



Identifikasi Faktor Pembatas dan Rekomendasi Pengelolaan Lahan untuk Budidaya Gandum Berbasis Evaluasi Kesesuaian Lahan

Identification of Limiting Factors and Land Management Recommendations for Wheat Cultivation Based on Land Suitability Evaluation

Yohanes Hasiholan Parhusip ^{*,1}, Immanuel Tegar Riven ¹, Syahrul Neeza Aryana Nugroho ¹, Aditya Dwi Kurniawan ¹, Bistok Hasiholan Simanjuntak ¹, Alfred Jansen Sutrisno ¹

¹ Program Studi Agroteknologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: johaneshasiholan@gmail.com



Abstrak. Tingginya ketergantungan Indonesia terhadap impor gandum mendorong perlunya pengembangan budidaya gandum tropis sebagai upaya mendukung diversifikasi pangan dan memperkuat ketahanan pangan nasional. Namun, keberhasilan pengembangan gandum sangat dipengaruhi oleh tingkat kesesuaian lahan dan faktor pembatas pada suatu wilayah. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi faktor pembatas serta menentukan rekomendasi pengelolaan lahan berdasarkan evaluasi kesesuaian lahan di Desa Jeruk, Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali. Penelitian dilakukan melalui survei lapangan, analisis laboratorium, dan evaluasi kesesuaian lahan pada 40 titik pengamatan menggunakan metode matching yang mengacu pada Ritung et al. (2011), dilanjutkan dengan metode scoring dan teknik weighted overlay, serta identifikasi faktor pembatas berdasarkan konsep Hukum Minimum Justus von Liebig. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas kesesuaian lahan aktual didominasi kelas S3 (sesuai marginal) seluas 422,411 ha (99,99 %), sedangkan kelas S2 (cukup sesuai) hanya seluas 0,048 ha (0,01 %). Faktor pembatas utama meliputi suhu dan curah hujan yang tinggi, rendahnya N-total, P₂O₅, dan K₂O, drainase terhambat, tekstur tanah agak kasar, serta lereng curam. Faktor pembatas yang dapat dikelola meliputi ketersediaan hara, drainase, dan erosi melalui pemupukan berimbang, bahan organik, pengelolaan drainase, dan konservasi tanah, sedangkan suhu, curah hujan, dan topografi tidak dapat dimodifikasi secara langsung. Rekomendasi tersebut menjadi dasar pengelolaan lahan untuk mendukung pengembangan budidaya gandum.

Kata kunci: evaluasi kesesuaian lahan, faktor pembatas, perbaikan lahan, budidaya gandum.

Abstract. Indonesia's high dependence on wheat imports emphasizes the need to develop tropical wheat cultivation to support food diversification and strengthen national food security. These recommendations serve as a foundation for land management that supports the development of wheat cultivation. This study aimed to identify limiting factors and formulate land management recommendations based on land suitability evaluation in Jeruk Village, Selo District, Boyolali Regency. The research was conducted through field surveys, laboratory analyses, and land suitability evaluation at 40 observation points using the matching method based on Ritung et al. (2011), followed by scoring and weighted overlay techniques, as well as limiting factor identification based on Justus von Liebig's Law of the Minimum. The results showed that the actual land suitability was dominated by the S3 (Marginally Suitable) class, covering 422.411 ha (99.99%), while the S2 (Moderately Suitable) class covered only 0.048 ha (0.01%). The main

limiting factors included high temperature and rainfall, low N-total, P₂O₅, and K₂O contents, impeded drainage, moderately coarse soil texture, and steep slopes. Manageable limiting factors included nutrient availability, drainage, and erosion, which can be addressed through balanced fertilization, organic matter application, drainage management, and soil conservation practices, whereas temperature, rainfall, and topography cannot be directly modified. These recommendations serve as a foundation for land management that supports the development of wheat cultivation.

Keywords: *land suitability evaluation, limiting factors, land improvement, wheat cultivation.*

1. Pendahuluan

Hingga saat ini, Indonesia masih bergantung pada impor gandum untuk memenuhi kebutuhan bahan baku industri pangan, seperti mie instan, roti, biskuit, dan berbagai produk olahan berbasis tepung. Berdasarkan data [Badan Pusat Statistik \(2025\)](#), impor gandum Indonesia pada 2024 mencapai 11,71 juta ton. Seiring pertumbuhan penduduk, perkembangan industri pangan, dan perubahan pola konsumsi masyarakat, permintaan gandum nasional diperkirakan terus meningkat. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa produksi gandum dalam negeri belum mampu memenuhi kebutuhan nasional sehingga pengembangan budidaya gandum diperlukan untuk mendukung diversifikasi dan ketahanan pangan nasional.

Meskipun kebutuhan gandum terus meningkat, budidaya gandum di Indonesia masih dilakukan dalam skala terbatas untuk kepentingan penelitian, pengembangan varietas, serta uji adaptasi di beberapa wilayah tertentu ([Praptana & Hermanto, 2016](#); [Wicaksono et al., 2016](#)). Kondisi tersebut menyebabkan kontribusi produksi gandum domestik terhadap pemenuhan kebutuhan nasional masih sangat rendah, sehingga ketergantungan terhadap impor tetap tinggi.

Di sisi lain, Indonesia memiliki potensi untuk mengembangkan gandum tropis, terutama di wilayah dataran tinggi. Perkembangan teknologi pemuliaan telah menghasilkan varietas yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan Indonesia sehingga membuka peluang pengembangan budidaya gandum secara lebih luas ([Praptana & Hermanto, 2016](#)). Potensi tersebut didukung oleh wilayah pegunungan dan dataran tinggi yang bersuhu relatif lebih sejuk sehingga lebih sesuai bagi pertumbuhan gandum ([Nasution et al., 2019](#)). Oleh karena itu, peluang pengembangan gandum di Indonesia masih terbuka apabila didukung pemilihan lokasi dan pengelolaan lahan yang tepat.

Peluang pengembangan tersebut didukung oleh kebijakan pemerintah dalam memperkuat ketahanan pangan nasional. Pada 2025, pemerintah mendorong program perluasan areal tanam gandum yang ditargetkan mencapai 1.000 ha di berbagai wilayah potensial sebagai bagian dari strategi diversifikasi pangan nasional ([Supriyanto et al., 2025](#)). Namun demikian, keberhasilan program pengembangan gandum tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan lahan, tetapi juga oleh tingkat kesesuaian lahan terhadap kebutuhan tumbuh tanaman.

Dalam pengembangan komoditas pertanian, kondisi lahan berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman. Lahan yang sesuai mampu mendukung pertumbuhan secara optimal, sedangkan berbagai keterbatasan lahan dapat menurunkan produktivitas bahkan menyebabkan kegagalan usaha tani (Fiqa *et al.*, 2021; Nainggolan *et al.*, 2025). Oleh karena itu, informasi mengenai karakteristik dan tingkat kesesuaian lahan menjadi dasar penting dalam perencanaan pengembangan komoditas pertanian, termasuk gandum.

