

PEMANFAATAN *REMOTE SENSING* DALAM PENINGKATAN KUALITAS DATA PERTANIAN: *SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW*

The Utilization of Remote Sensing in Enhancing Agricultural Data Quality: A Systematic Literature Review

Bill Van Ricardo Zalukhu*, Fitri Noor Hikmah**
*BPS Kota Gunungsitoli, E-mail: ricardo.zalukhu@bps.go.id
**BPS Kota Gunungsitoli

ABSTRAK

Pertanian sebagai sektor vital memerlukan pengontrolan kualitas dan kuantitas berbasis data akurat. Metode konvensional (survei/sensus) memiliki keterbatasan biaya, waktu, dan sumber daya. *Remote sensing* menawarkan solusi efisien dengan biaya lebih rendah dan data mutakhir. Integrasi kedua metode dapat meningkatkan akurasi data, mendukung pengambilan kebijakan pertanian. Artikel ini akan membahas mengenai ulasan secara komprehensif terkait dengan bagaimana pemanfaatan *remote sensing* dalam bidang pertanian, yang terbagi ke dalam beberapa ulasan, seperti metode pengumpulan data, jenis model dan evaluasinya, dan variable signifikan yang digunakan dalam penganalisisan di bidang pertanian. Sehingga berdasarkan ulasan pada artikel ini, akan didapatkan kesimpulan yang komprehensif untuk memberikan pandangan terkait dengan utilitas dari *remote sensing* dalam pengambilan kebijakan dan pembangunan teknologi dalam mendukung pertanian. PRISMA 2020 merupakan kerangka kerja dalam melakukan *systematic literature review* secara terstruktur dan terperinci. Dilengkapi dengan kerangka alur bekerja dan *checklist* substansi ulasan, PRISMA 2020 menjadi hasil ulasan lebih akurat dengan kualitas yang optimal. Hasil ulasan menunjukkan: 1) riset *remote sensing* di pertanian meningkat signifikan; 2) citra satelit/UAS dominan digunakan; 3) *Random Forest* dan RMSE paling sering dipakai; 4) NDVI menjadi indeks vegetasi utama. Temuan ini memberikan pandangan komprehensif untuk pengembangan teknologi dan kebijakan pertanian berbasis *remote sensing*.

Kata kunci: pertanian, *remote sensing*, *systematic literatur review*

ABSTRACT

Agriculture, as a vital sector, requires quality and quantity control based on accurate data. Conventional methods (surveys/censuses) have limitations in terms of cost, time, and resources. Remote sensing offers an efficient solution with lower costs and up-to-date data. Integrating both methods can improve data accuracy, supporting agricultural policy-making. This paper provides a comprehensive review of the utilization of remote sensing in agriculture; divided into several sections, including data collection methods, model types and evaluation, and significant variables used in agricultural analysis. Based on this review, a comprehensive conclusion will be drawn to provide insights into the utility of remote sensing in policy-making and technological development to support agriculture. The PRISMA 2020 framework is used to conduct a systematic literature review in a structured and detailed manner. Equipped with a workflow diagram and a checklist of review substance, PRISMA 2020 ensures a more accurate review with optimal quality. The review results show: 1) remote sensing research in agriculture has increased significantly; 2) satellite/UAS images are predominantly used; 3) Random Forest and RMSE are the most frequently used methods; 4) NDVI is the primary vegetation index. These findings provide a comprehensive overview for the development of remote sensing-based agricultural technology and policy.

Keywords: agriculture, remote sensing, systematic literature review

I. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor vital yang memegang peranan penting dalam memenuhi kebutuhan pangan dan mendukung perekonomian global. Sebagai sumber utama pemenuhan kebutuhan dasar manusia, sektor ini tidak hanya berkontribusi pada ketahanan pangan tetapi juga menjadi tulang punggung perekonomian, terutama di negara-negara yang berbasis agraris. Produk pertanian yang berkualitas tinggi dan berkelanjutan sangat diperlukan untuk memastikan ketersediaan pangan yang memadai serta mendorong pertumbuhan ekonomi, baik di tingkat rumah tangga maupun nasional. Oleh karena itu, pengendalian kualitas dan kuantitas hasil pertanian menjadi aspek krusial yang perlu diperhatikan secara serius.

Dalam konteks global, pertanian juga menjadi fokus utama dalam upaya mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*), khususnya Tujuan 2: Tanpa Kelaparan. Target 2.3 SDGs menekankan pentingnya peningkatan produktivitas pertanian dan pendapatan produsen makanan skala kecil, termasuk melalui akses yang adil terhadap sumber daya produktif, pengetahuan, dan pasar (Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional, 2020). Hal ini menunjukkan bahwa sektor pertanian tidak hanya berperan dalam menghilangkan kelaparan, tetapi juga dalam mengurangi kemiskinan dan ketimpangan sosial.

Namun, untuk mencapai tujuan tersebut, dibutuhkan data yang akurat, relevan, dan mutakhir guna memantau dan mengendalikan kualitas hasil pertanian. Data yang diperlukan mencakup informasi tentang produksi, penggunaan pupuk dan pestisida, alat pertanian, serta faktor pendukung lainnya. Selama ini, metode konvensional seperti survei dan sensus telah digunakan untuk mengumpulkan data tersebut. Namun, metode ini seringkali memakan waktu lama, memerlukan biaya besar, dan kurang efisien dalam menyediakan data yang *up-to-date*. Padahal, kontrol kualitas produk pertanian membutuhkan data yang akurat dan diperbarui secara berkala agar para pemangku kepentingan dapat mengambil keputusan yang tepat.

Di sinilah teknologi *remote sensing* hadir sebagai solusi inovatif. *Remote sensing* adalah metode pengumpulan data yang memungkinkan pengamatan objek atau fenomena tanpa kontak langsung (USGS, 2013). Teknologi ini telah terbukti *cost-effective*, mampu menyediakan data yang lebih cepat, dan meminimalkan kebutuhan sumber daya manusia serta biaya operasional. Dalam sektor pertanian, *remote sensing* telah diaplikasikan secara luas untuk memantau luas lahan, jenis tanaman, kondisi tanah, dan perubahan lingkungan. Contoh nyata penerapannya termasuk pemantauan lahan pertanian di Brasil menggunakan citra satelit untuk meningkatkan produktivitas kedelai (Embrapa, 2020) dan penggunaan drone di India untuk memetakan lahan pertanian dan mengoptimalkan penggunaan pupuk (FAO, 2019).

Lebih lanjut, *remote sensing* juga mendukung prinsip-prinsip statistik resmi seperti

akurasi, relevansi, dan keterbukaan data (UNECE, 2014). Dengan kemampuannya mengumpulkan data dalam skala besar dan waktu nyata, teknologi ini memperkuat sistem statistik resmi di sektor pertanian, memfasilitasi pemantauan perubahan penggunaan lahan, dan meningkatkan kepercayaan publik terhadap data yang dihasilkan (Gallego et al., 2016).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji lebih mendalam pemanfaatan *remote sensing* dalam meningkatkan kualitas data pertanian. Fokus kajian meliputi sumber data yang digunakan, metodologi pengumpulan data, komponen *remote sensing* yang relevan, serta tren penggunaannya dalam mendukung kegiatan pertanian. Dengan mengeksplorasi potensi *remote sensing*, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi pengelolaan data pertanian, sekaligus mendukung pembangunan berkelanjutan di sektor ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sustainable Development Goals (SDGs)

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan/*Sustainable Development Goals* (SDGs) adalah suatu agenda global yang dirancang untuk mencapai pembangunan berkelanjutan dengan menjaga keseimbangan antara kesejahteraan ekonomi, keberlanjutan sosial, dan perlindungan lingkungan (Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional, 2020). SDGs merupakan kelanjutan dari program sebelumnya, yaitu *Millenium Development Goals* (MDGs), namun dengan cakupan yang lebih luas, kompleks, dan rinci. SDGs mencakup tiga dimensi utama: sosial (meliputi penghapusan kemiskinan, peningkatan kesehatan, dan kesetaraan gender), lingkungan (meliputi penanganan perubahan iklim serta perlindungan ekosistem darat dan laut), dan ekonomi (meliputi pertumbuhan ekonomi inklusif, penciptaan lapangan kerja, dan pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan) (Friedman & Gostin, 2016).

Salah satu isu utama dalam SDGs adalah penghapusan kelaparan (SDG 2: *Zero Hunger*), yang bertujuan untuk mencapai ketahanan pangan, meningkatkan nutrisi, dan mendukung pertanian berkelanjutan. Dalam konteks ini, teknologi *remote sensing* memainkan peran krusial dalam meningkatkan kualitas data pertanian. *Remote sensing* memungkinkan pemantauan lahan pertanian secara *real-time*, analisis kondisi tanah, prediksi hasil panen, dan identifikasi area yang rentan terhadap kekeringan atau banjir. Dengan data yang akurat dan tepat waktu, para pemangku kepentingan dapat membuat kebijakan yang lebih efektif untuk meningkatkan produktivitas pertanian, mengurangi kerugian akibat perubahan iklim, dan memastikan distribusi pangan yang merata. Dengan demikian, *remote sensing* tidak hanya mendukung pencapaian SDG 2, tetapi juga berkontribusi pada dimensi lingkungan dan ekonomi dalam agenda SDGs secara keseluruhan.

