

Penerapan SAM-Geo untuk Delineasi Otomatis Batas Bidang Tanah Pertanian pada Ortofoto

Fauzia Aristalindra^{1*}, Abdul Basith²

^{1,2} Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Jl. Grafika Bulaksumur No.2, Mlati, Sleman, DIY-55281

^{1*} Koresponden email: fauzia.aristalindra@mail.ugm.ac.id

Vol 5, No.2
October 2025

Received
July 27th 2025

Accepted
October 3rd 2025

Published
Oct 10th 2025

ABSTRACT

Accurate data on agricultural parcel boundaries are essential to support efficient and equitable agrarian management. Conventional methods such as terrestrial surveys and manual digitization are often costly, time-consuming, and inconsistent. Advances in artificial intelligence-based segmentation models, particularly the Segment Anything Model for Geospatial (SAM-Geo), offer new opportunities to accelerate the automatic delineation of agricultural land parcels. This study aims to evaluate the performance of SAM-Geo in extracting agricultural parcel boundaries from 3.98 cm resolution orthophotos in Sumberrahayu Village, Moyudan Subdistrict, Sleman Regency, Yogyakarta Special Region, Indonesia. The research process includes orthophoto preprocessing, SAM-Geo implementation, mask filtering, and accuracy assessment using both area-based metrics (precision, recall, F1-score, and IoU) and boundary-based metrics (boundary precision, recall, and F1-score) with a 1 m buffer tolerance. The results indicate that SAM-Geo can produce highly precise boundary delineation in homogeneous areas, achieving F1-score and IoU values above 96%, while performance declines in heterogeneous areas due to complex land cover conditions. Overall, this study provides one of the first empirical evaluations of SAM-Geo in agricultural landscapes in Indonesia and highlights its potential as an effective approach for agricultural parcel boundary mapping.

Keywords: SAM-Geo; Orthophoto; Land parcel boundary; Area-based metrics; Boundary-based metrics

INTISARI

Ketersediaan data batas bidang tanah pertanian yang akurat menjadi prasyarat penting dalam mendukung pengelolaan agraria yang efisien dan berkeadilan. Metode konvensional seperti survei terestris dan digitasi manual seringkali memerlukan biaya tinggi, waktu lama, serta menghasilkan ketidakkonsistenan data. Perkembangan model segmentasi berbasis kecerdasan buatan, khususnya *Segment Anything Model for Geospatial* (SAM-Geo), membuka peluang baru untuk mempercepat delineasi batas bidang tanah pertanian secara otomatis. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja SAM-Geo dalam mengekstraksi batas bidang pertanian dari ortofoto beresolusi 3,98 cm di Kalurahan Sumberrahayu, Kapanewon Moyudan, Kabupaten Sleman, D.I. Yogyakarta. Metode penelitian mencakup pra-pemrosesan ortofoto, penerapan SAM-Geo, mask filtering, serta evaluasi akurasi menggunakan metrik berbasis area (*precision, recall, F1-score, and IoU*) dan berbasis batas (*boundary precision, recall, and F1-score*) dengan toleransi *buffer* 1 m. Hasil penelitian menunjukkan SAM-Geo menghasilkan delineasi batas sangat presisi pada area homogen dengan F1-score dan IoU di atas 96%, sedangkan performa menurun pada area heterogen akibat kompleksitas tutupan lahan. Temuan ini menegaskan potensi SAM-Geo sebagai pendekatan efektif untuk pemetaan batas bidang pertanian di Indonesia.

Kata Kunci: SAM-Geo; Ortofoto; Batas bidang; Metrik berbasis area; Metrik berbasis batas

A. Pendahuluan

Data spasial yang akurat tentang batas bidang tanah adalah DNA dari pembangunan wilayah; tanpanya, kebijakan apa pun akan tumbuh cacat dan tidak berkelanjutan. Ketersediaan data spasial tersebut juga menjadi fondasi penting bagi perencanaan penggunaan lahan, distribusi subsidi pertanian, hingga pendaftaran

tanah (Amin dkk., 2025; Gounari dkk., 2022; Heimann dkk., 2025; Obialero & Boccardo, 2025; Zheng dkk., 2025). Di negara agraris seperti Indonesia, batas bidang tanah khususnya tanah pertanian, sering kali belum terdokumentasi secara rinci dan sistematis (Aina, 2025). Metode konvensional seperti survei terestris dan digitasi manual pada ortofoto masih umum digunakan, namun memiliki sejumlah keterbatasan seperti biaya tinggi, waktu yang lama, serta ketergantungan pada keterampilan operator, yang berdampak pada ketidakkonsistenan hasil antar hasil digitasi (Arham dkk., 2019; D'andrimont dkk., 2023; Fariz dkk., 2020; Vallejo Orti dkk., 2024; Valman dkk., 2024).

Kemajuan teknologi kecerdasan buatan (AI) dan penginderaan jauh membuka peluang percepatan pemetaan spasial melalui pendekatan segmentasi otomatis (Cao dkk., 2025; Minaee dkk., 2021). Salah satu inovasi segmentasi yang unggul adalah SAM-Geo (Osco dkk., 2023; Vafaeinejad dkk., 2025; Wu & Osco, 2023), yaitu ekstensi dari model *Segment Anything* (SAM) yang dikembangkan oleh Meta AI (Kirillov dkk., 2023). SAM-Geo memungkinkan segmentasi objek secara otomatis pada citra geospasial seperti ortofoto tanpa perlu pelatihan khusus, sehingga sangat potensial untuk diterapkan dalam ekstraksi batas bidang tanah pertanian (Xie dkk., 2025). Namun, dalam konteks Indonesia yang memiliki karakteristik visual kompleks seperti batas bidang tanah yang tidak teratur, tekstur vegetasi yang beragam, serta kontras yang rendah antar petak pertanian, penerapan segmentasi SAM-Geo perlu diuji secara empiris. Sebagian besar studi menunjukkan kemampuan SAM-Geo pada citra umum atau dalam konteks segmentasi objek seperti bangunan dan jalan (Baroroh & Harintaka, 2025; Hattula dkk., 2025; Hetang dkk., 2024; Ji dkk., 2024; Sultan dkk., 2023).

Penggunaan SAM-Geo di bidang pertanian sudah dilakukan di beberapa negara seperti pada penelitian Tripathy dkk. (2024) yang mengeksplorasi SAM dalam pemetaan lahan pertanian skala kecil di India menggunakan citra SkySat resolusi 2 meter tanpa data pelatihan tambahan. Namun pendekatan ini masih menghadapi keterbatasan dalam akurasi delineasi. Studi lain oleh Xie dkk. (2025) mengembangkan fabSAM, yaitu kerangka kerja berbasis SAM yang dimodifikasi khusus untuk delineasi batas pertanian, dan terbukti meningkatkan performa secara signifikan dibandingkan SAM zero-shot. Sementara itu, Huang dkk. (2025) mengombinasikan SAM dengan segmentasi multi-skala untuk mengekstraksi petak pertanian kompleks pada citra resolusi tinggi, yang menghasilkan peningkatan presisi dan konsistensi delineasi.

Meskipun SAM-Geo memiliki potensi besar sebagai alat segmentasi otomatis dalam domain geospasial, kajian mengenai penerapannya secara praktis untuk ekstraksi batas bidang pertanian di Indonesia masih sangat terbatas. Hingga kini, belum banyak riset yang secara langsung menguji penerapan SAM-Geo pada area pertanian tertentu serta sejauh mana hasil segmentasinya dapat merepresentasikan batas bidang aktual berdasarkan data referensi di lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan aplikatif SAM-Geo dalam mengekstraksi batas bidang tanah pertanian berbasis ortofoto dan

mengukurnya melalui validasi kuantitatif terhadap data referensi. Kondisi ini menegaskan meskipun SAM telah diuji dan dimodifikasi di berbagai konteks internasional, hingga kini belum ada penelitian yang secara khusus mengevaluasi performa SAM-Geo pada ortofoto di lanskap agraris Indonesia dengan karakteristik pertanian Indonesia yang ditandai dengan fragmentasi lahan, bentuk bidang tidak teratur, dan heterogenitas penutup lahan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan SAM-Geo dalam mengekstraksi batas bidang tanah pertanian berbasis ortofoto pada dua kondisi berbeda, yaitu lanskap pertanian homogen dan heterogen di Indonesia. Evaluasi dilakukan melalui pengukuran akurasi menggunakan metrik berbasis area maupun berbasis batas terhadap data referensi lapangan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi empiris mengenai kinerja SAM-Geo dalam delineasi batas bidang tanah pertanian serta membuka peluang penerapannya pada pengelolaan data pertanahan di Indonesia.

