

DISERTASI

**ANALISIS SPASIAL PENGEMBANGAN KOMODITAS
PERKEBUNAN UNGGUL BERKELANJUTAN DI
KABUPATEN ENREKANG**

**SPATIAL ANALYSIS OF SUSTAINABLE PRIME
PLANTATION COMMODITY DEVELOPMENT IN ENREKANG
DISTRICT**

NURFADILA JS

P013181015



**PROGRAM STUDI ILMU PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**ANALISIS SPASIAL PENGEMBANGAN KOMODITAS PERKEBUNAN
UNGGUL BERKELANJUTAN DI KABUPATEN ENREKANG**

Disertasi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar doktor

Program Studi Ilmu Pertanian

Disusun dan diajukan oleh

NURFADILA JS

P013181015

kepada

**PROGRAM STUDI ILMU PERTANIAN
PROGRAM MAGISTER FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

DISERTASI

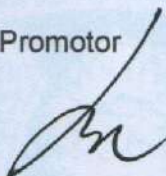
**ANALISIS SPASIAL PENGEMBANGAN KOMODITAS PERKEBUNAN UNGGUL
BERKELANJUTAN DI KABUPATEN ENREKANG**

**NURFADILA JS
NIM P013181015**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Doktor Program Studi Ilmu-ilmu Pertanian
Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin
pada tanggal 2 Agustus 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

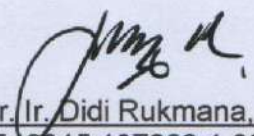
Menyetujui

Promotor




Prof. Dr. Ir. Sumbangan Baja, M.Phil., Ph.D
Nip 19631229 199002 1 001

Ko-promotor



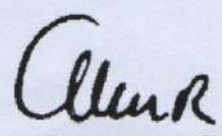
Prof. Dr. Ir. Didi Rukmana, MS
Nip 19540815 197803 1 004

Ko-promotor




Dr. Rismaneswati, SP, MP
Nip 19760302 200212 2 002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Ir. Darmawan Salman, MS
Nip 19630606 198803 1 004

Dekan Sekolah Pascasarjana,



Prof. Dr. Budu, Ph.D.Sp.M(K).M.Med Ed
Nip 19661231 199503 1 009



PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, disertasi berjudul "*Analisis Spasial Pengembangan Komoditas Perkebunan Unggul Berkelanjutan di Kabupaten Enrekang*" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. Sumbangan Baja, M.Phil., Ph.D sebagai Pembimbing Utama serta Prof. Dr. Ir. Didi Rukmana, M.S dan Dr. Rismaneswati, M.P., S.P sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di Jurnal (**Plant Archives** Vol. 20, Supplement 2, 2020 pp. 3464-3475; e-ISSN:2581-6063 (online), ISSN:0972-5210) sebagai artikel dengan judul "*Land Suitability Assessment In Agriculture, Using GIS Model Based On Fuzzy Approach: A Case Study For Cocoa Cultivation In Enrekang, Indonesia*", (IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 486 (2020) 012069; doi:10.1088/1755-1315/486/1/012069) sebagai artikel dengan judul "*Evaluation Of Land Suitability For Coffee Plants Based On Fuzzy Logic In Enrekang District*", (IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 280 (2019) 012036; doi:10.1088/1755-1315/280/1/012036) sebagai artikel dengan judul "*Initial Results on Landuse/Landcover Classification Using Pixel-Based Random Forest Algorithm on Sentinel-2 Imagery over Enrekang Region*"

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, Agustus 2022

NURFADILA JS

NIM P013181015

PRAKATA

Alhamdulillah rabbil'alamin, segala puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT untuk segala limpahan rahmatnya sehingga pada akhirnya penelitian dan disertasi yang berjudul "Analisis Spasial Pengembangan Komoditas Perkebunan Unggul Berkelanjutan di Kabupaten Enrekang" dapat terselesaikan dengan baik pada program Doktor dalam bidang Ilmu Pertanian Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin.

Dengan segala kerendahan hati saya mengucapkan berlimpah terimakasih dan penghargaan kepada bapak Prof. Dr. Ir. Sumbangan Baja, M.Phil., Ph.D selaku Pembimbing Utama, bapak Prof. Dr. Ir. Didi Rukmana, M.S dan ibu Dr. Rismaneswati, S.P M.P selaku Pembimbing Pendamping dimana penelitian ini dapat terlaksana dengan baik dan dapat dirampungkan menjadi suatu karya berkat arahan, diskusi dan bimbingan dari mereka. Ucapan terimakasih dan penghargaan juga saya haturkan kepada bapak Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA., DESS, Prof. Dr. Ir. Kaimuddin, M.Si, bapak Dr. Syamsu Arif, M.Si, bapak Dr. Ir. Muh. Jayadi, MP, bapak Dr. Ir. Burhanuddin Rasyid, M.Sc, selaku tim penguji yang telah memberikan saran dan perbaikan yang konstruktif untuk penyempurnaan penulisan disertasi ini.

Terimakasih juga saya haturkan kepada; Rektor Universitas Hasanuddin bapak Prof.Dr.Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc, Dekan sekolah pasca sarjana Prof.dr. Budu.,Ph.D.Sp.M(K).M.Med.Ed, ketua sidang pelaksanaan ujian akhir Prof. Baharuddin, ST.,M.Arch.,Ph.D, Ketua jurusan S3 Ilmu pertanian Universitas Hasanuddin Prof. Dr. Ir. Darmawan Salman M.S, bapak dan ibu dosen S3 Ilmu pertanian serta S2 ilmu Perencanaan dan Pengembangan Wilayah Universitas Hasanuddin, Kepala Sub Bagian Akademik ibu Susy Asteria Irfani, ST, MT serta seluruh staff bagian administrasi Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin, sekretaris S2 ilmu Perencanaan dan Pengembangan Wilayah Universitas Hasanuddin ibu Umi, dan seluruh teman-teman S3 Ilmu pertanian juga teman-teman S2 ilmu Perencanaan dan Pengembangan Wilayah dan teman-teman tim peneliti yang telah memberi dukungan dan motivasi.

Terimakasih yang tiada hingga Kepada Negara tercinta Indonesia yang melalui kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi serta Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk

menempuh pendidikan tinggi hingga menyelesaikan program doktor dengan memberikan bantuan berupa beasiswa PMDSU. Terimakasih atas dukungan pembiayaan secara utuh oleh beasiswa PMDSU, semoga semakin banyak program Kemendikbud yang dapat didukung oleh PMDSU dalam upaya bersama mewujudkan cita-cita pemajuan bangsa dan negara Indonesia. Ucapan terimakasih yang setinggi-tingginya juga saya haturkan kepada; Pemerintahan Kabupaten Enrekang, Dinas Pertanian dan Perkebunan Kabupaten Enrekang, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Pare-Pare serta Masyarakat Kabupaten Enrekang yang telah berkontribusi membantu saya untuk menyelesaikan penelitian.

Teristimewa ungkapan cinta dan terimakasih yang tiada hinggga untuk kedua orang tuaku bapak Jamaluddin dan ibu Nurhayati Sanari yang telah membesarkan dan mendidik saya dengan sangat baik dan selama saya menempuh pendidikan mereka tiada henti memotivasi dan dengan ikhlas memberikan serta mengorbankan segala yang mereka miliki. Terimakasih juga saya sampaikan kepada kelima adikku tercinta atas segala dukungan dan motivasi yang tak ternilai.

Akhir kata, disertasi ini merupakan karya ilmiah yang mencirikan akhir dari studi program doktor dalam bidang ilmu pertanian yang telah saya tempu dan merupakan puncak pemikiran dan hasil kinerja akademik saya sebagai mahasiswa di Sekolah Pascasarjana Program Studi S3 Ilmu Pertanian Universitas Hasanuddin. Karya ilmiah ini berisi hasil penelitian yang memuat rumusan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang baik untuk di aplikasikan terkhusus untuk pengembangan wilayah-wilayah pertanian. Disertasi ini telah disajikan dengan baik dan compatible dengan sajian-sajian karya ilmiah nasional dan internasional. Harapan saya, karya ilmiah ini dapat berkontribusi untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan dapat menjadi acuan pelaksanaan program-program pengembangan wilayah pertanian.

Makassar, Agustus 2022


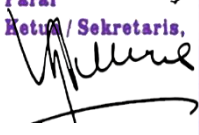
Nurfadila JS

ABSTRAK

NURFADILA JS. *Analisis Spasial Pengembangan Komoditas Perkebunan Unggul Berkelanjutan Kabupaten Enrekang* (dibimbing oleh **Sumbangan Baja, Didi Rukmana, dan Rismaneswati**)

Diversifikasi aktifitas pertanian secara spasial didasarkan keunikan wilayah dapat membentuk keunggulan wilayah sehingga perlu dikaji secara ilmiah agar pemanfaatan lahan dapat terarah dan efisien di tengah persaingan penggunaan lahan. Studi ini berfokus pada tata spasial wilayah pertanian didasarkan keunikan ruang dengan mengintegrasikan parameter biofisik, ekonomi, sosial dan budaya untuk mendapatkan urutan prioritas tanaman perkebunan. Keunikan wilayah yang dianalisis meliputi indeks kesesuaian lahan (LSI), keunggulan kompetitif tanaman, keunggulan komparatif wilayah, dan preferensi petani. Analisis variabel-variabel tersebut dilakukan dengan dua tahap yaitu menganalisis parameter LSI, dan parameter lainnya secara terpisah. Analisis LSI pada disertasi ini bertujuan untuk menganalisis kecocokan syarat tumbuh tanaman dengan karakteristik biofisik wilayah penelitian menggunakan metode hybrid fuzzy logic dan prinsip komponen analisis (PCA). Analisis keunggulan kompetitif bertujuan untuk mengidentifikasi wilayah yang memiliki dominasi sumber daya dan pertumbuhan produksi progresif menggunakan metode location quotient (LQ), shift share (SSH), dan overlay menggunakan tipologi Klassen. Analisis terhadap daya saing kompetitif bertujuan untuk mengidentifikasi tanaman yang memiliki kelayakan finansial yang baik menggunakan metode net present value (NPV), internal rate of return (IRR) dan benefit cost ratio (NBCR). Analisis terhadap preferensi petani bertujuan untuk mengetahui prioritas tanaman menurut petani sendiri dengan menggunakan metode discrete choice experiment (DCE). Pengambilan keputusan dilakukan dengan mengintegrasikan parameter-parameter tersebut juga penggunaan lahan terkini dengan empat skenario yaitu memberikan derajat kepentingan yang berbeda pada parameter di masing-masing skenario. Kepentingan parameter dinilai menggunakan metode AHP dan diintegrasikan dengan modul multi criteria pada program SPSS. Hasil pemodelan divalidasikan menggunakan peta rencana tata ruang wilayah (RTRW), dan menunjukkan kecocokan 88% hingga 94%.

Kata kunci: *indeks kesesuaian lahan, keunggulan komparatif dan kompetitif, preferensi petani, pengambilan keputusan multi kriteri*


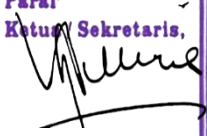
	
GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS	
Abstrak ini telah diperiksa.	Paraf Ketua / Sekretaris,
Tanggal: <u>24/01/2022</u>	

ABSTRACT

NURFADILA JS. *Spatial Analysis of Sustainable Superior Commodity Development in Enrekang Regency.* (supervised by **Sumbangan Baja, Didi Rukmana, and Rismaneswati**).

Spatial diversification of agricultural activities based on regional uniqueness can form regional advantages. This needs to be studied scientifically for efficient land allocation that promote sustainable land use. This study focuses on spatial planning of agricultural areas by integrating biophysical, economic, social and cultural parameters to obtain the priority order of plantation crops. Variables include the land suitability (LSI), crop competitive advantage, regional comparative advantage, and farmer preferences. The LSI analysis aims to analyze the suitability of plant growth requirements with the biophysical characteristics of the research area using the fuzzy logic method and the principle of component analysis (PCA). Competitive advantage analysis aims to identify areas that have resource dominance and progressive production growth using location quotient (LQ), shift share (SSH), and overlaying using Klassen typology. Competitiveness analysis aims to identify plants that have good financial viability using the net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and benefit cost ratio (NBCR) methods. Farmer preference analysis aims to determine crop priorities according to the farmers themselves using the Discrete Choice Experiment (DCE) method. Decision making carried out by integrating these parameters and current land use with four scenarios. In each scenario, the degree of importance between one parameter and another is given differently. The importance of parameters was assessed using the process hierarchy analytic method (AHP) and integrated with the multi-criteria module in the SPSS program. The modeling results were validated using a regional spatial plan (RTRW) map, and showed a match of 88% to 94%.

Keywords: *land suitability index, comparative and competitive advantage, farmer preferences, multi-criteria decision making.*

 GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS	
Abstrak ini telah diperiksa.	Paraf Ketua Sekretaris,
Tanggal: <u>24/01/2022</u>	

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN UMUM	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Kegunaan Penelitian	8
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	8
1.6 Kebaruan Penelitian	9
BAB II	
EVALUASI KESESUAIAN LAHAN KABUPATEN ENREKANG	10
2.1 Pendahuluan	10
2.2 Metode Penelitian.....	14
2.2.1 Variabel penilaian kesesuaian lahan	14
2.2.2 Survey, pengambilan sampel dan analisis laboratorium	15
2.2.3 Kriteria evaluasi kesesuaian lahan	17
2.2.4 Penilaian kesesuaian lahan	21
2.2.5 Faktor, bobot faktor dan bobot atribut lahan.....	28
2.3 Hasil dan Pembahasan	30
2.3.1 Lokasi penelitian.....	30
2.3.2 Kualitas atribut lahan.....	30
2.3.3 Variabel baru dan bobot parameter	34
2.3.4 Nilai keanggotaan atribut lahan	38
2.3.5 Nilai keanggotaan gabungan atribut lahan	42
2.3.6 Indeks kesesuaian lahan.....	49

2.3.7 Validasi	54
2.4 Kesimpulan.....	54
Daftar Pustaka.....	57
BAB III KEUNGGULAN KOMPARATIF DAN KOMPETITIF TANAMAN PERKEBUNAN KABUPATEN ENREKANG.....	64
3.1 Pendahuluan	64
3.2 Metode Penelitian.....	66
3.2.1 Data dan pengumpulan data.....	66
3.2.2 Daya saing komparatif.....	67
3.2.3 Daya saing kompetitif	70
3.3 Hasil dan Pembahasan	73
3.3.1 Daya saing komparatif.....	73
3.3.2 Daya saing kompetitif	90
3.4 Kesimpulan.....	111
Daftar Pustaka.....	113
BAB IV ANALISIS PREFERENSI MASYARAKAT TANI TERHADAP TANAMAN BUDIDAYA	115
4.1 Pendahuluan	115
4.2. Experimental Design	116
4.3 Analisis Data.....	120
4.4 Hasil dan Pembahasan	122
4.4.1 Karakteristik responden	122
4.4.2 Kemungkinan tanaman perkebunan dipertahankan dan faktor-faktor yang mempengaruhi	124
4.5 Kesimpulan.....	133
Daftar Pustaka.....	134
BAB V INTEGRASI PARAMETER BIOFISIK, EKONOMI DAN SOSIAL.....	136
5.1 Pendahuluan	136
5.2 Metode penelitian	139
5.2.1 Data dan pengukuran variable	139
5.2.2 Bobot alternatif dan skenario penilaian.....	155
5.3 Hasil dan Pembahasan	158
5.3.1 Potensi keunggulan tanaman perkebunan menggunakan skenario pertama.....	159
5.3.2 Potensi keunggulan tanaman perkebunan skenario Kedua.....	164

5.3.3	Potensi keunggulan tanaman perkebunan skenario ketiga.....	168
5.3.4	Tanaman unggul skenario empat (preferensi petani dua kali lebih penting)	172
5.4	Validasi	183
5.5	Kesimpulan.....	186
	Daftar Pustaka.....	188
BAB VI		
	PEMBAHASAN UMUM.....	187
6.1	Skop Penelitian.....	187
6.1.1	Penilaian kesesuaian lahan	187
6.1.2	Keunggulan Komparatif.....	190
6.1.3	Keunggulan kompetitif.....	192
6.1.4	Preferensi petani	193
6.1.5	Integrasi.....	194
6.2	Keterbatasan	195
	Daftar Pustaka.....	197
BAB VII		
	KESIMPULAN.....	200

DAFTAR TABEL

No Urut	Konten	Halaman
1	Tabel 2.1. Variabel penilaian kesesuaian lahan	14
2	Tabel 2. 2. Definisi masing-masing indikator penelitian untuk evaluasi kesesuaian lahan dan sumber data	15
3	Tabel 2.3 Deskripsi derajat pembatas dalam evaluasi kesesuaian lahan	17
4	Tabel 2.4 Kriteria evaluasi kesesuaian lahan yang digunakan dalam penelitian 18 Tabel 2.5 Titik kontrol yang digunakan dalam pemodelan fuzzy	23
5	Tabel 2.6 Deskripsi statistik atribut lahan pada lokasi penelitian	31
6	Tabel 2.7 Komponen matriks hasil analisis faktor	35
7	Tabel 2.8 Bobot parameter	36
8	Tabel 2.9 Nilai keanggotaan atribut tanah	40
9	Tabel 3.1 Klasifikasi sektor unggul berbasis produksi dan tenaga kerja dengan modifikasi tipologi	70
10	Tabel 3.2. Nilai LQ 5 komoditas sub-sektor perkebunan Kabupaten Enrekang terhadap Provinsi Sulawesi Selatan	74
11	Tabel 3.3 Hasil analisis LQ terhadap jumlah produksi tanaman perkebunan tahun 2015-2019	75
12	Tabel 3.4 Hasil analisis shift share terhadap laju pertumbuhan produksi	78
13	Tabel 3.5 Hasil analisis Tipologi Klassen tanaman perkebunan di kecamatan Alla	81
14	Tabel 3.6 Hasil analisis Tipologi Klassen tanaman perkebunan di kecamatan Anggeraja	82
15	Tabel 3.7 Hasil analisis Tipologi Klassen tanaman perkebunan di kecamatan Baraka	82
16	Tabel 3.8 Hasil analisis Tipologi Klassen tanaman perkebunan di kecamatan Baroko	83

17	Tabel 3.9 Hasil analisis Tipologi Klassen tanaman perkebunan di kecamatan Bungin	83
18	Tabel 3.10 Hasil analisis Tipologi Klassen tanaman perkebunan di kecamatan Buntubatu	84
19	Tabel 3.11 Hasil analisis Tipologi Klassen tanaman perkebunan di kecamatan Cendana	84
20	Tabel 3.12 Hasil analisis Tipologi Klassen tanaman perkebunan di kecamatan Curio	85
21	Tabel 3.13 Hasil analisis Tipologi Klassen tanaman perkebunan di kecamatan Enrekang	85
22	Tabel 3.14 Hasil analisis Tipologi Klassen tanaman perkebunan di kecamatan Maiwa	87
23	Tabel 3.15 Hasil analisis Tipologi Klassen tanaman perkebunan di kecamatan Malua	87
24	Tabel 3.16 Hasil analisis Tipologi Klassen tanaman perkebunan di kecamatan Masalle	87
25	Tabel 3.17 Cash flow komoditas kopi di Kabupaten Enrekang	92
26	Tabel 3.18 Cash flow komoditas kakao kabupaten Enrekang	93
27	Tabel 3.19 Cash flow komoditas cengkeh kabupaten Enrekang	94
28	Tabel 3.20 Cash flow komoditas lada kabupaten Enrekang	95
29	Tabel 3.21 Cash flow komoditas kemiri kabupaten Enrekang	96
30	Tabel 3.22 Perhitungan ekonometrik tanaman kopi kabupaten Enrekang	99
31	Tabel 3.23 Perhitungan ekonometrik tanaman kopi dengan output diturunkan 10% dan input dinaikkan 10%	100
32	Tabel 3.24 Perhitungan ekonometrik tanaman kakao	101
33	Tabel 3.25 Perhitungan sensitivitas ekonometrik tanaman kakao dengan output diturunkan 10% dan input dinaikkan 10%	102
34	Tabel 3.26 Perhitungan ekonometrik tanaman cengkeh	103
35	Tabel 3.27 Perhitungan sensitivitas ekonometrik tanaman cengkeh dengan output diturunkan 10% dan input dinaikkan 10%	104

36	Tabel 3.28 Perhitungan ekonometrik tanaman lada	105
37	Tabel 3.29 Perhitungan sensitivitas ekonometrik tanaman lada dengan output diturunkan 10% dan input dinaikkan 10%	106
38	Tabel 3.30 Perhitungan ekonometrik tanaman kemiri	107
39	Tabel 3.31 Perhitungan ekonometrik tanaman kemiri dengan output diturunkan 10% dan input dinaikkan 10%	108
40	Tabel 3.32 Net present value tanaman perkebunan Kabupaten Enrekang	109
41	Tabel 3.33 Internal rate of return tanaman perkebunan Kabupaten Enrekang	110
42	Tabel 3.34 Benefit cost ratio tanaman perkebunan Kabupaten Enrekang	110
43	Tabel 4.1 Deskripsi Atribut penilaian preferensi masyarakat terhadap pemilihan tanaman budidaya	118
44	Tabel 4.2 Atribut dan level penilaian preferensi masyarakat	118
45	Tabel 4.3 Hasil pemodelan utilitas petani terhadap atribut tanaman menggunakan metode conditional logit	125
46	Tabel 4.4 Utilitas petani terhadap tanaman perkebunan jika tidak terjadi perubahan pada atribut penilaian dengan perbandingan terhadap tanaman kakao	129
47	Tabel 4.5 Rata-rata nilai Willingness to Pay untuk perubahan atribut penilaian 131 Tabel 4.6 Prioritas tanaman berdasarkan preferensi masyarakat	131
48	Tabel 5.1 Deskripsi variable dependent yang digunakan dalam integrasi	139
49	Tabel 5.2 Nilai domain dan nilai keanggotaan fuzzy parameter keunggulan komparatif	145
50	Tabel 5.3 Nilai domain dan nilai keanggotaan fuzzy parameter keunggulan komparatif	148
51	Tabel 5.4 Nilai domain dan nilai keanggotaan fuzzy parameter preferensi petani	152

52	Tabel 5.5 Bobot variable dependent dengan kepentingan yang sama	157
53	Tabel 5.6 Bobot variable dependent dimana variabel LSI dua kali lebih penting dari variabel lainnya	157
54	Tabel 5.7 Bobot variable dependent dimana variabel keunggulan komparatif dan keunggulan kompetitif dua kali lebih penting dari variabel lainnya	157
55	Tabel 5.8 Bobot variable dependent dimana variabel preferensi dua kali lebih penting dari variabel lainnya	157
56	Tabel 5.9 Indeks dan ranking tanaman perkebunan menggunakan skenario pertama (equal weight)	163
57	Tabel 5.10 Indeks dan ranking tanaman perkebunan skenario dua (LSI lebih penting)	167
58	Tabel 5.11 Indeks dan ranking tanaman perkebunan skenario dua (LSI lebih penting)	171
59	Tabel 5.12 Indeks dan ranking tanaman perkebunan skenario empat	176
60	Tabel 5.13 Validasi dan perbandingan model	184
61	Tabel 5.13 Tanaman unggul berdasarkan skenario terbaik	185

DAFTAR GAMBAR

No Urut	Konten	Halaman
1	Gambar 2.1. Peta unit lahan kabupaten Enrekang	16
2	Gambar 2.2 Model fuzzy set untuk kesesuaian lahan	21
3	Gambar 2.3 Ilustrasi perhitungan LSI	27
4	Gambar 2.4 Kerangka kerja penilaian kesesuaian lahan	29
5	Gambar 2.5 Peta sebaran berbagai atribut lahan di lokasi penelitian	30
6	Gambar 2.6 Peta sebaran berbagai kualitas tanah di lapisan tanah	31
7	Gambar 2.7 Plot komponen faktor yang terbentuk	35
8	Gambar 2.8 Distribusi spasial nilai JMF tiap faktor untuk tanaman kopi	44
9	Gambar 2.9 Distribusi spasial nilai JMF tiap faktor untuk tanaman kakao	45
10	Gambar 2.10 Distribusi spasial nilai JMF tiap faktor untuk tanaman cengkeh	46
11	Gambar 2.11 Distribusi spasial nilai JMF tiap faktor untuk tanaman lada	47
12	Gambar 2.12. Distribusi spasial nilai JMF tiap faktor untuk tanaman kemiri	48
13	Gambar 2.13 Distribusi spasial indeks kesesuaian lahan tanaman kakao	50
14	Gambar 2.14 Distribusi spasial indeks kesesuaian lahan tanaman kopi	50
15	Gambar 2.15. Distribusi spasial indeks kesesuaian lahan tanaman lada	51
16	Gambar 2.16 Distribusi spasial indeks kesesuaian lahan tanaman cengkeh	51
17	Gambar 2.17. Distribusi spasial indeks kesesuaian lahan tanaman kemiri	52

18	Gambar 2.18 Grafik luas wilayah (ha) dalam ketegori kelas kesesuaian lahan	53
19	Gambar 2.19 Regresi linear antara LSI dan produksi lahan (ton/ha)	56
20	Gambar 3.1 Peta administrasi wilayah penelitian	67
21	Gambar 3.2 Distribusi spasial wilayah unggul berbasis data produksi	89
22	Gambar 4.1 Contoh choice set dalam penelitian	119
23	Gambar 4.2 Komposisi responden berdasarkan jenis kelamin dan usia	122
24	Gambar 4.3 Komposisi responden berdasarkan tingkat pendidikan	123
25	Gambar 4.4 Grafik komposisi responden	123
26	Gambar 5.1 Visualisasi indeks kesesuaian lahan tanaman cengkeh	141
27	Gambar 5.2 Visualisasi indeks kesesuaian lahan tanaman Kakao	141
28	Gambar 5.3 Visualisasi indeks kesesuaian lahan tanaman kemiri	142
29	Gambar 5.4 Visualisasi indeks kesesuaian lahan tanaman kopi	142
30	Gambar 5.5 Visualisasi indeks kesesuaian lahan tanaman lada	143
31	Gambar 5.6 Ilustrasi kurva s (kurva pertumbuhan) untuk perhitungan nilai keanggotaan parameter ekonomi dan sosial	144
32	Gambar 5.7 Nilai MF parameter keunggulan komparatif tanaman cengkeh	145
33	Gambar 5.8 Nilai MF parameter keunggulan komparatif tanaman kakao	145
34	Gambar 5.9 Nilai MF parameter keunggulan komparatif tanaman kopi	146

35	Gambar 5.10 Nilai MF parameter keunggulan komparatif tanaman kemiri	146
36	Gambar 5.11 Nilai MF parameter keunggulan komparatif tanaman lada	147
37	Gambar 5.12 Nilai MF parameter keunggulan kompetitif tanaman cengkeh	149
38	Gambar 5.13 Nilai MF parameter keunggulan kompetitif tanaman kemiri	149
39	Gambar 5.14 Nilai MF parameter keunggulan kompetitif tanaman lada	150
40	Gambar 5.15 Nilai MF parameter keunggulan kompetitif tanaman kemiri	150
41	Gambar 5.16 Nilai MF parameter keunggulan kompetitif tanaman kopi	151
42	Gambar 5.17 Nilai MF parameter preferensi petani tanaman cengkeh	153
43	Gambar 5.18 Nilai MF parameter preferensi petani tanaman kakao	153
44	Gambar 5.19 Nilai MF parameter preferensi petani tanaman kemiri	154
45	Gambar 5.20 Nilai MF parameter preferensi petani tanaman kopi	154
46	Gambar 5.21 Nilai MF parameter preferensi petani tanaman lada	155
47	Gambar 5.22. Indeks keunggulan tanaman cengkeh pada skenario 1	160
48	Gambar 5.23. Indeks keunggulan tanaman kakao pada skenario 1	160
49	Gambar 5.24. Indeks keunggulan tanaman kopi pada skenario 1	161
50	Gambar 5.25. Indeks keunggulan tanaman kemiri pada skenario 1	161