2.2 Pertanian

Pertanian merupakan salah satu sektor yang memiliki perkembangan signifikan dan memegang peran penting dalam kehidupan manusia, baik dari segi ekonomi, lingkungan, maupun keberlanjutan (Bhattacharya et al., 2021). Sektor ini melibatkan berbagai subsektor, seperti tanaman pangan, hortikultura, perikanan, dan peternakan, yang secara kolektif memberikan kontribusi besar terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), terutama di negara-negara yang mengandalkan pertanian sebagai sektor utama penghasil bahan pangan. Selain kontribusi ekonomi, pertanian juga memainkan peran krusial dalam menjaga keseimbangan lingkungan, seperti menstabilkan perubahan iklim, menyediakan filtrasi air alami, dan mendukung jasa ekosistem seperti penyerbukan serta pengendalian hama dan penyakit (Robertson, 2015). Namun, untuk memaksimalkan potensi sektor pertanian, kualitas data pertanian menjadi faktor kunci yang tidak dapat diabaikan. Data yang akurat dan tepat waktu diperlukan untuk memantau produktivitas lahan, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan merancang kebijakan yang efektif. Misalnya, data tentang kondisi tanah, cuaca, dan serangan hama dapat membantu petani mengambil keputusan yang lebih tepat, mengurangi kerugian, dan meningkatkan hasil panen. Dengan demikian, peningkatan kualitas data pertanian tidak hanya mendukung pertumbuhan ekonomi, tetapi juga memperkuat keberlanjutan lingkungan dan ketahanan pangan. Hal ini menjadikan isu kualitas data pertanian sebagai aspek yang sangat relevan dalam konteks pembangunan sektor pertanian yang berkelanjutan.

2.3 Official Statistics

Statistik resmi (*Official Statistics*) merujuk pada data yang dihasilkan oleh lembaga pemerintah atau institusi resmi untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis bukti. Untuk memenuhi syarat sebagai statistik resmi, data harus mematuhi sepuluh prinsip dasar yang ditetapkan oleh Komisi Ekonomi Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk Eropa (UNECE): relevansi, akurasi, aksesibilitas, kohesi, ketepatan waktu, kesesuaian dengan standar internasional, transparansi, kerahasiaan, akuntabilitas, dan kerja sama internasional (UNECE, 2014). Prinsip-prinsip ini memastikan bahwa statistik resmi dihasilkan melalui metode ilmiah, bebas dari bias, dan dapat diandalkan.

Studi terkini menyoroti bahwa inovasi teknologi, seperti *remote sensing*, big data, dan ilmu data, memainkan peran kritis dalam mengembangkan statistik resmi. Misalnya, teknologi *remote sensing* secara langsung mendukung prinsip-prinsip UNECE dengan:

1. Meningkatkan akurasi melalui pengumpulan data spasial dengan resolusi tinggi, meminimalkan kesalahan manusia dalam survei lapangan (misalnya, pemantauan penggunaan lahan atau pemetaan kepadatan penduduk);
2. Meningkatkan relevansi dengan menyediakan data waktu nyata, granular yang disesuaikan dengan kebutuhan kebijakan (misalnya, respons bencana atau analisis perubahan

lingkungan);

3. Meningkatkan transparansi melalui platform geospasial akses terbuka yang memungkinkan verifikasi publik atas hasil statistik.

Inovasi-inovasi ini tidak hanya menyederhanakan pengumpulan dan pengolahan data, tetapi juga memperkuat kepercayaan publik terhadap statistik resmi (Rosenski & Schartner, 2018; Ashofteh & Bravo, 2021). Dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip dasar dengan teknologi modern seperti *remote sensing*, statistik resmi dapat lebih baik mengatasi tantangan pembangunan di era yang didorong oleh kemajuan teknologi.

2.4 Remote Sensing

Remote sensing merupakan suatu teknologi yang dapat digunakan untuk mengumpulkan informasi pada objek atau target dengan mengukur emisi dan refleksi dari radiasi berdasarkan pada teori gelombang elektromagnetik (Chen et al., 2023). USGS (2013) juga mendefinisikan *remote sensing* sebagai salah satu metode, di mana pengumpulan data dan/atau informasi dilakukan tanpa melakukan kontak secara fisik/langsung ke objek yang sedang diteliti atau ingin didapatkan datanya. Dalam melakukan pengumpulan informasi dan data tersebut, ada beberapa alat yang digunakan, diantaranya *Unnamed Aerial System (UAS)*, *manned aircraft*, dan satelit. UAS merupakan suatu alat untuk menangkap suatu gambar, di mana alat ini dapat terbang secara otonom atau digerakkan oleh *remote pilot* (digerakkan melalui suatu alat, seperti *remote control* atau melalui suatu tempat yang khusus untuk mengendalikan alat tersebut). *Manned aircraft* sebenarnya seperti pesawat, dimana pesawat ini memiliki awak untuk mengontrol pergerakannya, dan nantinya melalui pesawat ini akan ditangkap dengan menggunakan alat fotografi yang canggih atau bahkan menggunakan suatu sensor. Satelit mirip seperti UAS, namun dalam skala yang cukup besar dalam menangkap gambar dengan biaya yang cukup terjangkau (Jafarbiglu & Pourreza, 2022). Penelitian ini lebih terfokus pada tangkapan yang berfokus pada gambar yang dihasilkan dari satelit.

Biasanya, satelit menangkap gambar dengan menggunakan sensor, yang biasanya terdiri dari dua jenis, yaitu sensor yang pasif dan sensor yang aktif. Menurut Jafarbiglu & Purreza (2022), sensor pasif merupakan sensor yang menangkap gambar dengan memanfaatkan radiasi dari matahari dan bumi dan didesain untuk area spektrum dengan energi radiasi natural yang tinggi. Berkebalikan dengan sensor pasif, sensor aktif memanfaatkan pancaran gelombang elektromagnetik yang langsung dipancarkan oleh sensor untuk mengukur bagaimana morfologi dari suatu permukaan. Penelitian ini menggunakan data olahan yang bersumber dari hasil tangkapan menggunakan sensor pasif.

Hasil tangkapan gambar dengan menggunakan *remote sensing* biasanya memiliki kualitas yang berbeda-beda, tergantung dari seberapa baik kualitas resolusi spasial yang dihasilkan oleh

gambar hasil tangkapan. Resolusi spasial merujuk kepada ukuran dari satu piksel di lapangan, yang merupakan ukuran dari objek terkecil yang dapat ditangkap oleh suatu sensor (Chen et al., 2023). Semakin tinggi resolusi spasial yang dihasilkan, maka akan semakin tinggi juga kualitas hasil tangkapan (Ahmed et al., 2023). Tingkatan dari resolusi spasial dimulai dari *coarse-spatial resolutions* (resolusi spasial dengan ukuran lebih dari 250 meter), *medium-spatial resolutions* (resolusi spasial berkisar antara 10 meter – 80 meter), *high-spatial resolutions* (resolusi spasial berkisar antara 1 meter – 5 meter) (Rogan & Chen, 2004), hingga yang tertinggi adalah *very high-spatial resolutions* (resolusi spasial kurang dari 1 meter) (Jafarbiglu & Pourreza, 2022), di mana penelitian ini berfokus pada hasil tangkapan yang memiliki resolusi spasial pada level *very high-spatial resolutions*.

2.5 Cakupan Penelitian

Penelitian ini akan melakukan kajian mengenai pemanfaatan *remote sensing* dalam meningkatkan kualitas data pertanian. Lebih lanjut, penelitian ini akan membahas juga bagaimana potensi integrasi antara *remote sensing* dengan *official statistics* di bidang pertanian, di mana diharapkan kedua sumber data ini akan bisa saling berkolaborasi untuk menghasilkan data pertanian yang lebih berkualitas. Pembahasan akan diakhiri dengan kajian mengenai potensi arah pengembangan dari pemanfaatan *remote sensing* dalam peningkatan kualitas data *official statistics*, khususnya di bidang pertanian.

Metode yang digunakan pada proses pengumpulan informasi dalam penelitian ini yaitu dengan melakukan pengumpulan berupa *official report*, *handbook*, jurnal penelitian, atau aturan tertulis lainnya yang diperoleh melalui internet yang berkaitan dengan *official statistics* bidang pertanian dan portal jurnal mengenai pemanfaatan *remote sensing*. Secara spesifik, penelitian ini menggunakan metode dokumentasi, di mana setiap literatur yang menjadi sumber informasi mengenai topik penelitian akan dikumpulkan dan akan dikaji secara sistematis untuk mendapatkan informasi mengenai pemanfaatan *remote sensing* dalam peningkatan kualitas data pertanian. Rentang literatur yang akan digunakan yaitu sejak tahun 2013 hingga tahun 2024. Literatur difokuskan kepada literatur yang memiliki akses yang tidak berbayar dan ditulis dengan bahasa Inggris dan bahasa Indonesia (opsional, jika ada).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengkaji beberapa artikel penelitian yang berkaitan dengan topik yang dibahas, dimana nantinya dari hasil kajian tersebut akan diperoleh beberapa data dan informasi yang kemudian dapat dianalisis secara kualitatif. Proses pengkajian yang dilakukan dengan *Systematic Literature Review* (SLR). *Systematic Literature Review* merupakan

suatu metode yang digunakan untuk melakukan sintesis bukti ilmiah, yang dimana nantinya bukti-bukti ilmiah yang didapatkan akan digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian yang telah didefinisikan untuk diteliti, dengan cara yang transparan dan dapat direproduksi (Lame, 2019). Metode SLR dapat menyediakan hasil sintesis artikel penelitian mana yang memiliki prioritas untuk di kemudian hari, dapat digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan dalam suatu penelitian yang harusnya dapat diperbaiki dalam penelitian berikutnya, dan dapat menghasilkan atau mengevaluasi teori tentang suatu fenomena yang terjadi (Page et al., 2021).

