuhan pohon keputusan spasial. Meskipun begitu, jumlah aturan yang lebih sedikit diharapkan tetap mampu

merepresentasikan kesesuaian lahan padi sawah irigasi, yang dapat dibuktikan melalui pengujian pada data uji. Jumlah aturan yang dihasilkan oleh model Y juga merupakan salah satu penyebab dalam ketidakterlibatan variabel elevasi dalam pohon keputusan, dimana semakin banyak jumlah aturan maka peluang keterlibatan keseluruhan variabel yang digunakan juga akan meningkat [19].

3.3. Evaluasi Pohon Keputusan Spasial

Evaluasi dilakukan terhadap hasil aturan yang diterapkan pada data uji kesesuaian lahan padi sawah irigasi di Kabupaten Grobogan [26] yang berjumlah 150. Data uji tersebut merupakan representasi dari setiap poligon yang memiliki atribut dari masing-masing faktor penjas dan kelas kesesuaian lahan. Hasil evaluasi yang dilakukan dengan menggunakan metode *confusion matrix* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Evaluasi Model Klasifikasi

Model	True	False	Unclassified	Akurasi (%)
X	129	3	18	86
Y	145	4	1	96.67

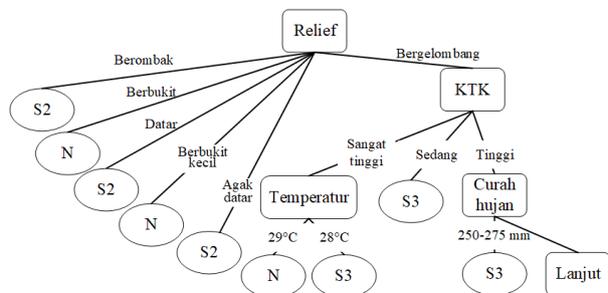
Pada Tabel 5, dapat dilihat bahwasanya akurasi yang dihasilkan oleh model Y lebih tinggi dibandingkan model X, dimana perbedaan akurasi yang dihasilkan cukup signifikan, yakni terpaut 10.67%. Artinya, optimalisasi berupa penambahan kondisi *intersection* dalam formulasi SJR yang diterapkan pada model Y berhasil meningkatkan akurasi aturan yang dihasilkan. Yang menarik dari data pada Tabel 5 adalah kesalahan murni yang dilakukan oleh Model Y justru lebih banyak dibandingkan model X, yakni 4. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh jumlah aturan yang dihasilkan model Y jauh lebih sedikit dibandingkan Model X, sehingga mempengaruhi kesalahan prediksi data uji.

Hasil model X justru lebih banyak melakukan kesalahan berupa *unclassified* (tidak mampu melakukan prediksi terhadap suatu data), yakni selisih 17 data dibanding model Y. Hal ini dapat disebabkan oleh aturan yang dihasilkan model X dalam suatu aturannya terdiri dari rata-rata tujuh variabel, sehingga mempengaruhi performa model yang hanya dapat memprediksi hanya jika keseluruhan karakteristik lahan dan cuaca sesuai dengan suatu aturan. Berbeda halnya jika dalam suatu aturan, variabel penyusunnya tidak terlalu banyak, yang akan lebih mudah memprediksi suatu data uji. Namun, jika dilakukan analisa lebih lanjut, aturan yang didalamnya hanya terdiri dari satu atau dua variabel juga akan memberikan pengaruh dalam hal kesalahan prediksi seperti halnya model Y.

Berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa variabel elevasi yang tidak dilibatkan oleh model Y serta jumlah aturan yang lebih sedikit dibandingkan model X justru mampu merepresentasikan model kesesuaian lahan yang lebih baik. Berikut adalah keseluruhan aturan yang dihasilkan oleh model Y, serta

sebagian visualisasi bentuk pohonnya ditunjukkan pada Gambar 3.

