

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota-kota besar di Indonesia telah mengalami perkembangan kawasan pinggiran kota secara signifikan sejak tahun 1970-an sebagai dampak pertumbuhan ekonomi. Kawasan lanskap pedesaan dan pertanian di pinggiran kota banyak berubah menjadi pusat perumahan dan kawasan komersial yang padat. Transformasi ini mendorong kelompok berpenghasilan menengah dan tinggi berpindah ke pinggiran kota untuk menghindari kemacetan, polusi udara, serta keterbatasan lahan di pusat kota dengan harapan memperoleh lingkungan lebih nyaman dan infrastruktur lebih baik. Sebaliknya, kelompok berpenghasilan rendah termasuk penduduk lokal dan pekerja migran di sektor informal, cenderung menetap di wilayah pinggiran kota atau wilayah peri urban. Penumpukan populasi ini mengakibatkan kesenjangan sosial dan ekonomi dengan manfaat urbanisasi yang tidak terdistribusi secara merata. Masalah wilayah peri urban yang tidak terkendali akan menghasilkan peningkatan konversi penggunaan lahan yang signifikan (Li dkk., 2023; Sasongko dkk., 2024; Woltjer, 2014).

Berdasarkan Yunus (2008) mengemukakan bahwa wilayah peri urban akan terus mengalami perkembangan dinamis dengan pergeseran kenampakan kedesaan ke arah kenampakan kekotaan. Kondisi ini hampir terjadi pada berbagai kota besar di Jawa Barat, terutama di kawasan yang berbatasan langsung dengan Kota Besar seperti Bandung dan Jakarta. Pada wilayah perbatasan Jakarta dengan kota-kota satelit seperti Bogor, Depok, dan Bekasi mengalami pertumbuhan yang cukup pesat dengan banyaknya pembangunan permukiman baru serta pusat-pusat industri, didukung oleh infrastruktur jalan yang memadai dan tersedianya alat transportasi umum yang cepat yang menghubungkan wilayah-wilayah tersebut ke pusat kota (Juhadi dkk., 2019). Perkembangan serupa juga terjadi di sekitar Bandung Raya akibat urbanisasi menyebabkan perubahan signifikan pada wilayah peri-urban termasuk Kabupaten Bandung Barat, yang mengalami alih fungsi lahan pertanian menjadi kawasan terbangun secara masif (Abriyantoro & Hasrianti, 2024).

Urbanisasi yang pesat di Kabupaten Bandung Barat mencerminkan dinamika pertumbuhan wilayah peri-urban yang terjadi akibat ekspansi perkotaan dari Kota Bandung sebagai Pusat Kegiatan Nasional (PKN). Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Jawa Barat Tahun 2009–2029, Kota Bandung ditetapkan sebagai pusat aktivitas berskala internasional, nasional, dan antarprovinsi, yang mengakibatkan tekanan pembangunan di kawasan sekitarnya. (Ratnasari dkk., 2022). Kebijakan ini berimplikasi pada dinamika perkembangan Kabupaten Bandung Barat yang mengalami perkembangan aspek infrastruktur, ekonomi, pertumbuhan jumlah penduduk, serta konversi tutupan lahan yang masif. Perkembangan yang berkaitan erat dengan konversi tutupan lahan ini berdampak terhadap fragmentasi lanskap yang sebelumnya didominasi oleh lahan agraris semakin berkurang akibat alih fungsi lahan menjadi permukiman dan kawasan industri (Ismail & Nandi, 2020).

Konversi tutupan lahan Kabupaten Bandung Barat dan dampaknya secara spesifik dikaji pada penelitian Abriyantoro & Hasrianti (2024) yang menyatakan bahwa wilayah Bandung dan sekitarnya kehilangan lahan pertanian yang cukup luas dengan penurunan lahan sawah sebesar 3,07% dari tahun 2007 hingga 2017. Noviyanti dkk. (2020) menambahkan bahwa wilayah cekungan Bandung termasuk Bandung Barat memiliki tingkat lahan terbangun kedua tertinggi di Jawa Barat dengan perubahan lahan sawah menjadi lahan terbangun antara 2010 dan 2018. Ardiwijaya dkk. (2015) memprediksi bahwa pada tahun 2051 ketersediaan lahan akan kurang dari 30% apabila masalah konversi tutupan lahan ini dibiarkan. Transformasi ini berpotensi mengancam ketahanan pangan dan degradasi lingkungan sebagai akibat dari perencanaan dan *monitoring* tata ruang regional yang tidak terlaksana dengan baik (Abriyantoro & Hasrianti, 2024).