B. Metode Penelitian

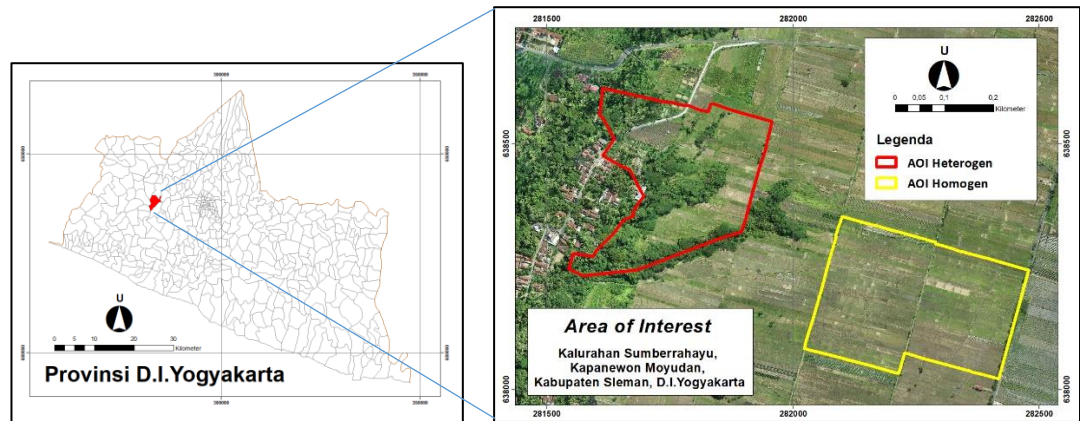
Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental yang bertujuan untuk menerapkan model segmentasi otomatis berbasis kecerdasan buatan (SAM-Geo) dalam mengekstraksi batas bidang tanah pertanian dari ortofoto resolusi tinggi. Fokus utama terletak pada penerapan dan pengujian kinerja SAM-Geo secara langsung pada area dengan karakteristik visual berbeda yaitu homogen dan heterogen serta mengevaluasi akurasi hasil segmentasinya terhadap data referensi lapangan.

Secara umum, tahapan penelitian meliputi pra-pemrosesan data berupa pemotongan ortofoto dan penyesuaian resolusi spasial (*downscaling*), dilanjutkan dengan penerapan SAM-Geo untuk menghasilkan hasil segmentasi batas bidang tanah pertanian. Hasil segmentasi kemudian dilakukan *mask filtering* dan dievaluasi menggunakan metrik kuantitatif berbasis area (*area based*) dan berbasis batas (*boundary based*) yang mencakup *precision*, *recall*, *F1-score* dan *Intersection over Union* (IoU) terhadap data referensi guna menilai akurasi dan konsistensi hasil segmentasi. Evaluasi ini memberikan dasar untuk menilai performa SAM-Geo dalam konteks bidang pertanian di Indonesia.

B.1. Lokasi dan Data Penelitian

Penelitian ini mengambil studi kasus wilayah pertanian yang berada dalam administrasi Kalurahan Sumberrahayu, Kapanewon Moyudan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada beberapa pertimbangan utama yang sangat relevan dengan tujuan penelitian yaitu Kalurahan Sumberrahayu adalah salah satu sentra pertanian padi yang aktif di Kabupaten Sleman. Area ini juga memiliki representativitas kondisi bidang pertanian yang sangat beragam, menjadikannya ideal untuk menguji kemampuan dan sensitivitas

algoritma SAM-Geo dalam melakukan delineasi otomatis bidang pertanian.



Gambar 1. Lokasi Penelitian. Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Untuk menguji performa SAM-Geo pada kondisi bidang pertanian yang bervariasi, pengujian dilakukan pada dua *Area of Interest* (AOI) yang secara spesifik mewakili karakteristik batas bidang yang berbeda yaitu AOI homogen dengan luas 15,1 ha dan AOI heterogen dengan luas 15,8 ha. AOI homogen mewakili area tutupan bidang pertanian dengan tampilan visual yang relatif seragam serta batas antar persil yang cenderung jelas dan teratur. AOI heterogen mewakili area tutupan bidang pertanian yang lebih beragam dengan batas antar persil bidang yang cenderung kompleks, tidak teratur, atau bercampur vegetasi lain (seperti pohon atau semak).

Data utama dalam penelitian ini adalah ortofoto dengan resolusi spasial 3,98 cm yang mencakup Kalurahan Sumberrahayu, Sleman, D.I. Yogyakarta. Sebagai data pendukung untuk validasi dan evaluasi akurasi hasil segmentasi, digunakan data referensi berupa batas bidang tanah Kalurahan Sumberrahayu, Sleman, D.I. Yogyakarta yang diperoleh melalui metode pengukuran terestris dengan menggunakan alat ukur *Total Station* dan GNSS dengan format *shapefile* poligon. Data referensi ini berperan sebagai acuan atau standar kebenaran yang digunakan untuk membandingkan dan menilai keakuratan hasil delineasi batas bidang yang dihasilkan oleh model SAM-Geo.

B.2. Pra-Pemrosesan Data

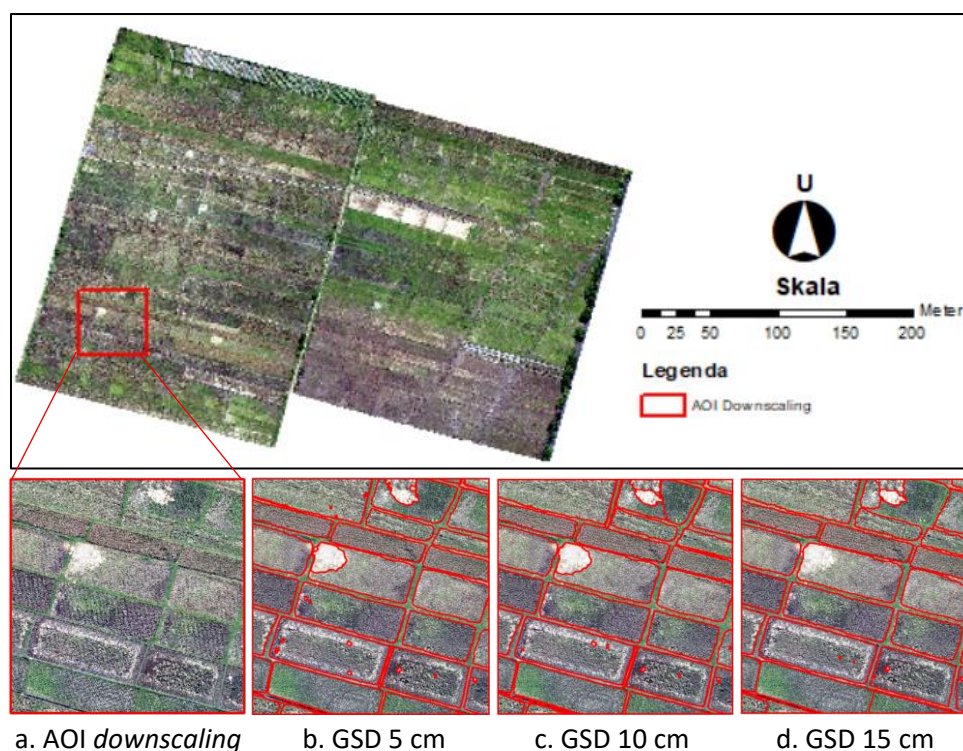
Pra-pemrosesan data dilakukan untuk menyesuaikan ortofoto sebelum digunakan dalam proses segmentasi dengan SAM-Geo. Tahap ini meliputi pemotongan ortofoto sesuai *area of interest* (AOI) homogen dan heterogen, serta penurunan resolusi spasial (*downscaling*). Meskipun ortofoto memiliki resolusi tinggi, tingkat ketelitian yang terlalu tinggi dapat membuat model terlalu sensitif terhadap detail visual yang tidak relevan. Untuk mendapatkan keseimbangan terbaik, dilakukan eksperimen awal dengan melakukan *downscaling Ground Sampling Distance* (GSD) ortofoto ke dalam tiga skenario resolusi yaitu GSD 5 cm, GSD 10 cm, dan GSD 15 cm yang disajikan pada Gambar 2. Hasil eksperimen awal ini dievaluasi dengan metrik evaluasi *precision*, *recall*, *F1-score* dan *IoU* untuk memilih nilai GSD terbaik. Hasil perhitungan metrik *precision*, *recall*, *F1-score* dan *IoU* dari

hasil eksperimen awal *downscaling* GSD disajikan pada Tabel 1 dengan nilai tertinggi F1-score dan IoU pada GSD 10 cm yaitu 99,63% dan 99,27%. Berdasarkan hasil evaluasi dari ketiga skenario tersebut, GSD 10 cm ditetapkan sebagai resolusi standar yang digunakan untuk seluruh AOI dalam penelitian ini. Oleh karena itu, resolusi spasial ortofoto yang semula 3,98 cm diturunkan menjadi 10 cm.