Tanaman gandum memiliki persyaratan tumbuh yang relatif spesifik dibandingkan beberapa tanaman pangan lain yang umum dibudidayakan di Indonesia. Faktor-faktor seperti suhu udara, curah hujan, kondisi drainase, tekstur tanah, ketersediaan unsur hara, dan kemiringan lereng dapat memengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman (Demirhan & Bayraktar, 2025; Terefe *et al.*, 2025; Sitaresmi *et al.*, 2025). Ketidaksesuaian salah satu faktor tersebut dapat menurunkan produktivitas meskipun faktor lainnya mendukung. Oleh karena itu, pengembangan gandum di wilayah tropis memerlukan kajian yang cermat untuk memastikan kesesuaian kondisi biofisik lahan.

Dalam pengembangan wilayah pertanian, informasi tingkat kesesuaian lahan diperlukan untuk mengurangi risiko kegagalan pengembangan komoditas pada lokasi yang kurang sesuai. Identifikasi faktor pembatas memungkinkan penyusunan strategi pengelolaan lahan yang lebih tepat. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah evaluasi kesesuaian lahan, yaitu penilaian tingkat kecocokan lahan berdasarkan karakteristik biofisik yang meliputi topografi, tanah, iklim, dan drainase (Ritung *et al.*, 2011; Wahyunto *et al.*, 2016). Melalui evaluasi tersebut dapat diketahui tingkat kesesuaian lahan serta faktor-faktor pembatas sebagai dasar penyusunan arahan pengelolaan dan penggunaan lahan secara tepat dan berkelanjutan.

Hasil evaluasi kesesuaian lahan umumnya dinyatakan dalam beberapa kelas, yaitu S1 (sangat sesuai), S2 (cukup sesuai), S3 (sesuai marginal), dan N (tidak sesuai) (Ritung *et al.*, 2011). Kelas S1 menunjukkan lahan dengan hambatan sangat kecil, sedangkan S2 dan S3 memiliki faktor pembatas yang masih dapat diatasi melalui pengelolaan dengan tingkat intensitas yang berbeda. Sebaliknya, kelas N menunjukkan lahan dengan kendala sangat berat sehingga tidak sesuai untuk penggunaan yang direncanakan. Selain menghasilkan informasi mengenai kelas kesesuaian lahan, evaluasi lahan juga mampu mengidentifikasi faktor-faktor pembatas yang menyebabkan penurunan tingkat kesesuaian lahan (Wahyunto *et al.*, 2016; Ritung *et al.*, 2011).

Identifikasi faktor pembatas menjadi bagian penting dalam evaluasi lahan karena menjadi dasar penyusunan rekomendasi pengelolaan dan upaya perbaikan lahan. Faktor pembatas seperti rendahnya ketersediaan unsur hara, drainase yang kurang baik, dan rendahnya kandungan bahan organik masih dapat diperbaiki melalui berbagai tindakan pengelolaan lahan (Wijaya *et al.*, 2024; Sumarniasih *et al.*, 2023). Perbaikan yang dilakukan dapat mendorong peningkatan kelas

kesesuaian lahan, misalnya peningkatan kelas kesesuaian S3 menjadi S2 maupun dari S2 ke S1 (Ritung *et al.*, 2011).

Berbagai penelitian mengenai evaluasi kesesuaian lahan telah banyak dilakukan pada berbagai komoditas tanaman pangan di Indonesia, seperti jagung, sorgum, dan tanaman pangan lainnya, menggunakan metode pencocokan (*matching*) untuk menentukan kelas kesesuaian lahan dan faktor pembatas (Harahap *et al.*, 2020; Nainggolan *et al.*, 2025; Sari *et al.*, 2024). Namun, penelitian yang secara khusus mengevaluasi kesesuaian lahan untuk budidaya gandum di Indonesia masih sangat terbatas. Salah satu penelitian terkait pengembangan gandum dilakukan oleh Giofandi *et al.* (2022) di Kabupaten Tanah Datar menggunakan pendekatan fuzzy logic dan Boolean untuk penyusunan arahan spasial. Pendekatan tersebut berbeda dengan penelitian ini yang menerapkan metode *matching* berdasarkan kriteria Ritung *et al.* (2011) yang selanjutnya diintegrasikan menggunakan metode *scoring* dan teknik tumpang susun berbobot (*weighted overlay*) untuk menentukan kelas kesesuaian lahan.

Desa Jeruk, Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali, merupakan wilayah dataran tinggi di lereng Gunung Merbabu dengan ketinggian lebih dari 1.000 m di atas permukaan laut, suhu rata-rata sekitar 25 °C, dan kondisi topografi yang bervariasi dari lereng <8 % hingga >15 % sehingga memiliki karakteristik biofisik yang beragam. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa gandum tumbuh lebih baik pada wilayah dataran tinggi dengan suhu rendah hingga sedang (Nasution *et al.*, 2019; Wahyu *et al.*, 2013). Berdasarkan kriteria evaluasi kesesuaian lahan, gandum tumbuh optimum pada ketinggian 1.200–1.500 m dpl dengan suhu 12–25 °C (Ritung *et al.*, 2011). Meskipun memiliki karakteristik biofisik yang mendukung, informasi mengenai kesesuaian lahan untuk budidaya gandum di Desa Jeruk masih terbatas. Oleh karena itu, wilayah ini dipilih sebagai lokasi penelitian untuk menyediakan informasi mengenai potensi kesesuaian lahan sebagai dasar pengembangan budidaya gandum.

Meskipun penelitian mengenai evaluasi kesesuaian lahan untuk berbagai komoditas telah banyak dilakukan, informasi mengenai tingkat kesesuaian lahan, faktor-faktor pembatas, serta upaya perbaikan lahan untuk budidaya gandum di Desa Jeruk masih terbatas. Informasi tersebut diperlukan sebagai dasar dalam perencanaan pengembangan budidaya gandum pada wilayah dataran tinggi serta penyusunan rekomendasi pengelolaan lahan yang sesuai dengan karakteristik biofisik wilayah penelitian. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor pembatas serta menentukan rekomendasi perbaikan lahan berdasarkan evaluasi kesesuaian lahan guna mendukung pengembangan budidaya gandum di wilayah penelitian.

2. Bahan dan Metode

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Desa Jeruk, Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah, dengan koordinat $7^{\circ}25'-7^{\circ}30'$ LS dan $110^{\circ}30'-110^{\circ}35'$ BT. Wilayah penelitian berada di lereng Gunung Merbabu pada ketinggian 838–2.894 m dpl. Penelitian dilakukan pada Oktober 2025–Februari 2026. Analisis sampel tanah dilaksanakan di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian dan Bisnis Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.

2.2. Alat dan Bahan

Alat penelitian meliputi peralatan survei tanah dan observasi lapangan, peralatan laboratorium untuk analisis tekstur, N-total, K_2O , P_2O_5 , kejenuhan basa (KB), kapasitas tukar kation (KTK), pH, C-organik, serta perangkat pengolah data berupa komputer dengan perangkat lunak ArcGIS 10.8 dan Microsoft Excel.