Dalam melakukan pelaporan terhadap hasil pengkajian dengan menggunakan SLR, peneliti yang menggunakan metode ini harus memberikan argumentasi yang transparan, lengkap, dan akurat mengenai hasil kajian yang dilakukan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa dibutuhkan suatu protokol atau SOP yang dapat dijadikan sebagai patokan dalam melakukan SLR agar sesuai dengan tujuan dari metode SLR tersebut. Salah satu jenis protokol yang dapat digunakan yaitu PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis*) yang merupakan suatu protokol atau SOP yang disusun untuk menghindari adanya pelaporan yang buruk terhadap proses pengkajian dengan metode SLR. PRISMA dibuat dengan tujuan untuk menghindari adanya isu ketidakjelasan terhadap tulisan yang berbentuk ulasan, seperti tidak jelasnya metode yang digunakan, cakupan terlalu luas sehingga tulisan menjadi kurang komprehensif, kebanyakan tulisan hanya dilandaskan oleh opini dari penulis, dan sering disalahartikan sehingga dapat menimbulkan bias (Selcuk, 2019). Ada beberapa jenis dari metode PRISMA yang dapat digunakan untuk diimplementasikan, salah satunya adalah PRISMA 2020. PRISMA 2020 merupakan pengembangan dari metode PRISMA 2009 yang dapat digunakan untuk implementasi SLR yang lebih *advance* untuk mengidentifikasi, memilih, menilai, dan mensintesis suatu penelitian. PRISMA 2020 menggunakan suatu *checklist*, mulai dari abstrak hingga akhir penelitian, dimana *checklist* inilah yang akan menjadi protokol atau SOP dari SLR dengan PRISMA 2020 dilakukan (Page et al., 2021).

3.2 Sumber Informasi dan Strategi Pencarian

Dalam mengumpulkan data dan informasi yang dibutuhkan, maka perlu untuk menentukan sumber dari artikel yang dapat memenuhi kebutuhan dari penelitian yang dilakukan. Dalam hal ini, sumber yang digunakan yaitu berasal dari database jurnal dan web pencarian seperti *Web of Science (WoS) My Research Assistant* yang merupakan salah satu produk dari *Clarivate Web of Science* berupa aplikasi mobile yang diakses melalui akun pribadi peneliti, Scopus dan Springer melalui perpustakaan Universitas Indonesia, ScienceDirect yang diakses melalui akun email Politeknik Statistika STIS, dan *Google Scholar*. Pencarian terakhir kali dilakukan pada tanggal 14 Januari 2025.

Dalam melakukan ulasan suatu artikel dengan metode SLR, salah satu langkah yang

penting untuk diperhatikan adalah proses pencarian artikel atau dikenal juga dengan *string search*. *String search* merupakan proses pencarian suatu sumber dengan memanfaatkan kata kunci yang dikombinasikan dengan operasi Boolean dan wildcards. Operator Boolean yang biasa digunakan dalam *string search* biasanya adalah AND, OR, dan NOT, dimana ketiga operasi ini dapat dikombinasikan dengan kata kunci pencarian. Sebaliknya, wildcards berupa suatu karakter pencarian, seperti asteris (*) dan dollar (\$), dimana karakter-karakter ini akan membantu dalam mencari kombinasi kata kunci yang lebih bervariasi. Kombinasi antara operasi Boolean dan wildcards dalam kata kunci pencarian akan sangat membantu dalam mengumpulkan artikel yang sesuai dengan topik yang diinginkan (Ahmed et al., 2023). Kata kunci pencarian yang akan digunakan yaitu berkaitan dengan *tools*, metode, teknik, algoritma, dan indeks-indeks yang digunakan dalam upaya peningkatan kualitas data pertanian. Pencarian tidak hanya dilakukan untuk judul dari artikel, melainkan juga dengan mempertimbangkan abstrak dan isi dari artikel untuk menambah informasi yang didapatkan.

Proses *string search* dilakukan dengan mengkombinasikan dua operator Boolean, yaitu “AND” dan “OR”. Digunakan empat konsep dalam pencarian literatur, dimana konsep mengandung kata kunci yang nantinya akan dijadikan sebagai masukan pada *string search*. Konsep pertama mewakili semua kata kunci yang berhubungan dengan *remote sensing*, konsep kedua mewakili pertanian, konsep ketiga mewakili kualitas data, dan konsep keempat mewakili peluang. Kata kunci antara keempat konsep dihubungkan dengan operator “AND”, sedangkan beberapa kata kunci dalam suatu konsep dihubungkan dengan operator “OR”, dimana nantinya kata kunci ini akan digunakan untuk mengumpulkan artikel tidak hanya dari judulnya saja, melainkan juga melalui abstrak yang berhubungan dengan kata kunci tersebut. Detail dari kata kunci dari setiap konsep terdapat pada Tabel 1.

3.3 Proses Seleksi dari Artikel (Eligibilitas, Pembatasan Kriteria, Proses *Screening*, dan Seleksi)

Untuk mendapatkan kumpulan artikel yang *robust*, maka diperlukan beberapa proses penyeleksian literatur yang telah dikumpulkan. Literatur yang dikumpulkan adalah literatur yang berjenis artikel penelitian yang dituliskan dalam bahasa Inggris dan waktu publikasinya berada dalam rentang waktu tertentu yang ditetapkan dalam penelitian ini. Dari hasil pencarian tersebut, ditemukan total sebanyak 321 artikel penelitian yang bersumber dari basis data Scopus, *Web of Science*, ScienceDirect, dan SpringerLink. Tidak ada artikel yang bersumber di luar dari artikel yang bersumber dari basis data tersebut.

Tabel 1. Desain Kata Kunci Pencarian Artikel

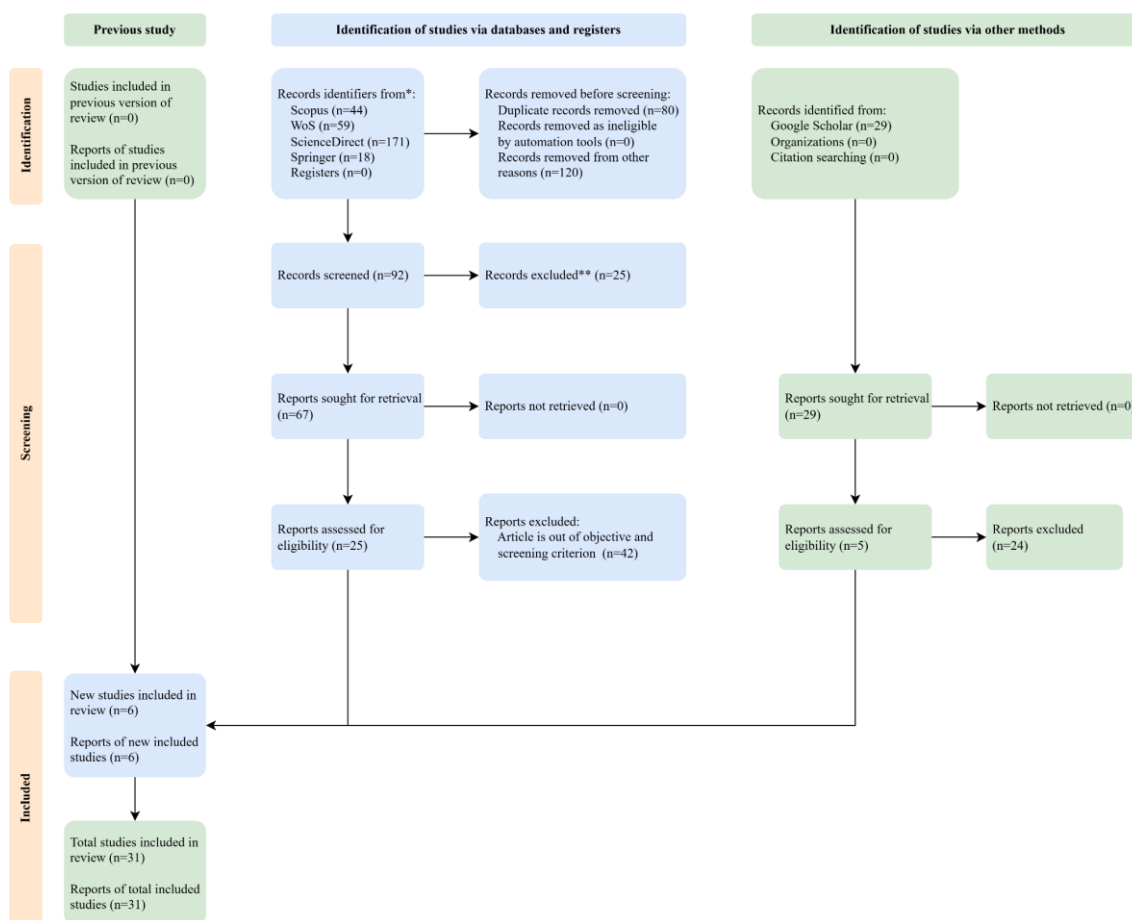
Konsep 1: <i>remote sensing</i>	Konsep 2: <i>agriculture</i>	Konsep 3: <i>data quality</i>	Konsep 4: <i>opportunity</i>
<i>remote sensing</i>	<i>agriculture</i>	<i>quality</i>	<i>opportunity</i>

<i>satellite imagery</i> <i>satellite imag*</i>	<i>data quality</i>	<i>strength</i>
--	---------------------	-----------------

Setelah mendapatkan 321 total artikel sesuai dengan pencarian berdasarkan detail dari kata kunci dari setiap konsep yang terdapat pada Tabel 1, dilakukan pengecekan apakah ada artikel yang terduplikasi karena sumber dari basis data yang berbeda. Pengecekan duplikasi dilakukan dengan memanfaatkan hasil ekspor yang bersumber dari Mendeley (tempat pengorganisasian semua artikel yang telah dikumpulkan), dalam bentuk XML, dimana XML tersebut berisi informasi mengenai profil dari setiap artikel, mulai dari judul, tahun publikasi, lokasi jurnal tempat submit artikel, dan seterusnya. Profil dari artikel berbentuk XML tersebut kemudian diolah sedemikian rupa untuk mendapatkan informasi judul, tahun publikasi, dan lokasi jurnal dari artikel dengan bantuan bahasa pemrograman *Python* dalam bentuk *notebook*, sehingga ketika kode program dijalankan akan langsung memberikan hasil dari kode program yang telah didesain tersebut.