Tabel 1. Perhitungan Uji Akurasi Eksperimen *Downscaling* GSD

Metrik	GSD 5 cm	GSD 10 cm	GSD 15 cm
Precision	99,36%	99,27%	99%
Recall	87,16%	100%	99,81%
F1-Score	92,86%	99,63%	99,40%
IoU	86,68%	99,27%	98,81%

Sumber: Hasil Penelitian, 2025



Gambar 2. Hasil Eksperimen *Downscaling* GSD pada Segmentasi SAM.

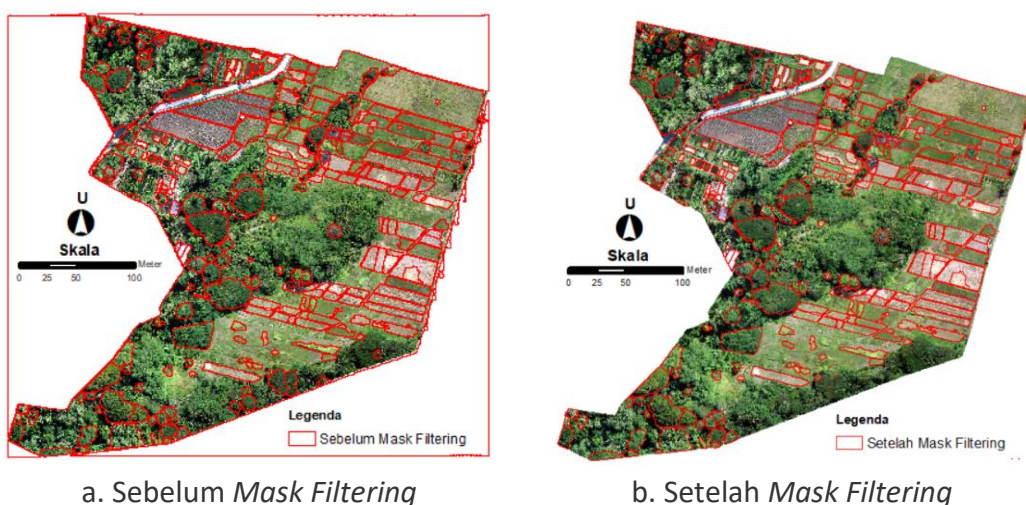
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

B.3. Penerapan segmentasi dengan SAM-Geo

Proses segmentasi dilakukan pada *platform Google Colaboratory* dengan menggunakan skrip segmentasi SAM-Geo. Skrip diadaptasi dari dokumentasi resmi SAM-Geo agar selaras dengan struktur model, karakteristik data dan batasan *platform* yang digunakan. SAM-Geo mendukung *prompt-based segmentation* secara *zero-shot* sehingga proses segmentasi dapat dilakukan secara otomatis tanpa perlu pelatihan ulang model. Skrip segmentasi berperan sebagai pengendali utama alur kerja model SAM-Geo. Skrip ini membaca ortofoto berformat GeoTIFF, menentukan jenis *prompt*, menetapkan parameter segmentasi, hingga mengatur format serta lokasi *output*.

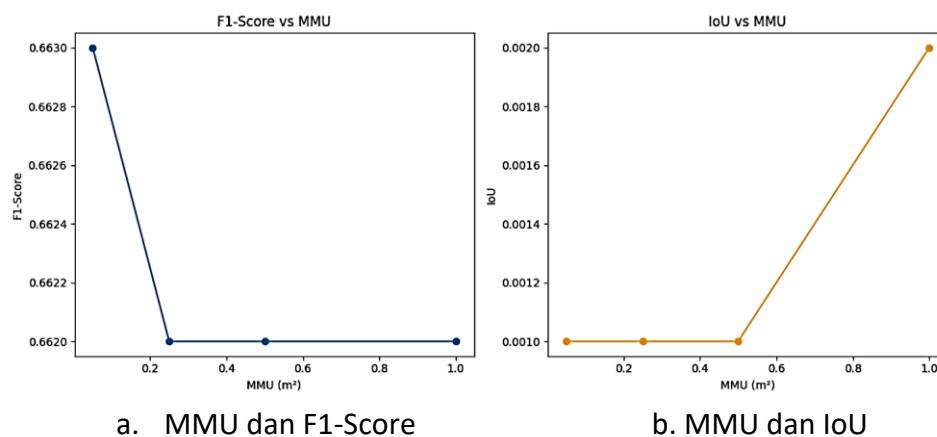
B.4. *Mask Filtering* Hasil SAM-Geo

Setelah seluruh proses segmentasi selesai dilakukan menggunakan SAM-Geo, langkah selanjutnya dalam tahapan pengolahan adalah melakukan proses *Mask Filtering* yang disajikan pada Gambar 3. *Mask Filtering* adalah proses pemurnian atau pembersihan hasil segmentasi dengan cara menghapus bagian-bagian yang tidak relevan atau bersifat *noise* (Kim dkk., 2025). Proses *mask filtering* hasil segmentasi SAM-Geo dilakukan dengan menghapus segmen yang berada di luar area ortofoto serta menyaring poligon berukuran sangat kecil (kurang dari 0,05 m²) yang dianggap sebagai *noise*. Langkah ini bertujuan untuk menghilangkan fitur yang tidak relevan dan memperbaiki hasil segmentasi agar lebih representatif terhadap batas bidang pertanian yang sebenarnya.



Gambar 3. Proses *mask filtering* hasil SAM-Geo. Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Pemilihan ukuran objek minimum atau *Minimum Mapping Unit* (MMU) 0,05 m² dilakukan berdasarkan uji sensitivitas MMU 0.05, 0.25, 0.5, 1.0 terhadap nilai F1-score dan IoU yang diilustrasikan pada Gambar 4. GSD merepresentasikan resolusi spasial citra, misalnya GSD 0,1 m berarti satu piksel menggambarkan luas 0,01 m². Sementara itu, MMU berfungsi sebagai ambang batas luas minimum suatu objek yang dipertahankan dalam peta. Objek dengan ukuran lebih kecil dari nilai MMU akan dihapus atau tidak dimasukkan ke dalam hasil pemetaan.



Gambar 4. Grafik Hubungan MMU dengan F1-Score dan IoU.

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa F1-Score tertinggi diperoleh pada MMU 0,05 m² dengan nilai 0,6630, sedangkan pada MMU lebih besar nilainya sedikit menurun dan stabil di sekitar 0,6620. Sebaliknya, IoU meningkat dari 0,001 pada MMU ≤ 0,5 m² menjadi 0,002 pada MMU 1 m², namun selisih ini relatif kecil dan kurang signifikan dalam memengaruhi kualitas segmentasi. Dengan mempertahankan MMU rendah, objek kecil tetap terjaga sehingga detail batas persil sawah tidak hilang. Pemilihan nilai MMU sebesar 0,05 m² juga telah konsisten dengan resolusi spasial data, karena lebih besar daripada luas satu piksel pada GSD 0,1 m (0,01 m² per piksel). Oleh karena itu, penggunaan MMU 0,05 m² dinilai paling tepat untuk segmentasi batas persil pertanian, karena mampu menjaga akurasi sekaligus memastikan hasil tetap representatif terhadap kondisi lapangan.