Bahan penelitian meliputi sampel tanah kedalaman 0–30 cm, peta administrasi Desa Jeruk dari Badan Perencanaan, Penelitian dan Pengembangan Daerah Kabupaten Boyolali, data suhu serta curah hujan selama periode 2015-2025 bersumber dari nasa power (*Prediction of Worldwide Energy Resources*) yang diakses melalui <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>, data kelerengan dan elevasi yang mengacu pada data DEM (*Digital Elevation Model*) Badan Informasi Geospasial yang tersedia melalui <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/>, peta jenis tanah dari *Esri Map Soil Global* dan *FAO Soil Units*, serta citra Google Earth Desa Jeruk untuk penyusunan peta penggunaan lahan.

2.3. Metode Analisis

2.3.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan sifat eksploratif. Menurut Sugiyono (2013), penelitian deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik objek atau fenomena sesuai fakta, sedangkan penelitian kuantitatif menggunakan data yang dapat diukur dan dianalisis secara statistik. Pendekatan tersebut digunakan untuk mengevaluasi karakteristik dan tingkat kesesuaian lahan bagi budidaya gandum berdasarkan parameter fisik, kimia, dan iklim. Hasil evaluasi menjadi dasar penentuan kelas kesesuaian lahan, identifikasi faktor pembatas, serta penyusunan rekomendasi pengelolaan dan perbaikan lahan. Penerapan pendekatan deskriptif kuantitatif dalam penelitian ini dilakukan melalui dua kegiatan utama, yaitu survei lapangan dan pengambilan sampel tanah, serta analisis karakteristik tanah di laboratorium.

2.3.2. Metode Survei dan Pengambilan Sampel

Penentuan titik pengamatan diawali dengan penyusunan satuan peta lahan melalui teknik *overlay* peta administrasi, penggunaan lahan, jenis tanah, kelerengan, dan agroklimat. Selanjutnya,

wilayah penelitian dibagi menggunakan *grid* sebagai dasar penentuan sebaran titik pengamatan. Titik pengamatan ditentukan menggunakan pendekatan *purposive sampling* berdasarkan variasi karakteristik lahan yang dikombinasikan dengan *simple random sampling* pada setiap satuan lahan. Jumlah titik pengamatan ditetapkan berdasarkan survei tanah semi detail dengan intensitas sedang dan kerapatan pengamatan 1 sampel untuk 8-12,5 ha lahan (Romadhoni *et al.*, 2022). Dengan luas lahan pertanian sebesar 422,459 ha, diperoleh 40 titik pengamatan yang mewakili variasi karakteristik biofisik lahan di lokasi penelitian.

2.3.3. Analisis Laboratorium Terhadap Tanah

Analisis laboratorium terhadap sampel tanah dilakukan untuk menentukan parameter sifat tanah sebagaimana disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Uji Fisik dan Kimia Tanah.

No.	Analisis	Metode
1.	Tekstur	Bouyoucos
2.	KTK tanah (cmol)	Amonium Asetat pH 7
3.	Kejenuhan basa (%)	AAS (<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>) dengan pengekstrak Ammonium Acetate 1N, pH 7
4.	pH H ₂ O	Pereaksi H ₂ O
5.	C-organik (%)	Walkley and Black yang dibaca secara spektrofotometri
6.	N total (%)	Kjeldahl
7.	P ₂ O ₅ (mg 100 g ⁻¹)	Ekstraksi HCl 25 %
8.	K ₂ O (mg 100 g ⁻¹)	Ekstraksi HCl 25 %
9.	Drainase	Analisis Potensial Redoks (Eh) sebagai indikator kondisi reduktif tanah
10.	Kedalaman tanah (cm)	Observasi lapangan
11.	Batuan di permukaan (%)	Observasi lapangan
12.	Singkap batuan (%)	Observasi lapangan

2.3.4. Analisis Kesesuaian Lahan

Evaluasi kesesuaian lahan dilakukan dengan menerapkan metode *matching* dengan mencocokkan karakteristik lahan dan kebutuhan tumbuh tanaman gandum yang mengacu pada Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian (Ritung *et al.*, 2011). Hasil *matching* selanjutnya dianalisis menggunakan metode *scoring* dengan memberikan skor berdasarkan tingkat kesesuaian, yaitu S1 = 4, S2 = 3, S3 = 2, dan N = 1. Setiap skor kemudian dikalikan dengan bobot parameter untuk memperoleh nilai kesesuaian komposit. Pembobotan dilakukan menggunakan prinsip *Weighted Linear Combination* (WLC) dalam evaluasi multikriteria berbasis SIG (Malczewski, 2000), dengan bobot yang ditetapkan secara berimbang antarkelompok faktor, yaitu faktor tanah sebesar 40 %, iklim 30 %, dan fisiografi lahan 30 %. Faktor tanah diberikan bobot sedikit lebih besar karena karakteristik tanah secara langsung menggambarkan kondisi media perakaran dan status kesuburan tanah. Seluruh layer parameter kemudian di *intersect* untuk mengintegrasikan informasi spasial, dan memperoleh *weighted score*. Nilai tersebut kemudian direklasifikasi berdasarkan batas nilai S1 = 3,51–4,00, S2 = 2,51–3,50, S3 = 1,51–2,50, dan N =

1,00–1,50. Kelas kesesuaian lahan dalam penelitian ini diklasifikasikan menjadi empat kelas, yaitu sangat sesuai (S1), cukup sesuai (S2), sesuai marginal (S3), dan tidak sesuai (N), mengacu pada (Ritung *et al.*, 2011).

2.3.5. Analisis Penentuan Faktor Pembatas

Identifikasi faktor pembatas dilakukan berdasarkan hasil *matching* karakteristik lahan terhadap persyaratan tumbuh gandum mengacu pada (Ritung *et al.*, 2011). Identifikasi faktor pembatas mengacu pada konsep *Justus von Liebig's Law of the Minimum (most limiting factor)*, yang menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman ditentukan oleh faktor lingkungan yang paling membatasi pertumbuhannya. Analisis faktor pembatas dilakukan secara terpisah dari penentuan kelas kesesuaian lahan melalui *scoring* dan *weighted overlay*. Berdasarkan hasil *matching*, parameter yang menunjukkan tingkat kesesuaian terendah diidentifikasi sebagai faktor pembatas utama dan digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi pengelolaan lahan.

2.3.6. Rekomendasi Upaya Perbaikan Lahan

Rekomendasi pengelolaan lahan disusun berdasarkan jenis dan tingkat faktor pembatas pada setiap kelas kesesuaian lahan. Penyusunan rekomendasi mempertimbangkan kelayakan teknis, efisiensi pengelolaan, dan kondisi biofisik lahan. Rekomendasi meliputi pemupukan berimbang, pemberian bahan organik, pengapuran atau ameliorasi tanah, pembuatan saluran drainase, terasering, guludan, dan penanaman sejajar kontur (Isra *et al.*, 2025).

3. Hasil dan Pembahasan

Evaluasi kesesuaian lahan dilakukan untuk mengetahui tingkat kecocokan lahan terhadap persyaratan tumbuh tanaman gandum serta mengidentifikasi faktor-faktor yang berpotensi membatasi pengembangannya. Hasil evaluasi tersebut menjadi dasar penyusunan rekomendasi dan upaya perbaikan lahan guna mendukung pengembangan budidaya gandum.