51	Gambar 5.26. Indeks keunggulan tanaman lada pada skenario 1	162
52	Gambar 5.27. Indeks keunggulan tanaman cengkeh skenario 2	164
53	Gambar 5.28. Indeks keunggulan tanaman lada skenario 2	165
54	Gambar 5.29. Indeks keunggulan tanaman kemiri skenario 2	165
55	Gambar 5.30. Indeks keunggulan tanaman lada skenario 2	166
56	Gambar 5.31. Indeks keunggulan tanaman lada skenario 2	166
57	Gambar 5.32. Indeks keunggulan tanaman cengkeh skenario 3	169
58	Gambar 5.33. Indeks keunggulan tanaman kemiri skenario 3	169
59	Gambar 5.34. Indeks keunggulan tanaman kopi skenario 3	170
60	Gambar 5.35. Indeks keunggulan tanaman lada skenario 3	170
61	Gambar 5.36. Indeks keunggulan tanaman kakao skenario 4	173
62	Gambar 5.37. Indeks keunggulan tanaman cengkeh skenario 4	173
63	Gambar 5.38. Indeks keunggulan tanaman lada skenario 4	174
64	Gambar 5.39. Indeks keunggulan tanaman kopi skenario 4	174
65	Gambar 5.40. Indeks keunggulan tanaman kemiri skenario 4	175
66	Gambar 5.41. Skenario indeks keunggulan tanaman kopi	178
67	Gambar 5.42 Skenario indeks keunggulan tanaman kakao	179
68	Gambar 5.43 Skenario indeks keunggulan tanaman cengkeh	180
69	Gambar 5.44 Skenario indeks keunggulan tanaman lada	181
70	Gambar 5.45 Skenario indeks keunggulan tanaman kemiri	182

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Daftar istilah dan singkatan	Arti dan penjelasan
MCDM (<i>multi kriteria decision making</i>)	metode pengambilan keputusan untuk mencapai alternatif terbaik dengan menggunakan banyak kriteria.
MADM (<i>multi atribut decision making</i>)	metode pengambilan keputusan dengan banyak kriteria dengan penilaian yang subjektif terhadap masalah
MODM (<i>multi objektif decision making</i>)	metode pengambilan keputusan dengan banyak kriteria dengan penilaian yang objektif terhadap masalah
AHP (analisis hierarki proses)	metode pengambilan keputusan, salah satu dari metode MADM yang diperkenalkan oleh Thomas L. Saaty
PCA (prinsip komponen analisis)	teknik statistik multivariat yang bertujuan untuk menunjukkan posisi relatif data dalam dimensi yang lebih sedikit sambil mempertahankan informasi sebanyak mungkin, serta dapat menyelidiki hubungan antara variabel.
SIM (sistem impor model)	pendekatan fuzzy dimana nilai MF ditentukan tanpa mengacu pada nilai tertentu penentuan nilai bersumber dari variabel yang telah ditentukan.
LCP (<i>lower crossover point</i>)	batas nilai bawah atribut lahan yang dapat ditoleransi tanaman
UCP (<i>upper crossover point</i>)	batas nilai atas atribut lahan yang dapat ditoleransi tanaman)
ASIMETRIS KIRI	semakin tinggi nilai atribut lahan semakin baik bagi tanaman)
ASIMETRIS KANAN	semakin rendah nilai atribut lahan semakin baik bagi tanaman)
JMF (<i>join membership function</i>)	nilai keanggotaan gabungan atribut lahan)
MF (<i>membership function</i>)	nilai keanggotaan individu atribut lahan

W_i (<i>weight</i>)	bobot individu indikator lahan)
W_F	bobot kelompok indikator lahan
LSI (<i>land suitability index</i>)	indeks kesesuaian lahan)
LQ (<i>location quotient</i>)	teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi sektor basis, LQ > 1 mengindikasikan sektor basis
SSA (<i>shift share analysis</i>)	teknik yang digunakan untuk menganalisis pergeseran struktur perekonomian, dalam hal ini indikasi wilayah apakah tergolong progresif atau regresif
NS (<i>national share</i>)	salah satu komponen SSA dimana memberikan gambaran pengaruh jumlah pertumbuhan produksi komoditas (i) daerah kecamatan terhadap seluruh komoditas di wilayah yang menaunginya (kabupaten).
PS (<i>proportional share</i>)	salah satu komponen SSA yang memberi gambaran perbandingan antara laju pertumbuhan produksi komoditas (i) ditingkat kecamatan dengan laju pertumbuhan tanaman perkebunan yang sama ditingkat kabupaten.
CS (<i>competitive share</i>)	salah satu komponen SSA yang memberi gambaran perbandingan antara laju pertumbuhan produksi komoditas (i) ditingkat kecamatan dengan laju pertumbuhan tanaman yang sama di kecamatan lainnya.
TS (<i>total share</i>)	integrasi dari NS,CS dan PS dimana hasilnya menunjukkan apakah wilayah progresif atau regresif
NPV (<i>net present value</i>)	suatu metode untuk memperhitungkan nilai waktu dari uang atas nilai investasi di masa lalu. Dalam penelitian ini, metode NPV digunakan untuk memperoleh informasi apakah investasi yang ditanamkan terhadap usaha tani di masa lalu memberikan keuntungan menurut nilai mata uang sekarang.

NBCR (<i>net benefit cost ratio</i>)	perbandingan antara manfaat dan biaya dari suatu usaha.
IRR (<i>internal rate of return</i>)	tingkat suku bunga maksimum yang dapat mengembalikan biaya-biaya yang diinvestasikan.
Daerah kuadran 1	daerah dimana sektor komoditas (i) yang ada pada daerah itu merupakan komoditas yang terkonsentrasi dan tumbuh pesat
Daerah kuadran 2	yaitu daerah dimana sektor komoditas (i) merupakan komoditas terkonsentrasi tapi tertekan. Komoditas yang ada pada kuadran ini memiliki laju pertumbuhan produksi bersifat regresif namun masih didukung oleh dominasi sumber daya alam terhadap komoditas tersebut,
Daerah kuadran 3	daerah potensial dimana sektor komoditas (i) memiliki laju pertumbuhan yang progresif namun tidak terspesialisasi ($LQ < 1$) karena dominasi sumber daya alam masih sedikit terhadap tanaman tersebut.
Daerah kuadran 4	daerah yang laju pertumbuhan sektor komoditas (i) bersifat regresif sekaligus memiliki komoditas yang tidak terspesialisasi
Tanaman unggul	tanaman yang bersifat basis dan memiliki pertumbuhan produksi progresif
Tanaman berkembang	tanaman yang bersifat basis tapi pertumbuhan produksi regresif
Tanaman potensial	tanaman yang bersifat tidak basis tapi pertumbuhan produksi progresif
Tanaman terbelakang	tanaman yang tidak basis dan pertumbuhan produksi regresif
Sektor basis	merupakan indikasi bahwa tingkat spesialisasi suatu sektor di wilayah tersebut tinggi dan juga menjadi indikasi suatu wilayah unggul.
<i>Net cash flow</i>	nilai yang didapatkan dari pengurangan total

	output terhadap total input
<i>Discounted factor</i>	tingkat suku bunga yang berlaku
C_t (<i>cost total</i>)	Total biaya yang dikeluarkan untuk usaha tani
B_t (<i>benefit total</i>)	total penerimaan kotor yang didapatkan dari usaha tani
DCE (<i>discrete choice experiments</i>):	merupakan salah satu pendekatan unstated of preferences, dimana responden tidak menyatakan pilihan/keputusan secara langsung.
WTP (<i>willingness to pay</i>)	Kesediaan petani untuk membayar resiko dari penurunan produksi komoditas sehingga tanaman dipertahankan
<i>Choice set</i>	serangkaian hipotesis yang dibangun atas dasar atribut-atribut yang dikandung oleh suatu tanaman

BAB I

PENDAHULUAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Pertanian berkelanjutan didefinisikan sebagai suatu sistem praktik pertanian yang komprehensif pada suatu lahan tertentu dalam jangka waktu yang lama yang bertujuan untuk: memenuhi kebutuhan pangan dan serat manusia; mempertahankan kualitas lingkungan; mempertahankan dan memperkuat sumber daya alam yang menjadi basis ekonomi pertanian; memastikan penggunaan sumber daya pertanian efektif dan efisien; menjaga kelangsungan ekonomi pertanian; meningkatkan kualitas hidup bagi petani dan masyarakat secara keseluruhan (Rigby dan Caceres, 1997). Purvis, Mao dan Robinson, 2018 menyatakan bahwa konsep keberlanjutan dibangun di atas tiga pilar: sosial, ekonomi, dan lingkungan.

Sistematik review yang dilakukan oleh Gebre *et al.* (2021) menyajikan laporan perbandingan persentase publikasi tahun 2000 hingga 2018 terhadap empat aspek berkelanjutan yaitu ekonomi, lingkungan, sosial dan teknikal. Dalam laporannya Gebre *et al.* menyatakan bahwa 40,6% publikasi di dunia hanya mempertimbangkan aspek lingkungan, sementara 26% lainnya mempertimbangkan kombinasi aspek lingkungan dan ekonomi. Sementara itu, hanya 13% publikasi yang mempertimbangkan kombinasi aspek lingkungan, ekonomi dan sosial, dan lebih sedikit lagi yang mempertimbangkan aspek teknikal. Laporan ini membuktikan bahwa sebagian besar keputusan terhadap management lingkungan hanya menggunakan aspek lingkungan dan ekonomi saja sebagai pertimbangan. Hal ini senada dengan pendapat Liu *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa banyak penelitian mengenai alokasi lahan yang hanya bertujuan untuk memuaskan dimensi lingkungan dan ekonomi saja, oleh karenanya perencanaan pembangunan kawasan pertanian perlu mengadopsi suatu pendekatan terpadu yang mampu memenuhi tuntutan lingkungan, ekonomi dan sosial secara bersamaan.

Penelitian ini mengintegrasikan pendekatan ekologi, ekonomi dan sosial untuk mengkaji potensi beberapa tanaman perkebunan dengan empat tujuan utama. Tujuan pertama adalah menggunakan data biofisik untuk mengidentifikasi

kesesuaian ekologis dari beberapa tanaman pertanian berdasarkan kesesuaian lahan. Evaluasi kesesuaian lahan adalah kunci dan langkah pertama dalam merancang penggunaan lahan yang berkelanjutan. Praktik pertanian yang baik dapat menghasilkan hasil yang lebih baik (Hills, 2015). Produksi pertanian erat kaitannya dengan pendapatan masyarakat tani, apabila masyarakat tani merasa memperoleh pendapatan yang tinggi dari usaha tani yang mereka lakukan, maka mereka akan mempertahankan kegiatan pertaniannya sehingga dapat mendukung keberlanjutan pertanian (Duffy, 2009) dan lebih lanjut berdampak pada sektor sosial seperti peningkatan jumlah tenaga kerja (Ngeleza *et al.*, 2011). Dalam pendekatan lingkungan terdapat gagasan bahwa ekosistem adalah sistem terbuka, kompleks, dan adaptif yang dibangun diatas sifat-sifat alami lingkungan. Pendekatan terhadap lingkungan merupakan hal yang mutlak, karena pertanian berkelanjutan dan tangguh harus didasari oleh praktik budidaya yang tidak menyimpang dari sistem alam. Penggunaan lahan yang tidak sesuai kemampuannya menyebabkan berbagai macam masalah lingkungan yang pada akhirnya berimbas pada masalah ekonomi dan masalah sosial. Dalam pendekatan lingkungan, pertanian didasarkan pada bagaimana kondisi yang berbeda seperti kesuburan tanah, iklim, mempengaruhi tumbuh tanaman. Fokusnya adalah bagaimana berbagai praktik manajemen dan kondisi lingkungan mempengaruhi hasil dan bagaimana kondisi ini dapat ditingkatkan.

Tujuan kedua adalah mengidentifikasi tanaman yang mampu lebih baik dalam memberikan manfaat ekonomi. Berbeda dengan pendekatan lingkungan, pada pendekatan ekonomi, produktifitas dan konsumsi merupakan hal pokok bagi petani. Produktivitas berkaitan dengan jumlah produksi dan jumlah penerimaan dari hasil produksinya sedangkan dalam konsumsi berkaitan dengan kebutuhan masing-masing masyarakat petani untuk konsumsi. Menurut Duffy (2009) pendapatan petani yang baik mendukung keberlanjutan usaha pertanian. Selain itu, tujuan kedua lainnya adalah mengidentifikasi keunggulan komparatif. Suatu wilayah pertanian harus mengidentifikasi sektor basis. Komoditas basis merupakan indikasi bahwa tingkat spesialisasi di daerah tersebut tinggi dan merupakan indikasi daerah yang unggul. Komoditas basis juga menunjukkan bahwa wilayah pertanian memiliki sumber daya alam yang dominan, sehingga komoditas tersebut dapat menciptakan keunggulan komparatif bagi wilayah pertanian. Kondisi perekonomian daerah merupakan gambaran dasar yang dapat dijadikan pedoman pembangunan dalam rangka meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Sebagai langkah strategis, pelaksanaan pembangunan harus

mengarah pada pusat pengembangan dan pertumbuhan potensi ekonomi daerah.

Dalam implementasinya, bagaimanapun dan apapun hasil penelitian yang didapatkan dengan menggunakan metode saintifik, keputusan mutlak berada pada pemilik lahan yaitu para petani. Sehingga tujuan ketiga adalah mengidentifikasi tanaman yang sesuai dengan apa yang petani inginkan. Petani pada umumnya secara terus menerus berada dibawah tekanan untuk membuat keputusan. Sehingga dalam penilaian pertanian berkelanjutan, preferensi petani menjadi salah satu variable utama. Dalam pembangunan pertanian berkelanjutan, aturan pemerintah tentang pengelolaan wilayah juga perlu menjadi perhatian. Paradigma pertanian berkelanjutan perlahan-lahan muncul karena meningkatnya dukungan lembaga-lembaga global serta administrasi publik nasional dan regional di seluruh dunia.

Tujuan keempat adalah mengembangkan informasi mengenai potensi komoditas perkebunan unggulan dengan mengintegrasikan ketiga tujuan yang telah disebutkan. Tujuannya agar komoditas pertanian menjadi komoditas yang tepat guna dan efisien dalam segala aspek serta dapat digunakan untuk membentuk brand mark atau keunikan suatu daerah. Selain itu, suatu daerah harus dapat tepat fokus mengembangkan tanaman perkebunan yang memiliki keunggulan di daerahnya sehingga lahan pertanian yang kurang produktif dapat dikurangi dan diganti dengan lahan pertanian yang lebih produktif.

Saat ini masih sedikit penelitian yang membahas dan mengimplementasikan integrasi dari konsep ekologi, ekonomi dan sosial untuk mengevaluasi potensi lahan pertanian. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pendekatan ekologi dan ekonomi spasial diterapkan dan dibahas secara terpisah. Beberapa penelitian tersebut adalah Seyedmohammadi, Sarmadian, Asghar, & Mcdowell (2019) mengenai pengembangan model untuk menilai kesesuaian lahan pertanian. Penelitian oleh Hobbs dkk, (2008) tentang konservasi pertanian untuk mendukung pertanian berkelanjutan, penelitian oleh Scholten *et al.* (2020) tentang penilaian kesesuaian lahan untuk peningkatan produksi dan perencanaan sistem pertanian berkelanjutan, penelitian Khusaini (2015) tentang daya saing ekonomi regional, dan penelitian Billings & Johnson (2012) tentang konsentrasi industri. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa ketiga pilar keberlanjutan yang terintegrasi masih jarang ditemukan dalam suatu penelitian.

Pertanian berkelanjutan dikaitkan dengan prospek memenuhi kebutuhan nasional dan global, kualitas dan keamanan pasokan, kondisi tenaga kerja, pembelajaran, kesejahteraan manusia dan pembangunan manusia dalam pengertian umum (Carreón *et al.*, 2011). Salah satu poin utama pertanian berkelanjutan adalah memastikan penggunaan sumber daya pertanian paling efisien dengan mempertahankan manfaat ekologi, ekonomi dan juga sosial (Pan *et al.*, 2022). Namun pada kenyataannya, banyak wilayah pertanian hanya mempertahankan satu dari beberapa pilar pertanian berkelanjutan dalam agenda pembangunannya, sedangkan sebagian besar pilar lainnya diabaikan. Hal ini kemudian memunculkan beberapa masalah seperti banyaknya wilayah agraris di negara-negara berkembang yang paling banyak mensuplai produk pertanian justru merupakan wilayah termiskin (IAASTD 2009; Dethier dan Effenberger 2012; IFAD dan UNEP 2013), daya saing wilayah juga produk pertanian rendah, serta degradasi lahan dan perusakan sumber daya alam ketika petani memprioritaskan pilar ekonomi (Hossain, 2020).

Salah satu contoh nyata dari ketidak seimbangan pilar pertanian berkelanjutan adalah masalah krisis lahan perkebunan yang saat-saat ini dihadapi oleh kabupaten Enrekang. Diantara kesembilan sektor utama penopang PDRB kabupaten Enrekang, sektor pertanian dan perkebunan memberi kontribusi terbesar yaitu 46 % pada pembentukan PDRB. Penggunaan lahan terbesar adalah peruntukan tanaman perkebunan sebesar 45.221,85 hektar (25.31%), tanaman Hortikultura sekitar 3.022,45 hektar (1.69%) dan lahan untuk penggunaan tanaman pangan sekitar 16.162,62 hektar (9.05%) yang mencakup lahan basah 5.123,70 hektar, lahan kering 11.038,92 hektar. Tanaman utama dalam sektor perkebunan kabupaten Enrekang meliputi kopi, kakao, cengkeh, lada, pala, kemiri, kelapa, aren palm sugar, dan vanili. Produksi tanaman perkebunan terbesar adalah kopi yaitu 7.918 ton dengan luas area tanam 11.975 hektar (BPS Kabupaten Enrekang, 2018). Namun data terkini menunjukkan bahwa ada kecenderungan penurunan kontribusi sektor pertanian dan perkebunan terlihat pada tahun 2008 kontribusinya sebesar 51% mengalami penurunan menjadi 46% pada Tahun 2012 (RPJMD kabupaten Enrekang, 2014), dan tahun 2017 menjadi 43 % (RPJMD Kabupaten Enrekang, 2018). Heryanto dkk, (2018) mengungkapkan bahwa ada 45.256 hektar lahan di kabupaten Enrekang yang tidak sesuai dengan arahan penggunaan lahan. Pertanian berkelanjutan merupakan konsep yang telah lama berkembang, namun data yang didapatkan menegaskan bahwa konsep ini masih sering diabaikan petani.

Hal ini disebabkan karena petani cenderung hanya berpihak pada trend dan nilai ekonomi suatu komoditas saja. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang mampu mengintegrasikan pilar pertanian berkelanjutan agar di masa mendatang pertanian dapat terus dipertahankan. Kita percaya bahwa praktik pertanian yang baik dapat meningkatkan hasil produksi, membawa kemakmuran, meningkatkan standar hidup dan meningkatkan mata pencaharian masyarakat petani.

Salah satu upaya yang dapat mengatasi krisis perkebunan yang dihadapi kabupaten Enrekang saat ini adalah dengan menetapkan komoditas unggul berkelanjutan. Komoditas unggul berkelanjutan diartikan sebagai komoditas yang memiliki daya saing, berorientasi pasar, ramah lingkungan, dan diharapkan mampu memberikan nilai ekonomi yang tinggi apabila dikembangkan secara optimal. Jika dijabarkan, konsep ini terdiri dari dua konsep utama yaitu “unggul dan berkelanjutan”. Penetapan komoditas unggul dilandasi pada pemikiran bahwa yang perlu dikembangkan pada suatu wilayah adalah kemampuan berproduksi dan menjual hasil produksi tersebut secara efisien dan efektif dengan menggunakan sumber daya lokal untuk diekspor dan menghasilkan kekayaan daerah serta penciptaan peluang kerja (Selatan *et al.*, 2017). Peraturan menteri pertanian Republik Indonesia nomor 08/Permentan/Kb.400/2/2016 tentang pedoman perencanaan perkebunan berbasis spasial menegaskan bahwa komoditas unggul merupakan komoditas yang memiliki ciri dan karakteristik tertentu yang terkait dengan kemampuan komoditas tersebut bersaing baik secara komparatif maupun kompetitif dalam skala internasional, nasional, wilayah maupun spesifik lokal dengan tujuan untuk; meningkatkan produksi dari komoditas perkebunan yang bermutu, meningkatkan daya saing komoditas perkebunan, meningkatkan pembangunan ekonomi dan mengoptimalkan sumber daya perkebunan secara berkelanjutan dengan memperhatikan kearifan lokal wilayah setempat. Pada sisi lainnya, kata berkelanjutan mengacu pada usaha pertanian yang dapat terus dipertahankan dalam jangka lama karena memiliki keunggulan diseluruh aspek.

Penilaian komoditas unggulan dan berkelanjutan merupakan upaya penilaian potensi wilayah dimana menggunakan kriteria majemuk atau multiple criteria decision making (MCDM) dalam pengambilan keputusan. Menurut Gebre *et al.* (2021), MCDM adalah bagian dari riset operasional dan merupakan alat yang menangani masalah keputusan dengan sejumlah kriteria berbeda dan

saling bertentangan sehingga memungkinkan seorang analis menggabungkan seluruh kriteria penilaian dalam satu analisis. Dalam evaluasi lahan terdapat dua jenis prosedur, yaitu prosedur dengan pendekatan dua tahap dan satu tahap (FAO, 1976). Pendekatan satu tahap (paralel) menjadikan penilaian terhadap parameter fisik dan ekonomi dinilai secara simultan sedangkan pendekatan dua tahap penilaian pertama dilakukan terhadap parameter fisik lahan kemudian diikuti penilaian terhadap parameter aspek ekonomi dan sosial. Penelitian ini menggunakan pendekatan dua tahap dimana tahap pertama bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian lahan dan tahap selanjutnya mengevaluasi parameter ekonomi dan sosial.

Berdasarkan penilaian kepentingan atribut, analisis menggunakan MCDM terdiri atas dua yaitu multiple atribut decision making (MADM) dan multiple objective decision making (MODM) (Chen and Hwang, 1992; Leake and Malczewski, 2000; Zimmermann & Gutsche, 1991). Penilaian antara kepentingan kriteria dengan MADM bersifat subjektif dan diskrit dimana kepentingan antara atribut telah ditentukan sebelumnya oleh pembuat keputusan atau oleh para ahli. Kriteria-kriteria pada MADM biasanya disaring, diprioritaskan dan akhirnya diberi peringkat oleh pembuat keputusan (Gebre *et al.*, 2021). Contoh pendekatan MADM adalah metode perbandingan berpasangan seperti analisis hirarki/networking proses (AHP/ANP), metode outranking seperti PROMETHEE dan metode berbasis jarak seperti TOPSIS (Brans dan Vincke, 1985; Hwang dan Yoon, 1981; Keeney dan Raiffa, 1976; Roy dan Vincke, 1981; Saaty, 1980; Vincke, 1992). Sedangkan penilaian kriteria menggunakan MODM tidak ditentukan sebelumnya dan tidak bersifat diskrit melainkan secara kontinu digambarkan sebagai satu set pengamatan yang tidak terputus. MODM biasanya menggunakan pemodelan matematika untuk menentukan kepentingan antara atribut yang digunakan (Gebre *et al.*, 2021).

Penelitian ini mengaplikasikan pendekatan baru dengan mengimplementasikan kedua pendekatan MCDM untuk memberikan solusi terbaik terkhusus dalam penentuan komoditas unggul berkelanjutan sebagai suatu strategi mencapai pertanian berkelanjutan. Segala metode dan pendekatan yang lebih mendalam pada disertasi ini dibahas dalam bagian II mengenai analisis kesesuaian lahan, bagian III mengenai keunggulan komparatif dan kompetitif, bagian IV mengenai keunggulan berdasarkan preferensi petani dan

bagian V mengenai integrasi dari beberapa parameter ekologi, ekonomi dan sosial tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini disusun menjadi empat bagian utama yaitu:

1. Bagaimana kesesuaian lahan komoditas perkebunan kabupaten Enrekang?
2. Bagaimana keunggulan komparatif dan kompetitif komoditas perkebunan kabupaten Enrekang ditinjau dari sisi ekonomi spasial?
3. Bagaimana preferensi dan pengetahuan masyarakat terhadap komoditas perkebunan Kabupaten Enrekang?
4. Bagaimana sebaran dan arahan komoditas prioritas yang didasarkan dari berbagai pertimbangan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dikemukakan, maka tujuan umum penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi kesesuaian lahan komoditas perkebunan Kabupaten Enrekang.
2. Mengidentifikasi keunggulan komparatif dan kompetitif komoditas perkebunan kabupaten Enrekang ditinjau dari aspek ekonomi spasial.
3. Mengidentifikasi preferensi dan pengetahuan masyarakat mengenai komoditas perkebunan Kabupaten Enrekang.
4. Mengidentifikasi sebaran dan arahan komoditas prioritas yang didasarkan dari berbagai pertimbangan.

1.4 Kegunaan Penelitian

Dalam bidang keilmuan, secara saintifik penelitian ini dapat berkontribusi dalam pengembangan ilmu melalui serangkaian metode-metode saintifik yang diterapkan dalam penelitian sehingga serangkaian metode tersebut dapat dijadikan acuan terutama bidang management lingkungan dan sumber daya alam.

Dalam terapannya, hasil penelitian ini diharapkan berguna sebagai pertimbangan oleh pemerintah kabupaten Enrekang terkait pengambilan keputusan penetapan wilayah prioritas pengembangan komoditas unggulan dalam rangka penataan sentra komoditas unggulan di kabupaten Enrekang yang telah dikaji secara saintifik dengan pendekatan spasial dan dengan berbagai pertimbangan atau sudut pandang.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian meliputi seluruh wilayah di Kabupaten Enrekang, dengan metode analisis spasial yang mengintegrasikan faktor lingkungan berupa kesesuaian lahan tanaman perkebunan, faktor ekonomi berupa kelayakan finansial dan daya saing komparatif, dan faktor sosial berupa preferensi petani, untuk dapat menghasilkan rekomendasi komoditas yang layak dikembangkan karena merupakan komoditas yang tangguh untuk dipertahankan dalam jangka panjang serta memiliki keunggulan komparatif dan kompetitif. Penelitian ini dilaksanakan di kabupaten Enrekang provinsi Sulawesi Selatan yang secara astronomis terletak pada $3^{\circ}14'36''$ hingga $3^{\circ}50'00''$ LS dan $119^{\circ}40'53''$ hingga $120^{\circ}06'33''$ BT dan secara geografis di sebelah Utara berbatasan dengan kabupaten Tana Toraja, sebelah Timur berbatasan dengan kabupaten Luwu, sebelah Selatan berbatasan dengan kabupaten Sidendeng Rappang dan sebelah Barat berbatasan dengan kabupaten Pinrang. Enrekang terdiri dari 12 wilayah kecamatan meliputi Alla', Anggeraja, Baraka, Baroko, Bungin, Buntubatu, Cendana, Curio, Enrekang, Maiwa, Malua dan Masalle. Komoditas perkebunan yang menjadi objek penelitian adalah kopi, kakao, cengkeh, lada dan kemiri. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif-kualitatif dengan menggunakan data primer berupa data kualitas lahan (pH tanah, KTK, organik tanah, saturasi dasar, jumlah basa-basa, kedalaman tanah dan tekstur tanah), harga input produksi pertanian, harga output produksi pertanian, dan data sekunder berupa jumlah produksi pertanian, jumlah petani, luas lahan pertanian serta validasi dengan menggunakan data sekunder berupa peta rencana tata ruang dan wilayah (RTRW).

1.6 Kebaruan Penelitian

Beberapa pengembangan metode diterapkan pada penelitian ini seperti pada penilaian kesesuaian lahan. Penilaian kesesuaian lahan pada penelitian ini

mengimplementasikan metode *fuzzy logic* dan metode prinsip komponen analisis (PCA). Suatu pendekatan baru menggunakan metode *multi objective decision making* (MODM) dimana kepentingan parameter kesesuaian lahan tidak ditentukan oleh peneliti ataupun pendapat ahli. PCA pada umumnya hanya digunakan untuk mereduksi jumlah variabel penelitian dengan menerapkan konsep analisis faktor. Namun pada penelitian ini metode PCA digunakan untuk membangun suatu variabel/faktor baru dari variabel-variabel independen yang ada yang diikutkan dalam penilaian kesesuaian lahan. Selain itu, kepentingan/bobot variabel-variabel penilaian kesesuaian lahan dibangun atas dasar sifat variabel itu menggunakan metode PCA. Penilaian bobot/kepentingan parameter kesesuaian lahan secara objektif dengan metode ini diharapkan dapat menghindari bias dari penilaian secara subjektif terhadap kepentingan/bobot parameter yang diikutkan dalam penilaian kesesuaian lahan.