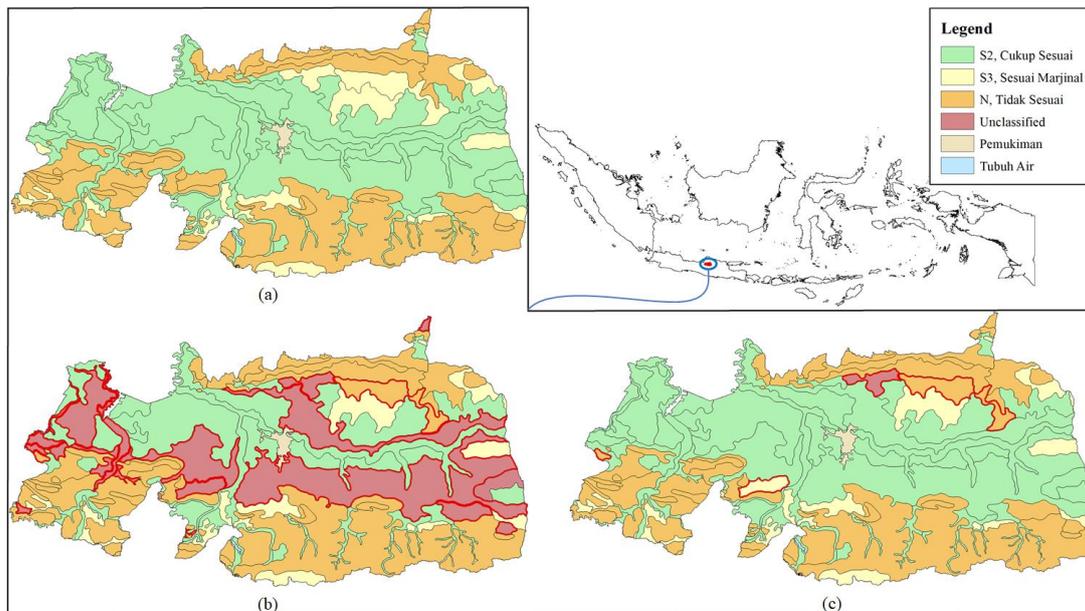
- 1) JIKA relief = berombak MAKA S2
- 2) JIKA relief = bergelombang DAN kapasitas tukar kation = sedang MAKA S3
- 3) Jika relief = bergelombang dan kapasitas tukar kation = tinggi dan curah hujan = 275-300 dan elevasi = perbukitan dan jenis tanah = kambisol eutrik dan kedalaman mineral tanah = dalam dan pH tanah = agak alkalis dan tekstur tanah = halus dan kejenuhan basa = sangat tinggi dan drainase = baik maka N
- 4) Jika relief = bergelombang dan kapasitas tukar kation = tinggi dan curah hujan = 250-275 dan elevasi = perbukitan dan jenis tanah = kambisol eutrik dan kedalaman mineral tanah = dalam dan pH tanah = agak alkalis dan tekstur tanah = halus dan kejenuhan basa = sangat tinggi dan drainase = baik maka N
- 5) JIKA relief = bergelombang DAN kapasitas tukar kation = tinggi DAN curah hujan = 225-250 mm MAKA S3
- 6) JIKA relief = bergelombang DAN kapasitas tukar kation = sangat tinggi DAN temperatur = 29°C MAKA N
- 7) JIKA relief = bergelombang DAN kapasitas tukar kation = sangat tinggi DAN temperatur = 28°C MAKA S3
- 8) Jika relief = berbukit maka N
- 9) Jika relief = datar maka S2
- 10) Jika relief = berbukit kecil maka N
- 11) Jika relief = agak datar maka S2