3.1. Syarat Tumbuh Gandum

Kriteria persyaratan tumbuh gandum yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian (Ritung *et al.*, 2011). Berdasarkan kriteria tersebut, curah hujan 350–1.250 mm/tahun, suhu 12–23 °C, dan ketinggian kurang dari 1.200 m dpl merupakan kondisi optimum bagi pertumbuhan gandum. Selain kondisi iklim yang sesuai, pertumbuhan gandum memerlukan kondisi tanah berupa pH 6,0 - 8,2, kandungan N-total kategori sedang, kandungan P₂O₅ dan K₂O kategori tinggi, kapasitas tukar kation (KTK) lebih dari 16 cmol(+)/kg, kejenuhan basa di atas 50 %, serta kandungan C-organik melebihi 1,2 %. Karakteristik fisik tanah yang mendukung pertumbuhan gandum meliputi tekstur halus hingga sedang, drainase baik hingga agak terhambat, kedalaman efektif tanah lebih dari 50 cm, serta

persentase batuan permukaan dan singkapan batuan di bawah 5 %. Selain itu, tingkat kelerengan kurang dari 3 % merupakan kondisi yang paling sesuai dalam mendukung pertumbuhan gandum.

3.2. Klasifikasi Kesesuaian Lahan di Wilayah Kajian

Analisis tanah dan data iklim digunakan sebagai dasar dalam menentukan tingkat kesesuaian setiap parameter terhadap persyaratan tumbuh gandum. Nilai rerata dan standar deviasi hasil analisis disajikan pada [Tabel 2](#), sedangkan kelas kesesuaian setiap parameter disajikan pada [Tabel 3](#).

Tabel 2. Rata-rata dan Standar Deviasi Karakteristik Lahan.

Karakteristik Lahan	Nilai Rerata	Standar Deviasi	Satuan
Curah hujan	2.277,33	432,30	mm/tahun
Suhu udara	25,12	0,32	°C
pH	6,87	0,61	
N-total	0,0217	0,0087	%
P ₂ O ₅	20,51	12,34	mg 100 g ⁻¹
K ₂ O	10,44	5,51	mg 100 g ⁻¹
KTK	21,86	7,20	cmol(+) kg ⁻¹
KB	42,32	12,29	%
C-organik	1,074	0,244	%

Tabel 3. Kelas Kesesuaian Lahan Setiap Parameter Pengamatan untuk Pengembangan Gandum.

Parameter	Nilai Aktual lahan	Kelas Kesesuaian per Parameter	Luas Lahan Ha	%
Curah hujan (mm/tahun)	2277,33	N	422,459	100
Suhu (°C)	25,12	N	422,459	100
pH	6,8 - 8,2	S1	422,459	100
N-total	<0,1 %	S3	422,459	100
P ₂ O ₅	Sangat Rendah	S3	58,735	13,90
	Rendah	S3	163,890	38,80
	Sedang	S2	199,834	47,30
K ₂ O	Sangat Rendah	S3	236,535	55,99
	Rendah	S3	185,925	44,01
KTK	>16	S1	422,459	100
KB	<35 %	S3	0,222	0,05
	35–50 %	S2	422,237	99,95
	<0,8 %	S3	25,662	6,07
C-organik	0,8 - 1,2 %	S2	335,147	79,34
	>1,2 %	S1	61,650	14,59
Tekstur	Halus–sedang	S1	66,087	15,64
	Agak kasar	S3	356,372	84,36
Drainase	Terhambat	S3	422,459	100
Kedalaman tanah	>50 cm	S1	422,459	100
Batuan permukaan	5–15 %	S2	3,590	0,85
	15–40 %	S3	418,869	99,15
	<5 %	S1	286,088	67,72
Singkapan batuan	5–15 %	S2	125,345	29,67
	15–25 %	S3	11,026	2,61
	<8	S2	12,681	3,00
Lereng (%)	8-15	S3	82,309	19,49
	>15	N	327,469	77,51

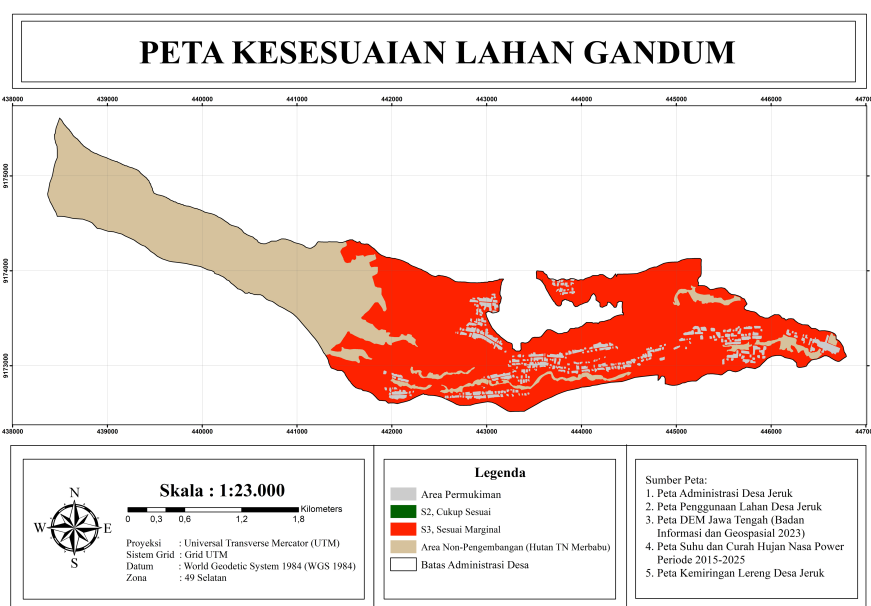
Berdasarkan persentase luas pada [Tabel 3](#), curah hujan, suhu, N-total, dan drainase merupakan faktor pembatas yang dijumpai pada seluruh wilayah penelitian (100 %). Selain itu, tekstur tanah agak kasar mendominasi 84,36 % luas wilayah, sedangkan lereng >15 % mencakup 77,51 % luas wilayah. Sebaliknya, faktor seperti pH tanah, kapasitas tukar kation, dan kedalaman tanah berada pada kelas S1 di seluruh wilayah penelitian sehingga tidak menjadi faktor pembatas dalam pengembangan gandum. Hasil tersebut menunjukkan bahwa keterbatasan lahan dipengaruhi oleh kombinasi beberapa faktor pembatas yang tersebar luas di wilayah penelitian.

Hasil evaluasi setiap parameter selanjutnya dianalisis menggunakan metode *scoring* dan teknik *weighted overlay* untuk menentukan kelas kesesuaian lahan aktual secara keseluruhan yang disajikan pada [Tabel 4](#).

Tabel 4. Sebaran Luas Lahan Berdasarkan Kelas Kesesuaian Gandum.