B.5. Evaluasi Akurasi SAM-Geo

Uji akurasi dilakukan menggunakan metrik evaluasi kuantitatif berbasis area *F1-score* dan *Intersection over Union* (IoU). Metrik berbasis area ini termasuk evaluasi yang paling umum digunakan dalam tugas segmentasi. Metrik evaluasi ini dihitung berdasarkan luas area poligon hasil segmentasi (*Apred*) dan data referensi (*Agt*). *Precision* (*P*) mengukur ketepatan hasil prediksi, yaitu proporsi area hasil segmentasi yang benar-benar sesuai dengan data referensi. *Recall* (*R*) mengukur kelengkapan model dalam mendeteksi objek, yaitu proporsi area data referensi yang berhasil ditangkap oleh hasil segmentasi. *F1-score* merupakan rata-rata harmonik antara *precision* dan *recall*, sedangkan IoU merupakan rasio antara luas area irisan (*intersection*) dan luas area gabungan (*union*) dari hasil segmentasi dan data referensi. *Precision*, *recall*, *F1-score* dan IoU dihitung menggunakan persamaan (1), (2), (3) dan (4) berikut ini (J. Kim & Kim, 2024) :

$$P = \frac{TP}{(TP+FP)} \quad (1)$$

$$R = \frac{TP}{(TP+FN)} \quad (2)$$

$$F1 - Score = 2 \times \frac{P \times R}{P + R} \quad (3)$$

$$IoU (A, B) = \frac{Apred \cap Agt}{Apred \cup Agt} \quad (4)$$

dengan:

- TP (*True Positive*) = luas area hasil segmentasi yang beririsan dengan *ground truth*,
- FP (*False Positives*) = luas area hasil segmentasi yang tidak beririsan dengan data referensi,
- FN (*False Negatives*) = luas area data referensi yang tidak berhasil tersegmentasi.

Selain metrik berbasis area seperti *F1-score* dan IoU, evaluasi delineasi batas juga dilakukan menggunakan metrik berbasis batas, yaitu *boundary precision*,

boundary recall, dan *boundary F1-score* dengan *buffer* toleransi jarak 1 m. Berbeda dengan metrik IoU atau F1-score berbasis area yang menghitung kesesuaian luasan poligon, metrik berbasis batas lebih menekankan pada kualitas delineasi garis batas objek. Hal ini penting karena dalam pemetaan berbasis ortofoto resolusi tinggi, deviasi kecil pada batas bidang dapat berdampak signifikan pada hasil analisis spasial. Pemilihan toleransi 1 m didasarkan pada pertimbangan spasial bahwa nilai ini lebih besar dari ukuran piksel (0,1 m) sehingga mengurangi pengaruh variasi acak antar piksel pada hasil evaluasi. Selain itu, toleransi 1 m relatif kecil dibandingkan dimensi rata-rata bidang pertanian, sehingga masih mampu merepresentasikan deviasi batas persil yang wajar di lapangan.

C. Hasil dan Pembahasan

C.1. Hasil Segmentasi Setiap AOI dengan SAM-Geo

SAM-Geo mampu melakukan segmentasi tanpa memerlukan data pelatihan tambahan, sehingga praktis untuk diterapkan. Dalam penelitian ini, SAM-Geo digunakan pada ortofoto untuk menganalisis dua area dengan karakteristik berbeda yaitu homogen dan heterogen. Hasil segmentasi menunjukkan performa segmentasi yang baik secara visual. Dengan penerapan SAM-Geo, data ortofoto berhasil disegmentasi, namun hasilnya segmentasinya masih tergolong umum karena seluruh objek dikategorikan dalam satu kelas dan belum mampu membedakan jenis objek secara spesifik.

Tabel 2. Hasil Segmentasi dengan SAM-Geo

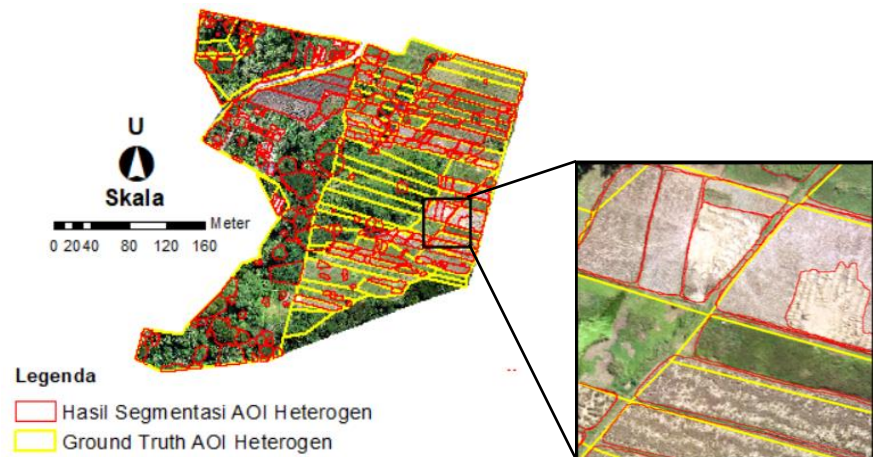
No.	AOI	Jumlah Objek Ter-Segmentasi	Jumlah Objek Data Referensi	Luas Hasil Segmentasi (m2)	Luas Data Referensi (m2)
1.	AOI Heterogen	3.282	71	42428,32	82816,17
2.	AOI Homogen	4.617	160	99748,70	95802,12

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa hasil segmentasi ortofoto menggunakan SAM-Geo pada AOI heterogen berhasil mendeteksi sebanyak 3.282 objek dan pada AOI homogen sebanyak 4.617 objek. Pada AOI heterogen yang disajikan pada Gambar 5, secara visual segmentasi tampak cukup berhasil dalam mengenali objek-objek dengan bentuk yang jelas dan tepi yang kontras, seperti petak-petak bidang pertanian yang tersebar di berbagai bagian wilayah. Namun masih terdapat banyak area yang tidak tersegmentasi, terutama pada wilayah dengan vegetasi lebat atau penutup bidang yang memiliki tekstur kompleks dan batas yang tidak tegas. Beberapa area pertanian terbuka yang memiliki tampilan visual cukup jelas dan tidak tertutup vegetasi lebat juga tidak berhasil disegmentasi oleh SAM-Geo. Hal ini cukup signifikan karena seharusnya area-area terbuka seperti sawah, ladang, atau petak pertanian yang rapi secara visual lebih mudah terdeteksi dibandingkan area dengan tutupan vegetasi padat.

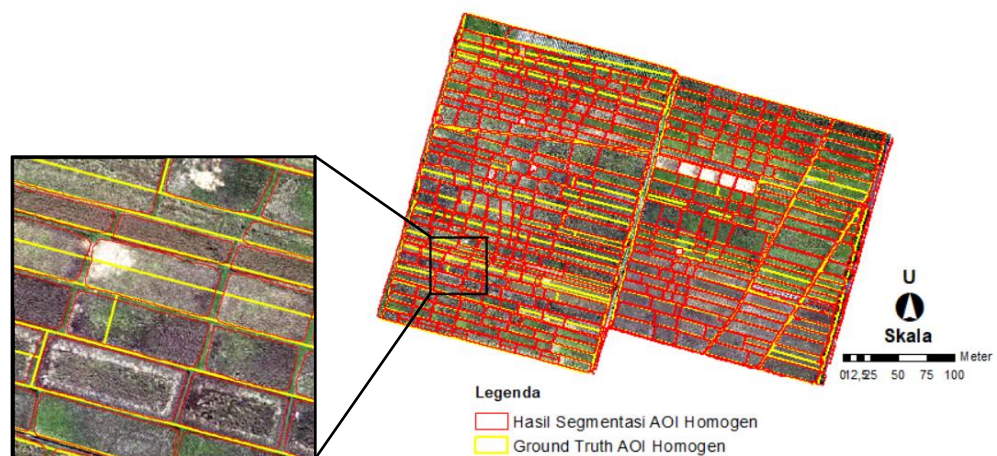
Ketidaktersegmentasiannya area pertanian terbuka ini mengindikasikan keterbatasan SAM-Geo dalam mengenali objek berdasarkan konteks spasial dan

semantik, terutama pada objek yang memiliki tekstur atau warna yang homogen dengan sekitarnya atau tidak memiliki batas kontras yang tajam. Meski secara visual objek tersebut tampak jelas bagi manusia, SAM-Geo mungkin gagal mengidentifikasi perbedaan halus antar petak karena pendekatannya yang berbasis segmentasi generik dan bukan klasifikasi semantik khusus pertanian. Ketidaktersegmentasiannya sejumlah area ini mengindikasikan bahwa meskipun SAM-Geo mampu mengenali ribuan objek, cakupan segmentasi masih parsial dan belum menyeluruh terhadap seluruh jenis penutup bidang pertanian yang ada.



Gambar 5. *Overlay* hasil segmentasi SAM-Geo dan data referensi pada AOI Heterogen. Sumber: Hasil Penelitian, 2025

AOI homogen pada lahan pertanian memiliki pola spasial yang teratur dan seragam, sehingga mendukung proses segmentasi citra. Petak-petak bidang tersusun rapi dan merata, memungkinkan SAM-Geo mengikuti bentuk serta batasnya secara visual. Setiap bidang tersegmentasi secara individual, mencerminkan struktur yang jelas dan konsisten. Hampir seluruh area pada ortofoto berhasil disegmentasi dengan baik, menunjukkan bahwa SAM-Geo bekerja optimal pada pola lahan yang seragam dan memiliki kontras tinggi.