Pada analisis sosial yang menyangkut preferensi masyarakat, parameter dibangun atas kondisi petani di lokasi penelitian. Beberapa parameter sosial ini dibangun dari penelitian sebelumnya tapi beberapa parameter juga dibangun atas kondisi sebenarnya di wilayah penelitian. Preferensi petani dianalisis menggunakan metode *discrete choice experiment* (DCE), yang merupakan salah satu jenis penelitian *experiment*, sehingga hasilnya dapat dikatakan sebagai kebaruan. Temuan dari kajian preferensi petani ini adalah stabilitas produksi dan stabilitas harga dalam jangka lima tahun adalah faktor utama yang mempengaruhi utilitas petani mempertahankan tanaman perkebunannya.

Nilai domain dan standarisasi satuan untuk parameter sosial dan ekonomi dibangun dari hasil penelitian ini sendiri. Sejauh pengetahuan peneliti belum ada satupun penelitian yang memberikan nilai domain terhadap parameter ekonomi dan sosial seperti yang ada dalam disertasi ini

Bagaimanapun, hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah suatu temuan yang dapat dijadikan pertimbangan atau pedoman oleh daerah tempat penelitian dilaksanakan untuk menetapkan dan memetakan sentra komoditas perkebunan unggul berkelanjutan.

BAB II

EVALUASI KESESUAIAN LAHAN KABUPATEN ENREKANG

2.1 Pendahuluan

Pertanian berkelanjutan memastikan penggunaan sumber daya pertanian yang paling efisien (Pan *et al.*, 2022). Salah satu tujuan utama pertanian berkelanjutan adalah memastikan bahwa pertanian tidak menyimpang dari sistem alam itu sendiri. Evaluasi kesesuaian lahan adalah kunci dan langkah pertama dalam merancang penggunaan lahan yang berkelanjutan. Menurut Vasu *et al.* (2018), evaluasi kesesuaian lahan merupakan pondasi terpenting untuk membangun sistem pertanian tangguh. Inti dari evaluasi kesesuaian lahan adalah membandingkan sifat atau karakteristik yang dimiliki oleh lahan terhadap persyaratan yang diminta oleh penggunaan lahan tertentu sehingga potensi suatu lahan dapat diprediksi. Jika penggunaan lahan mempertimbangkan masukan dari lahan itu sendiri, maka akan memberikan hasil sesuai yang diharapkan. Sebaliknya, jika lahan digunakan tidak sesuai dengan potensinya, maka akan menimbulkan berbagai permasalahan seperti produksi yang kurang optimal, degradasi kualitas lingkungan dan sebagainya. Produksi pertanian erat kaitannya dengan pendapatan masyarakat tani, bila mana masyarakat tani merasa mendapat pendapatan tinggi dari usaha tanin, maka mereka akan mempertahankan kegiatan pertaniannya sehingga mendukung keberlanjutan pertanian (Duffy, 2009) dan lebih lanjut berpengaruh positif terhadap sektor lainnya seperti peningkatan jumlah tenaga kerja (Ngeleza *et al.*, 2011). Oleh karena itu, evaluasi kesesuaian lahan sangat diperlukan guna mendukung perencanaan dan pembangunan wilayah pertanian yang berkelanjutan.

Rabia dan Terrible (2013) berpendapat bahwa evaluasi kesesuaian lahan membutuhkan serangkaian metode yang tepat sehingga rencana pengelolaan akan lebih baik. Dalam upaya evaluasi kesesuaian lahan, sistem informasi geografis (SIG) telah digunakan oleh banyak peneliti (Akinci, Özalp, dan Turgut, 2013; Boonyanuphap, Wattanachaiyingcharoen, & Sakurai, 2004). Menurut Baroudy (2016), berhubungan dengan evaluasi kesesuaian lahan, SIG adalah sistem komputer sebagai suatu alat yang penting untuk menyimpan, mengambil, memanipulasi, menganalisis data untuk menghitung indeks kesesuaian lahan

dan menyajikan dalam suatu peta kesesuaian lahan. Salah satu metode GIS yang telah banyak digunakan adalah *fuzzy logic* (Hall & Wang, 1992). Menurut Qiu, Chastain, & Zhou (2014), peta kesesuaian lahan yang dihasilkan dengan menggunakan metode ini lebih informatif dan lebih baik dalam akurasi prediksi daripada peta konvensional. *Fuzzy logic* merupakan pengembangan dari metode Boolean yang dianggap terlalu kaku dan standar karena memiliki tipe data yang hanya mempunyai dua nilai yaitu true dan false. *Fuzzy logic* memungkinkan nilai keanggotaan ditransformasikan menjadi nol hingga satu, dimana dalam penilaian kesesuaian lahan indeks semakin mendekati satu mengindikasikan kesesuaian lahan yang lebih optimal. Banyak penelitian telah menggunakan metode *fuzzy* untuk optimasi penggunaan lahan (Morteza *et al.*, 2019; Vavatsikos *et al.*, 2020; Arabsheibani., 2016). Misalnya, Nabati *et al.* (2020) menggunakan sistem inferensi *fuzzy* untuk mengidentifikasi kemampuan lahan berdasarkan zonasi agro-ekologi. Sementara itu, Feizizadeh dan Blaschke (2013) menstandarisasi kriteria analisis kesesuaian lahan di Iran dengan menggunakan metode *fuzzy set*. Mereka menstandarisasi kriteria evaluasi lahan menggunakan skala 0 hingga 1.

Terdapat tiga tahapan utama analisis menggunakan metode *fuzzy*: fuzzifikasi, inferensi *fuzzy* (operasi logika *fuzzy*) dan defuzzifikasi. Fuzzifikasi mengubah nilai crisp menjadi himpunan *fuzzy* dengan keanggotaan fungsi 0 hingga 1, 0 hingga 10 atau 0 hingga 100 (Feizizadeh dan Blaschke, 2013; Gougam *et al.*, 2019). Ada dua inferensi *fuzzy* yang umum digunakan: inferensi *fuzzy* berbasis aturan (Reshmidevi, 2019) dan metode pengambilan keputusan multi-kriteria (MCDM) (Tercan dan Dereli, 2020; Elaalem, 2013; Maddahi *et al.*, 2017). Basis aturan *fuzzy* menggunakan aturan dalam format "IF <proposisi *fuzzy*> THEN <proposisi *fuzzy*>" yang dikembangkan berdasarkan pendapat para ahli atau petani, dan kemudian metode inferensi *fuzzy* minimum-maksimum (Min-Max) digunakan untuk men-agregasi aturan, sedangkan inferensi dengan metode MCDM menggunakan beberapa faktor lahan sebagai kriteria kemudian menentukan bobot kriteria (biasanya digunakan rata-rata tertimbang terurut dan kombinasi tertimbang linier) untuk mendapatkan nilai keanggotaan berbagai kelas pada setiap unit evaluasi (Liu *et al.*, 2013).

Saat ini, inferensi *fuzzy* dengan metode pengambilan keputusan multi kriteria telah banyak dikembangkan oleh para ahli. Berdasarkan proses *fuzzy* yang telah dijelaskan sebelumnya, diketahui bahwa nilai keanggotaan dan bobot indikator memegang peranan yang sangat penting dalam pemodelan *fuzzy* menggunakan metode MCDM (multi criteria decision making) (Giordano dan

Liersch, 2012; Liu *et al.*, 2013). MCDM merupakan upaya penilaian suatu lahan terhadap tipe penggunaan tertentu yang ditinjau dari berbagai sifat atau karakteristik lahan. Pengambilan keputusan dengan MCDM merupakan alat yang menangani masalah keputusan terkait kriteria yang saling bertentangan. MCDM digolongkan menjadi dua kategori yaitu pengambilan keputusan multi atribut (MADM) dan multi objektif (MODM) (Leake & Malczewski, 2000; Zimmermann & Gutsche, 1991). MADM cocok untuk pengambilan keputusan yang menggunakan kriteria bersifat diskrit dan kepentingan antara atribut telah ditentukan sebelumnya oleh pembuat keputusan. Kriteria-kriteria ini pada MADM biasanya disaring, diprioritaskan dan akhirnya diberi peringkat (Gebre *et al.*, 2021). Beberapa contoh pengambilan keputusan menggunakan MADM yang paling banyak digunakan adalah pairwise comparison seperti analisis hierarki proses (AHP), value or utility function seperti MAVT, MAUT dan SAW (Liu *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2016; Ananda & Herath, 2009). Berbeda dengan MADM, pengambilan keputusan menggunakan MODM merupakan pengambilan keputusan menggunakan kriteria-kriteria yang derajat kepentingannya tidak ditentukan sebelumnya dan juga kepentingan antara kriteria tidak bersifat discrete melainkan secara kontinu digambarkan sebagai satu set pengamatan yang tidak terputus. Pengambilan keputusan menggunakan MODM biasanya menggunakan pemodelan matematika untuk menentukan kepentingan antara atribut yang digunakan (Gebre *et al.*, 2021).

Dari berbagai penelitian terdahulu, sebagian besar peneliti menggunakan analisis hirarki proses (AHP) dalam menentukan derajat kepentingan terhadap indikator penelitian (Mosadeghi *et al.*, 2015; Keshavarzi *et al.*, 2020; Nasery *et al.*, 2021; Zalhaf *et al.*, 2021). Hal ini disebabkan penerapan metode AHP lebih sederhana dan mudah untuk diimplementasikan. Namun, dengan menggunakan metode ini, bobot indikator biasanya ditentukan secara subjektif oleh peneliti atau oleh pendapat ahli. Masalah yang sering ditemui adalah adanya perbedaan pendapat di antara beberapa ahli sehingga menimbulkan bias dan kebingungan bagi peneliti. Selain itu, sebagian besar studi secara langsung memberikan bobot nilai berdasarkan studi yang relevan oleh penelitian lain. Lebih lanjut lagi, pengaruh suatu sifat tanah terhadap sifat-sifat tanah lainnya di suatu daerah tidak selalu sama dengan di daerah lain. Perbedaan ini disebabkan oleh banyak faktor, antara lain cara petani bercocok tanam, dan karakteristik tanah di daerah itu sendiri. Oleh karenanya Menyamakan penilaian derajat kepentingan sifat-sifat tanah dalam evaluasi lahan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di

berbagai daerah dapat menimbulkan bias. Sedangkan Maddahi *et al.* (2014) dan Luan *et al.* (2017) menyatakan bahwa bobot antara indikator penilaian lahan harus dipertimbangkan secara objektif berdasarkan data atau karakteristik wilayah itu sendiri untuk evaluasi yang akurat. Sehingga dalam evaluasi kesesuaian lahan, penetapan karakteristik lahan harus didasarkan pada data.

Karena sifat tanah sangat bervariasi, interkorelasi dapat menyebabkan masalah multikolinearitas. Bernardi *et al.* (2016) menunjukkan bahwa pendekatan statistik multivariat dapat digunakan untuk memecahkan masalah ini dan untuk membantu dalam pengelolaan lahan yang lebih baik dan menghasilkan layanan ekosistem lahan yang lebih baik (Montanaro *et al.*, 2017). Prinsip Komponen analisis (PCA) adalah teknik statistik multivariat yang bertujuan untuk menunjukkan posisi relatif data dalam dimensi yang lebih sedikit sambil mempertahankan informasi sebanyak mungkin, serta dapat menyelidiki hubungan antara variabel. Ranjbar *et al.* (2015) membandingkan berbagai metode multivariat pada sifat fisikokimia tanah untuk gandum untuk menentukan pentingnya parameter ini. Mereka menemukan bahwa dengan menggunakan PCA, hubungan antara hasil dan parameter lain dapat diinterpretasikan dengan lebih baik. PCA dapat secara efektif menentukan nilai pembobotan untuk mencapai hasil yang diinginkan (Bas, Das & Pal, 2020). Menurut Pennsylvania State University (2018) PCA secara tradisional telah digunakan tidak hanya untuk mengidentifikasi variabel mana yang paling berpengaruh pada suatu proses, tetapi juga untuk menyederhanakan data menjadi beberapa kelompok komponen yang bertanggung jawab atas sebagian besar variabilitas dalam data. Ghaemi *et al.* (2014); Nguyen *et al.* (2020); Said *et al.* (2020) menggunakan PCA untuk mereduksi dimensi data menjadi beberapa faktor. Namun, penelitian Ranjbar *et al.* (2016) menunjukkan bahwa tidak mengurangi data adalah metode yang paling akurat untuk mengevaluasi kualitas lahan dan memberikan hasil yang konsisten. Oleh karena itu, metode PCA dalam penelitian ini hanya digunakan untuk menentukan kepentingan atribut tanah tanpa mereduksi menjadi beberapa data yang dianggap penting.

Baru-baru ini, kombinasi *fuzzy*-AHP banyak digunakan oleh para peneliti untuk evaluasi lahan (Kelic *et al.*, 2022; Paul dan Ghosh, 2022; Sengupta *et al.*, 2022). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, penggunaan kombinasi metode ini sangat subjektif dalam menentukan pentingnya atribut tanah, yang dapat menyebabkan bias. Oleh karena itu, pada bagian ke II dari disertasi ini bertujuan untuk menganalisis kesesuaian lahan dengan menggunakan *fuzzy*-PCA sebagai

pendekatan baru yang dapat mengatasi permasalahan tersebut. Dengan menggunakan metode *fuzzy* PCA, kepentingan atribut tanah dapat ditentukan secara lebih objektif berdasarkan karakteristik daerah penelitian itu sendiri.

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Variabel penilaian kesesuaian lahan

Tanaman perkebunan yang dianalisis dalam penelitian ini adalah kopi, kakao, lada, kemiri dan cengkeh. Panduan evaluasi kesesuaian lahan menggunakan petunjuk teknis evaluasi lahan untuk komoditas pertanian oleh Ritung *et al.* (2011) juga pedoman oleh Sys (1993) pada Evaluasi Lahan Bagian III mengenai Persyaratan Tanaman. Pada penelitian ini, tiga variabel utama yang digunakan dalam penilaian kesesuaian lahan meliputi variabel iklim, variabel topografi dan variabel tanah dengan total indikator sebanyak sepuluh. Variabel, definisi serta sumber data yang digunakan dalam evaluasi kesesuaian lahan dijabarkan dalam Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.1 Variabel penilaian kesesuaian lahan (Sys, 1993; Ritung *et al.*, 2011; Baja, 2012)

Variabel	Kode	Indikator
Tanah	V1	pH H ₂ O tanah
	V2	Jumlah basa-basa
	V3	Kejenuhan basa
	V4	Kapasitas tukar kation (KTK)
	V5	Bahan organik tanah
	V6	Kedalaman efektif tanah
	V7	Tekstur tanah
Iklim	V8	Rerata curah hujan tahunan
	V9	Rerata suhu tahunan
Topografi	V10	Kemiringan lereng

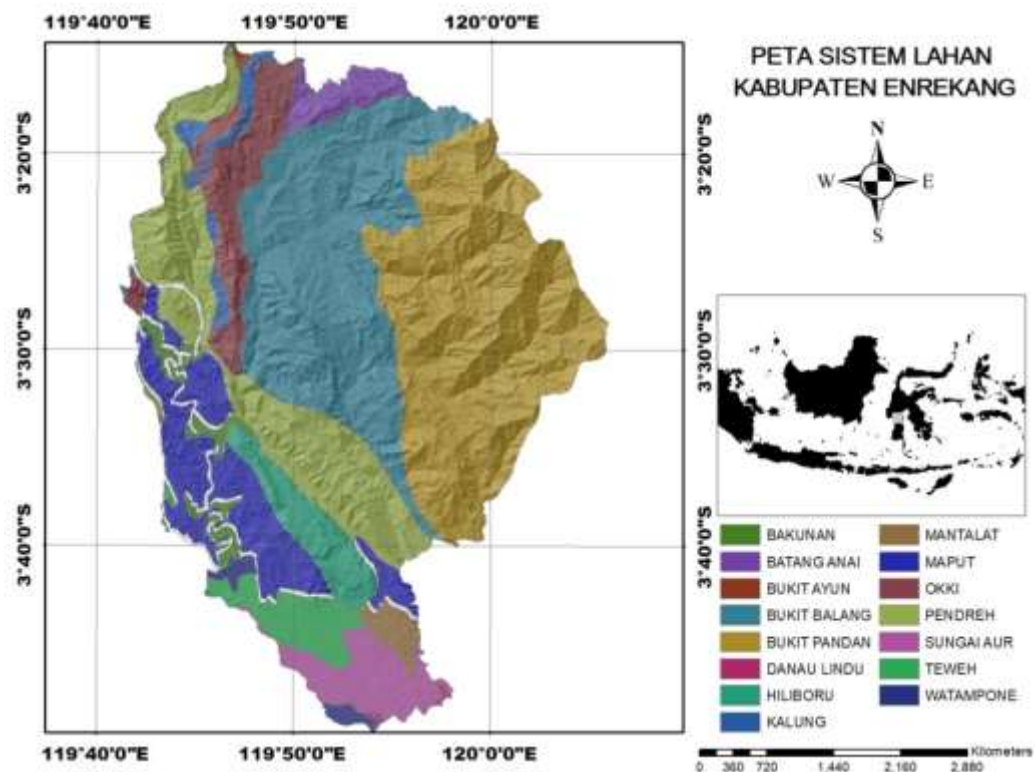
Tabel 2. 2. Definisi masing-masing indikator penelitian untuk evaluasi kesesuaian lahan dan sumber data

Indikator	Definisi	Sumber data
Rerata curah hujan tahunan	Jumlah curah hujan bulanan dalam satu tahun pengamatan dinyatakan dalam ukuran millimeter (mm)	Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang
Rerata suhu tahunan	Jumlah suhu bulanan dalam satu tahun pengamatan dibagi dua belas dinyatakan dalam ukuran derajat Celsius (°C)	Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang
Kemiringan lereng	Ukuran kemiringan lahan terhadap bidang datar dinyatakan dalam persen (%).	Survey lapangan
Kedalaman efektif tanah	Kedalaman tanah yang masih dapat ditembus oleh akar tanaman dalam ukuran sentimeter (cm).	Survey lapangan.
KTK	Banyaknya kation yang dapat dijerap oleh tanah dalam 100 g dinyatakan dalam ukuran cmol/kg.	Hasil analisis laboratorium menggunakan sampel tanah dari lokasi penelitian.
Kejenuhan basa	Perbandingan antara jumlah kation basa dengan seluruh kation baik basa maupun asam yang terdapat pada kompleks jerapan tanah dinyatakan dalam persen.	Hasil analisis laboratorium menggunakan sampel tanah dari lokasi penelitian.
Jumlah basa-basa	Jumlah kation basa yang dapat dijerap oleh tanah meliputi unsur kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), natrium (Na) dinyatakan dalam ukuran cmol/kg	Hasil analisis laboratorium menggunakan sampel tanah dari lokasi penelitian.
pH H ₂ O tanah	Tingkat keasaman atau kebasaaan tanah dengan skala satu hingga empat belas	Hasil analisis laboratorium menggunakan sampel tanah dari lokasi penelitian.
Bahan organik tanah	Bahan dalam atau permukaan tanah berasal dari sisa makhluk hidup yang telah mengalami dekomposisi yang dinyatakan dalam persen.	Hasil analisis laboratorium menggunakan sampel tanah dari lokasi penelitian.
Tekstur tanah	Perbandingan persentase dari partikel pasir, debu dan liat.	Hasil analisis laboratorium menggunakan sampel tanah dari lokasi penelitian.

2.2.2 Survey, pengambilan sampel tanah dan analisis laboratorium

Pengambilan contoh tanah merupakan hal penting untuk mengidentifikasi sifat tanah (fisik dan kimia) di laboratorium. Prinsipnya, hasil analisis sifat tanah di laboratorium harus dapat menggambarkan keadaan sifat tanah sesungguhnya di lapangan. Analisis sifat tanah di lapangan dan di laboratorium bertujuan untuk

mengetahui kualitas lahan pada wilayah penelitian. Kualitas lahan adalah sifat-sifat pengenal atau yang bersifat kompleks dari sebidang lahan. Kualitas lahan mempunyai keragaman yang berpengaruh terhadap kesesuaiannya bagi penggunaan tertentu dan biasanya terdiri atas satu atau lebih karakteristik lahan. Kualitas lahan ada yang bisa diestimasi atau diukur secara langsung di lapangan, dan ada yang harus dilakukan penilaian pada laboratorium (FAO, 1976). Pengamatan di lapangan meliputi pengamatan kedalaman tanah dan pengukuran kemiringan lereng, sedangkan variable tanah lainnya dianalisis di laboratorium. Pengambilan sampel tanah didasarkan dari peta sistem lahan kabupaten Enrekang yang terdiri atas lima belas sistem lahan (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Peta sistem lahan kabupaten Enrekang (Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional)

Peta sistem lahan merupakan informasi gabungan yang didasari dari prinsip ekologi yang berhubungan antara tipe batuan, hidroklimat, landform, tanah, dan organisme dan dari kombinasi faktor-faktor ekologi yang sama dan menghasilkan sistem lahan yang sama (Blasi, Zattero, Marignani, Smiraglia, & Copiz, 2008). Hasil survey sistem lahan (termasuk peta sistem lahan) dapat digunakan sebagai dasar evaluasi lahan (Zonneveld, 1989). Berdasarkan pertimbangan tersebut, sistem lahan Kabupaten Enrekang dijadikan pedoman

dalam pengambilan sampel tanah. Sampel tanah yang diambil sebanyak 30, meliputi sampel tanah atas (kedalaman 0-25 cm) dan tanah bawah (kedalaman > 25 cm) di masing-masing sistem lahan. C-organik dan KTK hanya dianalisis pada tanah lapisan atas seperti yang dilakukan oleh Baja (2012) dan Grove *et al.* (2000). pH, jumlah basa-basa, tekstur tanah dan kejenuhan basa diamati pada lapisan tanah atas dan bawah. Pengambilan sampel tanah bertujuan untuk menganalisis sifat-sifat tanah lokasi penelitian di laboratorium. Analisis laboratorium meliputi analisis tekstur tanah dengan menggunakan metode pipet, dan analisis pH tanah menggunakan 1:2,5 soil water suspense. Analisis bahan organik menggunakan metode walkley dan black dengan contoh tanah kering 105 °C. Jumlah basa-basa (Ca,Mg,K,Na), KTK, dan saturasi dasar menggunakan nilai tukar kation (NH₄-Acetat 1N, pH7) pada contoh tanah kering 105 °C. Kedalaman efektif diamati di lapangan merupakan kedalaman tanah yang masih dapat ditembus akar.

2.2.3 Kriteria evaluasi kesesuaian lahan

Untuk dapat mengimplementasikan logika *fuzzy* dalam evaluasi kesesuaian lahan, maka perlu disusun suatu kriteria evaluasi. Kriteria evaluasi yang digunakan dalam penelitian ini, diadaptasi dan dimodifikasi mengacu pada kriteria evaluasi yang disusun oleh Ritung *et al.* (2011) dan Sys (1993). Dalam kriteria yang telah disusun, lima derajat pembatas ditetapkan. Definisi masing-masing derajat pembatas serta kriteria evaluasi yang digunakan disajikan pada Tabel 2.2 dan 2.4.

Tabel 2.3 Deskripsi derajat pembatas dalam evaluasi kesesuaian lahan (Baja, 2012)

Tingkat Pembatas	Kategori	Deskripsi
0	Tanpa	Karakteristik lahan optimal untuk pertumbuhan tanaman.
1	Sedikit	Karakteristik lahan hampir optimal.
2	Moderat	Karakteristik lahan memiliki pengaruh moderat tapi keuntungan masih didapat dari penggunaan lahan.
3	Berat	Karakteristik lahan berpengaruh besar terhadap hasil, penggunaan lahan menjadi marjinal untuk penggunaan lahan yang akan diusahakan.
4	Sangat berat	Membatasi secara total penggunaan lahan.

Table 2.4 Kriteria evaluasi kesesuaian lahan yang digunakan dalam penelitian (Sys, 1993; Ritung *et al.*, 2011)

Karakteristik lahan	Kelas, derajat pembatas dan skala				
	S1		S2	S3	N
	0	1	2	3	4
	100	95	85	60	40
a. Kopi arabika (<i>Coffea arabica</i>)					
Rerata curah hujan tahunan (mm)	1500-1600 1500-1400	1600-1800 1400-1200	1800-2000 1200-1000	> 2000 1000-800	< 800
Rerata suhu tahunan (°c)	19 - 18 19 - 20	18 - 16 20 - 22	16 - 15 22 - 24	15 - 14 24 - 26	< 14 > 26
Kemiringan lereng (%)	0 - 1 0 - 2 0 - 4	1 - 2 2 - 4 4 - 8	2 - 4 4 - 8 8 - 16	4 - 6 8 - 16 16 - 30	> 30
Tekstur tanah	C<60s, Co, SiCl, CL	C>60, SC, L	SCL	SL, LfS	Cm, SiCm, LS, LcS, cS, fS
Kedalaman tanah	> 200	200 - 150	150 - 100	100 - 50	< 50
KTK (cmol (+) / kg)	> 24	24 - 16	< 16	-	-
Kejenuhan basa (%)	> 80	80 - 50	50 - 35	35 - 20	-
Jumlah basa-basa (cmol (+) / kg)	> 6.5	6.5 - 4	4 - 2.8	2.8 - 1.6	-
pH H2O	6 - 5.8 6 - 6.2	5.8 - 5.6 6.2 - 6.6	5.6 - 5.4 6.6 - 7.4	5.4 - 5.2 7.4 - 7.8	> 7.8
Bahan organik tanah	> 2.4	2.4 - 1.2	1.2 - 0.8	< 0.8	-
b. Kakao (<i>Theobroma cacao L.</i>)					
Rerata curah hujan tahunan (mm)	1900-1800 1900-2000	1800-1600 2000-2500	1600-1400 2500-3500	1400-1200 3500-4400	< 1200 >4400
Rerata suhu tahunan (°c)	26 - 25 26 - 28	25 - 23 28 - 29	23 - 22 29 - 30	22 - 21	< 21 > 30
Kemiringan lereng (%)	0 - 1 0 - 2 0 - 4	1 - 2 2 - 4 4 - 8	2 - 4 4 - 8 8 - 16	4 - 6 8 - 16 16 - 30	>30
Tekstur tanah	C<60s, Co, SiCl, CL	C>60s, SC, L	SCL, C<60v	C>60v, LfS, SL	Cm, SiCm, LS, LcS, cS, fS, S
Kedalaman tanah (cm)	> 200	200 - 150	150 - 100	100 - 50	< 50

Lanjutan Tabel 2.4

Karakteristik lahan	Kelas, derajat pembatas dan skala				
	S1		S2	S3	N
	0	1	2	3	4
	100	95	85	60	40
b. Kakao (<i>Theobroma cacao</i> L.)					
KTK (cmol (+) / kg)	> 24	24 - 16	< 16	-	-
Kejenuhan basa (%)	> 50	50 - 35	35 - 20	< 20	-
Jumlah basa-basa (cmol (+) / kg)	> 6.5	6.5 - 4	4 - 2.8	2.8 - 1.6	-
pH H ₂ O	6.4 - 6.2	6.2 - 6.0	6.0 - 5.5	5.5 - 5.0	-
	6.4 - 6.6	6.6 - 7.0	7.0 - 7.6	7.6 - 8.2	> 8.2
Bahan organik tanah	> 2.4	2.4 - 1.5	1.5 - 0.8	< 0.8	-
c. Cengkeh (<i>Eugenia aromatica</i> L.)					
Rerata curah hujan tahunan (mm)	1900-1800	1800-1600	1600-1400	1400-1200	< 1200
	1900-2000	2000-2500	2500-3500	3500-4400	>4400
Rerata suhu tahunan (°C)	26 - 25	25 - 23	23 - 22	22 - 21	< 21
	26 - 28	28 - 29	29 - 30		> 30
Kemiringan lereng (%)	0 - 1	1 - 2	2 - 4	4 - 6	>30
	0 - 2	2 - 4	4 - 8	8 - 16	
	0 - 4	4 - 8	8 - 16	16 - 30	
Tekstur tanah	C<60s, Co, SiCl, CL	C>60s, SC, L	SCL, C<60v	C>60v, LfS, SL	Cm, SiCm, LS, LcS, cS, fS, S
Kedalaman tanah (cm)	> 200	200 - 150	150 - 100	100 - 50	< 50
KTK (cmol (+) / kg)	> 24	24 - 16	< 16	-	-
Kejenuhan basa (%)	> 50	50 - 35	35 - 20	< 20	-
Jumlah basa-basa (cmol (+) / kg)	> 6.5	6.5 - 4	4 - 2.8	2.8 - 1.6	-
pH H ₂ O	7.4 - 7.2	7.2 - 6.0	6.0 - 5.5	5.5 - 5.0	-
	7.4 - 7.6	7.6 - 7.0	7.0 - 7.6	7.6 - 8.2	> 8.2
Bahan organik tanah	> 2.4	2.4 - 1.5	1.5 - 0.8	< 0.8	-