Gambar 3. Sebagian Pohon Keputusan Model Y

3.4. Visualisasi Peta Kesesuaian Lahan

Visualisasi dilakukan dengan menerapkan aturan terhadap data karakteristik lahan dan cuaca yang direpresentasikan oleh poligon sehingga menjadi peta spasial yang terdapat pada Gambar 4. Dapat dilihat pada Gambar 4 adanya perbedaan hasil kesesuaian lahan antara versi BBSDLP, model X, dan model Y. Garis merah pada beberapa poligon hasil kesesuaian lahan model X dan Y menandakan poligon tersebut salah terklasifikasi atau tidak dapat terklasifikasi (*unclassified*). Dalam klasifikasi data spasial, meskipun akurasi yang dihasilkan cukup tinggi, namun jika diterapkan pada data uji dapat berdampak lebih besar. Seperti halnya model X, terlihat pada Gambar 4, peta



Gambar 4. Peta Kesesuaian Lahan Padi Sawah Irigasi Versi (a) BBSDLP, (b) Model X, (c) Model Y di Kabupaten Grobogan

yang dihasilkan perbedaannya cukup signifikan dibandingkan versi BBSDLP. Hal tersebut dikarenakan setiap poligon memiliki ukuran/luas area yang berbeda-beda, dimana jika model salah dalam memprediksi poligon yang luas areanya cukup besar, akan berdampak juga cukup besar dalam visualisasinya. Untuk melihat seberapa signifikan perbedaan kesesuaian lahan dari keseluruhan versi, dilakukan perhitungan luas area masing-masing kelas kesesuaian lahan pada setiap versi. Berikut hasil luas area pada masing-masing kelas kesesuaian lahan untuk setiap versi, ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Luas Area Kesesuaian Lahan Padi Sawah Irigasi

Versi	Kelas	Area (ha)
BBSDLP	S2, Cukup Sesuai	112018.93
	S3, Sesuai Marjinal	21070.12
	N, Tidak Sesuai	73201.03
	Pemukiman	104.09
	Tubuh Air	1033.64
Model X	S2, Cukup Sesuai	59193.60
	S3, Sesuai Marjinal	14335.14
	N, Tidak Sesuai	73941.67
	Unclassified	104.09
	Pemukiman	1033.64
Model Y	S2, Cukup Sesuai	112018.93
	S3, Sesuai Marjinal	16113.62
	N, Tidak Sesuai	76528.89
	Unclassified	104.09
	Pemukiman	1033.64
	Tubuh Air	1628.65

Peta kesesuaian lahan yang dihasilkan diharapkan dapat memberikan informasi arahan pengembangan pertanian padi, khususnya padi sawah irigasi di Kabupaten Grobogan. Meskipun pada Tabel 6 terlihat tidak adanya kelas S1 serta kelas N cukup banyak dibandingkan kelas S3, namun pihak terkait dapat memaksimalkan pengembangan S2 dan S3 dengan memperbaiki karakteristik lahan [19]. Misalnya, dengan rutin

melakukan pemupukan untuk meningkatkan kualitas pH pada lahan tersebut.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan dua pohon keputusan spasial kesesuaian lahan padi sawah irigasi. Kedua model memperoleh hasil yang berbeda, dimana model X menghasilkan akurasi sebesar 86%, sedangkan model Y menghasilkan akurasi yang lebih baik, yakni 96.67%. Hal tersebut disebabkan oleh perlakuan yang berbeda pada kedua model, dimana model Y merupakan versi optimalisasi dari model X dengan menerapkan teknik *pruning* berupa penambahan kondisi dalam proses *intersection* untuk menghasilkan nilai *entropy*. Selain akurasi, kedua model juga memperoleh hasil yang berbeda dalam jumlah aturan dan variabel yang tidak terlibat, namun untuk variabel yang dijadikan simpul akar sama, yakni relief. Penambahan variabel cuaca yang dihasilkan melalui interpolasi OCK merupakan hal yang tepat, dibuktikan dari keterlibatannya dalam model X maupun Y.