Campbell (1996) dalam Pratiwi (2019) berpendapat bahwa mengelola konversi penutup dan penggunaan lahan merupakan salah satu alat yang paling efektif untuk mengurangi konflik antara manusia dan lingkungan alam. Pengelolaan konversi tutupan dan penggunaan lahan tersebut dapat dilakukan semakin efisien dan relevan melalui teknologi pemetaan dan penginderaan jauh. Proses pemetaan ini biasanya dilakukan melalui klasifikasi tutupan dengan citra multispektral. Citra multispektral mampu menangkap informasi panjang gelombang yang variatif sehingga mampu

mendeteksi dan mengklasifikasikan berbagai jenis tutupan lahan, seperti vegetasi, air, dan permukaan tanah. Namun, penggunaan citra multispektral di Indonesia menghadapi sejumlah tantangan yang signifikan (Agustiyara dkk, 2023; Panda dkk., 2024; Scafidi, 2022).

Salah satu tantangan utama dalam analisis tutupan lahan di wilayah tropis seperti Indonesia adalah kondisi cuaca yang tidak mendukung, terutama tingginya intensitas awan, curah hujan, dan kabut. Keberadaan awan yang hampir sepanjang tahun membatasi ketersediaan citra multispektral yang jernih, sehingga menyulitkan proses pemetaan dan analisis tutupan lahan secara optimal (La & Nguyen, 2018). Gangguan ini tidak hanya memengaruhi kemampuan deteksi objek, tetapi juga mengurangi keakuratan klasifikasi yang bergantung pada data citra (Fu dkk., 2021). Selain kendala cuaca, citra multispektral juga memiliki keterbatasan dalam membedakan area terbangun dan lahan kosong di lanskap urban. Hal ini disebabkan oleh kemiripan nilai spektral antar fitur serta kompleksitas topografi di wilayah dengan heterogenitas ketinggian, khususnya pada kawasan yang memadukan elemen perkotaan dan perdesaan secara berdampingan (Radoine, 2023). Serangkaian kelemahan pada citra multispektral ini menyebabkan kesalahan klasifikasi dan akurasi pemetaan tutupan lahan pada wilayah yang kompleks seperti wilayah peri urban (Panda dkk., 2024; Yan dkk., 2023)

Kelemahan citra multispektral akibat kondisi iklim, cuaca, variasi ketinggian dan kesamaan nilai spektral dapat diperbaiki melalui integrasi dengan citra *Synthetic Aperture Radar* (SAR). SAR memiliki kemampuan untuk menghasilkan citra permukaan bumi tanpa terpengaruh oleh kondisi atmosfer akibat sensor perekaman aktif sehingga dapat memberikan data berkualitas ketika citra multispektral memiliki banyak gangguan (Syah, 2010; Yusrina dkk, 2019). Melalui informasi backscatter pada citra SAR membantu mengatasi tantangan variasi ketinggian dan kemiripan spektral karena sensitivitasnya terhadap tekstur objek. Karakteristik ini meningkatkan keefektifan dalam membedakan lahan terbuka, lahan terbangun, dan jenis tutupan lahan lainnya. Integrasi antara citra multispektral dan SAR dapat mengoptimalkan pemetaan tutupan lahan dengan menggabungkan kelebihan sensor masing-masing untuk menghasilkan informasi yang lebih akurat dan komprehensif (Bai dkk, 2021; Sarzynski dkk, 2020; Tayi & Radoine, 2023).

Integrasi citra multispektral dan *Synthetic Aperture Radar* (SAR) telah menjadi tren yang berkembang secara internasional. Banyak negara maju telah mengimplementasikan program integrasi citra penginderaan jauh multi-satelit karena terbukti menghasilkan kualitas yang lebih baik. Program Copernicus di Eropa telah menggunakan integrasi citra Sentinel-1 dan Sentinel-2 untuk pemetaan tutupan lahan skala nasional dengan mencapai akurasi keseluruhan 83% untuk mendeteksi perubahan tutupan lahan (Fioravante dkk., 2021). Yuan dkk (2020) dalam penelitiannya di Beijing menyebutkan bahwa Integrasi multi-satelit Sentinel-1A SAR dan Landsat-8 secara signifikan meningkatkan akurasi klasifikasi tutupan lahan mencapai akurasi klasifikasi 94,01%, mengungguli penggunaan data multispektral saja dengan akurasi 5,61%. Program-program yang berfokus pada pengintegrasian data dari berbagai sensor ini telah terbukti mampu meningkatkan muatan informasi dan kegunaan citra penginderaan jauh untuk berbagai tujuan (Fioravante dkk., 2021).