Lanjutan Tabel 2.4

Karakteristik lahan	Kelas, derajat pembatas dan skala				
	S1		S2	S3	N
	0	1	2	3	4
	100	95	85	60	40
d. Lada (<i>Piper nigrum</i> LINN)					
Rerata curah hujan tahunan (mm)	2400-2300 2400-2500	2300-2200 2500-2800	2200-2000 2800-3000	2000-1500 3000-4000	< 1500 >4400
Rerata suhu tahunan (°c)	28 - 27 28 - 30	27 - 25 30 - 31	25 - 23 31 - 32	23 - 20 33 - 34	< 20 > 34
Kemiringan lereng (%)	0 - 1 0 - 2 0 - 4	1 - 2 2 - 4 4 - 8	2 - 4 4 - 8 8 - 16	4 - 6 8 - 16 16 - 30	>30
Tekstur tanah	C<60s, Co, SiCl, CL	C>60s, SC, L	SCL, C<60v	C>60v, LfS, SL	Cm, SiCm, LS, LcS, cS, fS, S
Kedalaman tanah (cm)	> 200	200 - 150	150 - 100	100 - 50	< 50
KTK (cmol (+) / kg)	> 24	24 - 16	< 16	-	-
Kejenuhan basa (%)	> 50	50 - 35	35 - 20	< 20	-
Jumlah basa-basa (cmol (+) / kg)	> 6.5	6.5 - 4	4 - 2.8	2.8 - 1.6	-
pH H ₂ O	7.4 - 7.2 7.4 - 7.6	7.2 - 6.0 7.6 - 7.0	6.0 - 5.5 7.0 - 7.6	5.5 - 5.0 7.6 - 8.2	- > 8.2
Bahan organik tanah	> 2.4	2.4 - 1.5	1.5 - 0.8	< 0.8	-
e. Kemiri (<i>Aleuriteus moluccana</i> WILLD)					
Rerata curah hujan tahunan (mm)	1800-1600 1800-2000	1500-1200 2000-2500	1200-1000 2500-3000	1000-800 3000-4000	< 800 >4000
Rerata suhu tahunan (°c)	25 - 24 25 - 26	23 - 22 26 - 27	23 - 21 28 - 32	20 - 18 33 - 34	< 18 > 34
Kemiringan lereng (%)	0 - 1 0 - 2 0 - 4	1 - 2 2 - 4 4 - 8	2 - 4 4 - 8 8 - 16	4 - 6 8 - 16 16 - 30	>30
Tekstur tanah	C<60s, Co, SiCl, CL	C>60s, SC, L	SCL, C<60v	C>60v, LfS, SL	Cm, SiCm, LS, LcS, cS, fS, S

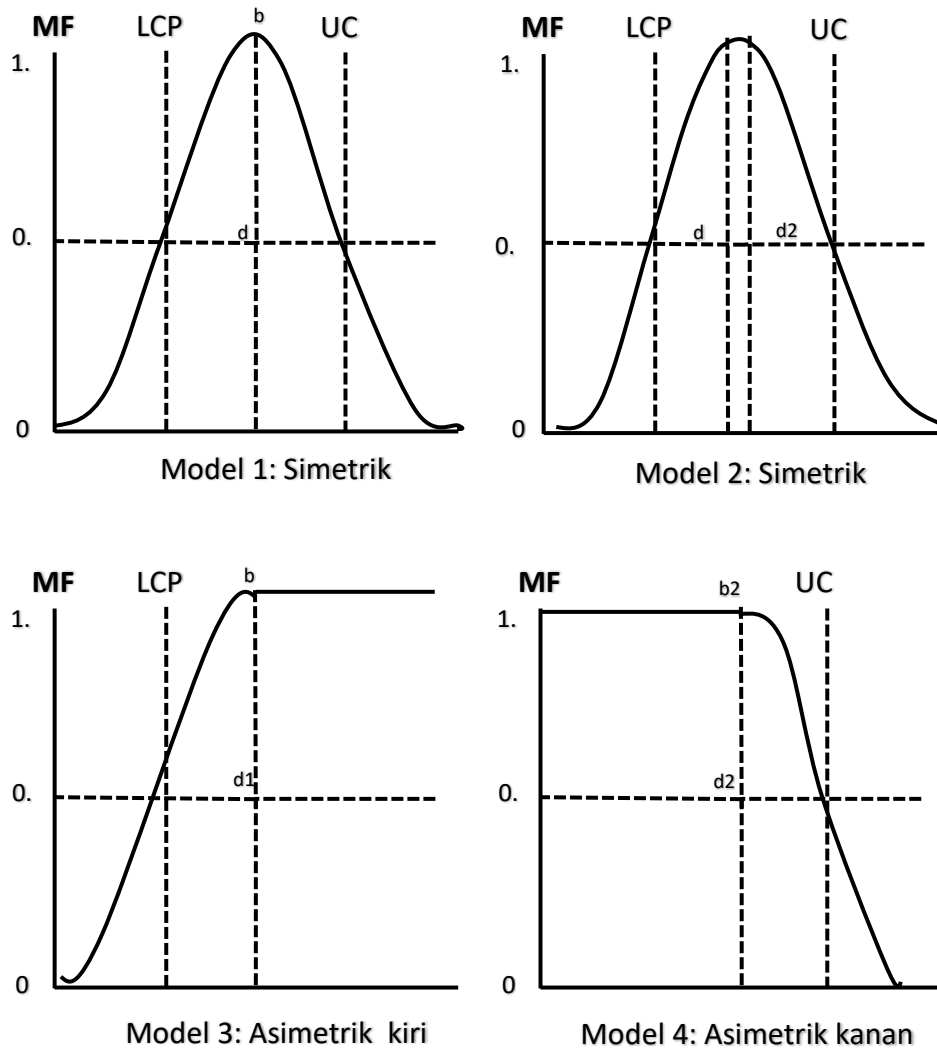
Lanjutan Tabel 2.4

Karakteristik lahan	Kelas, derajat pembatas dan skala				
	S1		S2	S3	N
	0	1	2	3	4
	100	95	85	60	40
Kemiri (<i>Aleuriteus moluccana</i> WILLD)					
Kedalaman tanah (cm)	> 200	200 - 150	150 - 100	100 - 50	< 50
KTK (cmol (+) / kg)	> 24	24 - 16	< 16	-	-
Kejenuhan basa (%)	> 50	50 - 35	35 - 20	< 20	-
Jumlah basa-basa (cmol (+) / kg)	> 6.5	6.5 - 4	4 - 2.8	2.8 - 1.6	-
pH H ₂ O	7.4 - 7.2	7.2 - 6.0	6.0 - 5.5	5.5 - 5.0	-
	7.4 - 7.6	7.6 - 7.0	7.0 - 7.6	7.6 - 8.2	> 8.2
Bahan organik tanah	> 2.4	2.4 - 1.5	1.5 - 0.8	< 0.8	-

2.2.4 Penilaian kesesuaian lahan

Evaluasi kesesuaian lahan adalah upaya penilaian atau penafsiran kinerja suatu lahan bila digunakan untuk suatu penggunaan tertentu yang bertujuan untuk menyajikan suatu dasar atau kerangka rasional dalam pengambilan keputusan penggunaan lahan yang tepat dan didasarkan atas hubungan antara persyaratan penggunaan lahan dengan karakteristik lahan itu sendiri dengan memberikan perkiraan masukan yang diperlukan dan proyeksi luaran yang diharapkan (Ramli, 2008).

Penilaian kesesuaian lahan dalam penelitian ini mengimplementasikan pendekatan *fuzzy*. Fungsi *set fuzzy* dapat menganalisis karakteristik lahan secara berkelanjutan tanpa mengategorikan mereka ke dalam kelas yang berbeda. Dalam analisis *fuzzy*, nilai atribut lahan dikonversi menjadi nilai berkelanjutan mulai dari nol hingga satu. Tujuan penggunaan *fuzzy set* dalam evaluasi kesesuaian lahan adalah memberikan solusi atas kendala yang dibuat oleh logika Boolean yang hanya menggunakan klasifikasi biner meliputi “sesuai” atau “tidak sesuai”. Metode *fuzzy* dalam penelitian ini mengacu pada model impor semantik (SIM) yang digunakan secara luas seperti pada penelitian yang dilakukan Baja (2014). Secara umum teori *fuzzy set* terdiri atas empat model kurva S seperti yang dijabarkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Model *fuzzy set* untuk kesesuaian lahan (Baja, 2012)

Berdasarkan pada Gambar 2.2 diketahui bahwa terdapat beberapa nilai parameter model yang penting seperti; b yang merupakan nilai suatu atribut lahan pada titik ideal, *lower crossover* (LCP) dan *upper crossover* (UCP) merupakan ambang/margin bawah dan atas suatu atribut lahan didasarkan pada kondisi dimana atribut lahan dianggap berada di tingkat kritis untuk produktifitas tanaman tertentu, dan d yang merupakan lebar zona transisi didasarkan pada nilai optimal yang dikurangi dengan nilai ambang batas. Titik optimal pada fungsi *fuzzy* model 1 digunakan untuk menilai atribut lahan yang memiliki satu titik ideal tapi memiliki dua titik ambang batas yaitu atas dan bawah. Berbeda dengan fungsi *fuzzy* model 1, fungsi *fuzzy* model 2 memiliki titik optimal yang terdiri dari rentang nilai dari titik b_1 - b_2 , sehingga dapat dibagi menjadi dua model asimetris. Pada fungsi *fuzzy* model 3 dapat diinterpretasikan bahwa nilai atribut suatu lahan

semakin tinggi maka akan semakin baik. Pada model ini, atribut lahan hanya memiliki satu titik optimum dengan titik ambang batas bawah sebagai margin. Karakteristik lahan pada fungsi *fuzzy* model 4 diinterpretasikan bahwa semakin kecil nilai suatu karakteristik lahan maka semakin baik, seperti pada tingkat kemiringan lereng.

Berdasarkan kriteria evaluasi di Tabel 2.4, serta model fungsi *fuzzy* Gambar 2.2 dan karakteristik lahan pada lokasi penelitian, disusun control poin yang digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian lahan seperti yang ditampilkan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Titik control yang digunakan dalam pemodelan *fuzzy* (Sys, 1993; Ritung *et al.*, 2011)

Komoditas	Material	LCP	b	d1	UCP	d2	Model Fuzzy
Kopi	pH H ₂ O	5.2	5.8-6.6	1.4	7.4	0.8	Model 2
	Jumlah basa-basa	2.8	6.5	3.7			Model 3
	Kejenuhan basa	35	50	15			Model 3
	KTK	15	24	9			Model 3
	C-organik	0.8	2.5	1.7			Model 3
	Lereng		8		18	10	Model 4
	Rerata suhu tahunan	14	18-20	4	26	6	Model 2
	Rerata hujan tahunan	800	1400-1600	600	>2000	400	Model 2
	Kedalaman tanah	75	150	75			Model 3
	Tekstur tanah		0		2	2	Model 4
Kakao	pH H ₂ O	5.5	6-7	0.5	7.6	0.6	Model 2
	Jumlah basa-basa	2.8	6.5	3.7			Model 3
	Kejenuhan basa	20	35	15			Model 3
	KTK	15	24	9			Model 3
	C-organik	0.8	2.5	1.7			Model 3
	Lereng		8		18	10	Model 4
	Rerata suhu tahunan	21	26-28	5	30	2	Model 2
	Rerata hujan tahunan	1200	1800-2000	600	3000	1000	Model 2
	Kedalaman tanah	75	200	125			Model 3
	Tekstur tanah		0		2	2	Model 4
Cengkeh	pH H ₂ O	4	6-7	2	8	1	Model 2
	Jumlah basa-basa	2.8	6.5	3.7			Model 3
	Kejenuhan basa	35	50	15			Model 3
	KTK	15	24	9			Model 3
	C-organik	0.8	2.5	1.7			Model 3
	Lereng		8		18	10	Model 4
	Rerata suhu tahunan	21	26-28	5	30	2	Model 2
	Rerata hujan tahunan	1200	1800-2000	600	3000	1000	Model 2
	Kedalaman tanah	75	200	100			Model 3
	Tekstur tanah		0		2	2	Model 4

Lanjutan Tabel 2.5

Komoditas	Material	LCP	b	d1	UCP	d2	Model Fuzzy
Lada	pH H ₂ O	4	6-7	2	8	1	Model 2
	Jumlah basa-basa	2.8	6.5	3.7			Model 3
	Kejenuhan basa	35	50	15			Model 3
	KTK	15	24	9			Model 3
	C-organik	0.8	2.5	1.7			Model 3
	Lereng		8		18	10	Model 4
	Rerata suhu tahunan	19	24-26	5	30	4	Model 2
	Rerata hujan tahunan	1000	1600-1900	600	3000	1100	Model 2
	Kedalaman tanah	50	150	100			Model 3
	Tekstur tanah		0		2	2	Model 4
Kemiri	pH H ₂ O	5	6.5-7	1.5	8	1	Model 2
	Jumlah basa-basa	2.8	6.5	3.7			Model 3
	Kejenuhan basa	35	50	15			Model 3
	KTK	15	24	9			Model 3
	C-organik	0.8	2.5	1.7			Model 3
	Lereng		8		18	10	Model 4
	Rerata suhu tahunan	18	25-28	7	34	6	Model 2
	Rerata hujan tahunan	1000	1800-2000	800	3000	1000	Model 2
	Kedalaman tanah	50	100	50			Model 3
	Tekstur tanah		0		2	2	Model 4

Titik optimal (b) dan ambang batas sangat mempengaruhi nilai/indeks kesesuaian lahan di akhir. Titik b didasarkan pada kondisi dimana atribut lahan memiliki kinerja paling optimal sedangkan titik LCP dan UCP didasarkan pada kondisi dimana atribut lahan dianggap berada di tingkat kritis untuk produktifitas tanaman tertentu. Nilai b dan ambang batas (LCP dan UCP) dipadankan dengan nilai optimal dan marginal yang ada pada panduan evaluasi lahan (Tabel 2.4). Lebar zona transisi (d) merupakan nilai ideal dikurangi dengan nilai ambang batas. Berikut merupakan deskripsi parameter model untuk setiap atribut lahan yang digunakan sebagai kriteria evaluasi.

pH tanah. pH ideal untuk pertumbuhan kelima komoditas pertanian yang dianalisis adalah netral. Model yang digunakan adalah model 2 dengan dua titik optimal (lihat Tabel 2). pH tanah diseluruh wilayah penelitian bersifat asam dengan nilai 4.2 sampai 6 sehingga meskipun terdapat batas atas yang ditetapkan dalam titik kontrol penelitian, namun batas atas itu tidak di masukkan dalam penilaian fungsi *fuzzy*.

Jumlah basa-basa. Kation basa yang termasuk dalam atribut jumlah basa-basa adalah Ca, Mg, K, dan Na. Berdasarkan panduan evaluasi oleh Sys *et al.* (1993) jumlah basa-basa yang ideal untuk pertumbuhan tanaman adalah > 6.5 cmol/kg, sedangkan nilai minimum yang harus dipenuhi sebesar 2.8 cmol/kg.

Berdasarkan kriteria ini jumlah basa-basa menggunakan model asimetris kiri (model 3), yang berarti lebih besar lebih baik.

Kejuhan basa. Persentase kejuhan basa mempengaruhi perbedaan ketersediaan nutrisi pada tanah. Berdasarkan panduan evaluasi oleh Ritung *et al.* (2011) juga Sys (1993), semakin besar persentase kejuhan basa maka semakin baik bagi pertumbuhan tanaman sehingga model yang paling tepat untuk digunakan pada atribut tanah kejuhan basa adalah model asimetris kiri (model 3) semakin besar semakin baik dengan titik ideal (b) sebesar > 50 dan ambang batas bawah sebesar 35.

Kapasitas tukar kation (KTK). KTK mempengaruhi penyimpanan dan pelepasan nutrisi untuk pertumbuhan tanaman (Journal & Agriculture, 2013). Penilaian KTK hanya dilakukan pada tanah lapisan atas seperti yang dilakukan oleh Baja (2012) dan Grover *et al.* (2000). Semakin besar jumlah KTK maka semakin baik pertumbuhan tanaman oleh karenanya dalam fungsi *fuzzy*, KTK menggunakan model asimetris kiri (model 3). Berdasarkan panduan evaluasi lahan oleh Sys *et al.* (1993) nilai ideal KTK tanaman adalah > 24 sedangkan nilai minimum sebesar 15.

Bahan organik tanah. Sama seperti KTK, C-organik tanah hanya di analisis pada lapisan tanah atas. Semakin besar persentase bahan organik, maka semakin baik pertumbuhan tanaman sehingga dalam fungsi *fuzzy* menggunakan model asimetris kiri (model 3) dengan nilai ideal > 2.5 .

Lereng. Dalam pertanian, kemiringan lereng merupakan faktor yang penting diperhatikan saat penyiapan lahan pertanian. Kemiringan lereng berpengaruh pada variabilitas kualitas tanah (Kravchenko & Bullock, 2000). Lahan dengan kemiringan lereng yang tinggi lebih mudah terganggu. Faktor kemiringan tanah dapat mengontrol pergerakan material tanah dan pergerakan air sehingga secara spasial berkontribusi pada perbedaan kualitas tanah (Tsui, Chen, & Hsieh, 2004). Tanah dengan kemiringan lebih besar lebih mudah tererosi yang mengakibatkan unsur hara tanah ikut terbawa oleh erosi. Lereng yang curam dan panjang membuat kecepatan aliran permukaan meningkat. Secara umum erosi meningkat dengan meningkatnya kemiringan lereng. Dalam fungsi *fuzzy*, kemiringan lereng menggunakan model asimetris kanan yang berarti lebih kecil lebih baik. Kemiringan lereng yang ideal untuk budidaya tanaman adalah $< 8\%$, dengan kemiringan maksimal yang dapat ditoleransi adalah 18 %.

Kedalaman tanah. Kelima komoditas perkebunan yang dinilai memiliki akar yang tebal dan panjang, dimana panjang akarnya bisa mencapai 150 cm, sehingga membutuhkan tanah yang dalam (Jiska *et al.* 2015). Oleh karena itu,

model asimetris kiri (lebih besar lebih baik) sangat tepat untuk menilai kedalaman tanah. Kedalaman tanah yang ideal ditetapkan sebesar 100 cm atau lebih dengan batas bawah sebesar 50 cm.

Tekstur tanah. Tekstur tanah didasarkan dari kelas struktur tekstur. Parameter model yang dipilih didasarkan dari derajat pembatas dimana derajat pembatas nol sebagai nilai optimal dan derajat pembatas dua sebagai batas atas (UCP).

Rerata suhu tahunan. Fungsi *fuzzy* untuk parameter rerata suhu menggunakan model 2. Titik ideal berkisar antara 18 hingga 20 °C sedangkan nilai batas bawah sebesar 14 °C dan nilai batas atas sebesar 26 °C untuk komoditas kopi. Nilai suhu optimal untuk pertumbuhan kakao berkisar antara 26 hingga 28 °C dengan batas bawah sebesar 25 °C dan batas atas sebesar 34 °C. Untuk pertumbuhan cengkeh, suhu optimal berkisar antara 25 hingga 28 °C dengan batas bawah sebesar 20 °C dan batas atas sebesar 33 °C.

Pada bagian pendahuluan telah disebutkan bahwa metode *fuzzy* memiliki tiga tahapan utama; tahap pertama adalah fuzzifikasi dengan mengubah nilai nyata kualitas lahan menjadi nilai *fuzzy*, tahap kedua adalah inferensi *fuzzy* dengan memilih aturan yang digunakan dalam metode *fuzzy* terbagi menjadi dua jenis yaitu aturan inferensi dasar dan MCDM, dan tahap ketiga adalah defuzzifikasi yaitu proses memetakan himpunan *fuzzy* menjadi batas tegas. Dari langkah dasar tersebut kesesuaian lahan dalam penelitian ini dianalisis dengan langkah berikut:

1. Memilih variable dan menentukan kriteria evaluasi. Variable dalam penelitian ini ditentukan dengan metode total data set (TDS). Berdasarkan pendapat Ranjbar *et al.* (2016), Metode yang paling akurat untuk mengevaluasi kualitas lahan adalah dengan tidak mengurangi dimensi data sehingga meskipun teknik PCA diimplementasikan dalam penelitian, seluruh data tetap digunakan sebagai pertimbangan
2. Membentuk faktor/variabel baru dari atribut lahan yang telah dipertimbangkan untuk dimasukkan dalam penilaian kesesuaian lahan.
3. Standarisasi nilai keanggotaan tiap atribut lahan. Ditahap ini, nilai keanggotaan dari masing-masing atribut lahan distandardisasi menggunakan rentang angka nol hingga satu. Nilai keanggotaan tiap atribut lahan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1, 2.1, 2.3, dan 2.4.

$$MF(x_i) = [1 / (1 + \{(x_i - b) / d\}^2)] \quad (2.1)$$

$$MF(x_i) = 1 \text{ jika } (b_1 + d_1) \leq x_i \leq (b_2 - d_2) \quad (2.2)$$

$$MF(x_i) = 1, \text{ jika } x_i > b \quad (2.3)$$

$$MF(x_i) = 1, \text{ jika } x_i < b \quad (2.4)$$

Dimana:

- MF(xi) : nilai keanggotaan individu untuk sifat tanah x,
 b : nilai atribut tanah pada titik ideal atau indeks standar
 xi : nilai sifat tanah x
 d : nilai sifat tanah x dikurangi nilai indeks standar

Analisis variabel tanah selain KTK dan C-organik, dan kedalaman tanah dilakukan pada dua lapisan tanah diseluruh sistem lahan, sehingga standarisasi keanggotaan tiap variabel tanah selain KTK dan C-organik dan kedalaman tanah dihitung menggunakan persamaan 2.5.

$$\pi_i = \sum_{j=1}^m MF(x_{ij})/m \quad (2.5)$$

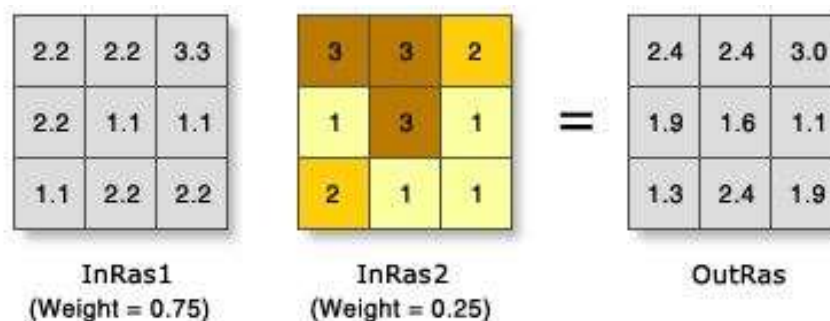
Dimana :

- π_i : nilai standarisasi atribut tanah x pada setiap sistem lahan
 MF (xi) : nilai keanggotaan individu untuk sifat tanah x
 j : lapisan tanah ke-j
 m : jumlah lapisan tanah yang dipertimbangkan

4. Menghitung nilai keanggotaan gabungan (JMF) dari seluruh faktor yang diperhitungkan dalam evaluasi kesesuaian lahan. Penentuan faktor, bobot faktor dan juga bobot masing-masing atribut lahan akan dibahas khusus dalam bagian 2.2.5 dibawah. Nilai keanggotaan gabungan dari faktor yang diperhitungkan dihitung menggunakan persamaan 2.6.

$$JMF (X_{i, \dots, z}) = \sum_{i=1}^n w (\pi_i) \quad (2.6)$$

5. Menghitung indeks kesesuaian lahan untuk lima tanaman perkebunan yang dianalisis. Sebelum menghitung indeks kesesuaian lahan, seluruh faktor (nilai JMF) yang merupakan data vektor diubah ke dalam bentuk raster. Indeks kesesuaian lahan dihitung menggunakan *Fuzzy Weighted Sum* pada aplikasi Idrisi. Ini prinsipnya sama pada perhitungan nilai JMF. Nilai setiap pixel dalam satu faktor dikalikan dengan bobot faktornya kemudian menjumlahkan dengan hasil perkalian pixel pada faktor lainnya dengan bobot faktornya. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ilustrasi perhitungan LSI

Nilai dari kedua input raster di sel kiri pertama ($2.2 * 0.75$) = 1.65 dan ($3 * 0.25$) = 0.75. Jumlah dari 1.65 and 0.75 is 2.4.

