

KUANTIFIKASI JASA AGRO-EKOSISTEM SAWAH DI JAKARTA-BANDUNG MEGA URBAN REGION

NUR ZAHRO CHARISSA RAHMA



**ILMU PERENCANAAN WILAYAH
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Kuantifikasi Jasa Agro-Ekosistem Sawah di Jakarta-Bandung Mega Urban Region” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum 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 di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Nur Zahro Charissa Rahma
A1506241023

RINGKASAN

NUR ZAHRO CHARISSA RAHMA. Kuantifikasi Jasa Agro-Ekosistem Sawah di Jakarta-Bandung Mega Urban Region. Dibimbing oleh ERNAN RUSTIADI dan ANDREA EMMA PRAVITASARI.

Jakarta-Bandung Mega Urban Region (JBMUR) merupakan kawasan *mega-urban* yang mengalami urbanisasi pesat dan memberikan tekanan terhadap keberlanjutan agro-ekosistem sawah. Perubahan penggunaan lahan yang ditandai oleh ekspansi kawasan terbangun tidak hanya menyebabkan berkurangnya luas sawah, tetapi juga mengubah struktur dan konfigurasi spasial lanskap pertanian. Kondisi tersebut berpotensi memengaruhi kapasitas agro-ekosistem dalam menyediakan jasa penyediaan pangan maupun jasa pengaturan lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan penggunaan dan penutup lahan serta dinamika sawah selama periode 2000–2025, menyusun tipologi wilayah berdasarkan karakteristik fisik dan sosial-ekonomi, serta menganalisis fragmentasi sawah dan dampaknya terhadap jasa agro-ekosistem. Penelitian menggunakan citra Landsat tahun 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, dan 2025 yang diklasifikasikan dengan algoritma Random Forest. Tipologi wilayah disusun menggunakan pendekatan *Rustiadi Quantitative Zoning Method* (RQZM-II) dan *K-Means Clustering* berdasarkan variabel fisik, sosial-ekonomi, dan aksesibilitas. Analisis fragmentasi dilakukan pada skala makro dan mikro menggunakan metrik lanskap, sedangkan jasa agro-ekosistem diukur melalui indikator jasa penyedia dan jasa pengaturan yang diintegrasikan ke dalam Indeks Jasa Agro-Ekosistem. Evaluasi keberlanjutan dilakukan untuk menilai kondisi agro-ekosistem berdasarkan kategori aman, berisiko, dan kritis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa urbanisasi telah menyebabkan konversi sawah yang terkonsentrasi pada wilayah dengan aksesibilitas tinggi dan kedekatan terhadap pusat pertumbuhan. Pada saat yang sama, beberapa wilayah yang berada lebih jauh dari pusat urbanisasi menunjukkan penambahan sawah sebagai bentuk pergeseran spasial aktivitas pertanian. Berdasarkan pendekatan RQZM-II, wilayah JBMUR dapat diklasifikasikan menjadi empat tipologi utama, yaitu *urban*, *peri-urban*, *rural I*, dan *rural II* yang merepresentasikan gradien tingkat urbanisasi. Analisis fragmentasi menunjukkan bahwa perubahan agro-ekosistem sawah tidak hanya ditandai oleh berkurangnya luas lahan pertanian, tetapi juga oleh menurunnya ukuran petak sawah, berkurangnya dominasi hamparan sawah besar, serta meningkatnya keterpisahan antarpetak. Temuan tersebut menunjukkan bahwa tekanan urbanisasi lebih banyak memengaruhi integritas spasial lanskap pertanian dibandingkan penyusutan luas sawah secara langsung. Perubahan struktur lanskap tersebut berdampak pada menurunnya kapasitas jasa agro-ekosistem, terutama jasa pengaturan yang mengalami penurunan lebih besar dibandingkan jasa penyedia. Hasil penelitian menegaskan bahwa keberlanjutan agro-ekosistem sawah di kawasan *mega-urban* tidak hanya ditentukan oleh luas lahan pertanian yang tersisa, tetapi juga oleh integritas spasial lanskap, kualitas fungsi ekologis, dan kemampuan agro-ekosistem dalam mempertahankan kapasitas jasa ekosistem di tengah tekanan urbanisasi yang terus meningkat.