Kelas Kesesuaian	Luas (ha)	Persentase (%)	Faktor Pembatas Utama
S2	0,048	0,01	Ketersediaan hara (P_2O_5 , C-organik, kejenuhan basa)
S3	422,411	99,99	Curah hujan tinggi, suhu tinggi, drainase terhambat, rendahnya N-total, P_2O_5 , dan K_2O , tekstur tanah agak kasar, Batuan permukaan 15–40 %, serta dominasi lereng >15 %

Berdasarkan [Tabel 4](#), sebagian besar wilayah penelitian termasuk ke dalam kelas S3 (sesuai marginal) dengan luas 422,411 ha atau 99,99 % dari total wilayah, sedangkan kelas S2 (cukup sesuai) hanya mencakup 0,048 ha atau 0,01 %. Kelas S1 (sangat sesuai) maupun N (tidak sesuai) tidak ditemukan pada hasil evaluasi. Dominasi kelas S3 menunjukkan bahwa lahan di wilayah penelitian masih memiliki potensi dalam pengembangan budidaya gandum, meskipun terdapat sejumlah faktor pembatas yang menyebabkan tingkat kesesuaian lahan belum optimal. Sebaran spasial kelas kesesuaian lahan gandum pada lokasi penelitian tersaji dalam [Gambar 1](#).



Gambar 1. Hasil Evaluasi Kesesuaian Lahan Gandum di Wilayah Kajian.

Sebaran spasial menunjukkan bahwa kelas S3 mendominasi hampir seluruh wilayah penelitian, sedangkan kelas S2 hanya ditemukan pada areal yang sangat terbatas. Pola tersebut menunjukkan bahwa penurunan kelas kesesuaian lahan merupakan hasil interaksi faktor iklim, sifat tanah, dan topografi yang tersebar luas di wilayah penelitian. Menurut [Ahmad *et al.* \(2025\)](#), lahan kelas S3 masih dapat dimanfaatkan untuk budidaya tanaman, tetapi keberadaan faktor pembatas yang relatif berat memerlukan pengelolaan dan input budidaya yang lebih intensif dibandingkan lahan kelas S1 dan S2. Dominasi kelas S3 yang tersebar hampir merata menunjukkan bahwa keterbatasan lahan tidak terkonsentrasi pada lokasi tertentu, melainkan terjadi pada sebagian besar satuan lahan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa upaya pengelolaan lahan perlu dilakukan secara menyeluruh dan tidak hanya difokuskan pada area tertentu.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa wilayah dataran tinggi tidak selalu identik dengan lahan yang sangat sesuai untuk pengembangan gandum. Meskipun elevasi di lokasi penelitian tergolong sesuai bagi budidaya gandum, penentuan tingkat kesesuaian lahan tetap mempertimbangkan karakteristik tanah serta aspek fisiografi lahan. Oleh karena itu, identifikasi faktor pembatas menjadi langkah penting untuk menentukan strategi pengelolaan lahan yang sesuai bagi pengembangan gandum di wilayah penelitian.

3.3. Identifikasi Faktor Pembatas Utama Lahan untuk Pengembangan Gandum

Berdasarkan [Tabel 3](#), beberapa parameter lahan termasuk dalam kelas N dan S3 sehingga menjadi faktor pembatas utama pengembangan gandum di wilayah penelitian. Faktor pembatas tersebut meliputi aspek agroklimat, karakteristik kimia dan fisik tanah, dan topografi.

1. Agroklimat

Suhu udara rata-rata sebesar 25,12 °C dan curah hujan tahunan 2.277,33 mm/tahun menjadi faktor pembatas utama pengembangan gandum karena berada di luar kisaran optimum pertumbuhan tanaman. Kondisi tersebut berpotensi mengganggu proses fisiologis, terutama pada fase pembungaan dan pengisian biji. Peningkatan suhu dapat mempercepat pemasakan, menurunkan laju fotosintesis, dan memicu stres oksidatif ([Demirhan & Bayraktar, 2025](#); [Khan *et al.*, 2020](#)), sedangkan curah hujan yang tinggi berpotensi meningkatkan pencucian unsur hara, menurunkan kualitas hasil, serta meningkatkan risiko penyakit tanaman ([Demirhan & Bayraktar, 2025](#); [Ninasari, 2024](#)). Pada penelitian ini, rerata suhu udara 25,12 °C berada di atas kisaran optimum pertumbuhan gandum (12–25 °C) menurut ([Ritung *et al.*, 2011](#)). Berdasarkan metode *matching*, karakteristik lahan yang berada di luar kisaran persyaratan tumbuh dikategorikan sebagai faktor pembatas. Meskipun hanya sedikit melebihi batas optimum, kondisi tersebut

tetap berkontribusi terhadap penurunan kelas kesesuaian lahan karena berpotensi menghambat pertumbuhan dan produktivitas tanaman gandum (Khan *et al.*, 2020).

2. Sifat Kimia Tanah

Ketersediaan unsur hara makro merupakan kendala penting dalam pengembangan gandum di wilayah penelitian. Kandungan N-total <0,1 % ditemukan pada seluruh wilayah penelitian, sedangkan P_2O_5 dan K_2O tergolong rendah hingga sangat rendah pada sebagian besar areal. Rendahnya kandungan N-total, P_2O_5 , dan K_2O menunjukkan bahwa ketersediaan hara esensial bagi tanaman masih terbatas. Unsur hara tersebut berperan penting dalam pertumbuhan vegetatif, perkembangan akar, serta pengisian biji tanaman (Fahri & Khairani, 2023; Hayaza *et al.*, 2022). Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Romadhoni *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa defisiensi hara menjadi faktor dominan penurunan kesesuaian lahan pada sistem pertanian tropis.

Rendahnya N-total, P_2O_5 , dan K_2O di wilayah penelitian diduga berkaitan dengan kondisi lingkungan setempat. Curah hujan tahunan yang relatif tinggi (2.277,33 mm/tahun) berpotensi meningkatkan kehilangan unsur hara melalui pencucian, terutama N dan K, pada kondisi tanah yang memungkinkan pergerakan air dan hara melalui profil tanah (Li *et al.*, 2024; Widowati & De Neve, 2016). Dominasi tekstur tanah agak kasar yang mencapai 84,36 % wilayah penelitian juga dapat mendukung pergerakan air dan meningkatkan potensi kehilangan K melalui pencucian (Lu *et al.*, 2022). Sementara itu, rendahnya C-organik (rata-rata 1,074 %) berkaitan dengan rendahnya N-total, mengingat C-organik dan N-total memiliki hubungan positif pada tanah pertanian di Pulau Jawa, termasuk Jawa Tengah (Wibowo & Kasno, 2021). Kondisi tersebut diduga berkontribusi terhadap rendahnya status hara di wilayah penelitian.

Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa pH tanah dan kapasitas tukar kation (KTK) termasuk dalam kelas S1. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pH dan KTK tidak menjadi faktor pembatas dalam pengembangan gandum di wilayah penelitian. Nilai pH tanah berperan dalam memengaruhi ketersediaan unsur hara dan pertumbuhan tanaman, sedangkan KTK berkaitan dengan kemampuan tanah dalam mempertahankan dan mempertukarkan kation hara (Antonangelo *et al.*, 2024; Barrow & Hartemink, 2023). Kondisi pH dan KTK yang tergolong baik menunjukkan bahwa kedua karakteristik tersebut relatif mendukung kondisi kimia tanah di wilayah penelitian. Namun, kondisi tersebut belum diikuti oleh kandungan N-total, P_2O_5 , dan K_2O yang memadai. Curah hujan tahunan yang tinggi berpotensi meningkatkan kehilangan unsur hara melalui pencucian

sehingga N-total, P_2O_5 , dan K_2O tetap menjadi faktor pembatas dalam penentuan kelas kesesuaian lahan.