2.2.5 Faktor, bobot faktor dan bobot atribut lahan

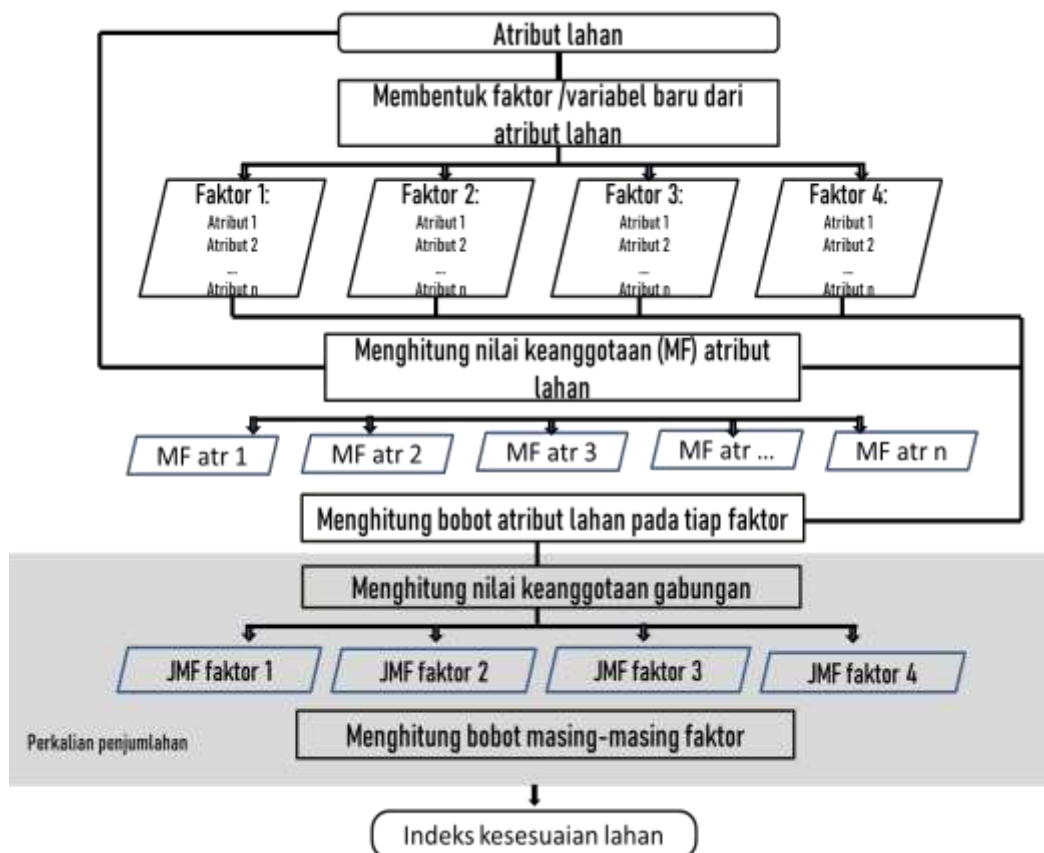
Untuk membentuk suatu variabel baru, analisis faktor dilakukan pada atribut-atribut lahan dengan menggunakan prinsip component analysis (PCA) menggunakan aplikasi SPSS. PCA mengelompokkan atribut-atribut lahan yang dianggap memiliki karakteristik sama menjadi satu faktor/variabel baru (Pearson,1901; Hotelling,1933). Dalam beberapa penelitian, PCA memang digunakan sebagai teknik reduksi data. Namun karena penelitian ini menggunakan prinsip total data set maka tidak ada pengurangan atribut tanah. Penelitian ini menggunakan PCA untuk menganalisis korelasi antara atribut tanah dan kemudian mengklasifikasikan menjadi faktor baru tanpa mengurangi dimensi data. Ini dicapai dengan membuat variabel baru yang tidak berkorelasi yang secara berturut-turut memaksimalkan varians. Sebagai produk sampingan, interpretasi data yang lebih baik diperoleh. Komponen PCA yang dipertahankan adalah yang memiliki satu atau lebih nilai eigen (lihat Gambar 2.7). Jumlah indikator untuk setiap komponen atau faktor akan sama dengan jumlah indikator lahan yang dianalisis, namun setiap komponen/faktor hanya akan mempertahankan satu atau lebih indikator dengan pembebanan maksimum yang sesuai. Varians dari masing-masing komponen/faktor akan menjelaskan seberapa besar kontribusi komponen dalam menjelaskan data secara keseluruhan, sedangkan loading menjelaskan seberapa besar korelasi antara indikator dan komponen (Armenise *et al.*, 2013; Mukherjee & Lal, 2014). Pada prinsipnya, PCA akan menghasilkan komponen (faktor) sebanyak indikator yang dimasukkan dalam analisis. Namun, hanya faktor komponen yang memiliki nilai eigen > 1 yang dipertahankan untuk dimasukkan dalam analisis berikutnya. Berdasarkan aturan ini, empat faktor dipertahankan, masing-masing diberi label faktor 1, faktor 2, faktor 3 dan faktor 4. Faktor-faktor tersebut dapat didefinisikan sebagai korelasi setiap atribut tanah dengan komponennya. Faktor pertama mendefinisikan varians paling banyak, dan faktor terakhir mendefinisikan varians paling sedikit. Oleh karena itu, faktor pertama mendefinisikan bobot paling banyak, dan faktor terakhir mendefinisikan bobot yang paling sedikit. Berdasarkan hasil analisis PCA, empat faktor baru dimasukkan dalam penghitungan indeks kesesuaian lahan (LSI) (Gambar 2.7 dan Tabel 2.7)

Prioritas (bobot) tiap atribut lahan dihitung menggunakan fungsi linear sederhana dan merupakan rentang angka dari nol hingga satu. Bobot yang diberikan pada masing-masing faktor maupun atribut lahan dalam suatu faktor akan mempertimbangkan nilai component varians dan nilai faktor loading tiap atribut lahan. Bobot atribut lahan dihitung menggunakan persamaan 2.7 dan bobot faktor dihitung dengan persamaan 2.8.

$$W_i = \frac{|y_i|}{\sum |y|} \quad (2.7)$$

$$W_f = \frac{|m_i|}{\sum |m_i|} \times 100 \quad (2.8)$$

W_i merupakan bobot tiap indikator lahan, y_i merupakan faktor loading indikator lahan (i) dalam kelompok faktor (i), $\sum y$ merupakan jumlah faktor loading dari indikator lahan dalam kelompok faktor (i). W_f adalah bobot faktor (i) yang diikuti dalam penilaian kesesuaian lahan, m_i adalah persentase varians suatu faktor (i) dan $\sum m_i$ total varians dari faktor yang terbentuk. Kerangka kerja penilaian kesesuaian lahan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Kerangka kerja penilaian kesesuaian lahan

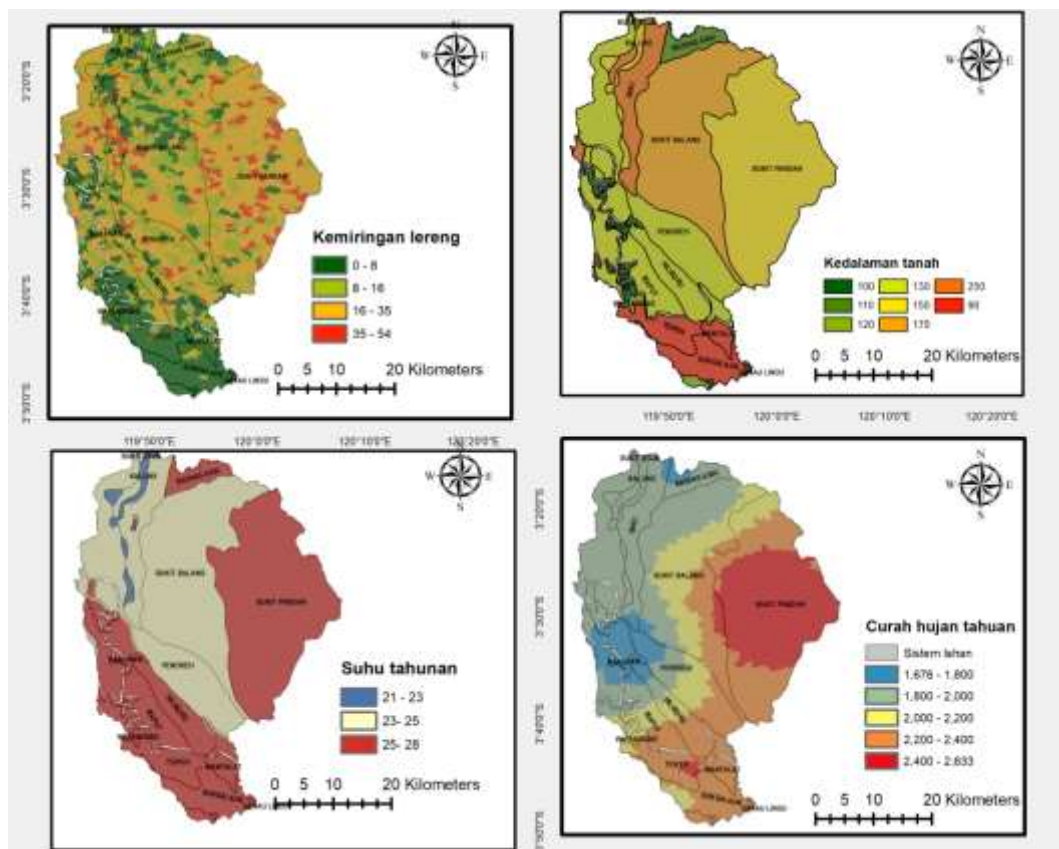
2.3 Hasil dan Pembahasan

2.3.1 Lokasi penelitian

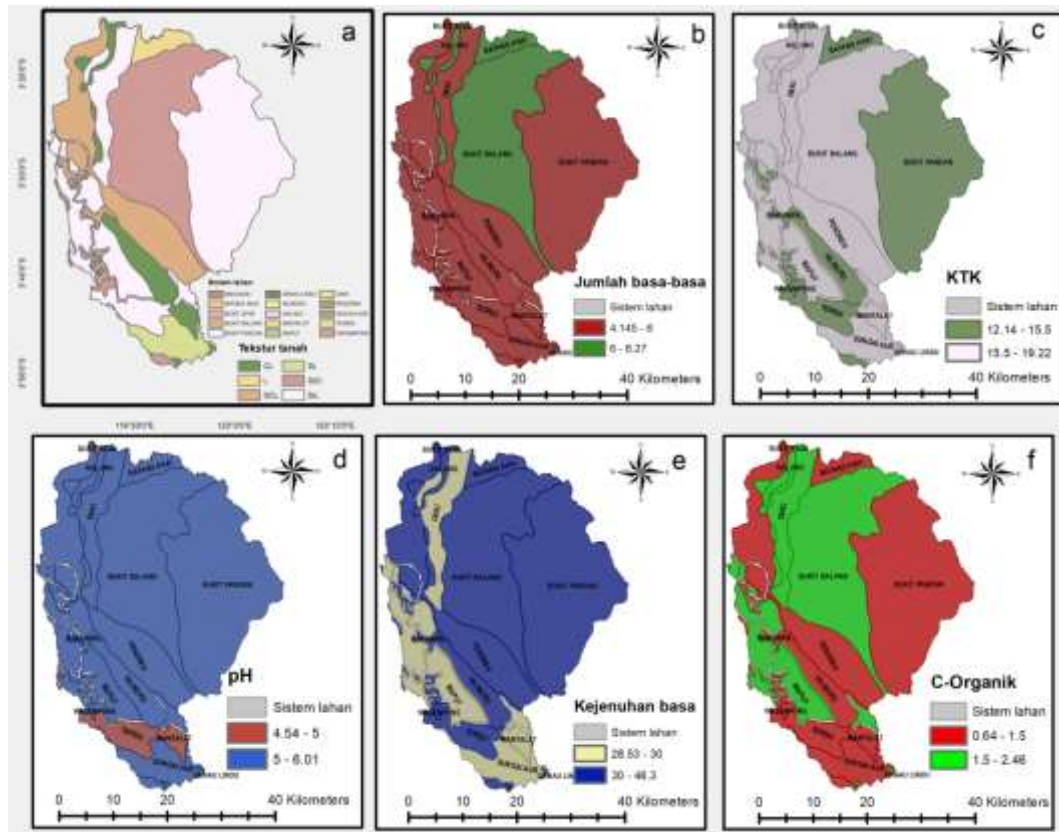
Daerah penelitian terletak di Kabupaten Enrekang yang berada pada $3^{\circ}14'36'' - 3^{\circ}50'0''$ LS dan $119^{\circ}40'53'' - 120^{\circ}6'33''$ BT dengan luas 1.786,01 km². Topografi terdiri dari dataran tinggi dan dataran rendah dengan jenis tanah hydromorphic, mediterania, dan podsolik serta beriklim tropis. Curah hujan tahunan rata-rata adalah 1553 mm/tahun, sedangkan suhunya adalah 23 °C. Secara umum morfologi Enrekang terdiri dari karst yang membujur dari utara ke tengah, lembah, dan sungai dan tidak memiliki laut.

2.3.2 Kualitas atribut lahan daerah penelitian

Kualitas lahan di lokasi penelitian ditunjukkan dalam Tabel 2.6 dan direpresentasikan pada Gambar 2.5 dan 2.6.



Gambar 2.5 Peta sebaran berbagai atribut lahan di lokasi penelitian (kedalaman tanah, rerata hujan, rerata suhu dan lereng)



Gambar 2.6 Peta sebaran berbagai kualitas tanah kabupaten Enrekang di lapisan tanah (KTK, kejenuhan basa, jumlah basa-basa, pH, tekstur dan bahan organik tanah)

Tabel 2.6 Deskripsi statistik atribut lahan pada lokasi penelitian

Variabel	Minimum Statistic	Maximum Statistic	Mean Statistic	S. E	Std. Deviation Statistic	Variance Statistic
pH H ₂ O	4.56	6.04	5.22	.12	0.46	0.21
Jumlah basa-basa	4.15	8.27	5.14	.27	1.05	1.11
Kejenuhan basa	28.54	46.30	33.96	1.41	5.48	30.01
KTK	12.14	19.22	15.66	.54	2.08	4.33
C-organik	0.64	2.46	1.42	.14	0.54	0.29
Lereng	2.00	58.00	13.27	1.96	7.58	57.50
Rerata suhu	21.00	28.00	26.07	.45	1.75	3.07
Rerata hujan	1676.00	2634.00	209.98	11.60	432.23	186.14
Tekstur tanah	0.00	2.00	0.80	.22	0.86	0.74
Kedalaman tanah	90.00	150.00	120.00	5.26	20.35	414.29

Kedalaman tanah. Kedalaman tanah daerah penelitian berkisar antara 90 -150 cm. Kedalaman tanah memiliki pengaruh signifikan terhadap indikator fisik tanah lainnya seperti bulk density, porosity, field capacity dan wilting point.

Pada Tabel 2.6 diketahui bahwa kedalaman tanah memiliki varians yang tinggi dan mengindikasikan bahwa variabilitas spasial kedalaman tanah tinggi pada lokasi penelitian. Hal ini disebabkan oleh variasi relief yang menyebabkan variasi spasial kedalaman tanah. Tanaman perkebunan memiliki akar yang tebal dan panjang yang bisa mencapai 150 cm, sehingga membutuhkan tanah yang dalam (Jiska *et al.* 2015). Tanah yang dangkal akan menghambat pertumbuhan akar, menghambat ketersediaan air dan menyebabkan masalah permeabilitas yang berpengaruh pada terjadinya banjir. Dalam pemilihan wilayah pengembangan, banjir dan kondisi drainase sangat penting untuk dipertimbangkan. Banjir dapat menyebabkan berbagai permasalahan termasuk pada lingkungan dan tanaman. Banjir mengakibatkan perubahan pada sifat kimia tanah terutama perubahan ukuran partikel sedimen, mengubah arah pertumbuhan akar, dan mengubah suhu permukaan tanah (Lee, Alday, Cho, Ju, & Marrs, 2014; Ponnampetuma, 1984). Tanaman yang diteliti adalah tanaman pertanian di lahan kering. Bagi tanaman di lahan kering, peningkatan muka air sangat mempengaruhi perakaran bahkan menyebabkan akar dalam mati (Lee *et al.*, 2014)

pH tanah. Berdasarkan hasil analisis laboratorium, tanah di lokasi penelitian bersifat asam dengan pH berkisar antara 4.56 hingga 6.04. pH tanah mempengaruhi pelarutan nutrisi pada tanah dan menyebabkan serapan nutrisi tanaman menjadi bervariasi (Scientist, Jones, & Olson-rutz, 2017). Skala pH tanah berkisar dari 0 hingga 14 dan 7 merupakan pH dimana jumlah hydrogen and hydroxyl ions seimbang dan disebut juga dengan pH netral (USDA). pH dan persentase saturasi dasar mempengaruhi perbedaan ketersediaan nutrisi pada tanah, saturasi dasar menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi pH tanah (Journal & Agriculture, 2013).

Bahan organik tanah. Bahan organik tanah terdapat di dalam atau dipermukaan tanah yang berasal dari dekomposisi makhluk hidup. Pada lokasi penelitian, bahan organik tanah berkisar antara 0.64 hingga 2.46 %, dengan rata-rata 1.42 %. Kandungan bahan organik tanah pada lokasi penelitian, tergolong rendah karena secara umum wilayah memiliki bahan organik kurang dari 2% (Grossman, 1996). Menurut Analysis (2002), kehilangan bahan organik tanah berbanding lurus dengan meningkatnya aktifitas kultivasi. Rendahnya kandungan bahan organik pada lokasi penelitian disebabkan oleh intensif penggunaan lahan pertanian. Petani terus menerus melakukan aktifitas pertanian sehingga kadar bahan organik tanah menurun untuk keperluan pertumbuhan tanaman. Bahan organik sangat mempengaruhi kualitas tanah sehingga penting meningkatkan bahan organik untuk memperbaiki kualitas tanah (Arévalo-gardini *et al.*, 2015; Science *et al.*, 2010).

Tekstur tanah. Tekstur tanah untuk pengembangan tanaman dilokasi penelitian secara umum memiliki derajat pembatas skala dari 0 hingga 2. Jenis texture tanah pada lokasi penelitian antara lain lempung berdebu, lempung berliat, liat lempung berpasir, liat lempung berdebu, lempung, liat, liat berpasir, dan lempung berpasir. Tekstur tanah berpengaruh terhadap kemampuan tanah untuk menyimpan dan melepaskan air dan nutrisi tanah. Dalam manajemen dan penilaian kesesuaian lahan, tekstur tanah adalah hal yang paling esensial (Ayorinde, Lawal, & Muibi, 2015). Tekstur merupakan salah satu kualitas tanah yang penting bagi pertumbuhan perakaran tanaman (Dexter, 2004). Produktivitas merupakan refleksi pengelolaan tanah yang dipengaruhi oleh texture, sehingga produktivitas akan lebih baik pada tanah dengan texture yang baik bagi tanaman (Arora, Singh, Sidhu, & Thind, 2011; Jalota *et al.*, 2010). Secara umum tanah liat mengandung lebih banyak nutrisi dan memiliki kapasitas penampungan air yang lebih baik dari tanah berpasir. Ketersediaan nutrisi dan air pada tanah liat membuat tanaman memiliki sistem perakaran yang baik. Tanah berpasir memiliki drainase yang baik. Dibandingkan dengan tanah berpasir dan tanah liat, tanah lempung dinilai memberikan hasil terbaik.

Kapasitas tukar kation (KTK). Kapasitas tukar kation (KTK) lokasi penelitian berkisar antara 12.14 hingga 19.22 cmol/kg. KTK mempengaruhi penyimpanan dan pelepasan nutrisi untuk pertumbuhan tanaman. Faktor utama yang mempengaruhi KTK adalah tekstur dan bahan organik tanah (Journal & Agriculture, 2013). Deforestasi dan kultivasi menjadi masalah besar dalam penurunan CEC (Saikh, Varadachari, & Ghosh, 1998). Hal ini juga dibuktikan dengan nilai CEC pada lahan terbuka relative lebih rendah, ini bisa disebabkan karena degradasi tanah meningkat di lahan terbuka.

Jumlah basa-basa. Jumlah basa-basa adalah unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman termasuk kalsium, magnesium dan kalium. Kalsium berperan dalam permeabilitas sel, magnesium berperan dalam pembentukan klorofil dan kalium berperan dalam berbagai proses fisiologi tanaman. Jumlah basa-basa pada daerah penelitian tergolong sedang dengan rentang nilai 4.15 hingga 8.27 cmol/kg.

Kejenuhan basa. Kejenuhan basa merupakan perbandingan antara jumlah basa (Ca, Mg, Na dan K) terhadap KTK oleh koloid tanah. Kejenuhan basa berbanding terbalik dengan jumlah basa-basa yang dipertukarkan, sehingga semakin banyak jumlah kation yang dipertukarkan, maka kejenuhan

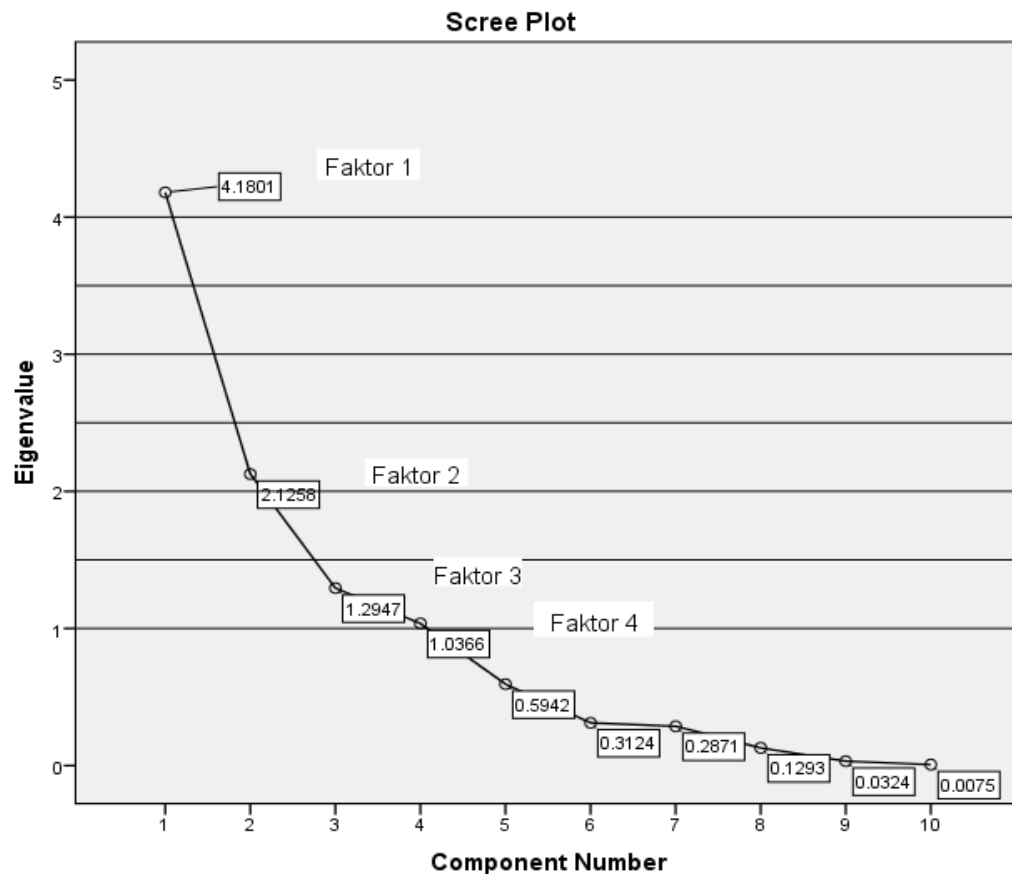
basa akan semakin kecil. Kejenuhan basa pada lokasi penelitian berkisar antara 28.54 hingga 46.30 %.

Kemiringan lereng. Kemiringan lereng lokasi penelitian berkisar antara 4 hingga lebih dari 50 %. Peta kemiringan lereng diperoleh dari ekstraksi citra DEM SRTM 30 m. Dalam pertanian, kemiringan lereng merupakan faktor yang penting diperhatikan saat penyiapan lahan pertanian. Kemiringan lereng berpengaruh pada variabilitas kualitas tanah (Kravchenko & Bullock, 2000). Lahan dengan kemiringan lereng yang tinggi lebih mudah terganggu. Faktor kemiringan tanah dapat mengontrol pergerakan material tanah dan pergerakan air sehingga secara spasial berkontribusi pada perbedaan kualitas tanah (Tsui *et al.*, 2004). Tanah dengan kemiringan lebih besar lebih mudah tererosi yang mengakibatkan unsur hara tanah ikut terbawa oleh erosi. Lereng yang curam dan panjang membuat kecepatan aliran permukaan meningkat.

Iklim. Pada lokasi penelitian rata-rata curah hujan tahunan cukup tinggi yaitu berkisar antara 1676 hingga 2634 mm/tahun dan suhu tahunan berkisar antara 21°C hingga 28 °C. Kesesuaian iklim pada tanaman didasarkan pada dua unsur dominan yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman yaitu curah hujan dan suhu. Variasi curah hujan dan suhu berdampak pada produksi (Sadiq, 2010). Curah hujan untuk tanaman harus terdistribusi dengan baik sepanjang tahun, dan curah hujan yang terlalu tinggi menyebabkan buah busuk. Suhu pada pertumbuhan tanaman berpengaruh pada pembentukan tunas muda serta pembungaan. Suhu yang terlalu rendah bagi suatu tanaman mengakibatkan gugur daun juga mengeringkan bunga, dan suhu yang terlalu tinggi mengakibatkan gugur bunga. Distribusi curah hujan, panjang bulan kering, dan temperatur merupakan faktor penting untuk kesesuaian iklim (Schroth, Läderach, Martinez-valle, Bunn, & Jassogne, 2016).

2.3.3 Variabel baru dan bobot parameter

Bobot parameter kualitas lahan dihitung berdasarkan nilai eigen dan total jumlah eigen tiap faktor yang terbentuk sedangkan bobot tiap faktor dihitung berdasarkan persentase varians tiap faktor dari hasil rotasi komponen matriks menggunakan analisis PCA. Semakin besar nilai faktor loading mengindikasikan bahwa kontribusi suatu variabel dalam suatu kelompok faktor juga besar dan semakin besar persentase varians suatu kelompok faktor mengindikasikan bahwa semakin besar kontribusi kelompok faktor itu terhadap keseluruhan data. Berdasarkan aturan yang ditetapkan, maka faktor yang dipertahankan sebanyak empat (Gambar 2.7). Hasil analisis faktor ditunjukkan dalam Tabel 2.7.



Gambar 2.7 Plot komponen faktor yang terbentuk

Tabel 2.7 Komponen matriks hasil analisis faktor

	Faktor			
	1	2	3	4
Nilai eigen	4.180	2.126	1.295	1.037
Komponen varians (%)	41.801	21.258	12.947	10.366
Faktor loading				
pH H ₂ O	-.071	.655	.594	.157
Jumlah basa-basa	.231	.671	.622	.095
Kejenuhan basa	.089	.115	.945	.106
KTK	.262	.871	-.194	-.071
C-organik	-.027	.830	.303	.060
Lereng	.898	.192	-.147	.069
Rerata suhu	.760	-.525	-.243	-.147
Rerata hujan	.695	.114	-.476	.361
Tekstur tanah	.018	.035	.131	-.974
Kedalaman tanah	.846	.019	.082	-.017

Extraction Method: Principal Component Analysis. Rotation Method: varimax with Kaiser Normalization.

Nilai yang di kotakkan adalah nilai loading faktor yang digunakan untuk menghitung bobot tiap variabel. Bobot variabel ditunjukkan dalam Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Bobot parameter penilaian kesesuaian lahan

	Faktor			
	1	2	3	4
Bobot faktor (wf)	0.48	0.25	0.15	0.12
Bobot variabel (w_i):				
Lereng	.28			
Rerata suhu	.24			
Rerata hujan	.22			
Kedalaman tanah	.26			
pH H ₂ O		.22		
Jumlah basa-basa		.22		
KTK		.29		
C-organik		.27		
Kejenuhan basa			1.00	
Tekstur tanah				1.00

Empat faktor yang dipertahankan untuk penilaian kesesuaian lahan. Bobot faktor merupakan bobot yang akan digunakan untuk menghitung nilai keanggotaan gabungan. Faktor-faktor tersebut dapat didefinisikan sebagai korelasi setiap atribut tanah dengan komponennya. Faktor pertama mendefinisikan varians tertinggi, dan faktor terakhir mendefinisikan varians terendah. Oleh karena itu, faktor pertama mendefinisikan bobot paling tinggi, dan faktor terakhir mendefinisikan bobot paling rendah.

Setiap atribut tanah memiliki nilai loading faktor terbesar yang sesuai dengan masing-masing dari 4 faktor. Misalnya, kemiringan berkorelasi 0.898 dengan faktor pertama, 0.192 dengan faktor kedua, -0.147 dengan faktor ketiga, dan 0.069 dengan faktor keempat. Setiap corresponding loading mewakili proporsi varians (R^2) yang dijelaskan oleh faktor tertentu. Kemiringan untuk faktor 1, $(0.898)^2 = 0.806$ atau 81% varians dijelaskan oleh komponen pertama. Selanjutnya $(0.192)^2 = 0.04$ atau 4% varians kemiringan dijelaskan oleh faktor kedua, dan seterusnya. Kemiringan memiliki korelasi yang lebih besar terhadap faktor 1 dibandingkan dengan faktor lainnya, kemudian kemiringan tersebut diklasifikasikan sebagai faktor 1. Hal ini juga berlaku untuk atribut lahan lainnya. Berdasarkan pembebanan maksimum yang sesuai dari masing-masing indikator

lahan pada masing-masing faktor: kemiringan lereng, curah hujan tahunan, suhu tahunan dikelompokkan menjadi faktor 1; pH, jumlah kation basa, KTK, C-organik menjadi faktor 2; saturasi basa ke faktor 3; Tekstur tanah merupakan faktor 4.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bobot indikator lahan (W_i) adalah hasil dari pembebanan yang sesuai dibagi dengan total pembebanan yang sesuai dengan atribut tanah yang diklasifikasikan dalam faktor tersebut. Di antara beberapa atribut tanah yang termasuk dalam faktor 1, kemiringan memiliki beban koresponden terbesar. Dengan demikian bobot kepentingan pada lereng lebih besar (0.28) dibandingkan dengan atribut tanah lainnya yang termasuk dalam faktor 1. Bobot total (W_i) masing-masing faktor adalah 1. Aturan ini juga berlaku untuk atribut tanah lainnya. Dari empat faktor tersebut, faktor satu memiliki bobot tertinggi dengan nilai 0.48. Faktor dua memiliki bobot 0.25 yang, sedangkan faktor 3 dan 4 memiliki bobot 0.15 dan 0.12. Bobot atribut lahan di masing-masing faktor dapat dilihat dalam Tabel 2.8.

Analisis PCA dilakukan untuk membantu memahami variable dengan mengelompokkan ke dalam satu kelompok yang dianggap memiliki sifat yang sama kemudian mengklasifikasikan menjadi faktor-faktor baru tanpa menguranginya. Ini dicapai dengan membuat variabel baru yang tidak berkorelasi yang secara berturut-turut memaksimalkan varians. Menurut Jolliffe dan Cadima (2016), PCA merupakan teknik adaptif yang mampu membuat beberapa variabel baru. Empat komponen utama (PC1, PC2, PC3 dan PC4) dengan nilai eigen lebih besar dari 1 diekstraksi. Teknik ini berhasil mereduksi sepuluh variabel menjadi empat komponen utama (kelompok variabel baru) dan menggambarkan 86,24% varian asli. Sahoo *et al.* (2021) juga menggunakan teknik PCA hanya untuk membangun variabel baru dari atribut tanah untuk penilaian kesesuaian lahan. Dalam penelitian ini, hasil analisis PCA selanjutnya digunakan untuk menentukan derajat kepentingan masing-masing komponen dan derajat kepentingan variabel dalam suatu komponen. Hal ini dilakukan dengan memanfaatkan nilai varians dari masing-masing komponen dan nilai loading factor dari masing-masing atribut tanah. Faktor 1 memiliki pembebanan yang kuat pada lereng, suhu rata-rata dan curah hujan, dan kedalaman tanah sedangkan faktor 2 memiliki pembebanan yang kuat pada pH, jumlah kation basa, bahan organik dan KTK. Kejenuhan basa dan tekstur tanah berturut-turut pada kelompok 3 dan 4. Berdasarkan varians, faktor 1 merupakan variabel yang paling penting dan diberi bobot paling tinggi dibandingkan dengan faktor lain yang menggambarkan 48% total data. Ayehu dan Atnafu (2015); Huynh dan Van

(2008) memberikan kepentingan terbesar untuk faktor fisik seperti curah hujan dan suhu. Di antara beberapa variabel yang memiliki korelasi tinggi dengan faktor 1, kemiringan dianggap paling penting dan paling besar pengaruhnya terhadap atribut-atribut lahan lainnya pada kelompok faktor 1 sehingga diberi bobot paling tinggi. Hal ini rasional, menurut penelitian Fan *et al.* (2020), kemiringan sangat berpengaruh terhadap iklim mikro tanah dan kualitas tanah. Faktor 2 dianggap tidak penting dari faktor 1 berdasarkan nilai varians yang hanya mempengaruhi 25% dari total data. Sebagai pertimbangan, faktor 2 terdiri dari sifat-sifat kesuburan tanah yang kekurangannya dapat diperbaiki dengan perlakuan tertentu sehingga bobotnya dapat dianggap memberikan nilai yang lebih rendah pada penilaian kesesuaian lahan. Misalnya, pada tanah dengan pH rendah, kesuburan dapat ditingkatkan dengan menambahkan kalsium hidroksida (Gentili *et al.*, 2018).