Hasil pengolahan yang dilakukan dengan bantuan *Python* tersebut kemudian akan dimasukkan ke dalam dokumen dengan ekstensi CSV (*Comma Separated Value*) yang kemudian dokumen tersebut akan dilakukan pengolahan lagi dengan menggunakan *Google Spreadsheet*. Setelah diolah, hasil akhirnya ditemukan bahwa terdapat sebanyak 80 artikel yang terduplikasi (proses pengecekan tersebut dilakukan pada data judul artikel saja). Tersisa sebanyak 241 artikel setelah yang terduplikat telah dikeluarkan. Lalu dari sisa artikel tersebut, sebanyak 120 artikel kembali disisihkan dengan alasan artikel tidak mengandung setidaknya kata kunci yang bersumber dari konsep 1 dan konsep 2, sehingga jumlah artikel yang tersisa adalah 121 artikel. Dari sisa final dari artikel yang telah didapatkan sejauh ini, yaitu 121 artikel, kemudian akan melalui proses *screening* untuk menyeleksi dengan lebih mendalam lagi artikel mana saja yang akan dikumpulkan informasinya.

Kriteria dari pencarian yang diinginkan ada dalam artikel memuat: (1) pembahasan mengenai pertanian atau subsektor dari pertanian, (2) setidaknya harus memuat kata kunci dari konsep 1 dan konsep 2, (3) terdapat informasi mengenai metode yang digunakan untuk mengolah data sampai hasil akhir, dan (4) terdapat sumber data yang jelas. Proses *screening* dengan kriteria yang telah ditentukan tersebut dilakukan pada bagian abstrak secara keseluruhan dan sebagian pada bagian hasil dari setiap artikel. Hasilnya didapatkan artikel yang sesuai dengan kriteria tersebut adalah 96 artikel, di mana sebanyak 66 artikel lagi dikeluarkan dari total 96 artikel tersebut. Total akhir dari artikel yang akan melalui proses ulasan lebih mendetail lagi yaitu 31 artikel atau sekitar 9,10% saja yang tersisa dari total awal 341 artikel setelah ada penambahan satu artikel baru ke dalam kelompok artikel yang akan diulas. Seluruh proses penyeleksian artikel yang akan diulas terangkum secara detail dalam grafik yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Pemilihan Artikel yang Akan Diulas untuk Mendapatkan Informasi yang Diinginkan Sesuai dengan Tujuan Utama dari Penelitian

IV. HASIL, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

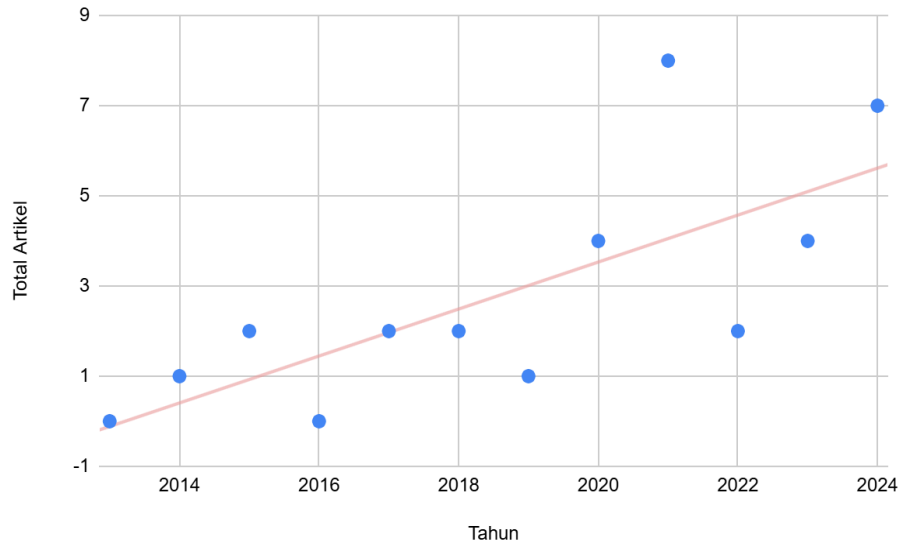
Berikut akan dibahas hasil dan pembahasan dari proses ulasan secara mendetail terhadap 31 artikel yang telah diperoleh melalui serangkaian proses yang telah dijelaskan sebelumnya. Artikel yang dikumpulkan memiliki rentang publikasi 11 tahun dari sejak penelitian ini dilakukan, yaitu berada dalam rentang tahun 2013 hingga 2024.

4.1 Hasil Ulasan Artikel

4.1.1 Jumlah Artikel Berdasarkan Tahun Publikasi

Pada Gambar 2, dapat dilihat bagaimana hubungan antara tahun terbit dari artikel dengan total artikel yang diulas dalam penelitian ini. Hubungan antara kedua variabel ini dapat dikatakan semakin bertambahnya tahun, jumlah artikel juga bertambah, yang mana hal ini dapat dilihat dari garis trend berwarna merah yang menunjukkan kecenderungan hal tersebut. Peningkatan publikasi dari tahun ke tahun mengenai pemanfaatan *remote sensing* dalam untuk menunjang bidang pertanian disebabkan oleh faktor kemudahan dalam pengumpulan data pertanian melalui citra satelit, sehingga lebih memudahkan dalam melakukan analisis dalam pengambilan kebijakan di

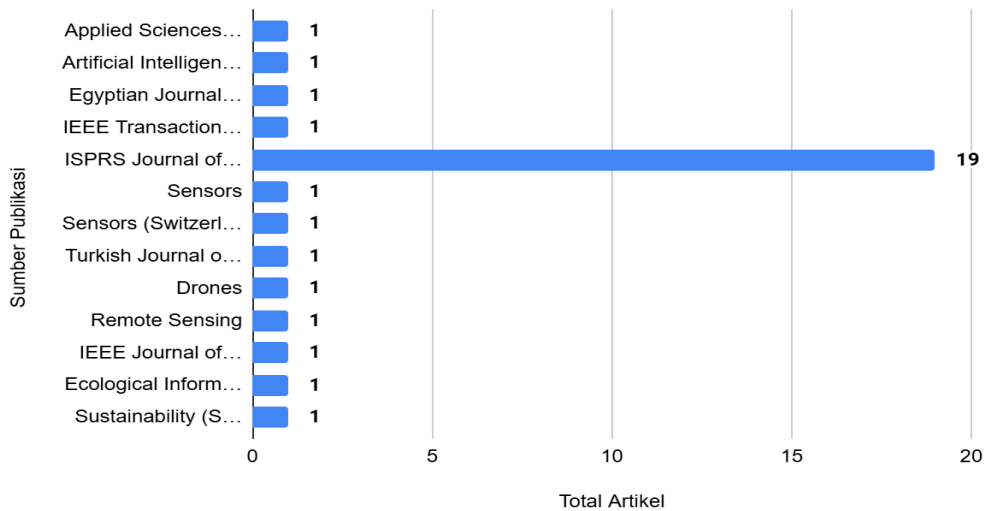
sektor pertanian. Data yang lebih *up to date*, akurasi data yang juga sudah sangat baik, dan mengurangi beban dari sisi anggaran dan tenaga juga menjadi salah satu faktor utama yang menyebabkan riset di bidang *remote sensing* untuk mendukung sektor pertanian menjadi semakin meningkat. Dapat dilihat bahwa pada tahun 2021 merupakan tahun dengan jumlah publikasi terbanyak dengan total 8 (26%) artikel, sedangkan di tahun 2013 dan 2016, tidak ada artikel yang diulas.



Gambar 2. Hubungan antara Tahun Publikasi Artikel dengan Total Artikel yang Diulas

4.1.2 Jumlah Artikel Berdasarkan Sumber Publikasi

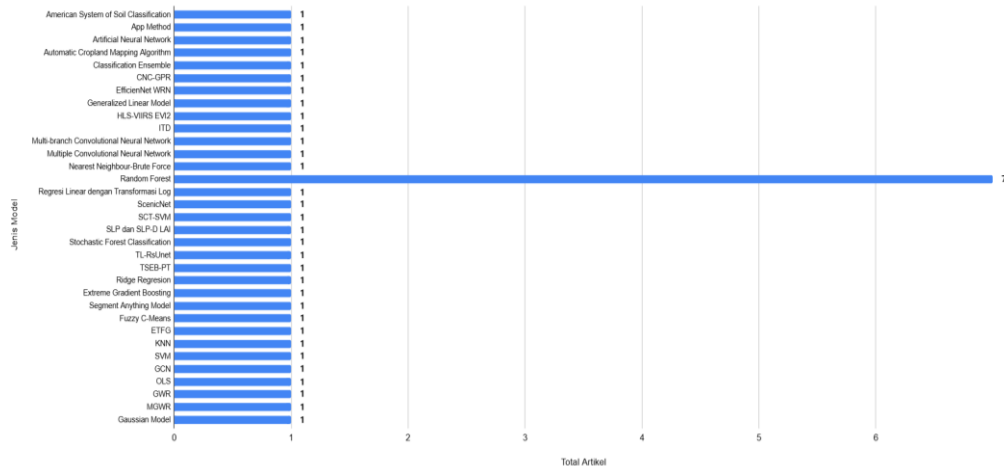
Berikut merupakan sumber jurnal dari artikel yang diulas yang dapat dilihat pada Gambar 3. Dari total 25 artikel yang diulas dalam penelitian ini, jurnal *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* merupakan sumber jurnal terbanyak, dengan total 19 artikel yang bersumber dari Jurnal ini atau menyumbang sekitar 61% dari total artikel yang diulas. Sisanya hanya menyumbang 4% dari total artikel yang diulas.