Kata kunci: agro-ekosistem sawah, fragmentasi lanskap, jasa ekosistem, JBMUR, urbanisasi

SUMMARY

NUR ZAHRO CHARISSA RAHMA. Quantifying Agroecosystem Services of Rice Fields in Jakarta–Bandung Mega Urban Region. Supervised by ERNAN RUSTIADI and ANDREA EMMA PRAVITASARI.

The Jakarta–Bandung Mega Urban Region (JBMUR) is a rapidly urbanizing mega-urban region that faces increasing pressure on the sustainability of rice-field agroecosystems. Land-use change, characterized by the expansion of built-up areas, has not only reduced the extent of rice fields but has also altered the spatial structure and configuration of agricultural landscapes. These changes may affect the capacity of agroecosystems to provide both food provisioning and environmental regulating services. Therefore, this study aimed to identify land-use and land-cover changes as well as rice-field dynamics during the 2000–2025 period, develop regional typologies based on physical and socio-economic characteristics, and analyze rice-field fragmentation and its impacts on agroecosystem services.

This study utilized Landsat imagery from 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, and 2025, which were classified using the Random Forest algorithm. Regional typologies were developed using the Rustiadi Quantitative Zoning Method (RQZM-II) and K-Means Clustering based on physical, socio-economic, and accessibility variables. Fragmentation analysis was conducted at both macro and micro scales using landscape metrics, while agroecosystem services were quantified through provisioning and regulating service indicators integrated into an Agroecosystem Service Index. Sustainability assessment was carried out to evaluate agroecosystem conditions based on safe, vulnerable, and critical categories.

The results indicate that urbanization has driven rice-field conversion, particularly in areas with high accessibility and close proximity to growth centers. At the same time, some areas located farther from urban centers experienced increases in rice-field extent, reflecting a spatial shift in agricultural activities. Based on the RQZM-II approach, JBMUR was classified into four major typologies: urban, peri-urban, rural I, and rural II, representing a gradient of urbanization intensity. Fragmentation analysis revealed that changes in rice-field agroecosystems were characterized not only by a reduction in agricultural land area but also by declining rice-field patch size, reduced dominance of large rice-field patches, and increasing patch isolation. These findings suggest that urbanization exerts a greater influence on the spatial integrity of agricultural landscapes than on farmland loss alone.

Changes in landscape structure contributed to a decline in agroecosystem service capacity, particularly regulating services, which experienced a greater decline than provisioning services. The findings emphasize that the sustainability of rice-field agroecosystems in mega-urban regions is determined not only by the amount of remaining agricultural land but also by landscape spatial integrity, ecological function quality, and the ability of agroecosystems to maintain ecosystem service capacity under increasing urbanization pressures.

Keywords: agroecosystem services, JBMUR, landscape fragmentation, rice fields, urbanization



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

KUANTIFIKASI JASA AGRO-EKOSISTEM SAWAH DI JAKARTA-BANDUNG MEGA URBAN REGION

NUR ZAHRO CHARISSA RAHMA

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Ilmu Perencanaan Wilayah

**ILMU PERENCANAAN WILAYAH
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Prof. Dr.Agr. Didit Okta Pribadi, M.Si.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Kuantifikasi Jasa Agro-Ekosistem Sawah di Jakarta-Bandung
Mega Urban Region

Nama : Nur Zahro Charissa Rahma
NIM : A1506241023

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Ernan Rustiadi, M.Agr

Pembimbing 2:
Dr. Andrea Emma Pravitasari S.P., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Andrea Emma Pravitasari S.P., M.Si.
NIP 198411022012122002

Dekan Fakultas Pertanian
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc.Agr
NIP 196902121992031003