Hasil dan metode yang telah diterapkan di berbagai negara lain dengan iklim yang berbeda tidak dapat langsung diterapkan di Indonesia. Setiap wilayah memiliki karakteristik geografis dan iklim yang unik sehingga pendekatan yang cocok di satu tempat tidak selalu relevan di tempat lain. Terkhusus di wilayah peri urban Kabupaten Bandung Barat dengan dinamika kondisi fisik dan pembangunan wilayah yang dinamis dan kompleks. Oleh karena itu, penulis merumuskan penelitian yang berjudul “Integrasi Citra Multispektral dengan *Synthetic Aperture Radar* (SAR) untuk Pengembangan Metode Klasifikasi Tutupan Lahan pada Wilayah Peri urban”. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan metode klasifikasi yang lebih akurat dan efisien melalui integrasi citra multi-satelit dengan penerapan *machine learning* algoritma *random forest* untuk proses penentuan kelas melalui *decision tree* yang masif serta dilakukan optimasi penentuan iterasi terbaik dengan *parameter tuning* yang merupakan bagian dari *deep learning*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi penelitian lebih lanjut dalam bidang penginderaan jauh dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam perencanaan tata ruang dan pengelolaan sumber daya di wilayah peri urban Kabupaten Bandung Barat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut, maka terdapat beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Bagaimana klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra multispektral secara konvensional melalui pemanfaatan algoritma *random forest* pada wilayah peri urban Kabupaten Bandung Barat?
2. Bagaimana klasifikasi tutupan lahan dari Integrasi citra multispektral dan *Synthetic Aperture Radar* (SAR) menggunakan algoritma *random forest* pada wilayah peri urban Kabupaten Bandung Barat?
3. Bagaimana perbandingan hasil klasifikasi tutupan lahan dari citra multispektral dengan hasil integrasi multispektral dan *Synthetic Aperture Radar* (SAR) Kabupaten Bandung Barat?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut, maka terdapat beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Menganalisis klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra multispektral secara konvensional melalui pemanfaatan algoritma *random forest* pada wilayah peri urban Kabupaten Bandung Barat.
2. Menganalisis klasifikasi tutupan lahan dari Integrasi citra multispektral dan *Synthetic Aperture Radar* (SAR) menggunakan algoritma *random forest* pada wilayah peri urban Kabupaten Bandung Barat.
3. Mengevaluasi perbandingan hasil klasifikasi tutupan lahan dari citra multispektral dengan hasil integrasi multispektral dan *Synthetic Aperture Radar* (SAR) Kabupaten Bandung Barat.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya, maka hasil akhir dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut:

1.4.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini akan berkontribusi pada pengembangan teori dan metode dalam penggunaan *machine learning* algoritma *random forest* untuk klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra multispektral yang diintegrasikan dengan *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Hal ini akan memperkaya literatur ilmiah dalam

bidang pemodelan klasifikasi lahan dan penggunaan algoritma *machine learning random forest* berbahasa javascript. Selain itu algoritma hasil pengembangan yang terintegrasi dengan SAR Sentinel-1 dapat membantu meningkatkan kualitas akurasi pemodelan klasifikasi tutupan lahan pada wilayah peri urban di Indonesia.

1.4.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan keuntungan dan manfaat bagi sejumlah pihak yang terlibat, diantaranya:

1. Bagi Penulis

Penelitian ini akan meningkatkan pemahaman penulis dalam proses pengintegrasian citra multispectral dan *Synthetic Aperture Radar* (SAR) serta pengaplikasian algoritma *machine learning* algoritma *random forest* dengan bahasa pemrograman javascript yang ditingkatkan dengan *deep learning*. Hal ini akan membantu pengembangan kompetensi dan mendorong keterbaruan penelitian dalam ilmu geospasial khususnya bidang penginderaan jauh.

2. Bagi Akademisi dan Peneliti

Penelitian ini akan menjadi sumber informasi penting bagi akademisi dan peneliti dalam pengembangan dan pengintegrasian antara citra multispectral dan SAR. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam penelitian lebih lanjut dan sebagai dasar untuk pemahaman lebih mendalam tentang pengembangan algoritma pengintegrasian citra multispectral dan SAR serta kombinasi aspek yang lebih variatif selain multispectral dan tekstur dari SAR.

3. Bagi Pemerintah

Penelitian ini akan memberikan dasar yang kuat bagi pemerintah daerah untuk merencanakan dan melaksanakan kebijakan dari *monitoring* tutupan lahan secara temporal pada wilayah urban dan peri urban, khususnya terkait perencanaan tata ruang, terutama untuk mengidentifikasi dan memantau konversi lahan agraris menjadi kawasan terbangun. Hasil penelitian dapat diaplikasikan sebagai metode untuk melakukan pemodelan tutupan lahan dengan kualitas yang lebih baik untuk *monitoring* dan panduan dalam mengembangkan strategi mitigasi dan pengelolaan sumber daya berkelanjutan.

4. Bagi Masyarakat

Hasil penelitian akan memberikan wawasan yang lebih baik kepada masyarakat wilayah urban dan peri urban dalam bertindak agar lebih adaptif dan bijak dalam melakukan aktivitas yang memengaruhi kondisi tutupan lahan, sumber daya dan mata pencaharian mereka.