3. Sifat Fisik Tanah

Tekstur tanah pada wilayah penelitian didominasi oleh kelas agak kasar seluas 356,372 ha atau 84,36 %. Tanah dengan tekstur agak kasar dicirikan oleh kapasitas penyimpanan air dan unsur hara yang terbatas, yang berpotensi meningkatkan risiko terjadinya cekaman kekeringan. Kondisi tersebut sejalan dengan [Syamsiyah and Wicaksono \(2023\)](#) yang menyatakan bahwa semakin kasar tekstur tanah, semakin rendah kapasitas tukar kationnya. Selain tekstur tanah, kondisi drainase juga menjadi faktor pembatas karena seluruh wilayah penelitian memiliki drainase terhambat. Kondisi tersebut didukung oleh hasil pengukuran potensial redoks (Eh) yang berkisar antara -60,2 hingga 55,5 mV. Berdasarkan tinjauan [Abirami et al. \(2023\)](#) yang mengacu pada klasifikasi Kaurichev dan Shishkova (1967), kisaran tersebut menunjukkan kondisi tanah tereduksi, sedangkan tanah berdrainase baik umumnya memiliki nilai Eh di atas 400 mV. Namun, nilai Eh tidak secara langsung merepresentasikan kelas drainase tanah sehingga hasil tersebut digunakan sebagai indikasi kondisi reduktif tanah. Kondisi tersebut mengindikasikan aerasi tanah yang rendah sehingga perkembangan sistem perakaran dan penyerapan unsur hara dapat terganggu ([Jakatikta et al., 2023](#); [Kusumawati & Putratama, 2023](#)). Berdasarkan hasil *matching*, kondisi drainase yang digunakan dalam evaluasi kesesuaian lahan tergolong sebagai salah satu faktor pembatas utama pengembangan gandum ([Ritung et al., 2011](#)).

4. Topografi

Kondisi topografi wilayah penelitian juga menjadi faktor pembatas penting. Lereng >15 % mendominasi wilayah penelitian seluas 327,469 ha atau 77,51 %. Selain itu, batuan permukaan 15-40 % ditemukan pada 418,869 ha atau 99,15 % luas wilayah. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan erosi, mempercepat kehilangan lapisan tanah atas, dan menyulitkan pengolahan lahan. Hal ini sejalan dengan [Sitaresmi et al. \(2025\)](#) serta [Bani and Sari \(2026\)](#) yang menyatakan bahwa lahan berlereng curam lebih rentan mengalami degradasi tanah. Dalam metode *matching*, kemiringan lereng yang melebihi persyaratan tumbuh diidentifikasi sebagai faktor pembatas sehingga dominasi lereng >15 % menjadi salah satu kendala utama pengembangan gandum di wilayah penelitian.

Secara keseluruhan, hasil analisis scoring dan weighted overlay menunjukkan bahwa wilayah penelitian didominasi oleh kelas kesesuaian lahan S3. Berdasarkan hasil *matching*, faktor pembatas utama pengembangan gandum meliputi suhu, curah hujan, ketersediaan nitrogen total,

P_2O_5 , K_2O , drainase, tekstur tanah, dan kemiringan lereng. Faktor-faktor tersebut mendominasi sebagian besar wilayah penelitian sehingga menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi pengelolaan lahan.

3.4. Rekomendasi Perbaikan Lahan Potensi Pengembangan Gandum

Berdasarkan hasil evaluasi, peningkatan kelas kesesuaian lahan gandum di wilayah penelitian masih memungkinkan melalui perbaikan faktor pembatas yang dapat dikelola. Dalam konsep evaluasi lahan, kendala seperti ketersediaan hara, drainase, dan pengelolaan air masih dapat diintervensi sehingga lahan kelas S3 berpotensi meningkat menjadi kelas S2 (Ritung *et al.*, 2011).

Faktor iklim, khususnya curah hujan tinggi, tidak dapat dimodifikasi secara langsung. Namun, dampaknya dapat dikurangi melalui pengelolaan drainase dan penyesuaian waktu tanam. Ketersediaan hara dapat diperbaiki melalui pemupukan berimbang, penambahan bahan organik, serta aplikasi pupuk fosfat dan kalium sesuai kebutuhan tanaman untuk meningkatkan kesuburan, struktur, dan kapasitas tanah dalam mempertahankan unsur hara (Kusumawati & Putratama, 2023; Romadhoni *et al.*, 2022).

Perbaikan drainase dapat dilakukan melalui pembangunan saluran drainase untuk mengurangi genangan dan meningkatkan aerasi tanah. Sementara itu, kendala topografi dapat ditekan melalui penerapan tindakan konservasi tanah, seperti terasering, penggunaan mulsa, penanaman mengikuti garis kontur, serta pemanfaatan tanaman penutup tanah. Teknik tersebut efektif mengurangi erosi dan mempertahankan kesuburan tanah pada lahan miring (Ahmad *et al.*, 2025; Findayani *et al.*, 2024).

Secara keseluruhan, lahan di wilayah penelitian masih berpotensi dikembangkan untuk budidaya gandum melalui penerapan pengelolaan lahan yang sesuai dengan faktor pembatas yang ada. Namun, penelitian ini masih terbatas pada evaluasi aspek biofisik lahan dan belum mencakup analisis ekonomi usahatani maupun uji produktivitas varietas gandum secara langsung di lapangan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk menyusun rekomendasi pengembangan gandum yang lebih menyeluruh.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi kesesuaian lahan, wilayah penelitian yang berada pada kisaran ketinggian 838-2.894 m dpl tidak seluruhnya memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi untuk pengembangan tanaman gandum. Hasil evaluasi memperlihatkan bahwa dari total luas wilayah sebesar 422,459 ha, lahan dengan kelas S2 (cukup sesuai) hanya seluas 0,048 ha atau 0,01 %, sedangkan lahan dengan kelas S3 (sesuai marginal) mendominasi seluas 422,411 ha atau 99,99 %. Berdasarkan kriteria evaluasi lahan untuk komoditas tanaman pangan semusim, wilayah yang

direkomendasikan untuk pengembangan gandum berada pada kelas kesesuaian S2 dengan luas 0,048 ha. Faktor pembatas utama pengembangan gandum di wilayah penelitian meliputi suhu dan curah hujan yang tinggi, rendahnya ketersediaan unsur hara N-total, P_2O_5 , dan K_2O , kondisi drainase yang terhambat, batuan permukaan 15-40 %, tekstur tanah agak kasar, serta dominasi lereng curam. Faktor-faktor tersebut diidentifikasi sebagai faktor pembatas utama dan menjadi dasar penyusunan rekomendasi pengelolaan lahan. Oleh karena itu, upaya perbaikan difokuskan pada faktor pembatas yang masih dapat dikelola. Perbaikan lahan dapat dilakukan melalui pemupukan berimbang, penambahan bahan organik, perbaikan sistem drainase, serta penerapan tindakan konservasi tanah, antara lain terasering dan penanaman mengikuti garis kontur. Penerapan tindakan tersebut dapat digunakan sebagai upaya pengelolaan terhadap faktor pembatas yang masih dapat diminimalkan, terutama pada lahan dengan kelas kesesuaian S3. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pertimbangan dalam perencanaan pengembangan budidaya gandum tropis secara produktif dan berkelanjutan pada wilayah dataran tinggi dengan karakteristik lahan yang serupa.