Gambar 3. Jumlah Artikel yang Diulas Berdasarkan Sumber Jurnal

4.1.3 Jumlah Artikel Berdasarkan Model yang Digunakan

Keseluruhan artikel yang diulas menyertakan model yang digunakan dalam penelitiannya. Model-model tersebut dapat dilihat pada Gambar 4, dimana model yang paling banyak digunakan adalah model *Random Forest* dengan total 6 (23%) artikel yang menggunakan model tersebut. Sisanya hanya menggunakan satu jenis model yang berbeda satu sama lain antar artikelnya. Perlu untuk diketahui bahwa terdapat artikel yang menggunakan lebih dari satu metode analisis.



Gambar 4. Jumlah Artikel yang Diulas Berdasarkan Model yang Digunakan dalam Penelitiannya

4.1.4 Jumlah Artikel Berdasarkan Jenis Evaluasi dari Model yang Digunakan atau Dibangun

Dari artikel yang diulas, dikumpulkan juga jenis-jenis evaluasi dari model yang digunakan atau dibangun dalam penelitiannya. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa jenis evaluasi yang digunakan cukup beragam juga jenisnya, di mana metode evaluasi tersebut berasal dari satu artikel yang menggunakan hanya satu metode dan artikel yang menggunakan lebih dari satu metode evaluasi.

RMSE merupakan jenis evaluasi dari model yang banyak digunakan. Metode ini banyak digunakan karena bentuknya yang lebih sederhana, namun dapat menggambarkan bagaimana performa dari suatu model yang dibangun, dengan mengukur rata-rata besarnya kesalahan antara nilai prediksi dari suatu model dan nilai aktual yang diamati, pada dasarnya menunjukkan seberapa baik suatu model sesuai dengan data, dengan formula sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \tag{1}$$

n merupakan banyaknya observasi, y_i merupakan data piksel yang observasi, dan \hat{y}_i merupakan piksel hasil prediksi dari model (Hodson, 2022). Sebanyak 9 (32%) artikel menggunakannya untuk mengevaluasi model. Jenis evaluasi model selanjutnya yang banyak digunakan yaitu *Overall Accuracy* dan R-squared. *Overall Accuracy* merupakan metode evaluasi yang

membandingkan klasifikasi setiap piksel dengan kondisi tutupan lahan yang sebenarnya berdasarkan data kebenaran lapangan yang terkait, dapat diformulasikan sebagai berikut (Islami et al., 2022):

$$Overall\ Accuracy = \frac{Jumlah\ Piksel\ Hasil\ Klasifikasi\ oleh\ Model}{Jumlah\ Piksel\ Keseluruhan} \tag{2}$$

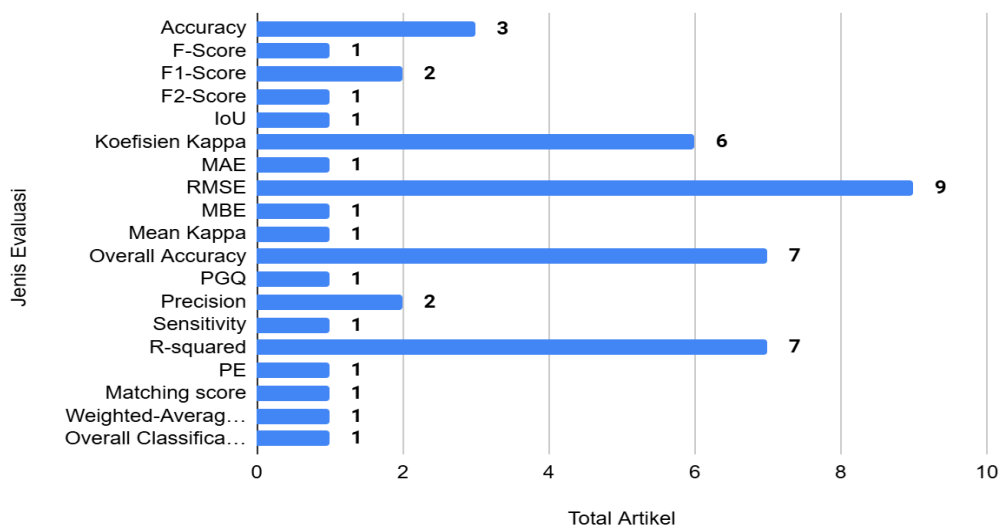
R-squared merupakan proporsi variansi pada variabel tergantung yang dapat diprediksi dari variabel independen, dapat diformulasikan sebagai berikut (Chicco et al., 2021):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\underline{Y} - Y_i)^2} \tag{3}$$

n merupakan banyaknya observasi, X_i merupakan nilai piksel yang diprediksi, Y_i merupakan nilai piksel yang diamati, dan \underline{Y} merupakan rata-rata dari jumlah piksel. Masing-masing dari *overall accuracy* dan *R-squared* digunakan oleh 7 (16%) untuk melakukan evaluasi model. Metode terakhir yang banyak digunakan yaitu Koefisien Kappa, merupakan ukuran statistik untuk mengukur kesepakatan antara penilai dalam menilai item kualitatif. Ukuran ini lebih akurat daripada perhitungan persentase kesepakatan karena mempertimbangkan kemungkinan kesepakatan yang terjadi secara acak, dapat diformulasikan sebagai berikut dalam pengevaluasian model:

$$Kappa\ Coefficient = \frac{(TS \times TCS) - \sum (Total\ Kolom \times Total\ Baris)}{TS^2 - \sum (Total\ Kolom \times Total\ Baris)} \tag{4}$$

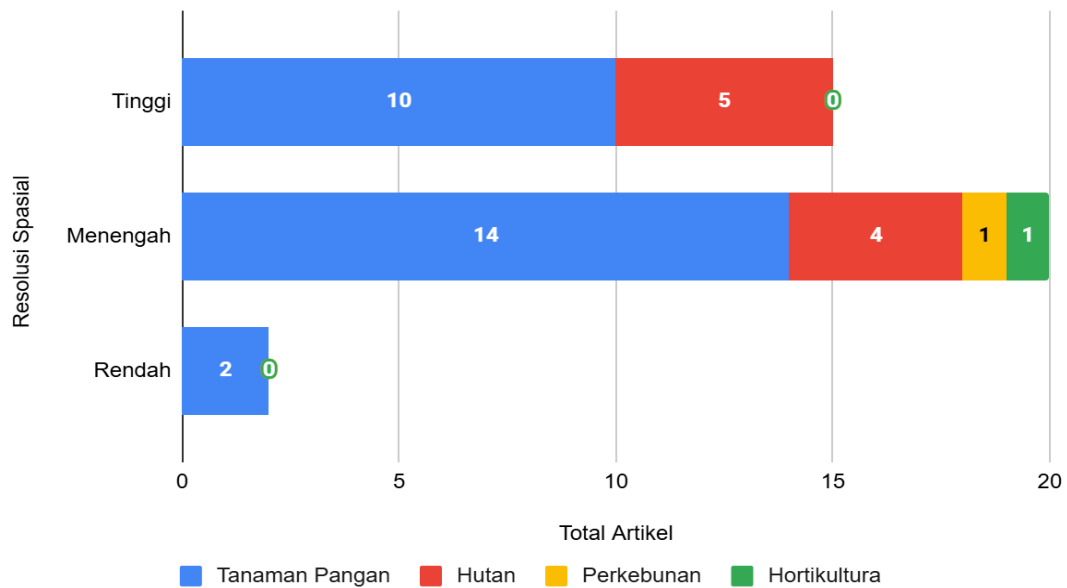
TS merupakan total dari piksel yang diamati, *TCS* merupakan total piksel yang diprediksi dengan benar oleh model. Total kolom dan total baris merupakan total dari nilai pada kolom dan baris dari dari tabel *land use change analysis*, yang digunakan untuk memetakan perubahan tutupan lahan yang terjadi pada setiap piksel citra satelit yang digunakan dalam analisis *remote sensing*. Sebanyak 6 (12%) artikel yang diulas menggunakan metode evaluasi ini.



Gambar 5. Jumlah Artikel yang Diulas Berdasarkan Metode Evaluasi Model yang Digunakan

4.2 Pertanian dan Resolusi Spasial Data

Resolusi spasial yang digunakan oleh seluruh artikel terbagi atas tiga kategori, yaitu tinggi, menengah, dan rendah. Gambar 6 menunjukkan bagaimana persebaran dari ketiga kategori resolusi spasial tersebut, di mana terdapat artikel yang menggunakan data dengan lebih dari satu jenis kategori resolusi spasial. Dapat dilihat bahwa resolusi menengah merupakan resolusi spasial dari data yang banyak digunakan, menyumbang total 20 (64%) artikel, diikuti dengan resolusi tinggi dengan 15 (48%) artikel, dan terakhir ada resolusi rendah.