Pengembangan yang dapat dilakukan selanjutnya adalah: 1) Agar memperoleh nilai akurasi yang lebih mutakhir, dapat dilakukan uji pada data kesesuaian lahan di kabupaten lain, 2) Untuk memperoleh data cuaca yang lebih valid, dapat dilakukan peramalan cuaca terlebih dahulu, 3) Melakukan pemetaan yang lebih presisi dengan melibatkan data lahan yang dapat ditanami secara legal (bukan daerah hutan lindung/daerah khusus yang tidak boleh ditanami menurut keputusan negara) serta informasi pemukiman penduduk yang lebih akurat.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Teknokrat Indonesia melalui Lembaga Penelitian dan

Pengabdian Masyarakat (LPPM) atas dana yang dihibahkan dalam melakukan penelitian ini.

Daftar Rujukan

- [1] Bappenas, *Proyeksi penduduk Indonesia 2010-2035*. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik, 2013.
- [2] BKP, *Panduan inventarisasi sumberdaya pangan*. Jakarta (ID): Badan Ketahanan Pangan-Kementerian Pertanian, 2020.
- [3] Balitbangtan, *Memperkuat kemampuan swasembada pangan*, no. 1. Jakarta (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian-IAARD Press, 2015.
- [4] G. Leach, *Global land and food in the 21st century: trends and issues for sustainability*, 5th ed., no. 5. Sweden: Stockholm Environment Institute, 1995.
- [5] BPPSDMP, "Rencana strategis 2015 –2019, edisi revisi kedua," Jakarta (ID), 2017. [Online]. Available: http://sakup.pertanian.go.id/admin/file/RENSTRA_BPPSDMP_2015-2019.pdf.
- [6] Pusdatin, *Outlook komoditas pertanian sub sektor tanaman pangan, padi*. Jakarta (ID): Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian-Kementerian Pertanian, 2016.
- [7] Distanbun Jateng, "Statistik tanaman pangan Jawa Tengah 2015," Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura Provinsi Jawa Tengah, Semarang (ID), 2015. [Online]. Available: http://distanbun.jatengprov.go.id/v/upload/STATISTIK_TP_2015.pdf.
- [8] R. Rahmadiah, F. Tanjung, and R. Hariance, "Analisis perbandingan usahatani padi sawah irigasi dengan padi sawah tadah hujan di Kecamatan Koto Tengah Kota Padang," *JOSETA J. Socio Econ. Tropical Agric.*, vol. 1, no. 3, pp. 9–23, 2019, doi: <https://doi.org/10.25077/joseta.v1i3.177>.
- [9] Balitbangtan, *Sumber daya lahan pertanian Indonesia: luas, penyebaran, dan potensi ketersediaan*, 2015th ed. Jakarta (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian-IAARD Press, 2015.
- [10] BBSDDL, *Atlas peta kesesuaian lahan dan arahan komoditas pertanian pertanian, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat, skala 1:50.000*, 2nd ed. Bogor (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, 2016.
- [11] D. Djaenudin, M. H., S. H., and A. Hidayat, *Petunjuk teknis evaluasi lahan untuk komoditas pertanian*, 2nd ed. Bogor (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2011.
- [12] K. Akpoti, A. T. Kabobah, and S. J. Zwart, "Agricultural land suitability analysis: State-of-the-art and outlooks for integration of climate change analysis," *Agric. Syst.*, vol. 173, no. July, pp. 172–208, 2019, doi: [10.1016/j.agsy.2019.02.013](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.013).
- [13] S. Pariamanda and A. Sukmono, "Analisis kesesuaian lahan untuk perkebunan kopi di kabupaten semarang," *J. Geod. Undip Januari*, vol. 5, no. 1, pp. 116–124, 2016.
- [14] F. S. Harahap, R. Sitompul, A. Rauf, Rahmawaty, D. E. Harahap, and H. Walida, "Land suitability evaluation for oil palm plantations (*Elaeisguenensis jacq*) on Sitellu Tali Urang Julu, Pakpak Bharat District," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 260, no. 1, 2019, doi: [10.1088/1755-1315/260/1/012116](https://doi.org/10.1088/1755-1315/260/1/012116).