2.3.4 Nilai keanggotaan atribut lahan

Nilai keanggotaan seluruh atribut lahan disajikan dalam Tabel 2.9. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, nilai keanggotaan untuk pH, jumlah basa-basa, kejenuhan basa, dan tekstur tanah pada seluruh sistem lahan merupakan integrasi dari nilai keanggotaan atribut tanah di lapisan tanah atas dan bawah. Perlakuan yang sama untuk pengambilan sampel tanah juga dilakukan oleh Nurmiaty dan Baja (2014). Nilai keanggotaan mendefinisikan kualitas atribut individu pada kesesuaian lahan. Semakin besar nilai keanggotaan, semakin sesuai atribut individu dengan persyaratan tumbuh tanaman. Dalam penelitian ini data lereng dan hujan disajikan dalam bentuk raster, sehingga nilai keanggotaannya dilakukan dalam operasi berbasis sel menggunakan aplikasi Idrisi. Nilai keanggotaan sangat dipengaruhi oleh titik kontrol dan model *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian (Tabel 2.5). Titik kontrol yang dimaksud adalah nilai optimal (b), batas atas dan bawah (UCP dan LCP) dan lebar zona transisi (d). Berdasarkan pengalaman pengolahan data yang dilakukan, dapat diketahui bahwa ambang batas yang ditetapkan oleh peneliti (LCP dan UCP) menjadi hal yang sensitif yang mempengaruhi hasil nilai keanggotaan individu atribut lahan dan nilai kesesuaian akhir. Hal ini juga ditekankan oleh Qiu *et al.* (2014) bahwa ambang batas tidak dapat ditentukan secara sewenang-wenang dan harus didasarkan pada pengetahuan ahli tentang situasi tersebut. Titik kontrol yang digunakan akan berbeda sesuai dengan kebutuhan tanaman yang dianalisis.

Dalam penelitian ini, nilai keanggotaan pH, suhu dan hujan mengaplikasikan fungsi simetris (Model 2) sedangkan lereng dan tekstur tanah mengaplikasikan fungsi asimetrik kanan (Model 4), dan variabel lainnya menggunakan fungsi asimetrik kiri (Model 3). Beberapa properti dan model *fuzzy* untuk properti lahan yang sama juga digunakan oleh Baja (2002). Nilai keanggotaan mendefinisikan kualitas atribut individu terhadap kesesuaian tanaman yang dianalisis. Semakin besar nilai keanggotaan mengindikasikan semakin sesuai atribut individu tersebut terhadap tanaman yang dianalisis. Nilai keanggotaan individu dari seluruh atribut lahan untuk lima tanaman perkebunan yang dianalisis di sajikan dalam Tabel 2.9.

Nilai keanggotaan individu terdiri dari rentang angka 0 hingga 1. Jika suatu atribut tanah memiliki nilai keanggotaan 1 menunjukkan bahwa atribut tanah tersebut optimal untuk pertumbuhan suatu tanaman dan sebaliknya. Berdasarkan Tabel 2.9 diketahui bahwa beberapa atribut tanah berada di bawah nilai ambang batas toleransi yang ditetapkan seperti pada Tabel 2.9. Misalnya keanggotaan individu atribut tanah berupa pH, KTK, curah hujan rata-rata dan suhu tahunan kurang dari 0.4 untuk pertumbuhan tanaman kakao di satuan lahan Bukit Ayun. Hal ini menunjukkan bahwa pada satuan lahan Bukit Ayun sifat-sifat lahan tidak memenuhi syarat untuk tumbuh tanaman kakao. Secara umum atribut tanah untuk pertumbuhan tanaman kopi memiliki nilai keanggotaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman lainnya. Pada beberapa satuan lahan, nilai keanggotaan individu (untuk pertumbuhan tanaman kopi) sama dengan 1 yang menunjukkan kesesuaian yang optimal. Sebagai contoh, pada satuan lahan Pendreh dan Danau Lindu, atribut lahan seperti suhu, curah hujan dan kemiringan lereng memiliki kesesuaian yang optimal untuk pertumbuhan kopi dengan nilai keanggotaan individu lebih dari 0.9. Secara umum permasalahan yang dihadapi daerah penelitian adalah suhu, KTK dan kejenuhan basa dimana banyak satuan lahan memiliki nilai keanggotaan individu di bawah nilai ambang batas untuk pertumbuhan tanaman cengkeh. Sifat lahan untuk pertumbuhan tanaman lada dengan nilai keanggotaan individu kurang dari 0.4 hanya terdapat pada satuan lahan Bukit Balang, Bukit Ayun, Maput dan Watampone. Meskipun hanya beberapa sifat lahan yang memiliki nilai keanggotaan individu di bawah ambang batas, namun secara umum pertumbuhan tanaman cengkeh di lokasi penelitian belum mencapai kesesuaian optimal dengan nilai kurang dari 0.85 dan lebih dari 0.4.

Tabel 2.9. Nilai keanggotaan atribut lahan

Sistem lahan	Atribut lahan									
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Kakao										
Bukit Balang	0,68	0,98	0,87	0,55	0,73	0,71	1,00	0,76	0,28	0,37
Bukit Ayun	0,11	0,77	0,74	0,46	0,47	0,71	1,00	0,39	0,34	0,44
Pendreh	0,60	0,92	0,78	0,57	0,70	0,76	0,50	0,69	0,34	0,88
Batang Anai	0,62	0,96	0,98	0,46	0,70	0,66	1,00	0,59	0,50	0,80
Bukit Pandan	0,29	0,87	0,72	0,64	0,48	0,86	1,00	0,78	0,50	0,44
Okki	0,46	0,77	0,69	0,54	0,81	0,86	1,00	0,71	0,28	0,35
Kalung	0,99	1,00	0,98	0,78	1,00	0,86	0,50	0,47	0,41	0,25
Maput	0,20	0,80	0,69	0,55	0,78	0,76	1,00	0,97	0,41	0,60
Bakunan	0,22	0,36	0,79	0,37	0,71	0,61	0,50	1,00	0,61	0,68
Hiliboru	0,32	0,80	0,75	0,51	0,67	0,76	0,50	0,90	0,50	0,39
Teweh	0,14	0,71	0,74	0,41	0,71	0,66	0,80	0,85	0,74	0,88
Watampone	0,22	0,84	0,86	0,41	0,48	0,71	0,80	0,97	0,74	0,80
Sungai Aur	0,57	0,83	0,67	0,60	0,65	0,56	0,80	1,00	0,61	0,91
Danau Lindu	0,97	0,49	0,81	0,60	1,00	0,61	1,00	1,00	0,50	0,98
Mantalat	0,11	0,90	0,66	0,74	0,62	0,56	0,80	1,00	0,50	0,60
Cengkeh										
Bukit Balang	0,97	0,98	0,63	0,55	0,73	0,71	1,00	0,98	0,20	0,37
Bukit Ayun	0,66	0,77	0,41	0,46	0,47	0,71	1,00	0,50	0,25	0,44
Pendreh	0,96	0,92	0,48	0,57	0,70	0,76	0,50	1,00	0,25	0,88
Batang Anai	0,96	0,95	0,92	0,46	0,70	0,66	1,00	0,98	0,39	0,80
Bukit Pandan	0,87	0,87	0,40	0,64	0,48	0,86	1,00	0,97	0,39	0,44
Okki	0,91	0,77	0,36	0,54	0,81	0,86	1,00	0,99	0,20	0,35
Kalung	1,00	1,00	0,91	0,78	1,00	0,86	0,50	0,73	0,31	0,25
Maput	0,79	0,80	0,36	0,55	0,78	0,76	1,00	0,83	0,31	0,60
Bakunan	0,82	0,72	0,49	0,37	0,71	0,61	0,50	0,77	0,50	0,68
Hiliboru	0,88	0,80	0,43	0,51	0,67	0,76	0,50	0,65	0,39	0,39
Teweh	0,72	0,71	0,41	0,41	0,71	0,66	0,80	0,93	0,64	0,88
Watampone	0,81	0,84	0,61	0,41	0,48	0,71	0,80	0,83	0,64	0,80
Sungai Aur	0,96	0,83	0,34	0,60	0,65	0,56	0,80	0,72	0,50	0,91
Danau Lindu	1,00	0,97	0,52	0,60	1,00	0,61	1,00	0,72	0,39	0,98
Mantalat	0,67	0,90	0,33	0,74	0,62	0,56	0,80	0,72	0,39	0,60

Lanjutan Tabel 2.9

Sistem lahan	Atribut lahan									
	VI	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Lada										
Bukit Balang	0,97	0,98	0,63	0,55	0,73	0,92	1,00	0,98	0,34	0,37
Bukit Ayun	0,66	0,77	0,41	0,46	0,47	0,92	1,00	0,30	0,41	0,44
Pendreh	0,96	0,92	0,48	0,57	0,70	0,96	0,50	0,89	0,41	0,88
Batang Anai	0,96	0,95	0,92	0,46	0,70	0,86	1,00	0,70	0,61	0,80
Bukit Pandan	0,87	0,87	0,40	0,64	0,48	1,00	1,00	1,00	0,61	0,44
Okki	0,91	0,77	0,36	0,54	0,81	1,00	1,00	0,92	0,34	0,35
Kalung	1,00	0,81	0,91	0,78	1,00	1,00	0,50	0,45	0,50	0,25
Maput	0,79	0,80	0,36	0,55	0,78	0,96	1,00	0,91	0,50	0,60
Bakunan	0,82	0,72	0,49	0,37	0,71	0,80	0,50	0,84	0,74	0,68
Hiliboru	0,88	0,80	0,43	0,51	0,67	0,96	0,50	0,69	0,61	0,39
Teweh	0,72	0,71	0,41	0,41	0,71	0,86	0,80	0,99	0,86	0,88
Watampone	0,81	0,84	0,61	0,41	0,48	0,92	0,80	0,91	0,86	0,80
Sungai Aur	0,96	0,83	0,34	0,60	0,65	0,74	0,80	0,78	0,74	0,91
Danau Lindu	1,00	0,97	0,52	0,60	1,00	0,80	1,00	0,78	0,61	0,98
Mantalat	0,67	0,90	0,33	0,74	0,62	0,74	0,80	0,78	0,61	0,60
Kemiri										
Bukit Balang	0,76	0,98	0,63	0,55	0,73	1,00	1,00	0,79	0,50	0,37
Bukit Ayun	0,37	0,77	0,41	0,46	0,47	1,00	1,00	0,98	0,58	0,44
Pendreh	0,73	0,92	0,48	0,57	0,70	1,00	0,50	0,83	0,58	0,88
Batang Anai	0,74	0,96	0,92	0,46	0,70	1,00	1,00	0,88	0,75	0,80
Bukit Pandan	0,57	0,87	0,40	0,64	0,48	1,00	1,00	0,77	0,75	0,44
Okki	0,65	0,77	0,36	0,54	0,81	1,00	1,00	0,82	0,50	0,35
Kalung	0,91	1,00	0,91	0,78	1,00	1,00	0,50	0,94	0,66	0,25
Maput	0,49	0,80	0,36	0,55	0,78	1,00	1,00	0,65	0,66	0,60
Bakunan	0,52	0,72	0,49	0,37	0,71	1,00	0,50	0,61	0,84	0,68
Hiliboru	0,59	0,80	0,43	0,51	0,67	1,00	0,50	0,54	0,75	0,39
Teweh	0,43	0,71	0,41	0,41	0,71	1,00	0,80	0,73	0,92	0,88
Watampone	0,51	0,84	0,61	0,41	0,48	1,00	0,80	0,65	0,92	0,80
Sungai Aur	0,72	0,83	0,34	0,60	0,65	1,00	0,80	0,58	0,84	0,91
Danau Lindu	0,87	0,97	0,52	0,60	1,00	1,00	1,00	0,58	0,75	0,98
Mantalat	0,39	0,90	0,33	0,74	0,62	1,00	0,80	0,58	0,75	0,60

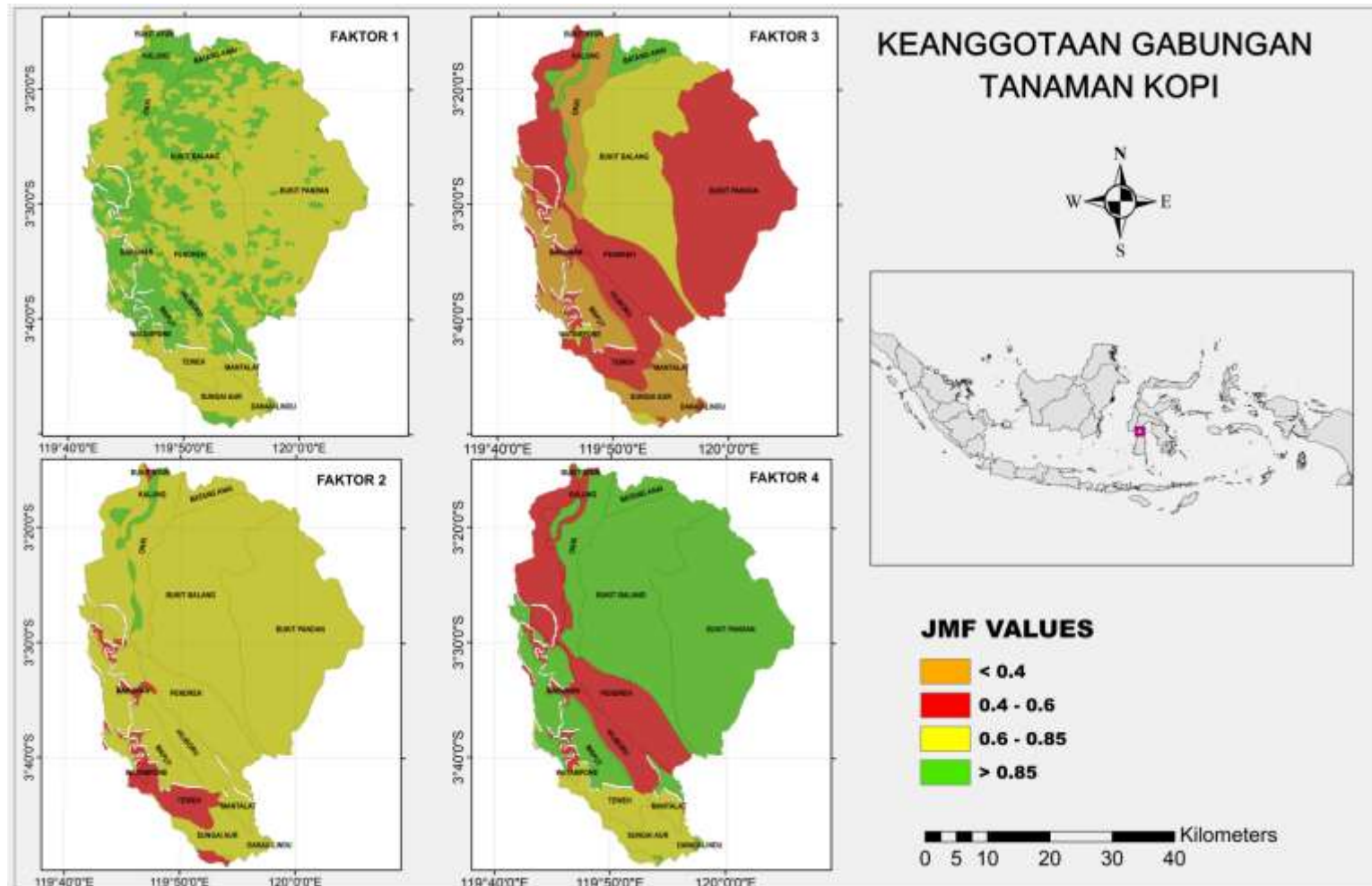
Lanjutan Tabel 2.9

Sistem lahan	Atribut lahan									
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Kopi										
Bukit Balang	0,90	0,98	0,63	0,55	0,73	0,86	1,00	0,59	0,90	0,50
Bukit Ayun	0,18	0,77	0,41	0,46	0,47	0,86	1,00	0,94	0,97	0,50
Pendreh	0,89	0,92	0,48	0,57	0,70	0,93	0,50	0,98	0,97	1,00
Batang Anai	0,94	0,96	0,92	0,46	0,70	0,78	1,00	1,00	0,97	1,00
Bukit Pandan	0,51	0,87	0,40	0,64	0,48	1,00	1,00	0,93	0,97	0,86
Okki	0,68	0,77	0,36	0,54	0,81	1,00	1,00	0,97	0,90	0,34
Kalung	1,00	1,00	0,91	0,78	1,00	1,00	0,50	0,99	1,00	0,20
Maput	0,28	0,80	0,36	0,55	0,78	0,93	1,00	0,80	1,00	0,80
Bakunan	0,42	0,36	0,49	0,37	0,71	0,69	0,50	0,73	0,90	0,92
Hiliboru	0,54	0,80	0,43	0,51	0,67	0,93	0,50	0,63	0,97	0,41
Teweh	0,24	0,71	0,41	0,41	0,71	0,78	0,80	0,89	0,80	1,00
Watampone	0,38	0,84	0,61	0,41	0,48	0,86	0,80	0,80	0,80	1,00
Sungai Aur	0,89	0,83	0,34	0,60	0,65	0,61	0,80	0,69	0,90	0,92
Danau Lindu	1,00	0,49	0,52	0,60	1,00	0,69	1,00	0,69	0,97	1,00
Mantalat	0,19	0,90	0,33	0,74	0,62	0,61	0,80	0,69	0,97	0,80

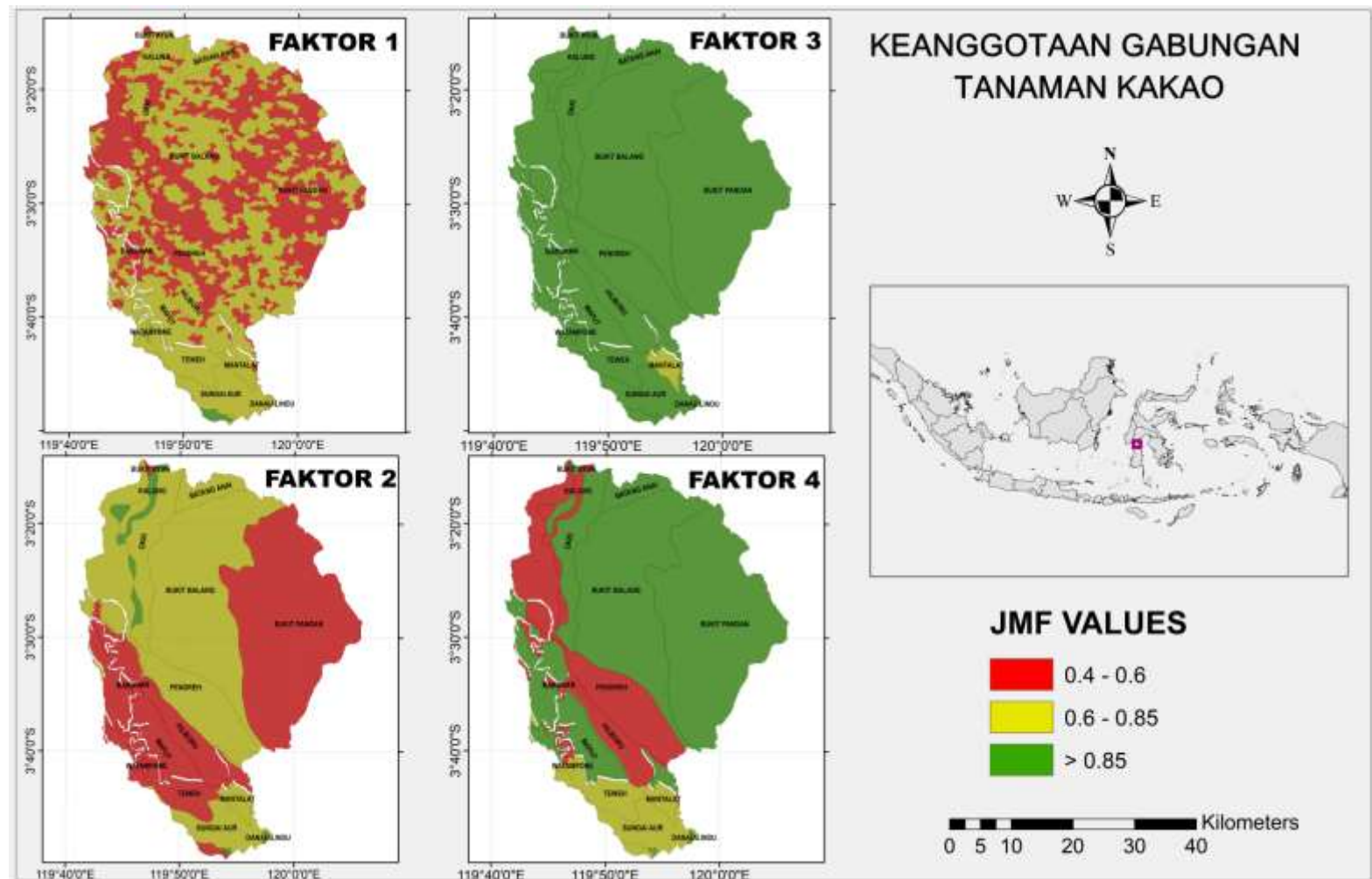
2.3.5 Nilai keanggotaan gabungan atribut lahan

Berdasarkan hasil analisis faktor yang dilakukan terhadap seluruh variabel penelitian, terdapat 4 faktor yang akan diikutkan dalam penilaian kesesuaian lahan, faktor tersebut masing-masing akan dihitung nilai keanggotaan gabungannya. Faktor 1 meliputi variabel lereng, kedalaman tanah, hujan dan suhu. pH, jumlah basa-basa, KTK, C-organik merupakan faktor 2, sedangkan kejenuhan basa dan tekstur tanah merupakan faktor 3 dan 4. Nilai keanggotaan gabungan dihitung setelah nilai keanggotaan individu dari seluruh atribut lahan diketahui. Derajat kepentingan atribut lahan dalam suatu faktor dapat dilihat dalam Tabel 2.7. Nilai keanggotaan gabungan faktor 1, 2, 3 dan 4 merupakan hasil perhitungan menggunakan persamaan 2.6. Hasil perhitungan nilai keanggotaan gabungan di setiap sistem lahan untuk masing-masing tanaman yang dianalisis disajikan dalam Gambar 2.8, 2.9, 2.10 dan 2.11. Angka-angka dalam gambar tersebut menunjukkan kualitas lahan untuk potensi pengembangan tanaman perkebunan. Sama seperti nilai keanggotaan individu,

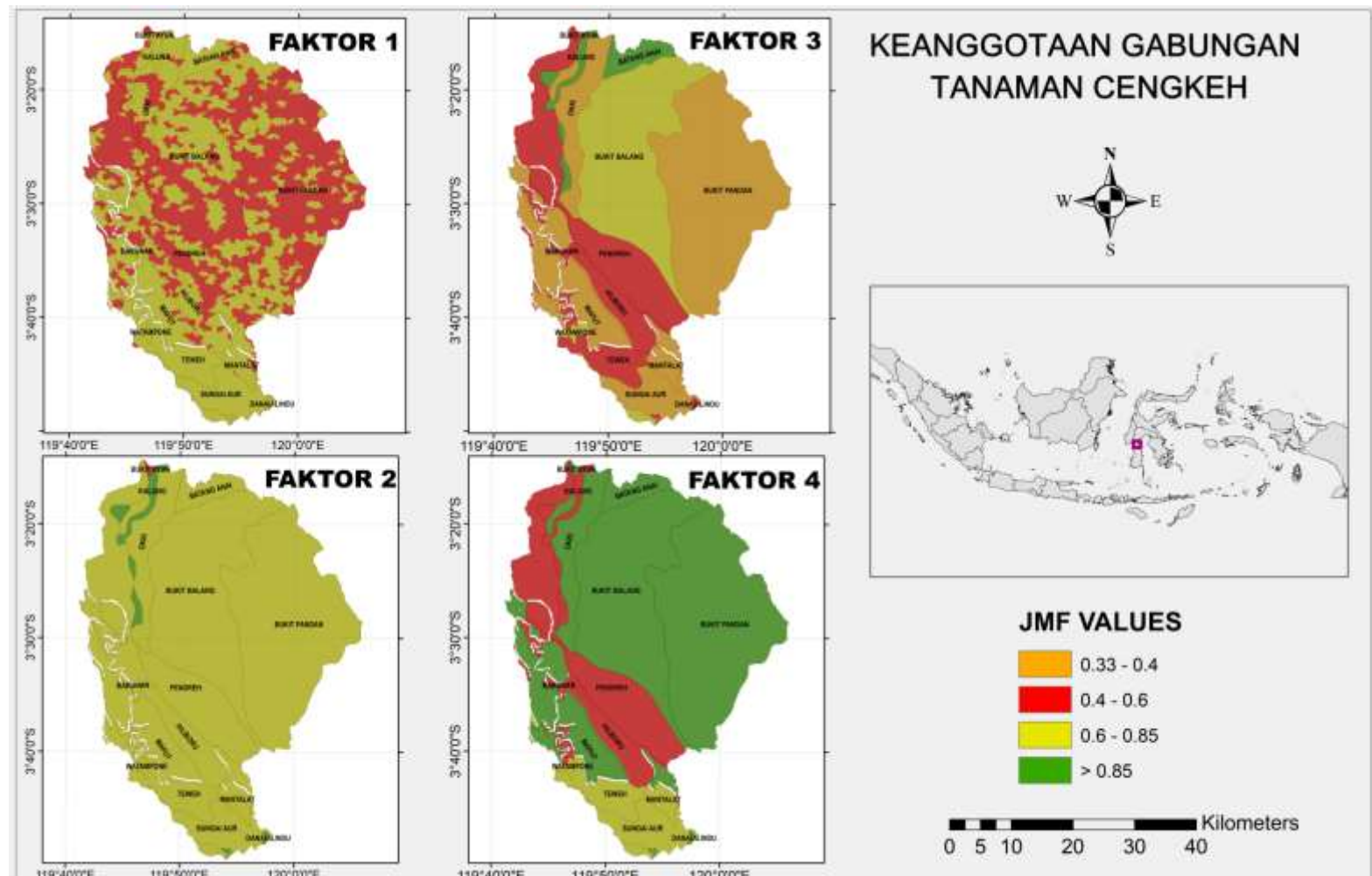
JMF juga terdiri dari rentang angka dari 0 sampai 1. Semakin tinggi nilai JMF menunjukkan bahwa suatu lahan memiliki potensi yang optimal untuk pengembangan perkebunan. Nilai JMF untuk pertumbuhan tanaman kopi berkisar antara 0.38 sampai dengan 1. JMF sebesar 0.38 terdapat pada satuan lahan Sungai Aur pada Faktor 3. Hal ini menunjukkan bahwa faktor 3 merupakan faktor pembatas pertumbuhan tanaman kopi. Nilai JMF kakao berkisar antara 0.45 sampai dengan 1. Nilai JMF kakao terendah terdapat pada satuan lahan Bukit Ayun pada faktor 1 dan 2. Rendahnya nilai JMF pada faktor 1 menunjukkan bahwa faktor iklim dan faktor fisik tanah menjadi penghambat pertumbuhan kakao. Cengkih dan lada memiliki nilai JMF yang rendah pada faktor 3 yaitu 0.3 pada satuan lahan Sungai Aur. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya hanya ada satu properti tanah pada faktor 3, yaitu kejenuhan basa. Dengan demikian, rendahnya nilai faktor 3 menunjukkan kualitas kejenuhan basa yang kurang mendukung pertumbuhan tanaman.