Gambar 6. Jumlah Artikel yang Diulas Berdasarkan Resolusi Spasial

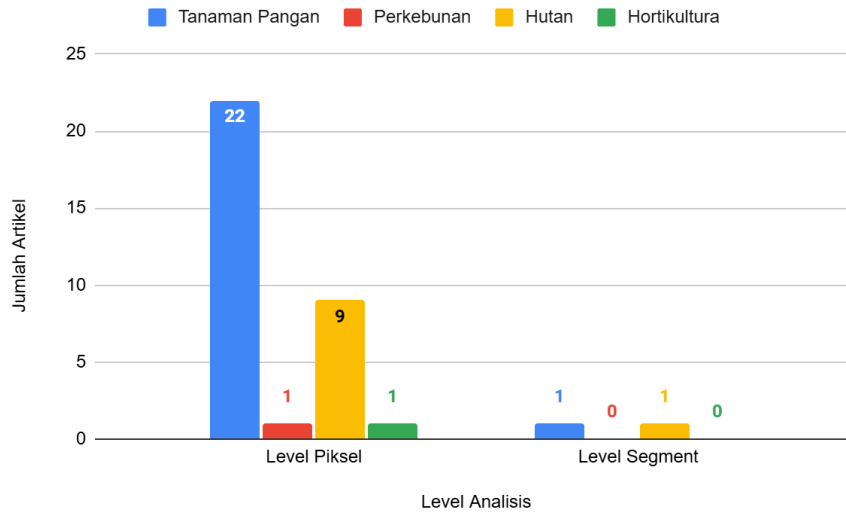
4.3 Pertanian dan Level Analisis yang Digunakan

Mayoritas dari hasil keseluruhan artikel yang diulas menggunakan level analisis piksel dalam membangun model dan melakukan analisis terhadap data yang sedang diolah. Gambar 7 memberikan gambaran perbandingan antara total artikel yang menggunakan level analisis piksel dengan level segment, yang dikaitkan juga dengan jenis tutupan lahan dari keseluruhan artikel yang diulas. Perlu untuk diketahui bahwa dari total 31 artikel yang diulas, terdapat 4 artikel yang menggunakan lebih dari satu kelas tutupan lahan. Berdasarkan hal tersebut, dapat dilihat bahwa jenis tutupan lahan tanaman pangan mendominasi pada level analisis piksel, diikuti dengan kelas hutan, kelas perkebunan, dan kelas hortikultura.

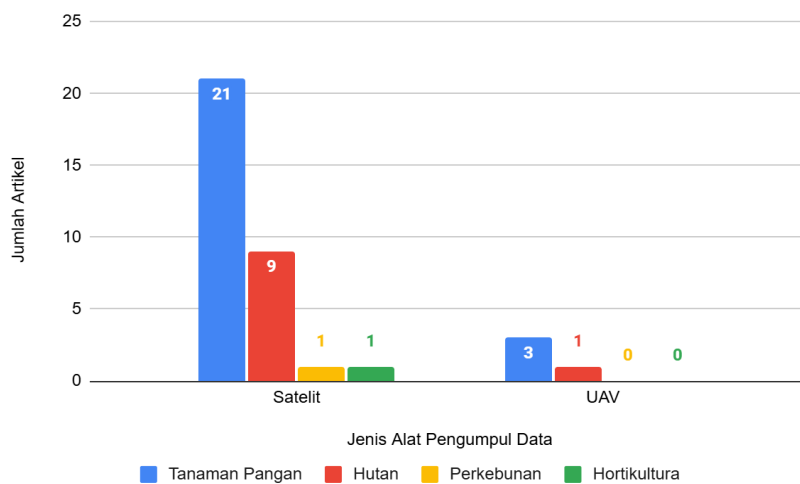
4.4 Pertanian dan Media yang Digunakan untuk Mengumpulkan Data

Seperti yang telah dijelaskan, bahwa secara garis besar, terdapat tiga media utama yang dapat digunakan untuk mengumpulkan data hasil *remote sensing*, yaitu satelit, UAS, dan *manned aircraft*. Dari data yang digunakan oleh artikel yang diulas, dapat dilihat dari Gambar 8 bahwa hanya satelit dan UAS saja yang menjadi media sumber data *remote sensing*. *Manned aircraft* menjadi sangat jarang atau tidak digunakan disebabkan oleh akses penggunaan *manned aircraft*

untuk keperluan penelitian sangat terbatas, utamanya disebabkan oleh biaya operasional dan peralatan sensor yang tinggi (Jafarbiglu et al, 2022). Tanaman pangan masih mendominasi jumlah artikel yang diulas yang datanya menggunakan data yang bersumber dari hasil tangkapan satelit maupun UAS (dalam hal ini adalah UAV).



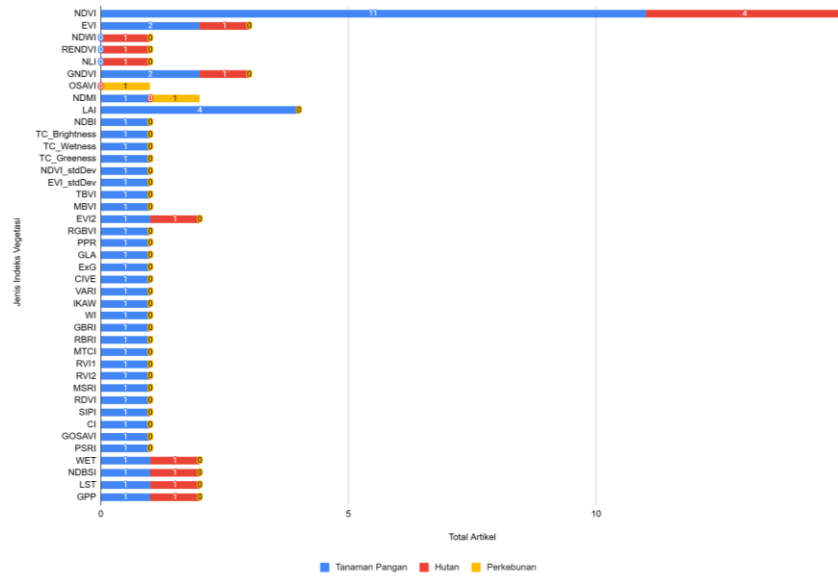
Gambar 7. Jumlah Artikel yang Diulas Berdasarkan Level Analisis dari Data



Gambar 8. Jumlah Artikel yang Diulas Berdasarkan Media Pengumpulan Data

4.5 Pertanian dan Indeks Vegetasi

Gambar 9 menunjukkan jenis-jenis indeks vegetasi yang digunakan dalam artikel yang diulas. Perlu untuk diketahui bahwa tidak semua artikel menggunakan indeks vegetasi dalam penelitiannya. Sekitar 20 (64%) artikel yang diulas menggunakan indeks vegetasi yang ada dalam gambar, di mana ada beberapa artikel yang menggunakan lebih dari satu indeks vegetasi. NDVI merupakan indeks vegetasi yang banyak digunakan dalam analisis maupun dalam pembangunan model dari artikel yang diulas.



Gambar 9. Jumlah Artikel yang Diulas Berdasarkan Indeks Vegetasi yang Digunakan dalam Membangun Model dan Melakukan Analisis

4.6 Pembahasan

Berdasarkan hasil ulasan di atas, hal pertama yang perlu diketahui bahwa sub sektor pertanian yang dianalisis dalam 31 artikel tersebut adalah subsektor tanaman pangan, kehutanan, dan perkebunan. Kebanyakan artikel yang diulas berasal dari tahun 2021, di dengan menyumbangkan 28% dari total artikel yang diulas (Brown et al., 2021; Danner et al., 2021; Felegari et al., 2021; Levering et al., 2021; Santos et al., 2021; Schulz et al., 2021; Tesfaye et al., 2021; Verrelst et al., 2021). Dari keseluruhan artikel, ternyata banyak peneliti yang menggunakan level analisis piksel sebagai level analisis utama dalam mengidentifikasi dan menganalisis pertanian yang ada pada lokusnya, di mana hal ini menunjukkan bahwa peneliti lebih menyukai level penelitian yang lebih mendetail hingga sampai ke level piksel dari data hasil *remote sensing* yang digunakan (Abbas et al., 2020; Becker et al., 2023; Brown et al., 2021; Danner et al., 2021; Dash et al., 2017; El-Gammal et al., 2014; Felegari et al., 2021; Guo et al., 2018; Laamrani et al., 2018; Levering et al., 2021; Marshall & Thenkabail, 2015; Mercier et al., 2020; Morell-Monzó et al., 2023; Papoutsis et al., 2023; Peng et al., 2023; Pires et al., 2022; Santos et al., 2021; Schulz et al., 2021; Shendryk et al., 2019; Sinha et al., 2020; Tesfaye et al., 2021; Verrelst et al., 2021; Xiong et al., 2017; Zhang et al., 2020, Opryshko et al., 2024, Zhang et al., 2024, Bhatti et al., 2024, Sun et al, 2024, Yang et al., 2024).

Dari hasil ulasan tersebut, dapat diketahui bahwa sebagian besar, data yang digunakan merupakan data yang bersumber dari satelit. Hal ini menandakan bahwa sumber data yang masih banyak digunakan untuk melakukan analisis pada pertanian dengan menggunakan *remote sensing* masih berfokus pada data yang sumber pengumpulannya menggunakan satelit, khususnya pada

tanaman pangan, sehingga data yang digunakan cukup mudah untuk diperoleh (Abbas et al., 2020; Danner et al., 2021; El-Gammal et al., 2014; Felegari et al., 2021; Guo et al., 2018; Levering et al., 2021; Marshall & Thenkabail, 2015; Mercier et al., 2020; O'Connell et al., 2015; Papoutsis et al., 2023; Safarov et al., 2022; Santos et al., 2021; Schulz et al., 2021; Shendryk et al., 2019; Sinha et al., 2020; Tesfaye et al., 2021; Verrelst et al., 2021; Xiong et al., 2017, Opryshko et al., 2024, Zhang et al., 2024, Sun et al., 2024, Yang et al., 2024). Pertanian juga, dari 25 paper yang telah diulas, mayoritas banyak dianalisis dengan menggunakan sumber data yang beresolusi menengah. Hal ini menandakan bahwa tidak harus dengan menggunakan data dengan resolusi tinggi, proses analisis dalam bidang pertanian tetap dapat dilakukan dalam kondisi data dengan resolusi menengah, yang datanya tersedia lebih luas dibanding dengan data dengan resolusi tinggi (Becker et al., 2023; Danner et al., 2021; Felegari et al., 2021; Guo et al., 2018; Levering et al., 2021; Marshall & Thenkabail, 2015; Mercier et al., 2020; Morell-Monzó et al., 2023; Peng et al., 2023; Safarov et al., 2022; Schulz et al., 2021; Shendryk et al., 2019; Tesfaye et al., 2021; Verrelst et al., 2021; Zhang et al., 2020, Opryshko et al., 2024, Zhang et al., 2024).