Singkatan yang Digunakan

AAS	Atomic Absorption Spectrophotometry
DEM	Digital Elevation Model
GIS	Geographic Information System
KTK	Kapasitas Tukar Kation
KB	Kejenuhan Basa

Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

Kontribusi Para Penulis

Yohanes Hasiholan Parhusip: konseptualisasi, metodologi, kurasi data, analisis data, dan penulisan naskah. **Immanuel Tegar Riven**: kurasi data dan pengumpulan data. **Syahrul Neeza Aryana Nugroho**: kurasi data dan pengumpulan data. **Aditya Dwi Kurniawan**: kurasi data dan pengumpulan data. **Bistok Hasiholan Simanjuntak**: pengawasan, konseptualisasi, dan validasi metodologi. **Alfred Jansen Sutrisno**: akuisisi dana, dan sumber daya.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan atau kepentingan yang bersaing.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi yang telah memberikan bantuan dana melalui hibah pengabdian masyarakat tahun 2025 yang dilaksanakan oleh Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat.

Terima kasih diucapkan kepada Fakultas Pertanian dan Bisnis, Universitas Kristen Satya Wacana atas pemberian ijin penulis untuk bergabung dalam skema hibah pendanaan fundamental 2025 yang dilaksanakan oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM), Universitas Kristen Satya Wacana.

Daftar Pustaka

- Abirami, R., Jothimani, S., & Leninraja, D. (2023). Mechanism of Redox Reaction in Soil Chemistry. *Biological Forum-An International Journal*, 15(10), 1317. Retrieved from <https://www.researchtrend.net/bfij/pdf/Mechanism-of-Redox-Reaction-in-Soil-Chemistry-Abirami-R-242.pdf>
- Ahmad, S. W., Mardiyah, S. I., & Wiwoho, B. S. (2025). Evaluasi Kesesuaian Lahan Provinsi Jawa Timur Dalam Upaya Peningkatan Produktivitas Komoditas Sayuran (Studi Kasus: Kentang). *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 12(1), 21–32. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2025.012.1.3>
- Antonangelo, J. A., Culman, S., & Zhang, H. (2024). Comparative analysis and prediction of cation exchange capacity via summation: influence of biochar type and nutrient ratios. *Frontiers in Soil Science*, Volume 4-2024. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/journals/soil-science/articles/10.3389/fsoil.2024.1371777>
- Findayani, A., Ta'ani, M. Q. A., Anindra, T. N. G., Alwi, M. S., Amrullah, M. F., Rosyidi, H. (2024). Identifikasi Natural Based Solutions Sebagai Upaya Konservasi Lahan Kritis Akibat Pertanian Kentang Di Dataran Tinggi Dieng Kecamatan Kejajar Kabupaten Wonosobo. *Indonesian Journal of Conservation*, 13(1), 26–35. <https://doi.org/10.15294/ijc.v13i1.6957>
- Giofandi, A., E., Zuhrita, A., Putriana, A. M., Sekarjati, D., Riyadho, F. A., Mashuri, A., ... & Sepriani, O. (2022). Potential Land Suitability For Spatial Planning of Wheat Commodity (*Triticum Aestivum*) In Tanah Datar Regency. *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)*, 6(2), 101–112. <https://doi.org/10.22236/jgel.v6i2.8120>
- Badan Pusat Statistik. (2025). Impor Biji Gandum dan Meslin Menurut Negara Asal Utama Tahun 2020–2024. In *Statistik Indonesia 2025*. Badan Pusat Statistik. Retrieved from <https://www.bps.go.id/assets/statistics-table/1/MjAxNiMx/impor-biji-gandum-dan-meslin-menurut-negara-asal-utama--2017-2024.html>
- Bani, M. A. (2026). Analisis Pengaruh Kemiringan Lereng Terhadap Jenis Tanah dan Sebaran Vegetasi Sebagai Cerminan Karakteristik Lahan di Kebun Teh Wonosari. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi*, 10(1), 93–101. <https://doi.org/10.29408/geodika.v10i1.33390>
- Barrow, N. J., & Hartemink, A. E. (2023). The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant and Soil*, 487(1), 21–37. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>
- Demirhan, A. A., & Bayraktar, S. S. (2025). The Impact of Temperature and Precipitation on Wheat Production in Türkiye. *Central Bank Review*, 25(1), 100191. <https://doi.org/10.1016/j.cbrev.2025.100191>
- Fahri, R., & Khairani, S. (2023). Pengaruh Pemberian Kalium Terhadap Fisiologis dan Morfologis Kedelai Pada Cekaman Kekeringan. *AGRORADIX: Jurnal Ilmu Pertanian*, 6(2), 45–49. <https://doi.org/10.52166/agroteknologi.v6i2.4275>
- Fiqa, A. P., Nursafitri, T. H., Fauziah, F., & Masudah, S. (2021). Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Pertumbuhan Beberapa Akses *Dioscorea alata* L Terpilih Koleksi Kebun Raya Purwodadi. *Jurnal AGRO*, 8(1), 25–39. <https://doi.org/10.15575/10594>
- Harahap, F. S., Rahmania, R., Sidabuke, S. H., & Zuhirsyan, M. (2020). Evaluasi Kesesuaian Lahan Tanaman Sorgum (*Shorgum bicolor*) di Kecamatan Bilah Barat, Kabupaten Labuhanbatu. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 8(1), 231–238.