Gambar 6. *Overlay* hasil segmentasi SAM-Geo dan data referensi pada AOI Homogen. Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Dibandingkan dengan hasil segmentasi pada AOI heterogen, performa SAM-Geo pada AOI homogen yang disajikan pada Gambar 6 menunjukkan tingkat akurasi visual yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh keteraturan pola spasial dan kejelasan batas antar petak bidang yang mendukung proses segmentasi berbasis citra. Pada AOI heterogen, keberagaman penutup bidang pertanian serta keberadaan vegetasi lebat dan batas yang tidak kontras menghambat kemampuan model dalam mengidentifikasi objek secara utuh. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa karakteristik lanskap sangat mempengaruhi hasil segmentasi SAM-Geo, di mana lingkungan yang homogen dan terstruktur lebih mendukung ekstraksi batas bidang yang presisi dibandingkan dengan lanskap yang kompleks dan tidak seragam.

C.2. Evaluasi Akurasi Hasil Segmentasi SAM-Geo

Keandalan model segmentasi berbasis *deep learning* seperti SAM-Geo dapat dianalisis melalui pendekatan visual dan geometrik terhadap hasil segmentasi objek. Dalam penerapannya pada segmentasi bidang pertanian, evaluasi diperlukan untuk menilai sejauh mana model mampu mengidentifikasi batas-batas bidang dengan akurat dan stabil di berbagai kondisi bidang pertanian. Penilaian dilakukan dengan membandingkan hasil segmentasi dan data referensi. Tujuan dari evaluasi ini adalah untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai tingkat akurasi model, baik dari segi kesesuaian objek maupun kedekatan spasial terhadap batas bidang sebenarnya.

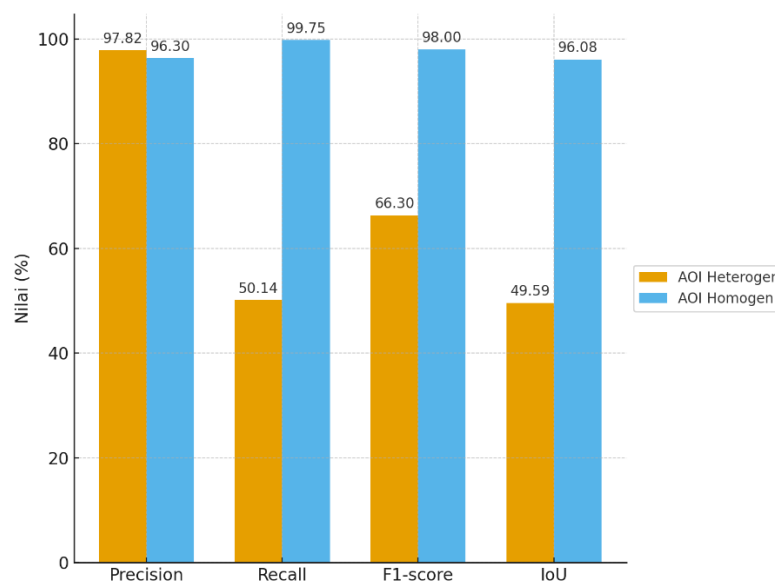
C.2.1. Evaluasi Akurasi Hasil Segmentasi SAM-Geo Berbasis Area

Pada evaluasi akurasi segmentasi bidang pertanian menggunakan SAM-Geo, metrik F1-score berperan penting dalam mengukur kualitas hasil segmentasi. Metrik ini digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana model dapat mengekstraksi batas bidang dengan tepat pada ortofoto yang mencakup wilayah pertanian homogen dan heterogen. Selain itu, metrik *Intersection over Union* (IoU) digunakan untuk menilai tingkat tumpang tindih antara area yang disegmentasi oleh model dan data referensi, sehingga memberikan gambaran seberapa akurat model dalam mengidentifikasi area objek secara spasial. Evaluasi dilakukan melalui analisis geometrik dengan membandingkan luasan poligon dari hasil segmentasi yang telah dilakukan *mask filtering* dan data batas bidang referensi. Nilai-nilai dari metrik evaluasi tersebut disajikan secara rinci dalam Tabel 2. dan diagram batang Gambar 7.

Tabel 2. Hasil uji akurasi segmentasi batas bidang pertanian		
Metrik Evaluasi	AOI Heterogen	AOI Homogen
<i>Precision</i>	97,82%	96,30%
<i>Recall</i>	50,14%	99,75%
F1-score	66,30%	98,00%
IoU	49,59%	96,08%

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan hasil evaluasi pada AOI heterogen, SAM-Geo menunjukkan nilai *precision* yang tinggi sebesar 97,82%, yang mengindikasikan bahwa sebagian besar prediksi batas bidang yang dilakukan oleh model memang benar merupakan batas bidang aktual. Namun, nilai *recall* yang rendah yaitu 50,14% menunjukkan bahwa hanya separuh dari total batas bidang yang sebenarnya berhasil dideteksi oleh model. Hal ini menyebabkan nilai F1-score menjadi sedang, yaitu 66,30%, karena F1-score merupakan rata-rata harmonik antara *precision* dan *recall*. Selain itu, nilai IoU sebesar 49,59% menunjukkan tingkat kesesuaian spasial yang rendah antara hasil segmentasi dan data referensi, yang mencerminkan adanya banyak area batas bidang yang tidak tertangkap secara utuh oleh model.



Gambar 7. Diagram perbandingan hasil uji akurasi. Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Sementara itu, hasil evaluasi pada AOI homogen menunjukkan performa segmentasi SAM-Geo yang jauh lebih baik dan seimbang di semua metrik. Nilai *precision* sebesar 96,30% dan *recall* mencapai 99,75%. Nilai ini mengindikasikan bahwa hampir seluruh batas bidang yang ada berhasil dideteksi secara benar oleh model. Hal ini berkontribusi pada F1-score yang sangat tinggi, yaitu 98,00% yang menandakan keseimbangan yang sangat baik antara ketepatan dan kelengkapan deteksi. Nilai IoU sebesar 96,08% juga menunjukkan tingkat tumpang tindih spasial yang sangat tinggi antara hasil segmentasi dan data referensi. Hal ini menandakan bahwa model mampu menghasilkan batas bidang yang hampir identik dengan batas aktual.

Jika dibandingkan, performa SAM-Geo pada AOI homogen jauh lebih unggul dibandingkan AOI heterogen dalam semua metrik evaluasi. Heterogenitas lanskap menjadi faktor utama menurunnya akurasi pada AOI heterogen, di mana kompleksitas objek, vegetasi padat, dan batas bidang yang tidak jelas menghambat segmentasi yang akurat. Sebaliknya, kondisi AOI homogen yang terstruktur dan memiliki batas yang kontras mendukung kinerja model.

C.2.2. Evaluasi Akurasi Hasil Segmentasi SAM-Geo Berbasis Garis Batas

Pada tahap evaluasi, dilakukan juga evaluasi delineasi batas menggunakan metrik berbasis garis batas, yaitu *boundary precision*, *boundary recall*, dan *boundary F1-score* dengan *buffer* toleransi jarak 1 m. Penerapan metrik ini penting karena metrik berbasis area tidak selalu mampu menggambarkan ketepatan batas secara rinci, khususnya pada kondisi *over-smooth* atau adanya pergeseran kecil yang tetap dapat menghasilkan nilai IoU tinggi. Melalui metrik berbasis batas, kualitas segmentasi dapat dievaluasi lebih menyeluruh, sehingga hasil yang diperoleh lebih representatif terhadap akurasi delineasi batas bidang sawah.