- [15] S. Frastika, R. Batubara, and A. Rauf, "Mapping of land suitability for rambutan (*Nephelium lappaceum*) in community agroforestry land at Gunung Ambat Village and Simpang Kuta Buluh Village," vol. 25, no. 2, pp. 107–117, 2020, doi: [10.5400/jts.2019.v25i2.107-117](https://doi.org/10.5400/jts.2019.v25i2.107-117).
- [16] Rahmawaty, S. Frastika, A. Rauf, R. Batubara, and F. S. Harahap, "Land suitability assessment for Lansium domesticum cultivation on agroforestry land using matching method and geographic information system," *Biodiversitas*, vol. 21, no. 8, pp. 3683–3690, 2020, doi: [10.13057/biodiv/d210835](https://doi.org/10.13057/biodiv/d210835).
- [17] S. Rinzivillo and F. Turini, "Classification in geographical information systems," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 3202, pp. 374–385, 2004, doi: [10.1007/978-3-540-30116-5_35](https://doi.org/10.1007/978-3-540-30116-5_35).
- [18] A. Nurkholis and I. S. Sitanggang, "A spatial analysis of soybean land suitability using spatial decision tree algorithm," in *Sixth International Symposium on LAPAN-IPB Satellite*, Dec. 2019, no. December, p. 1137201, doi: [10.1117/12.2541555](https://doi.org/10.1117/12.2541555).
- [19] A. Nurkholis and I. S. Sitanggang, "Optimization for prediction model of palm oil land suitability using spatial decision tree algorithm," *J. Teknol. dan Sist. Komput.*, vol. 8, no. 3, pp. 192–200, 2020, doi: [10.14710/jtsiskom.2020.13657](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2020.13657).
- [20] H. Elaidi, Z. Benabbou, and H. Abbar, "A comparative study of algorithms constructing decision trees: Id3 and c4.5," in *LOPAL '18: Proceedings of the International Conference on Learning and Optimization Algorithms: Theory and Applications*, pp. 1–5, doi: [10.1145/3230905.3230916](https://doi.org/10.1145/3230905.3230916).
- [21] I. S. Sitanggang, R. Yaakob, N. Mustapha, and A. A. B. Nuruddin, "An extended ID3 decision tree algorithm for spatial data," in *IEEE International Conference on Spatial Data Mining and Geographical Knowledge Services*, Jun. 2011, pp. 48–53, doi: [10.1109/ICSDM.2011.5969003](https://doi.org/10.1109/ICSDM.2011.5969003).
- [22] I. S. Sitanggang, R. Yaakob, N. Mustapha, and A. A. B. Nuruddin, "Classification model for hotspot occurrences using spatial decision tree algorithm," *J. Comput. Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. 244–251, Feb. 2013, doi: [10.3844/jcssp.2013.244.251](https://doi.org/10.3844/jcssp.2013.244.251).
- [23] Y. M. Khoiriyah and I. S. Sitanggang, "A spatial decision tree based on topological relationships for classifying hotspot occurrences in Bengkalis Riau Indonesia," in *International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems*, 2014, pp. 268–272, doi: [10.1109/ICACSIS.2014.7065844](https://doi.org/10.1109/ICACSIS.2014.7065844).
- [24] I. S. Sitanggang, R. Yaakob, N. Mustapha, and A. A. N., "A decision tree based on spatial relationships for predicting hotspots in peatlands," *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput. Electron. Control)*, vol. 12, no. 2, p. 511, Jun. 2014, doi: [10.12928/TELKOMNIKA.v12i2.2036](https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v12i2.2036).