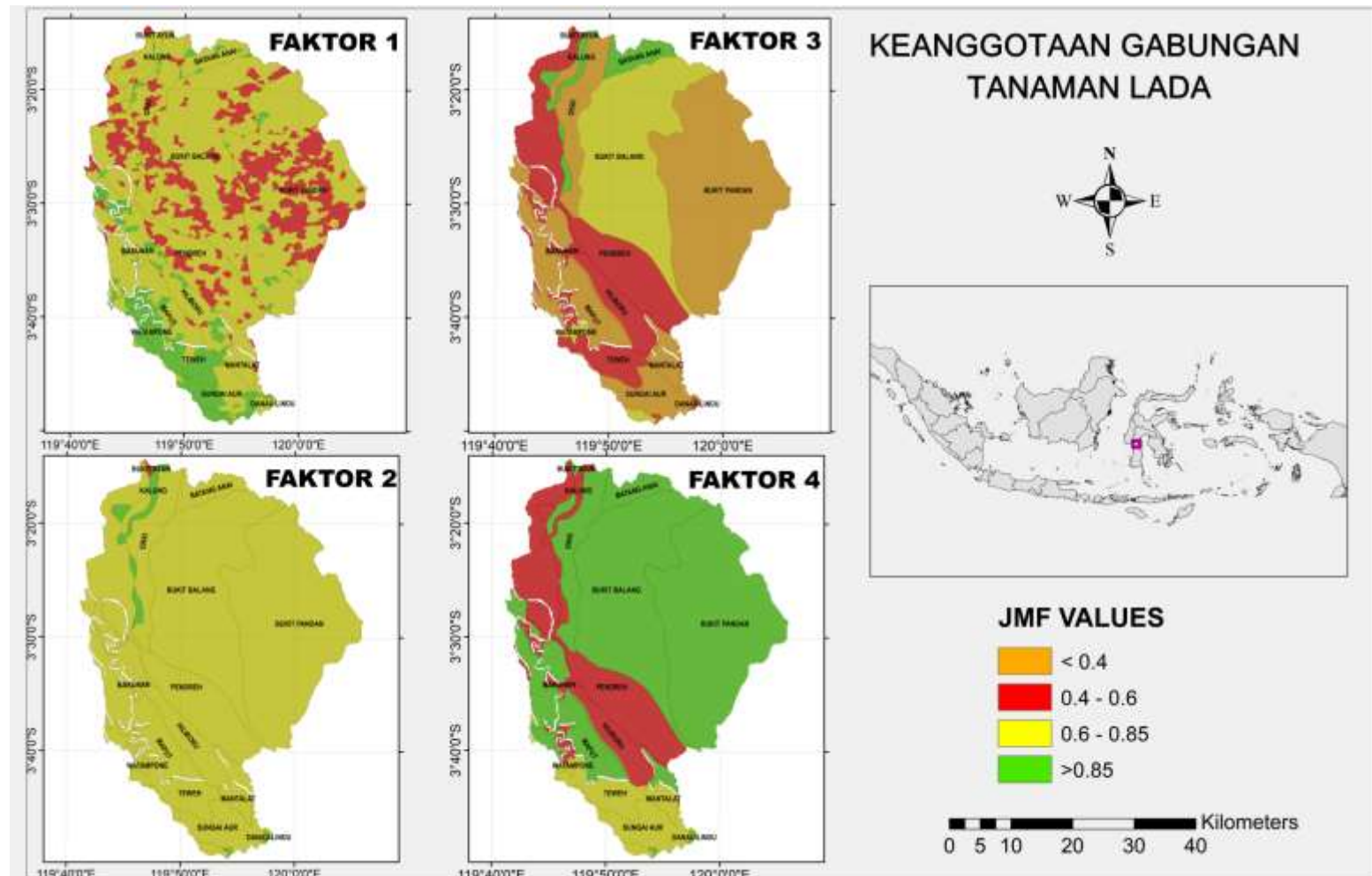
Gambar 2.8 Distribusi spasial nilai JMF tiap faktor untuk tanaman kopi di kabupaten Enrekang



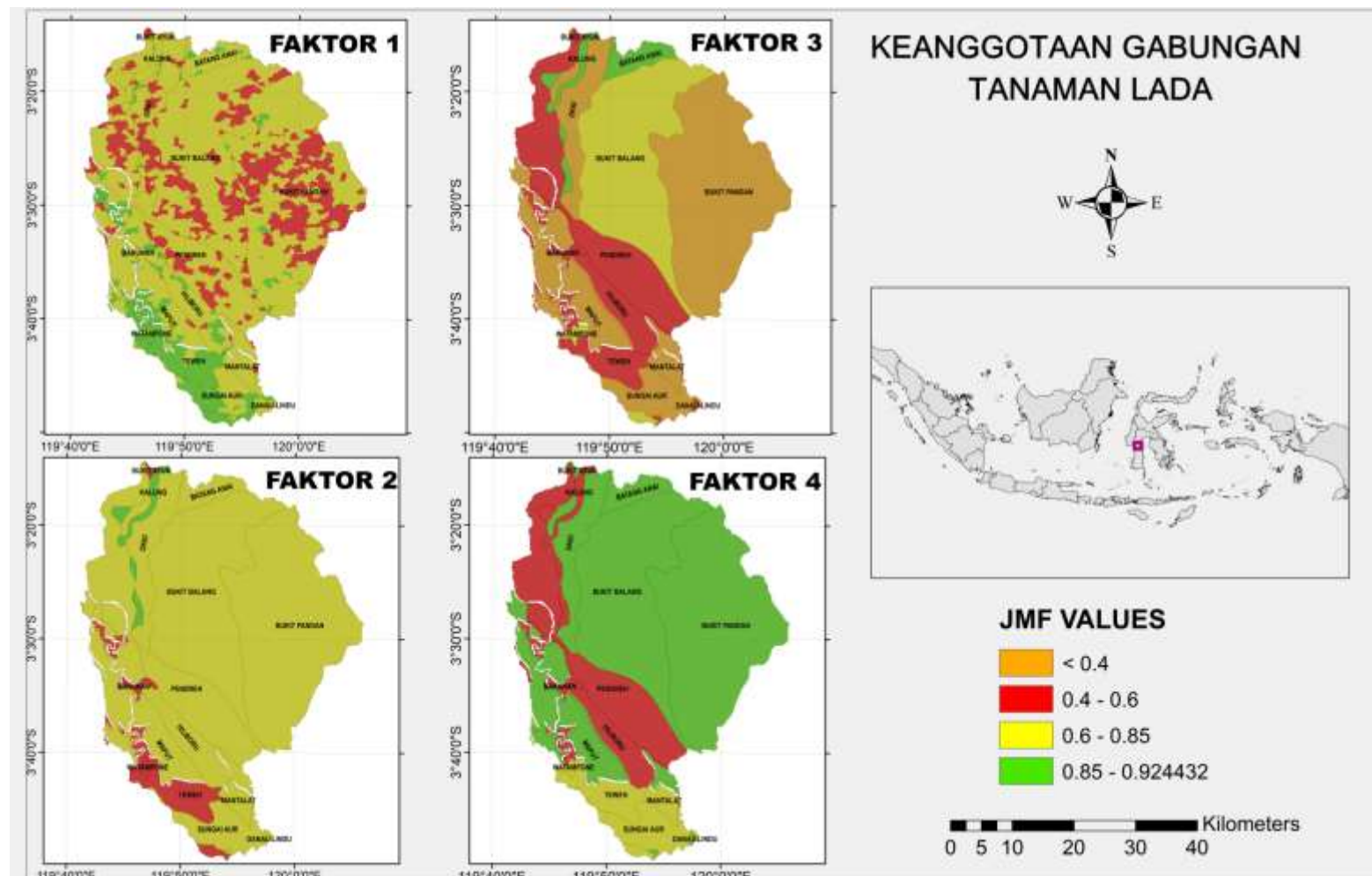
Gambar 2.9 Distribusi spasial nilai JMF tiap faktor untuk tanaman kakao di kabupaten Enrekang



Gambar 2.10 Distribusi spasial nilai JMF tiap faktor untuk tanaman cengkeh



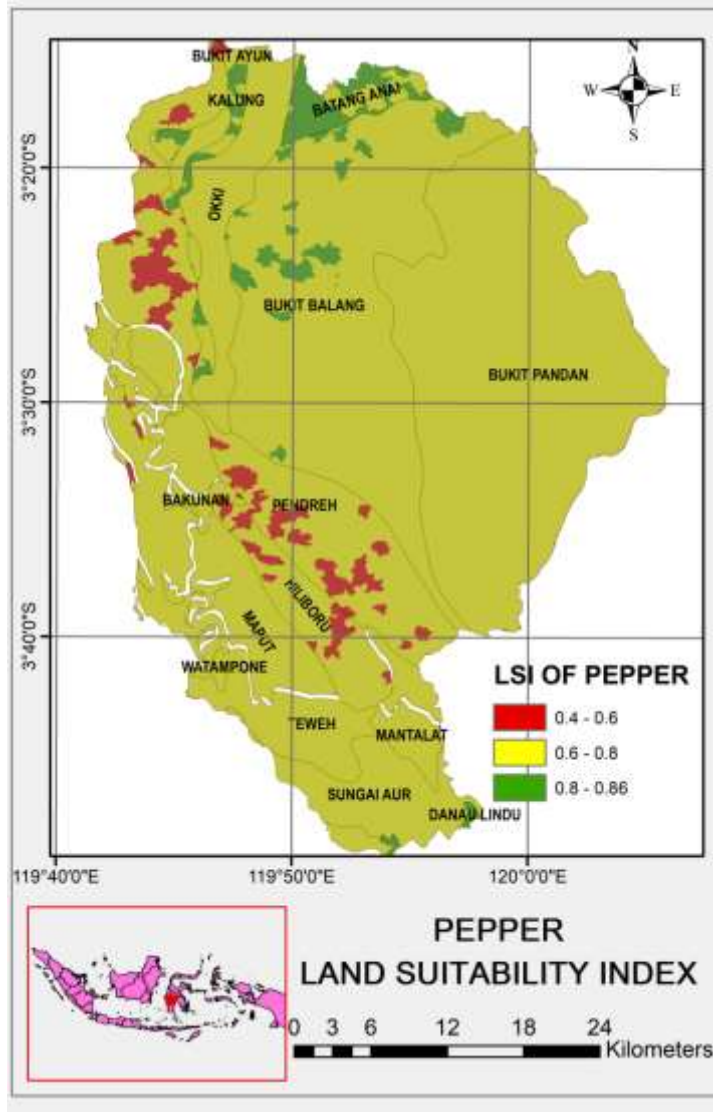
Gambar 2.11 Distribusi spasial nilai JMF tiap faktor untuk tanaman lada di Kabupaten Enrekang



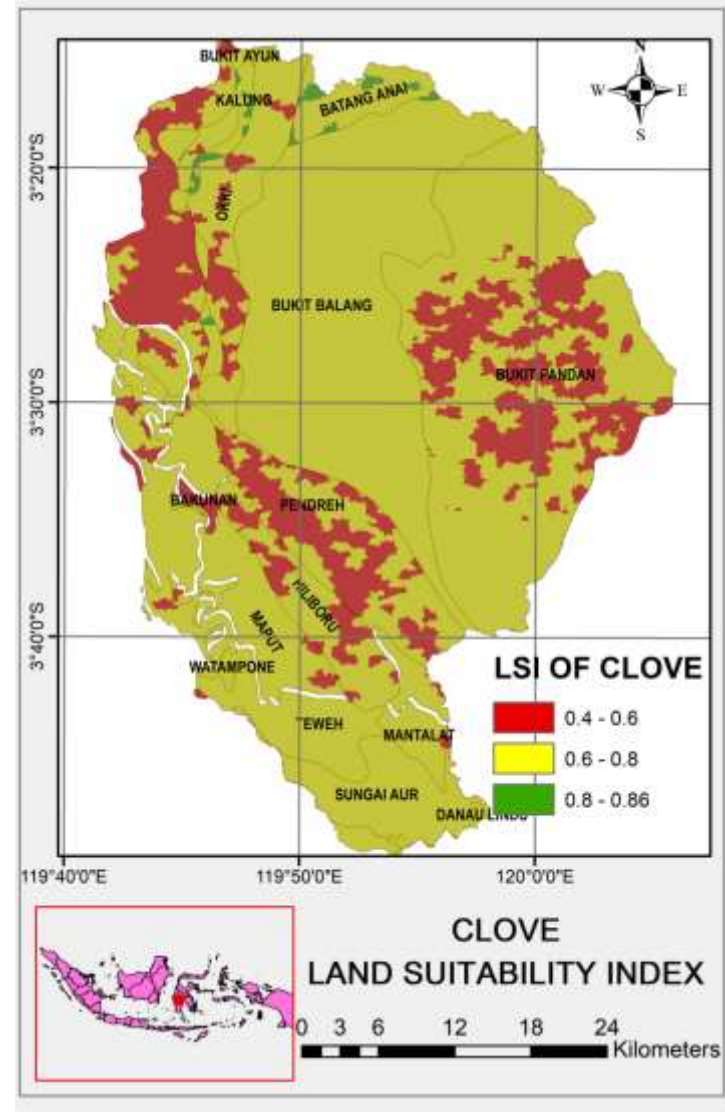
Gambar 2.12. Distribusi spasial nilai JMF tiap faktor untuk tanaman kemiri di Kabupaten Enrekang

2.3.6 Indeks kesesuaian lahan

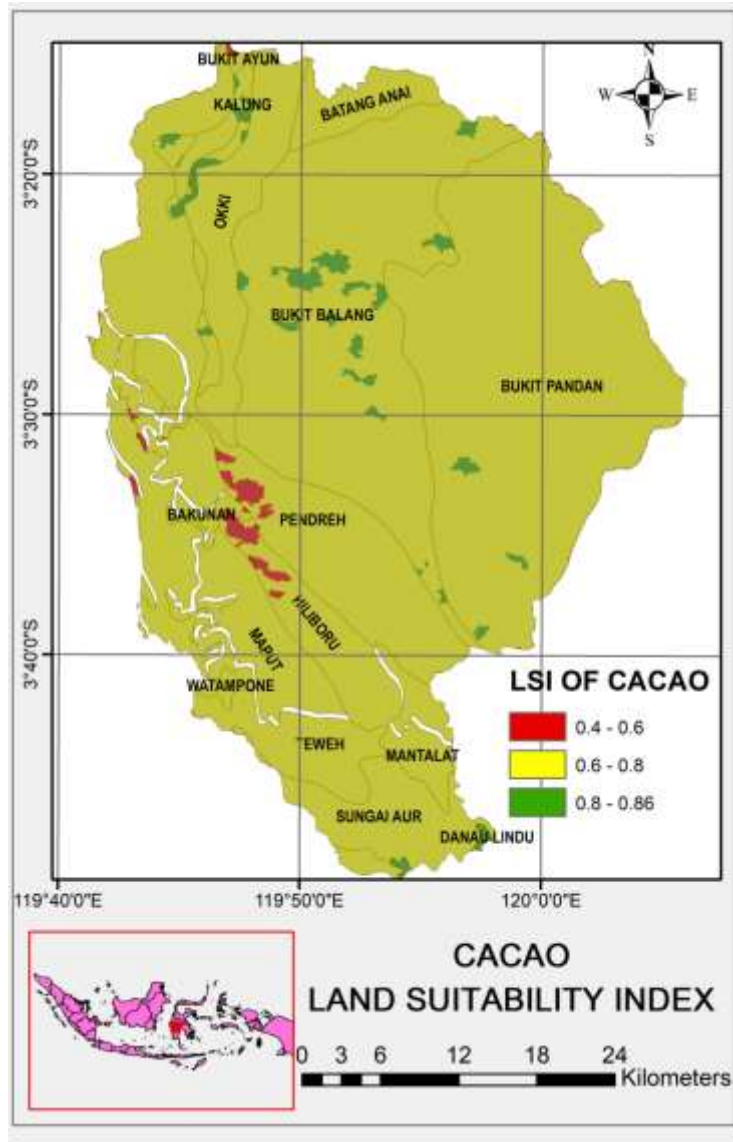
Menurut Steiner *et al.* (2000) dan Stoms *et al.* (2002), evaluasi kesesuaian lahan adalah analisis multi kriteria untuk tujuan penggunaan lahan tertentu, yang hasilnya juga tergantung pada pendapat para ahli dalam menentukan faktor yang paling diinginkan untuk tujuan tersebut. Prinsip untuk menentukan LSI sama dengan operasi matematika perkalian dan penjumlahan antara JMF suatu faktor dan bobot faktor (W_f). Gambar 2.13 hingga 2.17. merupakan distribusi spasial dari indeks kesesuaian lahan yang dianalisis. Indeks kesesuaian lahan merupakan rentang nilai dari 0 hingga 1, dimana nilai yang mendekati angka 1 mengindikasikan kesesuaian optimal. Dari hasil penilaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13, sebagian besar indeks kesesuaian lahan di wilayah penelitian memiliki nilai pixel berkisar antara 0.6 hingga 0.8 untuk semua komoditas selain kemiri. Nilai pixel untuk LSI kopi berkisar antara 0.52 hingga 0.92 sedangkan LSI kakao berkisar 0.52 hingga 0.84. LSI cengkeh berkisar antara 0.44 hingga 0.81. Lada memiliki LSI berkisar antara 0.50 hingga 0.86 dan kemiri 0.50 hingga 0.86. Berdasarkan output kelima komoditas yang dianalisis, tanaman kopi memiliki LSI yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman lainnya, sedangkan cengkeh memiliki LSI terendah. Di wilayah penelitian, kopi merupakan satu-satunya tanaman yang memiliki LSI lebih dari 0.9. Dari analisis yang dilakukan, faktor pembatas utama pertumbuhan tanaman kopi adalah pH dan kejenuhan basa. Namun hal tersebut tidak berpengaruh banyak terhadap hasil akhir penilaian kesesuaian tanaman kopi karena pH dan kejenuhan basa berada pada golongan yang memiliki derajat kepentingan kedua dan ketiga. Faktor pembatas utama pertumbuhan kakao adalah pH, KTK dan suhu. Dalam penilaian kesesuaian lahan ini, suhu merupakan faktor yang sangat penting dan termasuk dalam kelompok dengan derajat kepentingan pertama. Hal ini sejalan dengan pendapat Geo dan Saediman (2019) yang menyatakan bahwa faktor iklim sangat mempengaruhi pertumbuhan kakao. Mereka menyatakan bahwa bulan-bulan kering ideal untuk pertumbuhan kakao. Faktor pembatas utama pertumbuhan cengkeh di daerah penelitian adalah suhu. Menurut Ritung *et al.* (2011), suhu rata-rata harian yang optimal untuk pertumbuhan cengkeh berkisar antara 26 °C sampai 28 °C. Sebagian besar daerah penelitian memiliki suhu harian rata-rata <26 °C. Hal ini mengakibatkan banyak lokasi dalam penilaian mencapai nilai ambang batas yang lebih rendah untuk suhu.



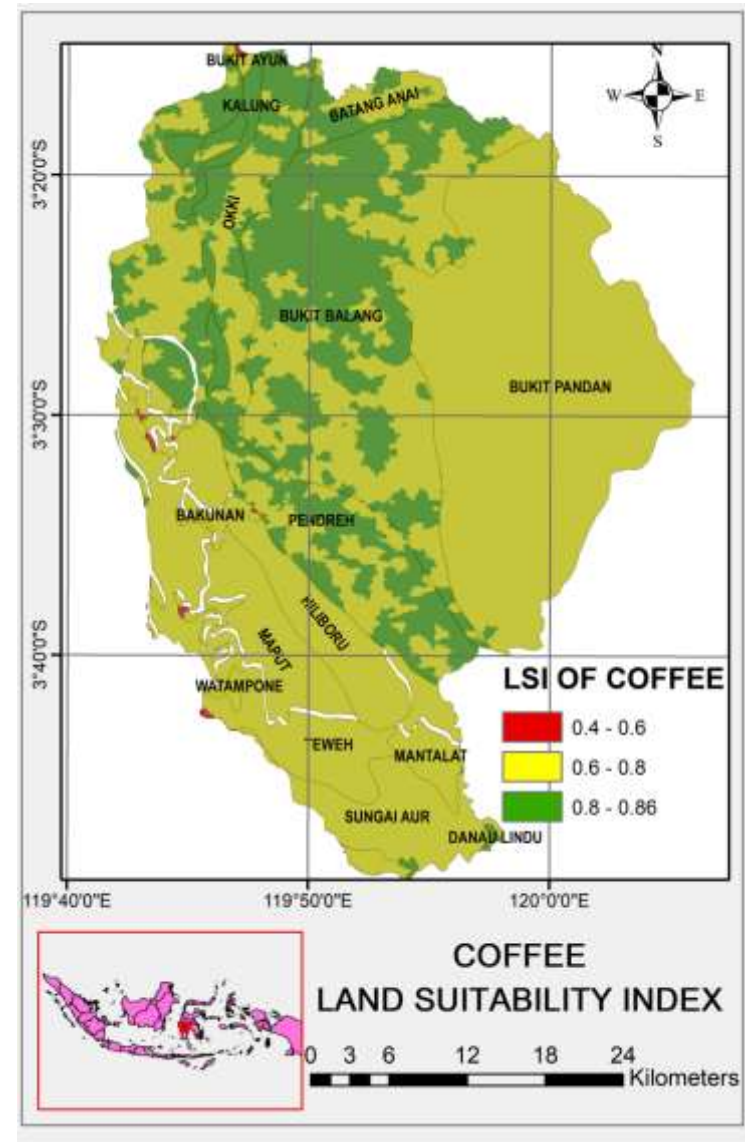
Gambar 2.14 Distribusi spasial indeks kesesuaian lahan untuk tanaman lada di Kabupaten Enrekang



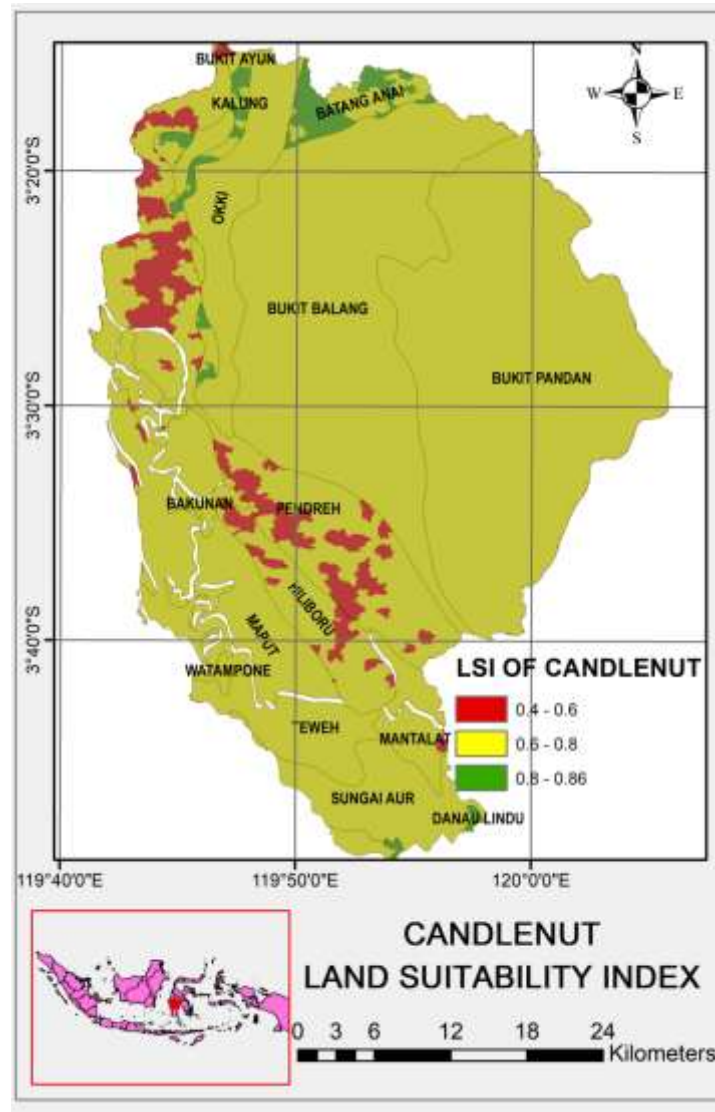
Gambar 2.13 Distribusi spasial indeks kesesuaian lahan untuk tanaman cengkeh di Kabupaten Enrekang



Gambar 2.15 Distribusi spasial indeks kesesuaian lahan untuk tanaman kakao di kabupaten Enrekang



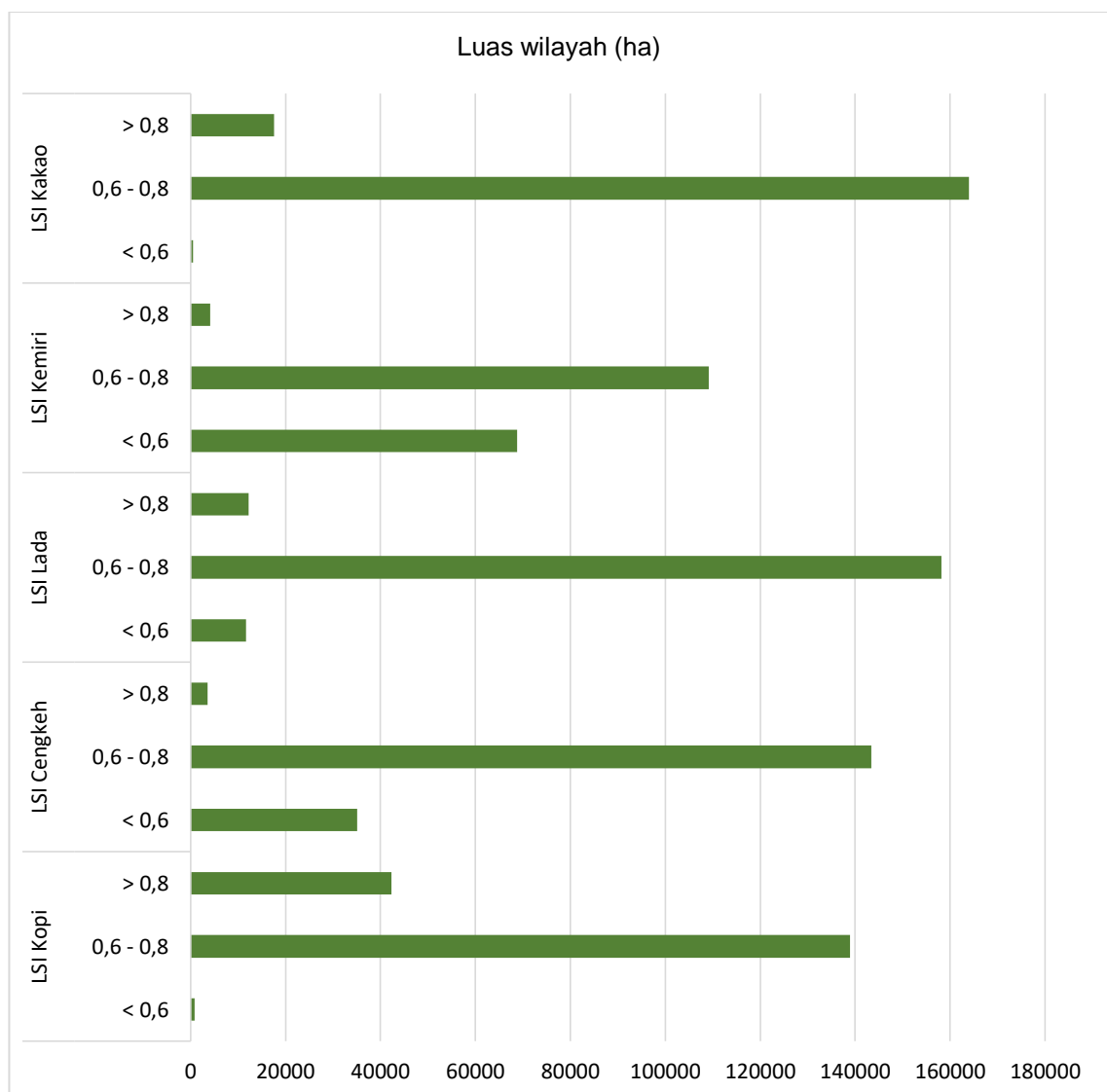
Gambar 2.16 Distribusi spasial indeks kesesuaian lahan untuk tanaman kopi di kabupaten Enrekang