Indeks vegetasi juga sebenarnya memainkan peran penting dalam melakukan analisis dalam bidang pertanian, di mana indeks vegetasi ini dapat digunakan sebagai *unique items* pada setiap kelas sub sektor pertanian. Dari hasil ulasan, dapat dilihat bahwa NDVI merupakan indeks vegetasi yang digunakan paling banyak diantara 26 artikel yang diulas, di mana indeks ini dapat digunakan untuk setiap jenis tutupan lahan yang dianalisis berdasarkan hasil ulasan (Dash et al., 2017; Felegari et al., 2021; Guo et al., 2018; O'Connell et al., 2015; Santos et al., 2021; Schulz et al., 2021; Shendryk et al., 2019; Tesfaye et al., 2021; Xiong et al., 2017, Zhang et al., 2024, Yang et al., 2024). Ada juga indeks vegetasi lain yang menjadi fitur penciri dari jenis kelas lainnya, seperti OSAVI sebagai fitur penciri dari kelas perkebunan (Morell-Monzó et al., 2023). RENDVI dan NLI juga berpotensi digunakan untuk analisis bidang pertanian pada subsektor kehutanan, dibuktikan dengan adanya artikel yang menggunakan indeks vegetasi tersebut sebagai fitur penciri dari hutan (Dash et al., 2017). Dengan begitu dapat dikatakan bahwa indeks vegetasi menjadi salah satu variabel atau indikator yang cukup penting dalam melakukan analisis pada sektor pertanian dengan menggunakan metode *remote sensing*.

Penggunaan indeks vegetasi yang tepat, penetapan level analisis yang sesuai, dan penggunaan data dengan resolusi spasial yang baik menjadi poin penting dalam kontribusi *remote sensing* untuk membantu meningkatkan kualitas data pertanian berdasarkan hasil ulasan yang telah dilakukan. Namun, ada juga beberapa poin penting lainnya yang dapat menjadikan *remote sensing* sebagai kontributor dalam peningkatan kualitas data pertanian. Kondisi dari tanah juga dapat dijadikan sebagai salah satu indikator dalam data pertanian. Salah satunya adalah tingkat kadar garam dalam tanah, di mana semakin tinggi kadar garam dalam tanah malah akan mengurangi tingkat produktivitas dari tanaman pertanian, seperti tanaman pangan, yang ditanam

di sekitar tanah dengan tingkat kadar garam yang tinggi, di mana data hasil *remote sensing* dapat digunakan untuk melakukan deteksi tingkat kadar garam tersebut, sehingga dapat digunakan sebagai salah satu indikator penting dalam peningkatan kualitas dari data pertanian kedepannya (Samarkhanov et al., 2022). Selain dari itu, manajemen nutrisi dari tanaman pertanian juga menjadi penting untuk dilakukan agar tanaman dapat memberikan hasil yang maksimal. *Remote sensing* dapat berkontribusi dalam hal ini melalui tangkapan yang bersifat *hyperspectral* dan *multispectral imagery* yang dihasilkan, yang dapat dimanfaatkan untuk melakukan analisis manajemen nutrisi dari tanaman pertanian tersebut (Jafarbiglu & Pourreza, 2022).

V. KESIMPULAN, IMPLIKASI, SARAN DAN REKOMENDASI

Seluruh isi dari makalah ini membahas tentang tujuan, metode pengumpulan beserta pengolahan data, model beserta metode evaluasi dari pemanfaatan *remote sensing* pada bidang pertanian. Secara keseluruhan, jenis tanaman pangan sektor pertanian merupakan sektor terbanyak yang dijadikan topik utama dalam penelitian. Satelit dan UAS menjadi platform dari *remote sensing* yang paling banyak digunakan, disertai dengan kelebihan maupun kekurangan dari masing – masing sumber data yang dimanfaatkan, bergantung pada subjek analisis yang ingin dilakukan. Berlandaskan dari data yang diperoleh, indeks vegetasi memainkan peran yang sangat penting dalam menunjang analisis yang lebih akurat, membantu dalam mengklasifikasikan dan membedakan jenis tutupan lahan yang tertangkap, baik melalui satelit maupun UAS, sehingga penentuan dari penggunaan indeks vegetasi yang tepat menjadi tahapan yang sangat penting.

Pengaplikasian *remote sensing* di dalam kehidupan sehari – hari sangat banyak dan beragam, diantaranya adalah manajemen pemberian pupuk untuk tanaman yang membutuhkan nutrisi lebih, estimasi produksi dari hamparan tanaman pangan, pengidentifikasian wilayah potensial untuk ditanami tanaman pangan, *blue economy analysis* berbasis *remote sensing*, dan berbagai pengaplikasian lainnya. Data yang berkualitas menjadi tumpuan utama dalam pengaplikasian *remote sensing* tersebut, sehingga pengoptimalan berbagai metode dan instrumen dalam pemanfaatan *remote sensing* harus diperhatikan dan ditingkatkan. Metode *remote sensing* yang *cost-effective* dan tidak membutuhkan sumber daya yang berlebihan, namun dapat menghasilkan data yang akurat dan terbaru menjadi implikasi utama dari berkembangnya penelitian di bidang ini, sehingga pembangunan teknologi dan pengambilan kebijakan di bidang pertanian mayoritas akan berbasis *remote sensing*.

Dibalik berlimpahnya keunggulan penggunaan metode *remote sensing*, tahapan awal sebelum penganalisan data menjadi tahapan yang sangat penting dan perlu untuk menjadi perhatian para peneliti di bidang ini. Hasil tangkapan dari citra satelit dan UAS dapat terkena *noise* yang menyebabkan ketidakakuratan dan rendahnya kualitas dari data yang dihasilkan.

Pemrosesan awal, seperti pembersihan terhadap *noise* seperti awan beserta bayangannya, asap hasil pembakaran, menjadi sangat penting dan perlu untuk diperhatikan. Metode pembersihan yang tepat dan benar akan menghasilkan data yang bersih dan meningkatkan kualitasnya. Selain itu, penggunaan metode *cross-validation* dalam pembangunan dapat dimanfaatkan guna mendapatkan jenis model dan parameter yang tepat. *Feature extraction* dan *feature engineering* juga dapat dimanfaatkan untuk memilih dan membangun variabel-variabel yang tepat dan optimal dalam pembangunan model, khususnya indeks vegetasi yang digunakan. Beberapa tahapan tersebut akan sangat membantu dalam mengoptimalkan pemanfaatan *remote sensing*, khususnya dalam bidang pertanian untuk menghasilkan data pertanian yang berkualitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, M., Saleem, S., Subhan, F., & Bais, A. (2020). Feature points-based image registration between satellite imagery and aerial images of agricultural land. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 28(3), 1458–1473. <https://doi.org/10.3906/elk-1907-92>
- Ahmed, Z., Shew, A., Nalley, L., Popp, M., Green, V. S., & Brye, K. (2023). An examination of thematic research, development, and trends in remote sensing applied to conservation agriculture. In *International Soil and Water Conservation Research*. KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.04.001>
- Ashofteh, A., & Bravo, J. M. (2021). Data Science Training for Official Statistics: a New Scientific Paradigm of Information and Knowledge Development in National Statistical Systems. *Statistical Journal of the IAOS*, 37(3), 771 – 789. <https://doi.org/10.3233/SJI-210841>
- Becker, A., Russo, S., Puliti, S., Lang, N., Schindler, K., & Wegner, J. D. (2023). Country-wide retrieval of forest structure from optical and SAR satellite imagery with deep ensembles. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 195, 269–286. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.11.011>
- Bhattacharya, S., Lal, H., & Sachdev, B. K. (2021). A Study on the Agriculture Sector and the Problems Associated with it which has an Impact on the Farmers. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, 5(6), 589–593. <https://www.researchgate.net/publication/362124853>
- Bhatti, M. A., Zeeshan, Z., M.S., S., Bhatti, U. A., Khan, A., Ghadi, Y. Y., Alsenan, S., Li, Y., Asif, M., & Afzal, T. (2024). Advanced Plant Disease Segmentation in Precision Agriculture Using Optimal Dimensionality Reduction With Fuzzy C-Means Clustering and Deep Learning. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17, 18264–18277. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2024.3437469>
- Brown, L. A., Fernandes, R., Djamai, N., Meier, C., Gobron, N., Morris, H., Canisius, F., Bai, G., Lerebourg, C., Lanconelli, C., Clerici, M., & Dash, J. (2021). Validation of baseline and modified Sentinel-2 Level 2 Prototype Processor leaf area index retrievals over the United States. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 175, 71–87. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.02.020>
- Chen, G., Lu, H., Zou, W., Li, L., Emam, M., Chen, X., Jing, W., Wang, J., & Li, C. (2023). Spatiotemporal fusion for spectral remote sensing: A statistical analysis and review. In *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* (Vol. 35, Issue 3,