Tanggal Ujian: 29 Juli 2026

Tanggal Lulus: 06 AUG 2026



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Oktober 2025 sampai bulan Juni 2026 ini ialah jasa agro-ekosistem pada kawasan *mega-urban*, dengan judul “Kuantifikasi Jasa Agro-Ekosistem Sawah di Jakarta-Bandung Mega Urban Region”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Ernani Rustiadi, M.Agr. dan Dr. Andrea Emma Pravitasari, S.P., M.Si. yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta motivasi selama proses penelitian dan penyusunan tesis ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, penguji luar komisi pembimbing, serta seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Ilmu Perencanaan Wilayah, Sekolah Pascasarjana IPB University yang telah memberikan masukan dan dukungan selama proses studi. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia melalui Program Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) yang telah memberikan dukungan pendanaan pendidikan dan penelitian selama penulis menempuh studi. Penghargaan penulis sampaikan kepada Divisi Pengembangan Wilayah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB University, serta berbagai instansi yang telah menyediakan data dan informasi yang diperlukan dalam penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa Program Studi Ilmu Perencanaan Wilayah (PWL) IPB University, khususnya rekan-rekan PWL 2024, atas kebersamaan, dukungan, bantuan, serta berbagai diskusi ilmiah yang memperkaya proses penelitian ini. Ucapan terima kasih turut penulis sampaikan kepada para sahabat dan teman-teman terdekat yang senantiasa memberikan semangat, dukungan, motivasi, serta menemani penulis dalam berbagai suka dan duka selama menempuh pendidikan dan menyelesaikan karya ilmiah ini. Pada akhirnya, penghargaan dan rasa terima kasih yang terdalem penulis persembahkan kepada mama (Dwi Setyorini), ayi (Ismijati), akung (Alm. Moch. Masulin), adek (Nur Charish Aidan Rahma), serta seluruh keluarga yang selalu menjadi sumber doa, kasih sayang, kekuatan, dan semangat bagi penulis dalam setiap langkah perjalanan studi hingga terselesaikannya penelitian ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Nur Zahro Charissa Rahma

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	6
1.4 Manfaat	6
1.5 Ruang Lingkup	6
1.6 Kerangka Pemikiran	7
II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Migrasi, Urbanisasi, Suburbanisasi, dan Peri-Urbanisasi	9
2.2 Aglomerasi Perkotaan	12
2.3 Pewilayahan dan Tipologi Wilayah	15
2.4 <i>Zoning Method, Spatial Clustering</i> , dan Rustiadi Quantitative Zoning Method (RQZM)	18
2.5 Pertanian Peri-Urban	20
2.6 Multifungsi Lahan Pertanian	21
2.7 Ketahanan Pangan Perkotaan	22
2.8 Ekologi Lanskap	23
2.9 <i>Landscape Metrics</i> (Metrik Lanskap)	24
2.10 Agro-ekosistem	25
2.11 Jasa Ekosistem dan Jasa Agro-ekosistem	26
III METODE	28
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2 Jenis dan Sumber Data	29
3.3 Pengumpulan Data	32
3.4 Teknik Analisis Data	32
IV GAMBARAN UMUM WILAYAH	53
4.1 Letak Geografis dan Batas Administrasi	53
4.2 Kondisi Kependudukan	54
4.3 Kondisi Perekonomian	55
4.4 Kondisi Sarana	58
V HASIL DAN PEMBAHASAN	60
5.1 Perubahan Penggunaan/Penutup Lahan Sawah ke Non-Sawah di JBMUR Tahun 2000-2025	60
5.2 Tipologi Wilayah JBMUR Berdasarkan Karakteristik Fisik dan Sosio-Ekonomi Wilayah	77