1.5 Definisi Operasional

Definisi operasional berkaitan dengan batasan penafsiran istilah dalam penelitian. Definisi operasional ditujukan untuk memberikan pengertian yang lebih jelas dan spesifik terhadap berbagai istilah pada penelitian yang dilakukan untuk menghindari kesalahan dalam memahami istilah yang digunakan. Berdasarkan variabel penelitian berikut definisi operasional dalam penelitian:

1. Kategori Wilayah Peri urban

Merupakan klasifikasi spasial berdasarkan karakteristik wilayah yang berada di antara kawasan perkotaan dan pedesaan. Didefinisikan melalui persentase karakteristik lahan kota (lahan terbuka dan terbangun) dan karakteristik lahan desa (sawah, pertanian dan semak). Kemudian dikategorikan ke empat kategori wilayah peri urban yaitu:

- a. Zona bingkai kota (*urban fringe zone*) apabila terdiri dari 0-25% karakteristik lahan desa dan 75-100% karakteristik lahan kota.
- b. Zona bingkai kota desa (*urban rural fringe zone*) apabila terdiri dari 25-50% karakteristik desa dan 50-75% karakteristik lahan kota.
- c. Zona bingkai desa kota (*rural urban fringe zone*) apabila terdiri dari 50-75% karakteristik desa dan 25-50% karakteristik lahan kota.
- d. Zona bingkai desa (*rural fringe zone*) apabila terdiri dari 75-100% karakteristik desa dan 0-25% karakteristik lahan kota.

2. Nilai Hamburan Balik/*Backscatter* (Citra *Synthetic Aperture Radar*)

Nilai hamburan balik (*backscatter*) pada citra Sentinel-1 SAR digunakan untuk membedakan kelas tutupan lahan berdasarkan karakteristik permukaan dan respons terhadap gelombang radar dalam polarisasi VV dan VH dengan nilai *backscatter* yang tidak mutlak bergantung pada lokasi penelitian. Adapun rincian nilai hamburan balik masing-masing kelas adalah sebagai berikut:

- a. Badan air, memiliki permukaan yang halus dan datar, menghasilkan refleksi spekular yang menyebabkan nilai backscatter sangat rendah. Nilai hamburan balik pada polarisasi VV berkisar antara -25 hingga -17 dB, sedangkan pada VH berkisar antara -30 hingga -23 dB.
- b. Lahan terbuka, umumnya berupa tanah kosong dengan sedikit atau tanpa vegetasi, menunjukkan nilai hamburan balik sebesar -17 hingga -11 dB pada kanal VV dan -23 hingga -17 dB pada kanal VH.
- c. Sawah, terutama pada kondisi tergenang atau saat tanaman masih pendek, memperlihatkan nilai hamburan balik antara -15 hingga -8 dB pada VV dan -22 hingga -13 dB pada VH. Nilai ini dapat berubah seiring pertumbuhan tanaman, di mana VH cenderung meningkat.
- d. Pertanian dan semak, ditandai oleh vegetasi rendah hingga sedang dengan struktur permukaan yang tidak homogen, memiliki nilai backscatter berkisar antara -12 hingga -6 dB pada VV dan -18 hingga -9 dB pada VH.
- e. Lahan terbangun, seperti kawasan permukiman atau struktur bangunan, menunjukkan pantulan radar yang tinggi dan acak. Nilai *backscatter* pada kisaran -8 hingga -1 dB pada VV dan -14 hingga -6 dB pada VH.
- f. Hutan dan vegetasi rapat, memiliki struktur vertikal kompleks dengan kanopi yang lebat, menghasilkan hamburan volume yang tinggi. Nilai backscatter untuk kelas ini berada antara -9 hingga -4 dB pada VV dan -15 hingga -7 dB pada VH.

3. Nilai Reflektansi Spektral (Citra Multispektral)

Merupakan nilai digital hasil pengukuran spektral dari sensor citra multispektral (Sentinel-2) yang mencerminkan karakteristik permukaan objek pada saluran tertentu (RGB, NIR, dan SWIR). Nilai spektral dinyatakan dalam *digital number* yang tidak mutlak bergantung pada kondisi wilayah penelitian dalam rentang 0,0-1,0 yang digunakan untuk membedakan jenis kelas tutupan lahan berdasarkan respons spektralnya.

- a. Badan air, memiliki nilai reflektansi sangat rendah pada semua kanal, khususnya NIR dan SWIR, karena sifat permukaannya yang menyerap cahaya. Nilai spektralnya berkisar antara 0.01–0.05 (Blue), 0.01–0.04 (Green), 0.01–0.03 (Red), 0.005–0.02 (NIR), dan 0.002–0.02 (SWIR).