Tabel 3. Perhitungan Boundary Precision, Recall, F1-Score

	AOI Heterogen	AOI Homogen
Boundary Precision	0.20	0.60
Boundary Recall	0.45	0.83
Boundary F1-score	0.27	0.70

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

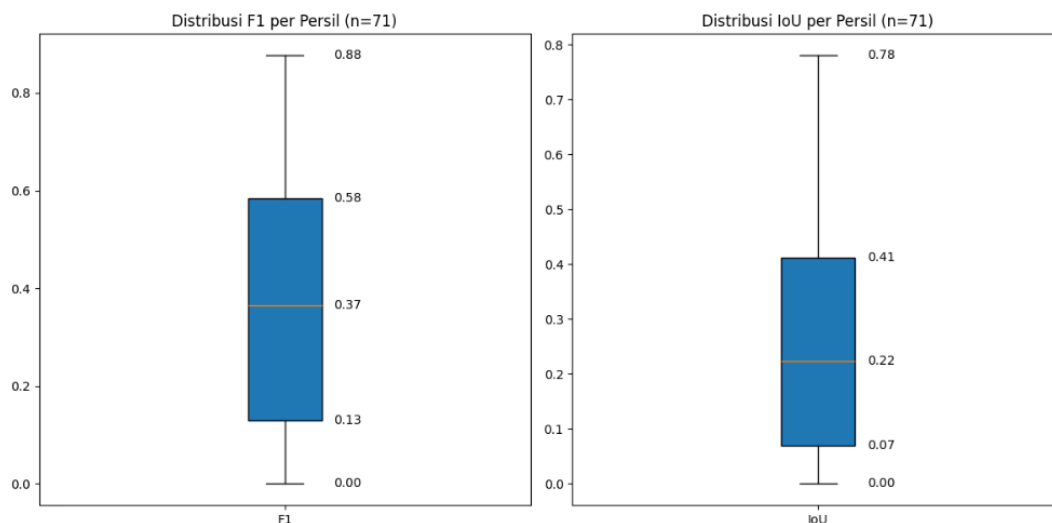
Hasil perhitungan pada Tabel 3 menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antara AOI heterogen dan AOI homogen. Pada AOI heterogen, *Boundary Precision* hanya mencapai 0,20, *Boundary Recall* sebesar 0,45, dan *Boundary F1-Score* sebesar 0,27, yang mengindikasikan adanya banyak batas persil kecil dan kompleks yang gagal terdeteksi dengan tepat. Sebaliknya, pada AOI homogen diperoleh nilai yang jauh lebih baik, dengan *Boundary Precision* sebesar 0,60, *Boundary Recall* sebesar 0,83, dan *Boundary F1-Score* sebesar 0,70. Hasil ini menunjukkan bahwa segmentasi pada AOI homogen lebih konsisten dalam mengikuti garis batas persil, sedangkan pada AOI heterogen kompleksitas objek menyebabkan penurunan akurasi delineasi batas.

C.2.3. Evaluasi Akurasi Hasil Segmentasi SAM-Geo per Bidang

Selain evaluasi akurasi berbasis area dan garis batas, analisis lebih lanjut dilakukan pada tingkat per bidang (persil) untuk memahami variasi performa segmentasi secara individu. Pendekatan ini divisualisasikan dalam bentuk *box plot* yang menampilkan distribusi nilai F1 dan IoU per persil pada AOI heterogen maupun homogen sebagaimana disajikan pada Gambar 8 dan 9. Analisis ini memberikan gambaran tambahan mengenai sebaran akurasi segmentasi, sehingga tidak hanya bergantung pada nilai rata-rata metrik, tetapi juga memperlihatkan konsistensi kinerja SAM-Geo antar bidang. Dengan demikian, *box plot* melengkapi hasil evaluasi metrik berbasis area dan metrik berbasis batas dengan menyoroti variasi performa antar persil.

Distribusi nilai F1 per bidang pada AOI heterogen menunjukkan variasi yang lebar dengan median 0,37 dan rentang nilai hingga 0,88. Hal ini sejalan dengan hasil evaluasi metrik berbasis area yang memperlihatkan nilai *recall* rendah (50,14%) dan F1-score hanya 66,30%, sehingga banyak bidang pertanian tidak terdeteksi penuh. Ketidakkonsistenan ini juga tercermin pada nilai *Boundary F1-score* yang rendah (0,27), yang mengindikasikan delineasi batas per bidang cenderung tidak stabil.

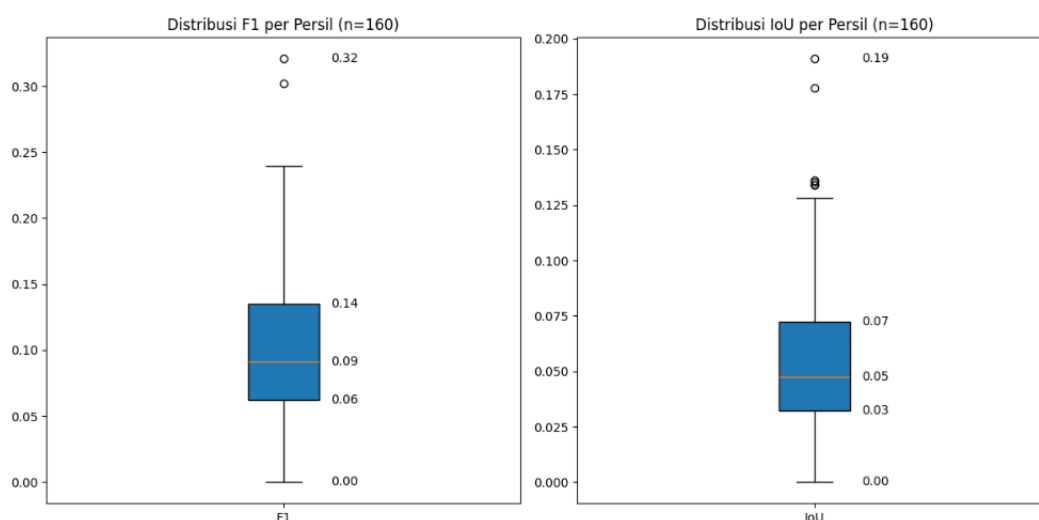
Dengan demikian, *box plot* pada AOI heterogen menegaskan bahwa kompleksitas vegetasi dan bentuk bidang yang tidak teratur menjadi penyebab utama menurunnya akurasi segmentasi.



Gambar 8. *Boxplot* distribusi AOI Heterogen per bidang.

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Sebaliknya, AOI homogen memperlihatkan distribusi nilai F1 per bidang yang lebih rapat dengan median 0,09, meskipun terdapat *outlier* hingga 0,32. Hasil ini konsisten dengan evaluasi metrik berbasis area yang menunjukkan F1-score sangat tinggi (98,00%) dan IoU sebesar 96,08%, serta evaluasi metrik berbasis batas dengan *Boundary F1-score* sebesar 0,70. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sebagian besar bidang pada AOI homogen dapat tersegmentasi dengan baik dan batasnya terdeteksi secara konsisten, meskipun masih terdapat beberapa persil kecil yang bermasalah. Secara keseluruhan, kombinasi metrik berbasis area, metrik berbasis batas, dan *box plot* menunjukkan bahwa SAM-Geo bekerja lebih stabil pada lanskap homogen dibandingkan lanskap heterogen.



Gambar 9. *Boxplot* distribusi AOI Homogen per bidang.

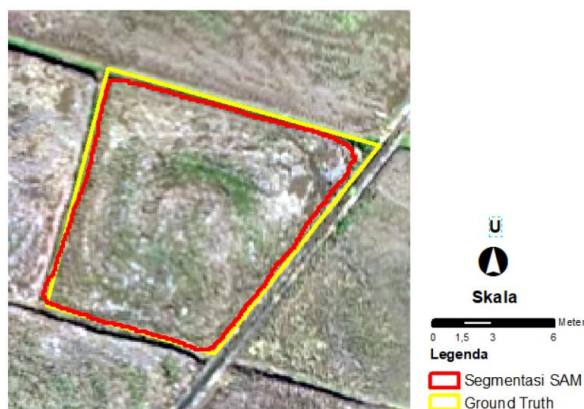
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

C.2.3. Diskusi Evaluasi Akurasi Hasil Segmentasi SAM-Geo

Performa segmentasi SAM-Geo ternyata sangat dipengaruhi oleh karakteristik internal bidang pertanian. Perbedaan signifikan antara area homogen dan heterogen menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti tutupan lahan dan kontras visual memainkan peran penting dalam keberhasilan segmentasi. Hasil evaluasi akurasi berbasis area, garis batas, serta distribusi *box plot* per bidang memperlihatkan bahwa AOI heterogen cenderung memiliki nilai akurasi lebih rendah dan sebaran performa yang lebih lebar dibandingkan AOI homogen.

Salah satu faktor dominan adalah variasi tutupan dalam satu bidang (*multi cover*), seperti vegetasi campuran dan tekstur lahan yang tidak seragam, yang membuat batas objek sulit dikenali secara konsisten oleh SAM-Geo. Selain itu, kontras spektral yang rendah pada bidang heterogen turut memperlemah kemampuan model dalam membedakan antar batas, sehingga meningkatkan risiko *over-segmentation* maupun *under-segmentation*.