5.3	Fragmentasi Sawah dan Dampaknya terhadap Jasa Agro-Ekosistem di JBMUR	90
-----	---	----

VI	SIMPULAN DAN SARAN	112
----	--------------------	-----

6.1	Simpulan	112
-----	----------	-----

6.2	Saran	113
-----	-------	-----

	DAFTAR PUSTAKA	115
--	----------------	-----

	LAMPIRAN	133
--	----------	-----

	RIWAYAT HIDUP	158
--	---------------	-----



DAFTAR TABEL

1. Sintesis Definsi Konsep Aglomerasi Perkotaan	14
2. Sintesis Variabel yang Digunakan	30
3. Matriks Hubungan Antara Tujuan, Jenis Data, Sumber Data, Teknik Analisis dan Keluaran	32
4. Deskripsi citra satelit yang digunakan	35
5. Deskripsi Kelas Tutupan Lahan	37
6. <i>Confusion Matrix</i> Klasifikasi Penggunaan Lahan	38
7. Metode Pengolahan Data Tujuan 2	41
8. Metrik Lanskap	47
9. Metrik Lanskap Berdasarkan Jenis Jasa Agro-Ekosistem	49
10. Letak Geografis dan Batas Administrasi JBMUR	53
11. Kondisi Kependudukan JBMUR	55
12. Kondisi Perekonomian JBMUR	56
13. Struktur Rumah Tangga dan Tenaga Kerja Sektor Pertanian JBMUR	57
14. Kondisi Sarana JBMUR	59
15. <i>Confusion Matrix</i> LULC JBMUR Tahun 2000	60
16. <i>Confusion Matrix</i> LULC JBMUR Tahun 2005	62
17. <i>Confusion Matrix</i> LULC JBMUR Tahun 2010	64
18. <i>Confusion Matrix</i> LULC JBMUR Tahun 2015	66
19. <i>Confusion Matrix</i> LULC JBMUR Tahun 2020	68
20. <i>Confusion Matrix</i> LULC JBMUR Tahun 2025	70
21. Luasan Tutupan Lahan JBMUR periode 2000-2025 (km ²)	72
22. Hasil Deteksi Perubahan Penggunaan Lahan Sawah JBMUR Tahun 2000–2025 (km ²)	75
23. Distribusi Perubahan Sawah menjadi Non-Sawah dan Non-Sawah menjadi Sawah di JBMUR Tahun 2000–2025 (km ²)	76
24. Ringkasan hasil validasi klasterisasi RQZM-II	82
25. Distribusi Tipologi Wilayah JBMUR	86
26. Proporsi Tipologi Wilayah pada Kabupaten/Kota di JBMUR	88
27. Perubahan metrik fragmentasi sawah pada skala makro di JBMUR tahun 2000–2025	90
28. Statistik deskriptif metrik lanskap agro-ekosistem skala mikro JBMUR tahun 2000–2025	94
29. Perubahan rata-rata <i>Provisioning Services</i> , <i>Regulating Services</i> , dan Indeks Jasa Agro-ekosistem tahun 2000–2025	98
30. Perubahan jumlah unit mikro berdasarkan kondisi batas aman agro-ekosistem periode 2000–2025	99
31. Trajektori perubahan kondisi batas aman agro-ekosistem periode 2000–2025	100
32. Tingkat kekritisan akhir kondisi batas aman agro-ekosistem berdasarkan trajektori perubahan pada tingkat kabupaten/kota di JBMUR periode 2000–2025	102
33. Perubahan indikator penyusun Indeks Jasa Agro-ekosistem berdasarkan tipologi wilayah tahun 2000–2025	104

34. Persentase trajektori perubahan kondisi agro-ekosistem berdasarkan tipologi wilayah periode 2000–2025	105
35. Status batas aman indikator penyusun Indeks Jasa Agro-ekosistem berdasarkan tipologi wilayah tahun 2025	107

DAFTAR GAMBAR

1. Kerangka Pemikiran	8
2. Perbedaan <i>urban</i> , <i>sub-urban</i> , dan <i>peri-urban</i> (Adhvaryu dan Ratod, 2019 <i>Planning Practice & Research</i> , 34(3), 305–317)	11
3. Ilustrasi Aglomerasi Perkotaan (Rodrigue 2024 <i>The Geography of Transport Systems</i>)	15
4. Perbedaan pendekatan fleksibel dan ketat (Wang et al. 2024 <i>Sci Rep</i> 14)	19
5. Konsep Wilayah (Rustiadi et al. 2009 <i>Perencanaan Dan Pengembangan Wilayah</i>)	19
6. Lokasi PUA (Opitz et al. 2016 <i>Agric Hum Values</i> 33, 341–358)	21
7. Perbedaan Komposisi dan Konfigurasi dalam Ekologi Lanskap (Gehrke dan Clifton 2019 <i>Environ. Plan. B Urban Anal. City Sci.</i> 46: 9–26)	24
8. Unit Analisis <i>Landscape Metric</i> (McGarigal, 2014)	25
9. Jenis Jasa Ekosistem (Millennium Ecosystem Assessment PBB 2005)	27
10. Peta Lokasi Penelitian	28
11. Model Random Forest (Xie 2023)	36
12. <i>Confusion Matrix</i>	38
13. Ilustrasi <i>Moving Window</i> (Rahman 2025)	42
14. Grafik <i>Change Point Analysis</i> menggunakan <i>Binary Segmentation</i> (Bartolo et al. 2024)	51
15. Diagram Alir Teknik Analisis Data	52
16. Komposisi LULC JBMUR per Kab/Kota Tahun 2000	61
17. Peta Klasifikasi LULC JBMUR Tahun 2000	61
18. Komposisi LULC JBMUR per Kab/Kota Tahun 2005	63
19. Peta Klasifikasi LULC JBMUR Tahun 2005	63
20. Komposisi LULC JBMUR per Kab/Kota Tahun 2010	65
21. Peta Klasifikasi LULC JBMUR Tahun 2010	65
22. Komposisi LULC JBMUR per Kab/Kota Tahun 2015	67
23. Peta Klasifikasi LULC JBMUR Tahun 2015	67
24. Komposisi LULC JBMUR per Kab/Kota Tahun 2020	69
25. Peta Klasifikasi LULC JBMUR Tahun 2020	69
26. Komposisi LULC JBMUR per Kab/Kota Tahun 2025	71
27. Peta Klasifikasi LULC JBMUR Tahun 2025	71
28. Perubahan Luasan Setiap Kelas Tutupan Lahan di JBMUR Tahun 2000–2025	73
29. Transisi Tutupan Lahan JBMUR Periode 2000–2025	73
30. Tujuh alur transisi LULC terbesar di JBMUR periode 2000–2025 berdasarkan luas perubahan (km ²)	74