- b. Lahan terbuka, memperlihatkan nilai reflektansi yang cukup tinggi pada kanal RGB akibat permukaan tanah yang cerah, sementara nilai pada NIR dan SWIR bervariasi tergantung kelembaban. Nilai spektral umumnya berada pada rentang 0.05–0.15 (Blue), 0.07–0.20 (Green), 0.08–0.25 (Red), 0.10–0.25 (NIR), dan 0.10–0.25 (SWIR).
 - c. Sawah, menunjukkan reflektansi rendah saat tergenang dan meningkat seiring pertumbuhan tanaman, terutama di kanal NIR dan SWIR. Rentang nilainya adalah 0.03–0.10 (Blue), 0.04–0.12 (Green), 0.05–0.15 (Red), 0.10–0.30 (NIR), dan 0.05–0.20 (SWIR).
 - d. Pertanian dan semak, memiliki reflektansi sedang di kanal RGB dan tinggi di NIR karena keberadaan vegetasi dengan kerapatan sedang. Nilainya berada pada kisaran 0.05–0.15 (Blue), 0.08–0.18 (Green), 0.08–0.20 (Red), 0.20–0.40 (NIR), dan 0.15–0.30 (SWIR).
 - e. Lahan terbangun, memperlihatkan nilai reflektansi tinggi di kanal visible akibat permukaan buatan yang cerah, namun rendah pada NIR dan SWIR. Nilai spektralnya mencakup 0.10–0.25 (Blue), 0.12–0.28 (Green), 0.15–0.35 (Red), 0.05–0.20 (NIR), dan 0.05–0.15 (SWIR).
 - f. Hutan dan vegetasi rapat, dicirikan oleh reflektansi sangat tinggi di NIR, rendah di Red, dan sedang di SWIR, mencerminkan struktur tajuk vegetasi yang kompleks. Nilai spektralnya berkisar 0.02–0.08 (Blue), 0.03–0.12 (Green), 0.04–0.12 (Red), 0.35–0.55 (NIR), dan 0.20–0.35 (SWIR).
4. Kinerja *Random forest classifier*

Merupakan tingkat keberhasilan algoritma *machine learning random forest* dalam mengklasifikasikan tutupan lahan yang diukur melalui tiga indikator:

- a. Akurasi klasifikasi yang diperoleh dari *confusion matrix*, terdiri dari *overall accuracy* (persentase prediksi yang sesuai terhadap total data uji, dalam skala 0–100%) dan koefisien kappa (ukuran kesepakatan klasifikasi yang telah disesuaikan terhadap peluang acak, dalam skala 0–1).
- b. *Importance feature*, yaitu kontribusi relatif masing-masing variabel input dari band spektral dan SAR dalam proses klasifikasi dan dihitung melalui metrik internal *random forest*. *Importance feature* yang baik terjadi ketika selisih nilai antar fitur tidak jauh berbeda dan nilai yang relatif stabil.

- c. *Parameter tuning*, yaitu pemilihan konfigurasi optimal parameter model (*out of bag error*, akurasi, dan jumlah pohon) melalui metode *grid search* atau *cross-validation*. Nilai terbaik terjadi ketika kombinasi parameter mencapai iterasi pada akurasi terbaik dengan *oob* dan jumlah pohon minimum.

5. Tingkat Akurasi Model

Persentase kesesuaian hasil klasifikasi terhadap data referensi dalam *confusion matrix* dari sumber model yang diuji secara *pixel by pixel* tanpa pembandingan di lapangan, yang menunjukkan sejauh mana model mampu mengklasifikasikan tutupan lahan dengan benar pada data pengujian. Kategori hasil evaluasi yang baik ditunjukkan oleh *Overall Accuracy (OA)* diatas 85% dan *Kappa Coefficient* diatas 0,80 yang mencerminkan kesesuaian tinggi antara klasifikasi dan referensi. Nilai OA 70–85% dan kappa 0,60–0,80 dianggap cukup baik, sedangkan nilai di bawahnya menunjukkan performa rendah atau kurang konsisten.

6. Tingkat Akurasi Validasi Lapangan

Tingkat kesesuaian hasil klasifikasi terhadap data pengamatan lapangan (*ground control points*) yang dilakukan dalam dua tahap sebagai data validasi eksternal, yang dihitung menggunakan *confusion matrix*. Kategori hasil evaluasi yang baik ditunjukkan oleh *Overall Accuracy (OA)* diatas 85% dan *Kappa Coefficient* diatas 0,80 yang mencerminkan kesesuaian tinggi antara klasifikasi dan referensi. Nilai OA 70–85% dan kappa 0,60–0,80 dianggap cukup baik, sedangkan nilai di bawahnya menunjukkan akurasi yang rendah.

7. Tingkat *Importance feature*

Merupakan ukuran kontribusi relatif masing-masing variabel input (band spektral dan kanal *backscatter*) dalam model klasifikasi. Dihitung berdasarkan mekanisme internal *random forest* untuk mengidentifikasi fitur yang paling berpengaruh dalam pembentukan keputusan klasifikasi atau menguji kestabilan dari fitur yang digunakan. *Importance feature* yang baik terjadi ketika selisih nilai antar fitur tidak jauh berbeda dengan rerata nilai yang relatif stabil dan terhindar dari *overfitting*.