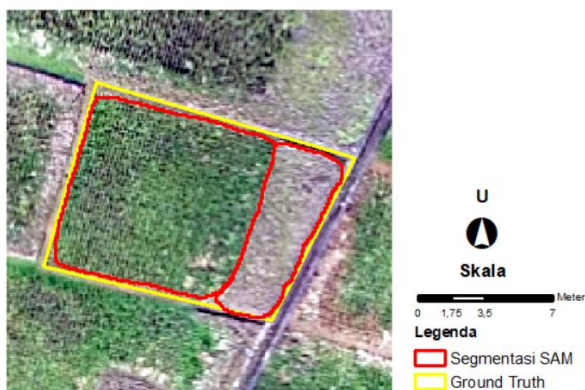
Sebaliknya, pada bidang dengan tutupan homogen atau *single cover* seperti yang ditampilkan pada Gambar 10, SAM-Geo mampu menghasilkan segmentasi yang presisi. Keseragaman visual dan batas fisik yang jelas pada ortofoto mendukung pembentukan poligon yang utuh dan sesuai dengan *ground truth*. *Overlay* antara hasil segmentasi dan data acuan menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi, menandakan bahwa SAM-Geo bekerja optimal ketika batas bidang sejalan dengan batas visual. Kondisi ini umum dijumpai pada lahan pertanian homogen dengan pola tanam seragam dan minim variasi internal.



Gambar 10. *Overlay* bidang *single cover*. Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Sebaliknya, pada bidang dengan tutupan heterogen atau *multi cover* yang disajikan pada Gambar 11, hasil segmentasi menunjukkan pola yang lebih kompleks. Meskipun *ground truth* hanya menampilkan satu poligon bidang, SAM-Geo memecahnya menjadi beberapa poligon terpisah karena adanya perbedaan internal, seperti variasi vegetasi, keberadaan galengan, dan perbedaan fase pertumbuhan tanaman. Hal ini memicu terjadinya *over-segmentation*, dimana batas bidang tidak lagi diwakili oleh satu poligon tunggal, melainkan terfragmentasi

menjadi dua atau lebih segmen. Dengan demikian, SAM-Geo cenderung mengikuti batas visual yang terdeteksi, meskipun tidak selalu sesuai dengan batas bidang.



Gambar 11. Overlay bidang *multi cover*. Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Kinerja pada bidang *single cover* menegaskan bahwa SAM-Geo menghasilkan segmen yang sesuai dengan data referensi ketika batas bidang dan batas visual berimpit, meskipun pada kondisi batas yang samar tetap terdapat potensi *under-segmentation*. Sebaliknya, pada bidang *multi cover*, hasil segmentasi sering kali tidak relevan dengan batas bidang sehingga memerlukan tahap pasca-pemrosesan, seperti penggabungan poligon berdasarkan data kadaster atau survei lapangan. Temuan ini menegaskan bahwa keseragaman tutupan lahan dalam satu bidang merupakan faktor kunci yang memengaruhi hasil segmentasi SAM-Geo dalam delineasi batas. Oleh karena itu, penerapan SAM-Geo pada pemetaan bidang pertanian sebaiknya dilengkapi dengan prosedur verifikasi dan penggabungan hasil untuk meningkatkan kesesuaian dengan kondisi bidang yang sebenarnya.

Secara konseptual, penerapan SAM-Geo pada ortofoto berbasis RGB pada lanskap pertanian menghadapi keterbatasan ketika kontras tepi rendah dan heterogenitas penutup lahan tinggi. Kondisi tersebut berimplikasi pada penurunan *recall* dan peningkatan fragmen poligon akibat *over/under-segmentasi* pada geometri bidang yang tidak beraturan. Pendekatan berorientasi *boundary semantics* terbukti efektif menuntun segmentasi agar mengikuti kontur persil secara konsisten (Zhao dkk., 2025). Selain itu, kerangka SAM multimodal untuk citra resolusi sangat tinggi dapat meningkatkan kinerja dibandingkan konfigurasi RGB murni seperti pada ortofoto (Zhang dkk., 2025).

Integrasi citra *multispectral*, khususnya kanal *red-edge* dan NIR dapat meningkatkan keterbedaan spektral vegetasi terhadap tanah/air, sehingga bermanfaat sebagai *pre-mask* maupun penentu titik tepi untuk pengarah *prompt* pada ortofoto. Pemodelan SAM berbasis multimodal menunjukkan bahwa penambahan kanal non-RGB memperbaiki konsistensi segmentasi pada citra beresolusi sangat tinggi (Zhang dkk., 2025). Secara metodologis, fusi multi-sumber (optik, cuaca, tanah/topografi) melalui skema fusi adaptif menghasilkan kinerja yang lebih unggul dibanding modalitas tunggal (Mena dkk., 2025). Temuan-temuan

tersebut menjadi dasar kuat bagi penerapan *early/late fusion* atau *prior* indeks vegetasi.

Data LiDAR menambahkan informasi struktur 3D yang menangkap relief mikro seperti pematang yang kerap tidak teramati pada ortofoto RGB. Pada skala bentang-lahan, pemanfaatan LiDAR terbukti unggul untuk pemetaan atribut struktur vegetasi secara andal, sehingga relevan untuk penajaman batas (Jucker dkk., 2023). Di sisi lain, kajian pada IEEE GRSL menunjukkan bahwa fusi spektral–struktural pada LiDAR multispektral meningkatkan pemisahan kelas dibanding modalitas tunggal (Jiang dkk., 2024). Dalam *pipeline* SAM-Geo, informasi ketinggian tersebut dapat dimanfaatkan untuk penyaringan objek tegak non-target serta penyusunan *edge prompts* pada punggung bund, diikuti penyempurnaan berbobot elevasi pada tahap pasca proses.

D. Kesimpulan

Ketika batas bidang tanah pertanian menjadi semakin penting dalam perencanaan pembangunan wilayah, SAM-Geo muncul sebagai alat yang menjanjikan—terutama pada area homogen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SAM-Geo mampu melakukan segmentasi batas bidang pertanian dengan tingkat akurasi tinggi: *precision* 96,30%, *recall* 99,75%, *F1-score* 98,00%, dan *IoU* 96,08%. Pola spasial yang teratur dan batas objek bidang tanah yang kontras pada area homogen mendukung kinerja model secara optimal. Sebaliknya, pada area heterogen, performa SAM-Geo menurun secara signifikan. Nilai *recall* 50,14%, *F1-score* 66,30%, dan *IoU* 49,59% mencerminkan tantangan dalam mendeteksi batas bidang tanah secara utuh. Kompleksitas tutupan lahan seperti vegetasi lebat, bentuk bidang tanah yang tidak beraturan, dan kontras rendah menyebabkan *over-segmentation* maupun *under-segmentation*, terutama pada bidang *multi cover*. Temuan ini menegaskan bahwa meskipun SAM-Geo efektif pada lanskap homogen, pengembangan lanjutan diperlukan untuk meningkatkan akurasi pada kondisi agraris yang lebih kompleks.

E. Rekomendasi

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan SAM-Geo untuk segmentasi otomatis batas bidang tanah pertanian di Indonesia memiliki potensi yang sangat menjanjikan, terutama pada wilayah dengan karakteristik homogen. Pada area tersebut, SAM-Geo mampu menghasilkan batas bidang tanah yang presisi dan konsisten. Namun, untuk meningkatkan performa pada wilayah heterogen yang memiliki kompleksitas tutupan lahan dan batas bidang tanah yang kurang jelas, diperlukan penyesuaian lebih lanjut. Pendekatan yang direkomendasikan meliputi integrasi SAM-Geo dengan metode berbasis pembelajaran semantik, seperti klasifikasi citra atau *machine learning* berbasis objek (OBIA), serta pemanfaatan data pendukung seperti citra multispektral dan indeks vegetasi. Selain itu, pengembangan *pipeline* segmentasi yang mencakup tahap *refinement* dan *filtering* berbasis spasial dapat memperbaiki hasil segmentasi awal agar lebih sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Penelitian lanjutan juga disarankan untuk menguji

performa SAM-Geo pada berbagai tipologi lanskap agraris di Indonesia guna memastikan generalisasi model secara nasional.