31. Peta Perubahan Lahan Sawah dan Non-Sawah di JBMUR Periode 2000–2025	75
32. Profil centroid hasil klasterisasi RQZM-II dengan konfigurasi tiga klaster ($k = 3$)	78
33. Distribusi spasial tipologi wilayah hasil klasterisasi RQZM-II dengan konfigurasi tiga klaster ($k = 3$) di JBMUR.	78
34. Profil centroid hasil klasterisasi RQZM-II dengan konfigurasi empat klaster ($k = 4$)	79
35. Distribusi spasial tipologi wilayah hasil klasterisasi RQZM-II dengan konfigurasi empat klaster ($k = 4$) di JBMUR.	80
36. Profil centroid hasil klasterisasi RQZM-II dengan konfigurasi lima klaster ($k = 5$)	81
37. Distribusi spasial tipologi wilayah hasil klasterisasi RQZM-II dengan konfigurasi lima klaster ($k = 5$) di JBMUR.	81
38. Perbandingan hasil pengelompokan LSD pada konfigurasi jumlah klaster $k = 3$, $k = 4$, dan $k = 5$	84
39. Tipologi wilayah JBMUR berdasarkan hasil klasterisasi RQZM-II ($k = 4$)	87
40. Proporsi tipologi wilayah Urban, Peri-Urban, Rural I, dan Rural II pada setiap kabupaten/kota di JBMUR	89
41. Peta <i>Overlay</i> Tipologi Wilayah pada Kabupaten/Kota di JBMUR	89
42. Dinamika fragmentasi sawah pada area representatif JBMUR tahun 2000–2025	93
43. Peta grid mikro $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ pada wilayah JBMUR	94
44. Perbandingan karakteristik petak sawah berdasarkan nilai SHAPE_MN rendah, sedang, dan tinggi	96
45. Perbandingan kondisi lanskap berdasarkan nilai ECON_MN rendah, sedang, dan tinggi	97
46. Distribusi spasial kondisi aman, berisiko, dan kritis agro-ekosistem tahun 2000 dan 2025	100
47. Peta trajektori perubahan kondisi agro-ekosistem periode 2000–2025	101
48. Proporsi trajektori perubahan kondisi batas aman agro-ekosistem berdasarkan tingkat kekritisannya akhir tahun 2025 pada setiap kabupaten/kota di JBMUR periode 2000–2025	103
49. Perbandingan trajektori perubahan kondisi agro-ekosistem berdasarkan tipologi wilayah	106
50. Status batas aman indikator penyusun Indeks Jasa Agro-ekosistem berdasarkan tipologi wilayah tahun 2025	107
51. Visualisasi konseptual batas aman Jasa Agro-ekosistem	109

DAFTAR LAMPIRAN

1. Observasi Lapangan	133
2. Matriks Perubahan Tutupan Lahan Antar Periode Tahun 2000–2025	146
3. Proses <i>Pre-Processing</i> Tujuan 2	148
4. Hasil <i>One-Way ANOVA</i>	152

5. Hasil Uji <i>Least Significant Difference</i> (LSD) Antar Klaster pada RQZM-II	153
6. Kuantifikasi Jasa Agro-Ekosistem	154
7. Deteksi Titik Perubahan Batas Aman Agro-Ekosistem Menggunakan Metode <i>Binary Segmentation</i>	156