1.6 Penelitian Terdahulu

Penyusunan penelitian mensyaratkan kajian komprehensif terhadap penelitian terdahulu untuk membangun kerangka teoretis yang tepat dan mengidentifikasi celah penelitian (*research gap*). *Novelty* dapat diwujudkan melalui pengujian teori, aplikasi baru, perbandingan, atau antitesis terhadap temuan sebelumnya. Kajian ini juga berfungsi sebagai pembanding dalam metodologi, analisis, maupun konteks kasus, guna memastikan kontribusi ilmiah yang signifikan dari penelitian. Penelitian ini menawarkan kontribusi baru melalui pengembangan metode klasifikasi tutupan lahan pada wilayah peri-urban yang kompleks dan dinamis akibat tekanan pembangunan. Integrasi data multispektral dan radar telah menjadi tren global dalam pemetaan tutupan lahan, dan relevan untuk dikaji implementasinya di konteks Indonesia. Wilayah kajian berada di Indonesia dengan karakteristik iklim tropis dan kondisi atmosfer yang menantang, berbeda dari studi terdahulu yang umumnya dilakukan di wilayah beriklim non-tropis. Pendekatan yang digunakan mengintegrasikan citra multispektral dan SAR melalui algoritma *machine learning* berbasis cloud computing dengan optimasi *deep learning*. Berikut penelitian terdahulu yang menjadi dasar pengembangan penelitian ini.

No	Nama Penulis	Tahun & Lembaga	Judul	Masalah	Tujuan	Metode	Hasil
1	Bai Y, Sun G, Li Y, dkk	2021, Beijing University of Technology	<i>Comprehensively analyzing optical and polarimetric SAR features for land-use/land-cover classification and urban vegetation extraction in highly-dense urban area</i>	Tantangan dalam memahami kontribusi informasi komplementer dari fitur SAR terhadap klasifikasi LULC di area perkotaan padat.	Menyelidiki kontribusi fitur optik dan SAR polarimetrik untuk klasifikasi LULC dan ekstraksi vegetasi perkotaan di area urban padat seperti Hong Kong	1. Analisis korelasi Pearson untuk mendeteksi informasi redundan pada fitur optik dan SAR. 2. Pengukuran jarak J-S untuk mengevaluasi kapabilitas fitur optik dalam klasifikasi LULC. 3. Klasifikasi terawasi dengan Random Forest untuk menguji kontribusi fitur. 4. Fusi fitur pada level fitur untuk meningkatkan akurasi klasifikasi.	Ditemukan bahwa mekanisme scatter volume berperan penting dalam model klasifikasi berbasis fitur. Akurasi ekstraksi vegetasi mencapai 99,02% dengan fitur optik, dan fusi fitur SAR-optik meningkatkan akurasi klasifikasi LULC pada tingkat tertentu.
2	Sarzynski, T., Giam, X., Carrasco, L., & Lee, J. S. H.	2020, University of Hohenheim	<i>Combining Radar and Optical Imagery to Map Oil Palm Plantations in Sumatra, Indonesia, Using the Google Earth Engine</i>	Perlu memantau ekspansi perkebunan kelapa sawit yang menjadi salah satu pendorong utama deforestasi di Asia Tenggara	Mengevaluasi pendekatan semi-otomatis menggunakan kombinasi data optik dan radar untuk mengklasifikasi tutupan lahan kelapa sawit di Sumatra pada 2015.	1. Kombinasi data Landsat (optik) dan SAR diproses menggunakan platform Google Earth Engine (GEE). 2. Pendekatan semi-otomatis dengan Random Forest sebagai classifier. 3. Dibandingkan dengan dua produk tutupan lahan sawit yang menggunakan pendekatan visual dan semi-otomatis.	1. Kombinasi data Landsat dan SAR menghasilkan akurasi klasifikasi keseluruhan tertinggi (84%) dengan akurasi produsen (84%) dan pengguna (90%) untuk sawit. 2. Peta gabungan lebih dekat dengan statistik resmi dibanding dua produk lain. 3. Teknik dapat diterapkan untuk memantau tutupan sawit secara akurat di Asia Tenggara.

3	Tayi, S & Radoine, H	2023, Mohammed VI Polytechnic University	<i>Mapping built-up area: combining Radar and Optical Imagery using Google Earth Engine</i>	Kesulitan memetakan area terbangun di lanskap yang kompleks, terutama memisahkan tanah kosong dan area terbangun di Maroko.	Mengusulkan metode baru untuk meningkatkan pemetaan area terbangun dengan menggabungkan data radar Sentinel-1 dan optik Sentinel-2 melalui GEE.	1. Dibuat tiga komposit gambar: - SAR (data radar). - Optik (data optik dan indeks spektral). - Kombinasi (gabungan radar dan optik). 2. Klasifikasi supervised menggunakan algoritma Random Forest. 3. Perbandingan akurasi klasifikasi ketiga komposit.	1. Kombinasi Sentinel-1 dan Sentinel-2 menghasilkan akurasi tertinggi (97%) dengan kappa 0,87. 2. Komposit SAR memiliki akurasi lebih baik dibanding komposit optik. 3. Hasil dapat digunakan untuk pemantauan dan perencanaan urban yang lebih akurat.
4	Nguyen T, Chau T, Pham T, dkk	2021, Tay Nguyen University	<i>Mapping Land use/land cover using a combination of Radar Sentinel-1A and Sentinel-2A optical images</i>	Sulitnya pemetaan LULC dengan akurasi tinggi menggunakan data tunggal, terutama di wilayah dengan keragaman tipe lahan.	Menggunakan kombinasi citra radar Sentinel-1A dan optik Sentinel-2A untuk klasifikasi LULC yang lebih akurat di Provinsi Dak Nong tahun 2018.	Menggunakan algoritma Random Forest (RF) untuk mengklasifikasikan citra menjadi 10 kelas LULC, seperti hutan hijau, hutan semi-hijau, lahan perkebunan, area perumahan, dan permukaan air.	Akurasi keseluruhan (OA) mencapai 81,40% dengan koefisien kappa 0,79. Hasil menunjukkan distribusi hutan alam 34,27% dan non-hutan lebih dari 63%. Studi ini mendukung efisiensi tinggi kombinasi Sentinel-1A dan Sentinel-2A dalam pemetaan LULC.