Daftar Pustaka

- Aina, D. S. (2025). Pelindungan lahan pertanian: Studi komparatif sistem administrasi pertanahan di Indonesia dan India. *Tunas Agraria*, 8(1), 92–112. <https://doi.org/10.31292/jta.v8i1.407>
- Amin, G., Oberlin, T., & Demarez, V. (2025). Early season delineation of agricultural fields using a fully convolutional multi-task network and satellite images. *Science of Remote Sensing*, 12, 100256. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2025.100256>
- Arham, I., Sjaf, S., & Darusman, D. (2019). Strategi pembangunan pertanian berkelanjutan di pedesaan berbasis citra drone (Studi kasus Desa Sukadamai Kabupaten Bogor). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 245–255. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.245-255>
- Baroroh, A., & Harintaka, H. (2025). Ekstraksi otomatis tapak bangunan (building footprint) pada ortofoto menggunakan Segment Anything Model (SAM). *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 8(1), 52–59. <https://doi.org/10.14710/elipsoida.2025.25145>
- Cao, Y., Liu, C., Wu, Z., Zhang, L., & Yang, L. (2025). Remote sensing image segmentation using Vision Mamba and multi-scale multi-frequency feature fusion. *Remote Sensing*, 17(8), 1–23. <https://doi.org/10.3390/rs17081390>
- D’Andrimont, R., Claverie, M., Kempeneers, P., Muraro, D., Yordanov, M., Peressutti, D., Batič, M., & Waldner, F. (2023). AI4Boundaries: An open AI-ready dataset to map field boundaries with Sentinel-2 and aerial photography. *Earth System Science Data*, 15(1), 317–329. <https://doi.org/10.5194/essd-15-317-2023>
- Fariz, T. R., Jatmiko, R. H., Mei, E. T. W., Arnanto, A., & Ramlah, M. F. R. (2020). Pemanfaatan foto udara format kecil untuk pemetaan bidang tanah di Sub DAS Bompon. *Jurnal Tunas Geografi*, 9(1). <https://www.academia.edu/download/96923506/13933.pdf>
- Gounari, O., Karakizi, C., & Karantzalos, K. (2022). Filtering LPIs data for building trustworthy training datasets for crop type mapping: A case study in Greece. *ISPRS Archives*, 43(B3-2022), 871–877. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-871-2022>
- Hattula, E., Raninen, J., & Zhu, L. (2025). Segment Anything Model with LiDAR-based images for building segmentation in forest areas. *ISPRS Archives*, 48(M-7–2025), 13–19. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-7-2025-13-2025>
- Heimann, C., Minnie, S., & Abrams, M. C. (2025). UMGICINI – Empowering rural communities through geospatial data and digital connectivity. *ISPRS Archives*, 48(5), 59–64. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-5-2024-59-2025>

- Hetang, C., Xue, H., Le, C., Yue, T., Wang, W., & He, Y. (2024). Segment Anything Model for road network graph extraction. *IEEE CVPR Workshops*, 2556–2566. <https://doi.org/10.1109/CVPRW63382.2024.00262>
- Huang, Z., Yang, X., Liu, Y., Wang, Z., Ma, Y., Jing, H., & Liu, X. (2025). Multi-type change detection and distinction of cultivated land parcels in high-resolution remote sensing images based on Segment Anything Model. *Remote Sensing*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/rs17050787>
- Ji, Y., Wu, W., Wan, G., Zhao, Y., Wang, W., Yin, H., Tian, Z., & Liu, S. (2024). Segment Anything Model-based building footprint extraction for residential complex spatial assessment using LiDAR data and very high-resolution imagery. *Remote Sensing*, 16(14). <https://doi.org/10.3390/rs16142661>
- Jucker, T., Gosper, C. R., Wiehl, G., Yeoh, P. B., Raisbeck-Brown, N., Fischer, F. J., Langley, H., Newchurch, W., O'Donnell, A. J., Page, G. F. M., Zdunic, K., & Prober, S. M. (2023). Using multi-platform LiDAR to guide the conservation of the world's largest temperate woodland. *Remote Sensing of Environment*, 296, 113745. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113745>
- Kim, H. S., Olaniyi, I., Chang, A., & Jung, J. (2025). Developing a Segment Anything Model-based framework for automated plot extraction. *Precision Agriculture*, 26(3), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s11119-025-10249-x>
- Kim, J., & Kim, Y. (2024). Integrated framework for unsupervised building segmentation with Segment Anything Model-based pseudo-labeling and weakly supervised learning. *Remote Sensing*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/rs16030526>
- Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., Mao, H., Rolland, C., Gustafson, L., Xiao, T., Whitehead, S., Berg, A. C., & Lo, W.-Y. (2023). Segment Anything. *arXiv preprint arXiv:2304.02643*. <https://arxiv.org/abs/2304.02643>
- Mena, F., Pathak, D., Najjar, H., Sanchez, C., Helber, P., Bischke, B., Habelitz, P., Miranda, M., Siddamsetty, J. M., Charfuelan, M., Arenas, D., & Vollmer, M. (2025). Adaptive fusion of multi-modal remote sensing data for optimal sub-field crop yield prediction. *Remote Sensing of Environment*, 318, 114547. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114547>
- Minaee, S., Boykov, Y., Porikli, F., Plaza, A., Kehtarnavaz, N., & Terzopoulos, D. (2021). Image segmentation using deep learning: A survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 44(7), 3523–3542. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3059964>
- Obialero, M., & Boccardo, P. (2025). Segmentation of multitemporal PlanetScope data to improve the land parcel identification system (LPIS). *Remote Sensing*, 17(12). <https://doi.org/10.3390/rs17121962>
- Oscó, L. P., Wu, Q., de Lemos, E. L., Gonçalves, W. N., Ramos, A. P. M., Li, J., & Marcato, J. (2023). The Segment Anything Model (SAM) for remote sensing applications: From zero to one shot. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 124, 103540. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103540>
- Sultan, R. I., Li, C., Zhu, H., Khanduri, P., Brocanelli, M., & Zhu, D. (2023). GeoSAM:

- Fine-tuning SAM with sparse and dense visual prompting for automated segmentation of mobility infrastructure. *arXiv preprint arXiv:2311.11319*. <https://arxiv.org/abs/2311.11319>
- Tripathy, P., Baylis, K., Wu, K., Watson, J., & Jiang, R. (2024). Investigating the Segment Anything foundation model for mapping smallholder agriculture field boundaries without training labels. *arXiv preprint arXiv:2407.01846*. <https://arxiv.org/abs/2407.01846>
- Vafaeinejad, A., Alimohammadi, N., Sharifi, A., & Safari, M. M. (2025). Super-resolution AI-based approach for extracting agricultural cadastral maps: Form and content validation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 18, 5204–5216. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2025.3530714>
- Vallejo Orti, M., Anders, K., Ajayi, O., Bubenzer, O., & Höfle, B. (2024). Integrating multi-user digitising actions for mapping gully outlines using a combined approach of Kalman filtering and machine learning. *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 12, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.ophoto.2024.100059>
- Valman, S. J., Boyd, D. S., Carbonneau, P. E., Johnson, M. F., & Dugdale, S. J. (2024). An AI approach to operationalise global daily PlanetScope satellite imagery for river water masking. *Remote Sensing of Environment*, 301, 113932. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113932>
- Wu, Q., & Osco, L. P. (2023). Samgeo: A Python package for segmenting geospatial data with the Segment Anything Model (SAM). *Journal of Open Source Software*, 8(89), 5663. <https://doi.org/10.21105/joss.05663>
- Xie, Y., Wu, H., Tong, H., Xiao, L., Zhou, W., Li, L., & Wanger, T. C. (2025). fabSAM: A farmland boundary delineation method based on the Segment Anything Model. *arXiv preprint arXiv:2501.12487*. <https://arxiv.org/abs/2501.12487>
- Zhang, Z., Shu, D., Liao, C., Liu, C., Zhao, Y., Wang, R., Huang, X., Zhang, M., & Gong, J. (2025). FlexiSAM: A flexible SAM-based semantic segmentation model for land cover classification using high-resolution multimodal remote sensing imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 227, 594–612. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2025.05.028>
- Zhao, H., Wu, B., Zhang, M., Long, J., Tian, F., Xie, Y., Zeng, H., Zheng, Z., Ma, Z., Wang, M., & Li, J. (2025). A large-scale VHR parcel dataset and a novel hierarchical semantic boundary-guided network for agricultural parcel delineation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 221, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2025.01.034>
- Zheng, J., Ye, Z., Wen, Y., Huang, J., Zhang, Z., Li, Q., Hu, Q., Xu, B., Zhao, L., & Fu, H. (2025). A comprehensive review of agricultural parcel and boundary delineation from remote sensing images: Recent progress and future perspectives. *arXiv preprint arXiv:2508.14558*. <https://arxiv.org/abs/2508.14558>