Gambar 2.17 Distribusi spasial indeks kesesuaian lahan untuk tanaman kopi di kabupaten Enrekang

Untuk mengevaluasi luas lahan, data raster diubah ke dalam data vector kemudian dikelompokkan berdasarkan nilai pixelnya menjadi beberapa kategori kelas kesesuaian lahan. Daerah dengan nilai pixel >0.8 termasuk dalam kategori sangat sesuai, sedangkan daerah yang memiliki nilai pixel $0.8 \leq \text{LSI} < 0.6$ termasuk dalam kategori kesesuaian moderat, dan daerah yang memiliki nilai pixel $0.6 > \text{LSI} > 0.4$ termasuk dalam kategori kesesuaian marginal. Dari keseluruhan wilayah yang dianalisis untuk tanaman kopi, 76,28% wilayah termasuk dalam kategori kesesuaian moderat, 23,26% kategori sangat sesuai, dan 0,45% kategori kesesuaian marginal. Untuk tanaman kakao, 90% wilayah penelitian termasuk dalam kategori kesesuaian moderat, 0,29% dan 9,6% wilayah termasuk dalam kategori kesesuaian marginal dan sangat sesuai. Sebesar

86.89% wilayah penelitian termasuk dalam kategori kesesuaian moderat untuk tanaman lada, 6.68% wilayah termasuk dalam kategori sangat sesuai dan 6.41% kategori kesesuaian marginal. Untuk komoditas cengkeh, 78.74% dari keseluruhan wilayah termasuk dalam kategori kesesuaian moderat, sedangkan wilayah dengan kategori kesesuaian marginal dan sangat sesuai secara berturut-turut sebesar 19.26% dan 1.98%. Persentase wilayah dengan kategori kesesuaian marginal, moderat dan sangat sesuai untuk komoditas kemiri secara berturut-turut sebesar 37.78%, 59.93% dan 2.27%. Luasan wilayah masing-masing kategori kesesuaian lahan untuk seluruh komoditas yang dianalisis dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Grafik luas wilayah (ha) dalam kategori kelas kesesuaian lahan kabupaten Enrekang

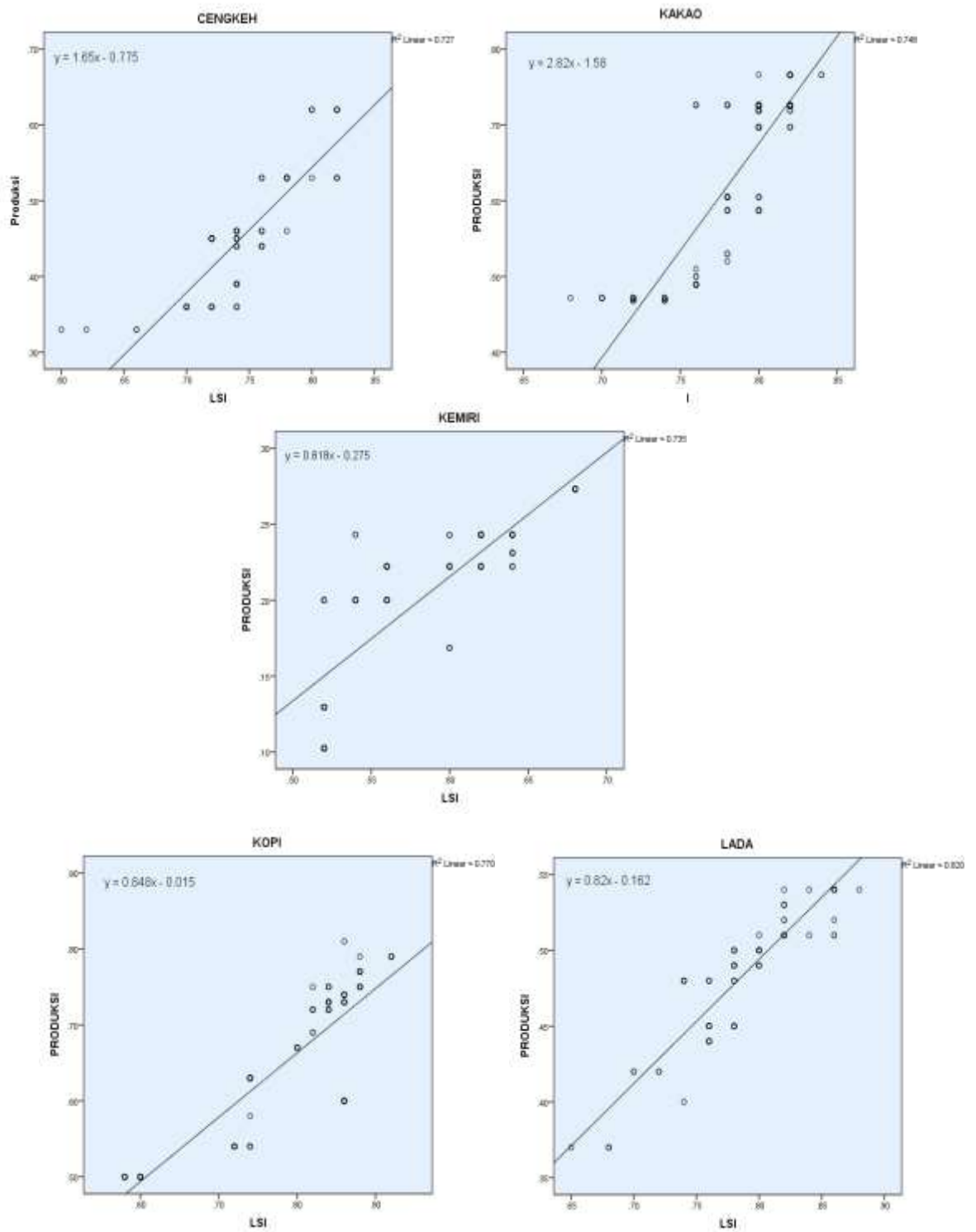
2.3.7 Validasi

Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai pixel dari indeks kesesuaian lahan sebagai peta yang akan dinilai dengan data produksi sebagai data ground truth untuk mendapatkan kecocokan seperti yang pernah dilakukan oleh (Seyedmohammadi, Sarmadian, Asghar, & Mcdowell, 2019). Data produksi komoditas diekstraksi secara spasial ke dalam peta polygon yang selanjutnya digabungkan dengan data indeks kesesuaian lahan. Titik validasi diambil secara acak, kemudian diolah dalam program SPSS yang hasilnya untuk menilai ada atau tidak hubungan linearitas antara indeks kesesuaian lahan dengan data produksi menggunakan uji regresi linear seperti yang disajikan dalam gambar 2.19. Dasar pengambilan keputusan menggunakan uji regresi adalah jika nilai $f < 0.05$ mengindikasikan terdapat hubungan antara LSI dan produksi. Dari hasil uji yang dilakukan terhadap keseluruhan tanaman yang dianalisis, disimpulkan bahwa terdapat hubungan antara LSI dan produksi dengan nilai $f = 0.00$ atau dengan kata lain model regresi dapat digunakan untuk memprediksi produksi. Model regresi dan korelasi antara LSI dan produksi dapat dilihat dalam Gambar 2.19 yang direpresentasikan oleh “y” dan “R²”.

2.4 Kesimpulan

Dengan kombinasi metode *fuzzy* dan PCA diketahui bahwa tanaman perkebunan pada lokasi penelitian dikategorikan menjadi 3 yaitu marginal, moderat dan optimal. Tanaman dengan kategori marginal memiliki indeks 0.4 hingga 0.6, sementara kategori moderat memiliki indeks 0.6 hingga 0.8 dan kategori optimal memiliki indeks 0.8 hingga 1. Berdasarkan analisis diketahui bahwa: indeks kesesuaian lahan terhadap pertumbuhan tanaman kopi berkisar antara 0.52 hingga 0.99, dengan luas wilayah 0.45% memiliki kesesuaian marginal sedangkan 76.28% wilayah memiliki kesesuaian moderat, dan 23.26 % wilayah lainnya memiliki kesesuaian optimal. Sementara itu, indeks kesesuaian lahan terhadap pertumbuhan tanaman cengkeh berkisar antara 0.4 hingga 0.81 dengan luas wilayah 19.26 % memiliki kesesuaian marginal, 78.74% wilayah memiliki kesesuaian moderat dan hanya 1.98% wilayah lainnya memiliki kesesuaian optimal. Untuk tanaman kakao, indeks kesesuaian lahan terhadap pertumbuhan tanaman tersebut berkisar antara 0.52 hingga 0.85, dengan luas wilayah 90% memiliki kesesuaian moderat sedangkan 9.6% wilayah lainnya memiliki kesesuaian optimal. Lada memiliki indeks kesesuaian yang berkisar

antara 0.5 hingga 0.87 dengan luas wilayah 19.26% memiliki kesesuaian marginal, 78.74% wilayah memiliki kesesuaian moderat dan 1.98% wilayah lainnya memiliki kesesuaian optimal. Tanaman terakhir adalah kemiri. Kemiri memiliki indeks kesesuaian lahan yang berkisar antara 0.51 hingga 0.82, dengan luas wilayah 37.78% memiliki kesesuaian marginal, 59.93% wilayah memiliki kesesuaian moderat dan 2.27% wilayah lainnya memiliki kesesuaian optimal. Secara keseluruhan, tanaman kopi memiliki indeks yang paling tinggi dibandingkan tanaman perkebunan lainnya sementara tanaman kemiri memiliki indeks terendah. Berdasarkan uji validasi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kombinasi model *fuzzy-PCA* yang diterapkan pada penelitian berhasil mengungkap kesesuaian lahan perkebunan dengan baik secara lebih objektif, sehingga model ini layak untuk diterapkan pada bidang management lahan lainnya.



Gambar 2.19 Regresi linear antara LSI dan produksi lahan (ton/ha)

DAFTAR PUSTAKA

- Akıncı, H., Özalp, Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computer Electronic Agriculture*, 97, 71–82.
- Ananda J., Herath G. (2009). A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. *Ecological Economics* 68: 2535–2548.
DOI:10.1016/j.ecolecon.2009.05.010
- Arabsheibani., Kanani Y.S., Abedini A. (2016). Land suitability assessment for locating industrial parks: a hybrid multi criteria decision-making approach using Geographical Information System. *Geographical System Vol* 54.
<https://doi.org/10.1111/1745-5871.12176>
- Armenise, E., Redmile-gordon, M. A., Stellacci, A. M., Ciccarese, A., & Rubino, P. (2013). Soil & Tillage Research Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. *Soil & Tillage Research*, 130, 91–98.
- Ayehu, Getachew & Atnafu, Solomon. (2015). Land Suitability Analysis for Rice Production: A GIS Based Multi-Criteria Decision Approach.. *American Journal of Geographic Information System*. 95-104
. 10.5923/j.ajgis.20150403.02.
- Ayorinde, K., Lawal, R. M., & Muibi, K. (2015). Land Suitability Assessment for Cocoa Cultivation in Ife Central Local Government Area, Osun State. *International Journal of Scientific Engineering and Research*, 3(4), 139–144.
- Baroudy, A. A. El. (2016). Catena Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model. *Catena*, 140, 96–104.
- Baja, S., Chapman, D. M., & Dragovich, D. (2002). A conceptual model for defining and assessing land management units using a *fuzzy* modelling approach in GIS environment. *Environmental Management*, 29, 647-661.
- Baja. (2012). Metode Analitik Evaluasi Sumber Daya Lahan: Aplikasi GIS, *Fuzzy Set* dan MCDM. Makassar. Identitas Universitas Hasanuddin
- Basu Tirthankar., Das Arijit., and Pal Swades. (2020). Application of geographically weighted principal component analysis and *fuzzy* approach for unsupervised landslide susceptibility mapping on Gish River Basin, India. *Geocarto International Vol* 37.
<https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1778105>
- Bernardi, A.C.C., Bettioli, G.M., Ferreira, R.P. (2016). Spatial variability of soil properties and yield of a razed alfalfa pasture in Brazil. *Precis. Agric.* 17, 737–752.
- Bihang Fan, Wanghai Tao, Guanghua Qin, Isaac Hopkins, Yu Zhang, Quanjiu Wang, Henry Lin, Li Guo. (2020). Soil micro-climate variation in relation to slope aspect, position, and curvature in a forested catchment. *Agricultural and Forest Meteorology; Volume* 290.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107999>.

- Blasi, C., Zavattero, L., Marignani, M., Smiraglia, D., & Copiz, R. (2008). The concept of land ecological network and its design using a land unit approach. *Plant Biosystems*, 142(3), 540–549.
- Boonyanuphap, J., Wattanachaiyingcharoen, D., & Sakurai, K. (2004). GIS-based land suitability assessment for Musa (ABB group) plantation. *Journal Appl Hort*, 6(1): 3–10.
- Brady. (1974). *The Natural And Properties Of Soil*, Macmillan Public, Co.Inc. New York.
- Burrough, P. A. (1989). *Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation*. *Journal of Soil Science*, 40(3), 477-492.
- Duffy, M. (2009). Economies of Size in Production Agriculture. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 4(3-4):375-392.
DOI: 10.1080/19320240903321292
- Edwinraj, Esack & Ramesh, K. & Radhakrishnan, B. & Kumar, Rajagopal. (2017). Impact of Climate Change on Plantation Crops: Tea. In book: *Impact of Climate Change on Plantation Crops* Chapter (pp.123) Chapter: 8
- Elaalem, M. (2013). A Comparison of Parametric and *Fuzzy* Multi-Criteria Methods for Evaluating Land Suitability for Olive in Jeffara Plain of. *APCBEE Procedia*, 405–409.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (1976). *A Framework for Land Evaluation*. FAO Soil Bulletin 52. Soil Resources Management and Conservation Service Land and Water Development Division. <https://www.fao.org/3/x5310e/x5310e00.htm>
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., Clark, R. B., & Virginia, W. (2002). Micronutrients in Crop Production. *Advances in Agronomy* (Vol. 77). Elsevier Inc.
- Feizizadeh Bakhtiar, Blaschke Thomas. (2013). Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS. *Journal of Environmental Planning and Management* vol 56.
<https://doi.org/10.1080/09640568.2011.646964>
- Gebre, S.L.; Cattrysse, D.; Alemayehu, E.; Van Orshoven, J.(2021). Multi-criteria decision-making methods to address rural landallocation problems: A systematic review. *Int. Soil Water Conserv. Res.* 2021,9, 490–501. DOI: 10.1016/j.iswcr.2021.04.005
- Gentili Rodolfo, Ambrosini Roberto, Montagnani Chiara, Caronni Sarah, Citterio Sandra. (2018). Effect of Soil pH on the Growth, Reproductive Investment and Pollen Allergenicity of *Ambrosia artemisiifolia* L. *Frontiers in Plant Science* Vol.9. DOI=10.3389/fpls.2018.01335
<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2018.01335>
- Geo, L. and Saediman, 2019. Assessing Factors Affecting Cocoa Development in Southeast Sulawesi. *Pakistan Journal of Nutrition*, 18(5), 479-490. <http://dx.doi.org/10.3923/pjn.2019.479.490>
- Ghaemi, M., Astarai, A.R., Emami, H., Mahalati, M.N., & Sanaeinejad, S.H. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of astan quds- east of mashhad- Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14, 1005-1020.
- Giordano, R., Liersch, S., 2012. A *fuzzy* GIS-based system to integrate local and technical knowledge in soil salinity monitoring. *Environ. Model. Softw.* 36,49e63.

- Gougam F, Chemseddine R and Benazzouz D and Boualem M. (2019). Bearing fault diagnosis based on feature extraction of empirical wavelet transform (EWT) and *fuzzy* logic system (FLS) under variable operating conditions. *Journal of Vibroengineering* vol 21. <https://doi.org/10.21595/jve.2019.20092>
- Hall, G. B., & Wang, F. (1992). Comparison of Boolean and *fuzzy* classification methods in land suitability analysis by using geographical information systems. *Environment and Planning*, 24, 497–516.
- Hills, T. (2015). Land Suitability Assessment For Effective Crop Production, a Case Study of. *Journal of Agricultural Informatics*, 6(2), 23–31.
- Hotelling, H. (1933). Analysis of a Complex of Statistical Variables Into Principal Components, *Journal of Educational Psychology*, volume 24, pages 417-441 and 498-520. <https://content.apa.org/doi/10.1037/h0071325>
- Husson, O. (2013). Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil / plant / microorganism systems : a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant Soil*, 362, 389–417.
- Huynh, Van & Huynh Van, Chuong. (2008). Multicriteria Land Suitability Evaluation For Crops Using Gis At Community Level In Central Vietnam With case study in Thuy Bang-Thua Thien Hue province.
- Javad Seyedmohammadi, Fereydoon Sarmadian, A. Asghar Jafarzadeh, & R. W. McDowell. (2019). Development of a model using matter element, AHP and GIS techniques to assess the suitability of land for agriculture. *Geoderma*, 352, 80-95. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.05.046
- Jolliffe, Ian & Cadima, Jorge. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 374. 20150202. [10.1098/rsta.2015.0202](https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202).
- Kahraman, C., & Otay, İ. (Eds.). (2019). *Studies in fuzziness and soft computing: Vol. 369. Fuzzy multi-criteria decision-making using neutrosophic sets*. Springer International Publishing.
- Keshavarzi, A., Tuffour, H.O., Bagherzadeh, A. *et al.* (2020). Using *fuzzy*-AHP and parametric technique to assess soil fertility status in Northeast of Iran. *Journal of Mountain Science*. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5666-6>
- Kılıç, O.M., Ersayın, K., Gunal, H., Khalofah, A., & Alsubeie, M.S. (2022). Combination of *fuzzy*-AHP and GIS techniques in land suitability assessment for wheat (*Triticum aestivum*) cultivation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29, 2634 - 2644. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.050>
- Kravchenko, A. N., & Bullock, D. G. (2000). Correlation of Corn and Soybean Grain Yield with Topography and Soil Properties RE. *Agronomy Journal* 92, 75–83.
- Krylovas, A., Zavadskas, E. K., Kosareva, N., & Dadelo, S. (2014). New KEMIRA method for determining criteria priority and weights in solving MCDM problem. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 13(6), 1119–1133.
- Leake, C.; Malczewski, J. (2000). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*; Wiley: New York, NY, USA; Volume 51. [Google Scholar] DOI:10.2307/254268
- Liu, B. (2004). *Uncertainty Theory: An Introduction to Its Axiomatic Foundations*; Springer: Berlin, Germany,. DOI: 10.1007/978-3-540-73165-8_5

- Luan Wenfei, Lu Ling, Li Xin, Ma Chunfeng. (2017). Weight Determination of Sustainable Development Indicators Using a Global Sensitivity Analysis Method. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su9020303>
- Maddahi, Z., Jalalian, A., Zarkesh, M.M., & Honarjo, N. (2014). Land suitability analysis for rice cultivation using multi criteria evaluation approach and GIS.
- M.A. Arshad and G.M. Coen (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7, 25-31
- Martinsen, V., V. Alling, N. L. Nurida, J. Mulder, S. E. Hale, C. Ritz, D. W. Rutherford, A. Heikens, G. D. Breedveld, and G. Cornelissen. (2015). "pH Effects of the Addition of Three Biochars to Acidic Indonesian Mineral Soils." *Soil Science and Plant Nutrition* 61 (5): 821–834. doi:10.1080/00380768.2015.1052985.
- Montanaro, G., Xiloyannis, C., Nuzzo, V., Dichio, B.(2017). Orchard management, soil organic carbon and ecosystem services in Mediterranean fruit tree crops. *Sci. Hort.* 217, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.012>
- Morteza Akbari, Ehsan Neamatollahi, Peyman Neamatollahi. (2019). Evaluating land suitability for spatial planning in arid regions of eastern Iran using *fuzzy* logic and multi-criteria analysis. *Ecological Indicators* (98) pp 587-598. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.035>.
- Mosadeghi Razieh, Warnken Jan, Tomlinson Rodger, Mirfenderesk Hamid. (2015). Comparison of *Fuzzy-AHP* and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. *Computers, Environment and Urban Systems* Vol 49. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.10.001>
- Mukherjee, A., & Lal, R. (2014). Comparison of Soil Quality Index Using Three Methods, *PLOS One*, 9(8).
- Mukhtar Elaalem. (2013). A Comparison of Parametric and *Fuzzy* Multi-Criteria Methods for Evaluating Land Suitability for Olive in Jeffara Plain of Libya. *APCBEE Procedia* vol 5. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2013.05.070>
- Mulla, D. J. (2012). Modeling and Mapping Soil Spatial and Temporal Variability, 637–664. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386941-8.00020-4>
- Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., & Akbari, M. (2020). GIS-based agro-ecological zoning for crop suitability using *fuzzy* inference system in semi-arid regions. *Ecological Indicators*, 117, 106646. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106646>
- Nasery, S., Matci, D.K., & Avdan, U. (2021). GIS-based wind farm suitability assessment using *fuzzy* AHP multi-criteria approach: the case of Herat, Afghanistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 14. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07478-5>
- Ngeleza, G. K., Owusua, R., Jimah, K., Kolavalli, S., Strategy, D., and Division, G. (2011). Cropping Practices and Labor Requirements in Field Operations for Major Crops in Ghana What Needs to Be Mechanized?. IFPRI Discussion Paper 01074. DOI: 10.1037/h0071325
- Nurmiaty, N., & Baja, S. (2014). Using *Fuzzy* Set Approaches in a Raster GIS for Land Suitability Assessment at a Regional Scale: Case Study in Maros Region, Indonesia. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 8, 115.

- Pan Z, Tang D, Kong H, He J.(2022). An Analysis of Agricultural Production Efficiency of Yangtze River Economic Belt Based on a Three-Stage DEA Malmquist Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*; 19(2):958. DOI: 10.3390/ijerph19020958
- Paul Swapan, Ghosh Sasanka. (2022). Identification of solid waste dumping site suitability of Kolkata Metropolitan Area using *Fuzzy-AHP* model. *Cleaner Logistics and Supply Chain* vol 3. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100030>
- Pearson, Karl. (1901). On lines and planes of closest fit to systems of points in space, *Philosophical Magazine, Series 6*, vol. 2, no. 11, pp. 559-572. DOI: 10.1080/14786440109462720
- Pennsylvania State University. 2018. Stat 505 applied multivariate statistical analysis: Lesson 11 principal component analysis. Pennsylvania State Univ., State College, PA. <https://onlinecourses.science.psu.edu/stat505/node/49/>
- Piñeiro, V., Arias, J., Dürr, J. *et al.* (2020). A scoping review on incentives for adoption of sustainable agricultural practices and their outcomes. *Nature Sustainability* 3, 809–820 <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00617-y>
- Prakash, T. N. (2003). Land Suitability Analysis for Agricultural Crops : A *Fuzzy* Multicriteria Decision Making Approach. *Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.*
- Qiu, F., Chastain, B., & Zhou, Y. (2014). Modeling land suitability / capability using *fuzzy* evaluation. *GeoJournal*, 79, 167–182.
- Rabia, A. H., Terribile, F., Suitability, A. L., & Methods, A. (2013). Introducing a New Parametric Concept for Land Suitability Assessment. *International Journal of Environmental Science and Development* 4(1).
- Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Ali, H., & Fereidouni, Z. (2014). Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin. *Ecological Indicators*, 40, 19–26.
- Ranjbar, A., Emami, H., Khorasani, R., & Karoyeh, A.R. (2016). Soil Quality Assessments in Some Iranian Saffron Fields. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18, 865-878.
- Reshmidevi T.V., Eldho T.I., Jana R. (2019). A GIS-integrated *fuzzy* rule-based inference system for land suitability evaluation in agricultural watersheds. *Agricultural Systems* Vol 9. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2009.04.001>
- Rigby, D & Caceres, D (1997). The Sustainability of Agricultural Systems. *RuralResources/Rural Livelihoods Working Paper Series, Working Paper No. 10*, Institute for Development Policy and Management, University of Manchester, Precinct.
- Ritung S., Kusomo Nugroho, Anny Mulyani, Erna Suryani. (2011). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. 166 hal.
- Sadiq, I. (2010). Effect of Climate Change on Cocoa Yield: A Case of Cocoa Research Institute (Cris) Farm, Oluyole Local Government Ibadan Oyo State. *Journal of Sustainable Development in Africa*, 12(1), 350–358.

- Said, M.E., Ali, A.M., Borin, M., Abd-Elmabod, S.K., Aldosari, A.A., Khalil, M.M., & Abdel-Fattah, M.K. (2020). On the Use of Multivariate Analysis and Land Evaluation for Potential Agricultural Development of the Northwestern Coast of Egypt. *Agronomy*, 10, 1318.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10091318>
- Sahoo, Jyotirmaya & Tomar, Dinesh & Dass, Anchal & Bhat, Mohammad & S, GOUDA & Airon, Anurag. (2021). Land suitability assessment for improved land use planning in selected watersheds of Haryana. *Journal of Environmental Biology*. 42. 285-294. 10.22438/jeb/42/2/MRN-1402.
- Seibert, J., Stendahl, J., & Sørensen, R. (2007). Topographical influences on soil properties in boreal forests. *Geoderma*, 141, 139–148.
- Sengupta S., Mohinuddin S.K., Arif M., Sengupta B., and Zhang W. (2022). Assessment of agricultural land suitability using GIS and *fuzzy* analytical hierarchy process approach in Ranchi District, India. *Geocarto International*. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2076925>
- Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Asghar, A., & Mcdowell, R. W. (2019). Geoderma Development of a model using matter element , AHP and GIS techniques to assess the suitability of land for agriculture. *Geoderma*, 352, Steiner, F., McSherry, L., Cohen, J., (2000). Land suitability analysis for the Upper Gila River Watershed. *Landscape Urban Plann.* 50, 199–214. DOI:10.1016/S0169-2046(00)00093-1
- Stoms, D., McDonald, J.M., Davis, F.W. (2002). *Fuzzy* assessment of land suitability for scientific research reserves. *Environ. Manage.* 29, 545– 558. DOI: 10.1007/s00267-001-0004-480–95.
- Sys C, Van Ranst E, Debaveye IJ, Beernaert F (1993) Land evaluation. Part III: crop requirements. *General Administration for Development Cooperation, Agricultural Publication-No. 7*, Brussels, Belgium, p 199
- Tercan Emre, Dereli Mehmet *af.* (2020). Development of a land suitability model for citrus cultivation using GIS and multi-criteria assessment techniques in Antalya province of Turkey. *Ecological Indicators* vol 117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106549>.
- Toshichika Iizumi, Navin Ramankutty. (2015). How do weather and climate influence cropping area and intensity?. *Global Food Security* Volume 4. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.11.003>.
- Tsui, C., Chen, Z., & Hsieh, C. (2004). Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan. *Geoderma*. 123, 131–142.
- Vasu, D., Srivastava, R., Patil, N. G., Tiwary, P., Chandran, P., & Singh, S. K. (2018). Land Use Policy A comparative assessment of land suitability evaluation methods for agricultural land use planning at village level. *Land Use Policy*, 79(May), 146–163.
- Vavatsikos A. P, Demesouka O.E, Anagnostopoulos K.P. (2020). GIS-based suitability analysis using *fuzzy* PROMETHEE. *Journal of Environmental Planning and Management* (63), pp 604-628. <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1599830>
- West, T.O., Post, M.W. (2002). Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analysis Conservation Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analysis, 1930–1946. *SOIL SCI. SOC. AM. J.*, VOL. 66

- Zadeh, L. (1965). *Fuzzy sets*. *Inf. Control* 8, 338–353. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- Zalhaf, A.S., Elboshy, B., Kotb, K.M., Han, Y., Almaliki, A.H., Aly, R.M., & Elkadeem, M.R. (2021). A High-Resolution Wind Farms Suitability Mapping Using GIS and *Fuzzy* AHP Approach: A National-Level Case Study in Sudan. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14010358>
- Zhang, J., Su, Y., Wu, J., & Liang, H. (2015). GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and *fuzzy* set in Shandong province of China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 114, 202–211.
- Ziadat, F. M., & Taimah, A. Y. (2013). Effect Of Rainfall Intensity, Slope, Land Use And Antecedent Soil Moisture On Soil Erosion In An Arid Environment. *Land Degradation and Development*, 24, 582–590.
- Zimmermann, H.J., Gutsche, L. (1991). Multi-Criteria-Entscheidungen. In: Multi-Criteria Analyse. Heidelberger Lehrtexte Wirtschaftswissenschaften. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI:10.1007/978-3-642-58198-4_3
- Zonneveld, I.S. (1989). The land unit — A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. *Landscape Ecol* 3, 67–86. DOI: 10.1007/BF00131171