5	Wang Y, Zhang W, Chen W, dkk	2024, University of Science and Technology of China	<i>MFFnet: Multimodal Feature Fusion Network for Synthetic Aperture Radar and Optical Image Land Cover Classification</i>	Tantangan dalam integrasi data citra optik dan SAR untuk meningkatkan klasifikasi tutupan lahan (LULC) di wilayah urban yang sangat padat akibat distribusi fitur yang berbeda.	Mengembangkan jaringan klasifikasi LULC berbasis fusi fitur multimodal yang disebut MFFnet untuk menggabungkan informasi dari data optik dan SAR.	MFFnet menggunakan jaringan aliran ganda (<i>dual-stream network</i>) untuk mengekstrak fitur dari citra SAR dan optik. ResNet digunakan untuk mengekstrak fitur mendalam dari citra optik, PidiNet untuk mengekstrak fitur tepi dari SAR, modul iAFF untuk fusi fitur multimodal pada tingkat rendah dan tinggi, serta modul ASPP untuk mengelola ketergantungan fitur global.	Evaluasi menunjukkan bahwa MFFnet mencapai performa tinggi dalam klasifikasi tutupan lahan pada dataset WHU-OPT-SAR, meningkatkan akurasi keseluruhan (OA) sebesar 7,7% dan metrik Kappa sebesar 11,26% dibandingkan dengan metode lain.
6	Lopes M, Frison P, Crows	2019, Institute of Zoology	<i>Improving the accuracy of land cover classification in cloud persistent areas using optical and radar satellite image time series</i>	Tantangan dalam pemetaan tutupan lahan di daerah tropis yang sering tertutup awan, menggunakan data satelit optik dan radar, serta pengabaian dimensi <i>multitemporal</i> yang berpotensi meningkatkan akurasi klasifikasi.	Menilai nilai tambah dimensi temporal dari seri citra optik dan radar untuk pemetaan tutupan lahan di lingkungan tropis, khususnya di Provinsi Jambi, Indonesia.	1. Perbandingan akurasi klasifikasi menggunakan (a) seri citra optik, (b) rata-rata temporal citra optik, (c) seri citra radar, (d) rata-rata temporal citra radar, (e) kombinasi seri citra optik dan radar, (f) kombinasi rata-rata temporal keduanya. 2. Penggunaan citra Sentinel-1 dan Sentinel-2.	Menggunakan kombinasi citra meningkatkan akurasi klasifikasi secara signifikan dibandingkan rata-rata temporal (peningkatan +14,7% untuk Sentinel-1, +2,5% untuk Sentinel-2, dan +2% untuk kombinasi Sentinel-1 dan Sentinel-2). Kombinasi seri citra Sentinel-1 dan Sentinel-2 memberikan akurasi tertinggi (Kappa = 88,5%).