<https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.1.26>

- Hayaza, S., Nihla Farida, & I Ketut Ngawit. (2022). Pengaruh Kombinasi Dosis Pupuk Urea Dan Pupuk Kandang Terhadap Pertumbuhan Tanaman Gandum (*Triticum aestivum* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek*, 1(2), 155–163. <https://doi.org/10.29303/jima.v1i2.1441>
- Jakatikta, H. S., Reza, M., & Witjaksono, A. (2023). Pengembangan Infrastruktur Pertanian Pada Produksi Tanaman Hortikultura Sayuran Desa Torongrejo, Kecamatan Junrejo, Kota Batu. *Prosiding SEMSINA*, 4(2). <https://doi.org/10.36040/semsina.v4i2.7890>
- Khan, A., Ahmad, M., Ahmed, M., & Iftikhar Hussain, M. (2020). Rising Atmospheric Temperature Impact on Wheat and Thermotolerance Strategies. *Plants*, 10(1), 43. <https://doi.org/10.3390/plants10010043>
- Kusumawati, A., & Putratama, D. R. (2023). Evaluasi Kesesuaian Lahan Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.) di Lahan Pasiran Cangkring, Yogyakarta. *Agroteknika*, 6(1), 91–102. <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v6i1.202>
- Li, J., Hu, W., Beare, M., Teixeira, E., Cichota, R., Chau, H. W., Cameron, K. (2024). A global insight on sensitivity of nitrate leaching to drainage in arable cropping systems. *Journal of Hydrology*, 628, 130516. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130516>
- Lu, D., Dong, Y., Chen, X., Wang, H., & Zhou, J. (2022). Comparison of potential potassium leaching associated with organic and inorganic potassium sources in different arable soils in China. *Pedosphere*, 32(2), 330–338. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60077-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60077-2)
- Malczewski, J. (2000). On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. *Transactions in GIS*, 4(1), 5–22. <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00035>
- Nainggolan, E., Fadilah, R., Sianturi, J., Aceh, R. M., Sianturi, S. F., & Novira, N. (2025). Evaluasi Kesesuaian Lahan Pertanian Komoditas Jagung di Kecamatan Sipahutar Kabupaten Tapanuli Utara. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 12(1), 57–67. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2025.012.1.6>
- Nasution, M. N. H., Harahap, R. A., & Nur, A. (2019). Adaptasi Galur dan Varietas Gandum (*Triticum aestivum* L.) di Dataran Tinggi Padang Sidimpuan Sumatera Utara. *AGRIUM: Jurnal Ilmu Pertanian*, 22(2), 107–110. Retrieved from <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/agrium/article/view/3719>
- Ninasari, A. (2024). Analisis Dampak Perubahan Iklim Terhadap Pola Pertumbuhan dan Produktivitas Tanaman Gandum. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran*, 7(3), 8022–8028. Retrieved from <https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp/article/view/30015>
- Isra, N., Maruf, S. D., Layuk, C. P. T., Sumpala, A. G. T., Manggiling, N. C., Gibran, M. R. (2025). Strategi Pengelolaan Lahan Sebagai Upaya Optimalisasi Produksi Tanaman Hortikultura di Kecamatan Samarinda Utara. *Jurnal Ecosolum*, 14(2), 112–126. Retrieved from <https://journal.unhas.ac.id/index.php/ecosolum/article/view/47883>
- Praptana, R. H., & Hermanto. (2016). *Gandum: Peluang Pengembangan di Indonesia*. Jakarta, Indonesia: Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD) Press. Retrieved from <https://repository.pertanian.go.id/server/api/core/bitstreams/7026e7d1-8f1b-447e-bd15-3522f053fcec/content>
- Ritung, S., Nugroho, K., Mulyani, A., & Suryani, E. (2011). *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian* (Edisi revisi). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Retrieved from <https://repository.pertanian.go.id/items/3fadadc7-0c43-463d-9f71-0d57d159934a>
- Romadhoni, S., Hermiyanto, B., Bowo, C., Budiman, S. A., & Ainunisa, I. (2022). Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Rekomendasi Penggunaannya untuk Komoditas Pertanian di Perusahaan Daerah Perkebunan Banongan Kabupaten Situbondo. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 46(1), 23–36. Retrieved from

- <https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/jti/article/view/3294/3332>
- Sari, L. N., Budiyo, S., & Purbajanti, E. D. (2024). Evaluasi Kesesuaian Lahan untuk Pengembangan Tanaman Pangan di Kecamatan Karangmalang Kabupaten Sragen Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(1), 61–71. <https://doi.org/10.31186/jipi.26.1.61-71>
- Sitairesmi, D. A., Shofiyani, V., Hutami, A., Zahra, A. F., Rosadi, M. I., Lestari, G. S. I., & Januar, W. T. (2025). Pemetaan Daerah Rawan Erosi di Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul Berbasis Model USLE. *Geosfera: Jurnal Penelitian Geografi*, 4(2), 314–324. Retrieved from <https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/geojpg/article/view/35368>
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung, Indonesia: Alfabeta. Retrieved from <https://www.scribd.com/document/671612229/Sugiyono-2013-Metode-Penelitian-Kuantitatif-Kualitatif-dan-R-D-1>
- Sumarniasih, M. S., Kembaren, D. A., Narka, I. W., & Karnata, I. N. (2023). Evaluasi Kualitas Tanah dan Pengelolaan Lahan Kering di Kecamatan Gerokgak dan Kubutambahan Kabupaten Buleleng, Provinsi Bali, Indonesia. *Agro Bali : Agricultural Journal*, 6(3), 659–669. <https://doi.org/10.37637/ab.v6i3.1517>
- Supriyanto, R., Maharani, A., & Alta, A. (2025). *Menafsir Ulang Food Estate Indonesia: Jejak, Dinamika, dan Masa Depan Ketahanan Pangan Nasional*. Retrieved from <https://repository.cips-indonesia.org/media/publications/619003-menafsir-ulang-food-estate-indonesia-jej-b027889a.pdf>
- Syamsiyah, K. N., & Wicaksono, K. S. (2023). Evaluasi Retensi Hara Pada Lahan Padi di Kabupaten Pamekasan. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 175–184. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.20>
- Terefe, T. T., Legese, B. B., Abebaw, S., Bojer, A. K., & Nadarajah, S. (2025). Evaluating Irrigation Suitability for Wheat in East Shewa, Ethiopia Using Remote Sensing and AHP. *Agricultural Water Management*, 319, 109777. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109777>
- Wahyu, Y., Samosir, A. P., & Budiarti, S. G. (2013). Adaptabilitas Genotipe Gandum Introduksi di Dataran Rendah. *Buletin Agrohorti*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.29244/agrob.1.1.1-6>
- Wahyunto, Hikmatullah, Suryani, E., Tafakresnanto, C., Ritung, S., Mulyani, A., Nursyamsi, D. (2016). *Petunjuk Teknis Pedoman Penilaian Kesesuaian Lahan untuk Komoditas Pertanian Strategis Tingkat Semi Detail Skala 1:50.000*. Bogor, Indonesia: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Retrieved from <https://repository.pertanian.go.id/items/fecc0ad1-d13b-46f5-add6-8917dcccc7a3>
- Wibowo, H., & Kasno, A. (2021). Soil organic carbon and total nitrogen dynamics in paddy soils on the Java Island, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1), 12192. Retrieved from <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012192>
- Wicaksono, F. Y., Maxiselly, Y., Mulyani, O., & Janitra, M. I. (2016). Pertumbuhan dan Hasil Gandum (*Triticum aestivum* L.) yang Diberi Perlakuan Pupuk Silikon dengan Dosis yang Berbeda di Dataran Medium Jatinangor. *Kultivasi*, 15(3). <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v15i3.11770>
- Widowati, L. R., & De Neve, S. (2016). Nitrogen Dynamics and Nitrate Leaching in Intensive Vegetable Rotations in Highlands of Central Java, Indonesia. *JOURNAL OF TROPICAL SOILS*, 21(2), 67–78. <https://doi.org/10.5400/jts.2016.v21i2.67-78>
- Wijaya, Y. G., Budiyo, S., & Purbajanti, E. D. (2024). Evaluasi Kesesuaian Lahan Sebagai Upaya Peningkatan Produksi Tanaman Pangan di Kecamatan Kasihan Kabupaten Bantul. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 11(1), 233–245. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2024.011.1.25>