- [25] A. K. Nisyak, F. Ramdani, and Suprpto, "Web-GIS development and analysis of land suitability for rice plant using GIS-MCDA method in Batu city," in *International Symposium on Geoinformatics*, 2017, pp. 24–33, doi: [10.1109/ISYG.2017.8280667](https://doi.org/10.1109/ISYG.2017.8280667).
- [26] BBSDDL, *Atlas peta kesesuaian lahan dan arahan komoditas pertanian pertanian, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah, skala 1:50.000*. Bogor (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, 2016.
- [27] BPS Jateng, "Berita resmi statistik: luas panen dan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah 2019," Semarang (ID), 2020. [Online]. Available: <https://jateng.bps.go.id/pressrelease/2020/03/02/1223/luas-panen-dan-produksi-padi-di-jawa-tengah-pada-tahun-2019-mengalami-penurunan.html>.
- [28] S. Mukherjee, A. Mukhopadhyay, A. Bhardwaj, A. Mondal, S. Kundu, and S. Hazra, "Digital elevation model generation and retrieval of terrain attributes using CARTOSAT-1 stereo data," *Int. J. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 5, pp. 265–271, 2012.
- [29] S. K. Adhikary, N. Muttill, and A. G. Yilmaz, "Cokriging for enhanced spatial interpolation of rainfall in two Australian catchments," *Hydrol. Process.*, vol. 31, no. 12, pp. 2143–2161, 2017, doi: [10.1002/hyp.11163](https://doi.org/10.1002/hyp.11163).
- [30] M. Xiao, G. Zhang, P. Breikopf, P. Villon, and W. Zhang, "Extended Co-Kriging interpolation method based on multi-fidelity data," *Appl. Math. Comput.*, vol. 323, pp. 120–131, 2018, doi: [10.1016/j.amc.2017.10.055](https://doi.org/10.1016/j.amc.2017.10.055).
- [31] M. D. Asfaw, S. M. Kassa, E. M. Lungu, and W. Bewket, "Effects of temperature and rainfall in plant–herbivore interactions at different altitude," *Ecol. Modell.*, vol. 406, no. August, pp. 50–59, 2019, doi: [10.1016/j.ecolmodel.2019.05.011](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.05.011).
- [32] BMKG, "Data Iklim - Data Harian," *Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*, 2020. https://dataonline.bmkg.go.id/data_iklim (accessed Jul. 20, 2020).
- [33] J. Martinez-Llario, E. Coll, M. Núñez-Andrés, and C. Femenia-Ribera, "Rule-based topology system for spatial databases to validate complex geographic datasets," *Comput. Geosci.*, vol. 103, no. June, pp. 122–132, 2017, doi: [10.1016/j.cageo.2017.03.013](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.03.013).
- [34] Y. Hayashi and S. Yukita, "Rule extraction using Recursive-Rule extraction algorithm with J48graft combined with sampling selection techniques for the diagnosis of type 2 diabetes mellitus in the Pima Indian dataset," *Informatics Med. Unlocked*, vol. 2, pp. 92–104, 2016, doi: [10.1016/j.imu.2016.02.001](https://doi.org/10.1016/j.imu.2016.02.001).

- [35]J. Han, M. Kamber, and J. Pei, *Data Mining: concepts and techniques, third edition*, 3rd ed. Waltham (US): Morgan Kaufmann-Elsevier, 2012.
- [36]A. Tharwat, "Classification assessment methods," *Appl. Comput. Informatics*, 2018, doi: 10.1016/j.aci.2018.08.003.
- [37]I. Bermans, "Klasifikasi geomorfologi untuk pemetaan geologi yang telah dibakukan," *Bull. Sci. Contrib.*, vol. 4, no. 2, pp. 161–173, 2006, doi: 10.1371/journal.pcbi.1003340.
- [38]BMKG, "Prakiraan hujan bulanan," *Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*, 2020. <https://www.bmkg.go.id/iklim/prakiraan-hujan-bulanan.bmkg> (accessed Jul. 26, 2020).
- [39]BBPadi, *Teknik ubinan: pendugaan produktivitas padi menurut sistem tanam*. Jakarta (ID): Balai Besar Penelitian Tanaman Padi-Kementerian Pertanian, 2017.