- pp. 259–273). King Saud bin Abdulaziz University.
<https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.02.021>
- Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science*. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>
- Danner, M., Berger, K., Woche, M., Mauser, W., & Hank, T. (2021). Efficient RTM-based training of machine learning regression algorithms to quantify biophysical & biochemical traits of agricultural crops. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 173, 278–296. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.01.017>
- Dash, J. P., Watt, M. S., Pearse, G. D., Heaphy, M., & Dungey, H. S. (2017). Assessing very high resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 131, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.007>
- El-Gammal, M. I., Ali, R. R., & Eissa, R. (2014). Land use assessment of barren areas in Damietta Governorate, Egypt using remote sensing. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(3–4), 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2014.07.002>
- Felegari, S., Sharifi, A., Moravej, K., Amin, M., Golchin, A., Muzirafuti, A., Tariq, A., & Zhao, N. (2021). Integration of sentinel 1 and sentinel 2 satellite images for crop mapping. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/app112110104>
- Friedman, E. A., & Gostin, L. O. (2016). The United Nations Sustainable Development Goals: Achieving The United Nations Sustainable Development Goals: Achieving the Vision of Global Health with Justice the Vision of Global Health with Justice. *The Georgetown Public Policy Review*, 21. <https://scholarship.law.georgetown.edu/facpub/1777http://ssrn.com/abstract=2773616>
- Gallego, F. J., Kussul, N., Skakun, S., Kravchenko, O., Shelestov, A., & Kolotii, A. (2016). Efficiency assessment of using satellite data for crop area estimation in Ukraine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 337–348. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.011>
- Guo, Y., Jia, X., & Paull, D. (2018). Effective Sequential Classifier Training for SVM-Based Multitemporal Remote Sensing Image Classification. *IEEE Transactions on Image Processing*, 27(6), 3036–3048. <https://doi.org/10.1109/TIP.2018.2808767>
- Hudson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. *Geoscientific Model Development*, 15, 5481–5487. <https://doi.org/10.1109/TIP.2018.2808767>
- Islami, F. A., Tarigan, S. D., Wahjunie, E. D., & Dasanto, B. D. (2022). Accuracy Assessment of Land Use Change Analysis Using Google Earth in Sadar Watershed Mojokerto Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*
- Jafarbiglu, H., & Pourreza, A. (2022). A comprehensive review of remote sensing platforms, sensors, and applications in nut crops. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 197). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106844>
- Kementrian Perancangan Pembangunan Nasional. (2020). *PEDOMAN TEKNIK PENYUSUNAN RENCANA AKSI TUJUAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN (TPB)/ SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDGs)* (V. Yulaswati, J. R. Primana, Oktorialdi, D. S. Wati, Maliki, A. N. S. Moeljono, P. B. Ali, A. Alhumami, W. S. Sulistyaningrum, T. D. Virgiyanti, Y. R. Hidayat, M. P. Saronto, L. Adypurnama, M. Cholifihani, M. Amalia, S. Yanti, N. H. Rahayu, P. Pandawangi, & E. C. Buana, Eds.; II). Kedeputian Bidang Kemaritiman dan Sumber Daya Alam, Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.

- Laamrani, A., Lara, R. P., Berg, A. A., Branson, D., & Joosse, P. (2018). Using a mobile device “app” and proximal remote sensing technologies to assess soil cover fractions on agricultural fields. *Sensors (Switzerland)*, *18*(3). <https://doi.org/10.3390/s18030708>
- Lame, G. (2019). Systematic literature reviews: An introduction. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 2019-August*, 1633–1642. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.169>
- Levering, A., Marcos, D., & Tuia, D. (2021). On the relation between landscape beauty and land cover: A case study in the U.K. at Sentinel-2 resolution with interpretable AI. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *177*, 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.04.020>
- Marshall, M., & Thenkabail, P. (2015). Advantage of hyperspectral EO-1 Hyperion over multispectral IKONOS, GeoEye-1, WorldView-2, Landsat ETM+, and MODIS vegetation indices in crop biomass estimation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *108*, 205–218. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.08.001>
- Mercier, A., Betbeder, J., Baudry, J., Le Roux, V., Spicher, F., Lacoux, J., Roger, D., & Hubert-Moy, L. (2020). Evaluation of Sentinel-1 & 2 time series for predicting wheat and rapeseed phenological stages. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *163*, 231–256. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.03.009>
- Morell-Monzó, S., Sebastiá-Frasquet, M. T., Estornell, J., & Moltó, E. (2023). Detecting abandoned citrus crops using Sentinel-2 time series. A case study in the Comunitat Valenciana region (Spain). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *201*, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.05.003>
- O’Connell, J., Bradter, U., & Benton, T. G. (2015). Wide-area mapping of small-scale features in agricultural landscapes using airborne remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *109*, 165–177. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.09.007>
- Opryshko, O., Pasichnyk, N., Kiktev, N., Dudnyk, A., Hutsol, T., Mudryk, K., Herbut, P., Łyszczarz, P., & Kukharets, V. (2024). European Green Deal: Satellite Monitoring in the Implementation of the Concept of Agricultural Development in an Urbanized Environment. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(7). <https://doi.org/10.3390/su16072649>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*, *134*, 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>
- Papoutsis, I., Bountos, N. I., Zavras, A., Michail, D., & Tryfonopoulos, C. (2023). Benchmarking and scaling of deep learning models for land cover image classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *195*, 250–268. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.11.012>
- Peng, J., Nieto, H., Neumann Andersen, M., Kørup, K., Larsen, R., Morel, J., Parsons, D., Zhou, Z., & Manevski, K. (2023). Accurate estimates of land surface energy fluxes and irrigation requirements from UAV-based thermal and multispectral sensors. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *198*, 238–254. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.03.009>
- Pires, R. de P., Olofsson, K., Persson, H. J., Lindberg, E., & Holmgren, J. (2022). Individual tree detection and estimation of stem attributes with mobile laser scanning along boreal forest roads. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *187*, 211–224. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.03.004>

- Robertson, G. P. (2015). A sustainable agriculture? *Daedalus*, 144(4), 76–89. https://doi.org/10.1162/DAED_a_00355
- Rogan, J., & Chen, D. M. (2004). Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. In *Progress in Planning* (Vol. 61, Issue 4, pp. 301–325). Elsevier Ltd. [https://doi.org/10.1016/S0305-9006\(03\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0305-9006(03)00066-7)
- Rosenski, N., & Schartner, C. (2018). Remote Sensing Data for Better Statistics. *16th Conference of the International Association of Official Statisticians (IAOS) OECD Headquarters*.
- Safarov, F., Temurbek, K., Jamoljon, D., Temur, O., Chedjou, J. C., Abdusalomov, A. B., & Cho, Y. I. (2022). Improved Agricultural Field Segmentation in Satellite Imagery Using TL-ResUNet Architecture. *Sensors*, 22(24). <https://doi.org/10.3390/s22249784>
- Samarkhanov, K., Abuduwaili, J., Samat, A., Ge, Y., Liu, W., Ma, L., Smanov, Z., Adamin, G., Yershbul, A., & Sadykov, Z. (2022). Dimensionality-Transformed Remote Sensing Data Application to Map Soil Salinization at Lowlands of the Syr Darya River. *Sustainability (Switzerland)*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/su142416696>
- Santos, L. A., Ferreira, K. R., Camara, G., Picoli, M. C. A., & Simoes, R. E. (2021). Quality control and class noise reduction of satellite image time series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 177, 75–88. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.04.014>
- Schulz, D., Yin, H., Tischbein, B., Verleysdonk, S., Adamou, R., & Kumar, N. (2021). Land use mapping using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series in a heterogeneous landscape in Niger, Sahel. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 178, 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.06.005>
- Selcuk, A. A. (2019). A Guide for Systematic Reviews: PRISMA. *Turkish Archives of Otorhinolaryngology*, 57(1), 57–58. <https://doi.org/10.5152/tao.2019.4058>
- Shendryk, Y., Rist, Y., Ticehurst, C., & Thorburn, P. (2019). Deep learning for multi-modal classification of cloud, shadow and land cover scenes in PlanetScope and Sentinel-2 imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 157, 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.08.018>
- Sinha, P., Robson, A., Schneider, D., Kilic, T., Mugeru, H. K., Ilukor, J., & Tindamanyire, J. M. (2020). The potential of in-situ hyperspectral remote sensing for differentiating 12 banana genotypes grown in Uganda. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 167, 85–103. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.023>
- Sun, J., Yan, S., Alexandridis, T., Yao, X., Zhou, H., Gao, B., Huang, J., Yang, J., & Li, Y. (2024). Enhancing Crop Mapping through Automated Sample Generation Based on Segment Anything Model with Medium-Resolution Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 16(9), 1505. <https://doi.org/10.3390/rs16091505>
- Tesfaye, A. A., Osgood, D., & Aweke, B. G. (2021). Combining machine learning, space-time cloud restoration and phenology for farm-level wheat yield prediction. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5, 208–222. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2021.10.002>
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2014). *Fundamental Principles of Official Statistics*.
- USGS. (2013). *Advanced and Applied Remote Sensing of Environmental Conditions*.
- Verrelst, J., Rivera-Caicedo, J. P., Reyes-Muñoz, P., Morata, M., Amin, E., Tagliabue, G., Panigada, C., Hank, T., & Berger, K. (2021). Mapping landscape canopy nitrogen content from space using PRISMA data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 178, 382–395. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.06.017>
- Vieira, S. M., Kaymak, U., & Sousa, J. M. C. (2010). M Cohen's Kappa Coefficient as a

- Performance Measure for Feature Selection. *IEEE World Congress on Computational Intelligence*, 924–931. <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2010.5584447>
- Xiong, J., Thenkabail, P. S., Gumma, M. K., Teluguntla, P., Poehnelt, J., Congalton, R. G., Yadav, K., & Thau, D. (2017). Automated cropland mapping of continental Africa using Google Earth Engine cloud computing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 126, 225–244. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.019>
- Yang, S., Li, L., Fei, S., Yang, M., Tao, Z., Meng, Y., & Xiao, Y. (2024). Wheat Yield Prediction Using Machine Learning Method Based on UAV Remote Sensing Data. *Drones*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/drones8070284>
- Zhang, X., Jia, W., Lu, S., & He, J. (2024). Ecological assessment and driver analysis of high vegetation cover areas based on new remote sensing index. *Ecological Informatics*, 82, 102786. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102786>
- Zhang, X., Wang, J., Henebry, G. M., & Gao, F. (2020). Development and evaluation of a new algorithm for detecting 30 m land surface phenology from VIIRS and HLS time series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 161, 37–51. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.01.012>