7	Sicre C. M, Fieuzal R, Baup F	2020, Université de Toulouse	<i>Contribution of multispectral (optical and radar) satellite images to the classification of agricultural surfaces</i>	Tantangan dalam memonitoring berbagai jenis tanaman dan permukaan tanah (seperti tanah kosong) yang penting untuk pengelolaan sumber daya dan aktivitas manusia.	Mengevaluasi kontribusi citra satelit multispektral (optik dan radar) untuk klasifikasi penggunaan dan penutupan lahan.	1. Klasifikasi berbasis objek yang terawasi menggunakan algoritma Random Forest. 2. Pengolahan pasca-zonasi mayoritas. 3. Penggunaan citra radar (X-, C-, dan L-band) dan citra optik (Formosat-2).	Kombinasi citra radar L-band (Alos) dan citra optik (Formosat-2) meningkatkan akurasi klasifikasi (akurat keseluruhan = 0,85, kappa = 0,81) dibandingkan dengan penggunaan data radar atau optik tunggal. Akurasi bervariasi tergantung pada tahap fenologi spesies, geometri tutupan, dan kekasaran permukaan.
8	Putri D R, Sukmono A, & Sudarsono B	2018, Universitas Diponegoro	Analisis Kombinasi Citra Sentinel-1a Dan Citra Sentinel-2a Untuk Klasifikasi Tutupan Lahan (Studi Kasus: Kabupaten Demak, Jawa Tengah)	Masalah iklim tropis Indonesia yang sering tertutup awan dan kabut menghambat pengambilan data citra satelit, menghilangkan informasi penting dari objek yang tertutup awan.	Menganalisis kombinasi citra radar dan optik untuk klasifikasi tutupan lahan dengan menggunakan teknik fusi citra dan indeks.	1. Fusi citra dengan metode PCA, IHS, dan Brovey untuk menggabungkan citra Sentinel-1A dan Sentinel-2A. 2. Kombinasi indeks NDVI, NDBI, dan NDWI. 3. Pengklasifikasian tutupan lahan menggunakan metode supervised classification.	Fusi citra menunjukkan kenampakan relief di daerah perbukitan, membantu analisis morfologi dan struktur geologi. Akurasi klasifikasi tutupan lahan yang diperoleh dari perhitungan matriks konfusi menghasilkan tingkat keakuratan sebesar 89,583% pada citra Sentinel-2A, 67,391% pada citra transformasi PCA, 80,576% pada citra transformasi IHS, 82,734% pada citra transformasi Brovey, 73,611% pada citra kombinasi nilai indeks. Hasil uji akurasi tersebut menunjukkan bahwa dari klasifikasi tutupan lahan yang telah dibuat, hanya satu saja yang memenuhi asumsi tingkat kepercayaan sebesar >85%.

9	Zhang H, Li J, Wang T dkk	2018, The Chinese University of Hong Kong	<i>A manifold learning approach to urban land cover classification with optical and radar data</i>	Kesulitan dalam memperoleh data akurat dan tepat waktu mengenai tutupan lahan urban (LULC).	Meningkatkan klasifikasi ULC dengan menggabungkan data optik dan radar menggunakan pendekatan manifold.	1. Manifold learning (ISOMAP, LLE, PCA). 2. Penggabungan data optik SPOT-5 dengan tiga dataset SAR. 3. Evaluasi hasil dengan membandingkan ketiga metode manifold.	1. Manifold dengan dimensi intrinsik menggabungkan informasi terbaik dari data optik dan SAR. 2. ISOMAP menunjukkan hasil yang mirip dengan PCA, namun PCA menghasilkan akurasi terbaik secara keseluruhan. 3. LLE menghasilkan akurasi terendah karena kesalahan klasifikasi antara tanah kosong dan permukaan impervious gelap serta vegetasi.
10	Lu, D., Weng, Q., Li, G., & Guo, X.	2014, Indiana State University	<i>Remote sensing of impervious surface in the urban areas: Requirements, methods, and trends</i>	Pentingnya data permukaan kedap air (impervious surfaces) untuk perencanaan kota, manajemen lingkungan, dan sumber daya. Namun, pemahaman tentang properti spektral, geometris, dan temporal dari permukaan kedap air masih kurang.	Membahas metode digital remote sensing untuk ekstraksi dan estimasi permukaan kedap air, serta memahami dampak resolusi spasial, geometris, spektral, dan temporal dalam pemetaan tersebut.	Literatur review yang mengevaluasi berbagai pendekatan: - Pendekatan berbasis piksel, sub-piksel, berbasis objek. - Penggunaan algoritma seperti jaringan saraf tiruan. - Fokus pada data citra resolusi menengah (10–100 m) dan pengaruh data resolusi tinggi seperti hyperspectral dan LiDAR.	1. Teknik baru berkembang dengan data citra resolusi tinggi, hyperspectral, dan LiDAR. 2. Kebutuhan penelitian lebih lanjut untuk memahami resolusi temporal dan perubahan permukaan kedap air dari waktu ke waktu. 3. Algoritma dan model urban remote sensing terus berkembang menuju tren penelitian baru.

11	Fathan Musyaffa Abdul Jabbar	2025, Universitas Pendidikan Indonesia	Integrasi Citra Multispektral Dan <i>Synthetic Aperture Radar</i> (Sar) Untuk Pengembangan Metode Klasifikasi Tutupan Lahan Pada Wilayah Peri urban Kabupaten Bandung Barat	Perlunya pengembangan metode pemetaan tutupan lahan dari integrasi multi-satelit pada wilayah peri urban Indonesia dengan iklim tropis yang memiliki gangguan cuaca dan topografi variatif karena citra multispektral bermasalah dan kurang relevan digunakan.	Mengintegrasikan citra multispektral dengan <i>Synthetic Aperture Radar</i> (SAR) untuk klasifikasi tutupan lahan. Menerapkan proses klasifikasi tutupan lahan menggunakan <i>machine learning</i> dan <i>deep learning</i> untuk klasifikasi tutupan lahan yang lebih baik dan relevan.	1. Integrasi Sentinel 2 (Multispektral) dan Sentinel 1 (SAR) diproses pada platform <i>Google Earth Engine</i> (GEE). 2. Proses klasifikasi dengan algoritma <i>Random Forest</i> yang ditingkatkan dengan <i>deep learning parameter tuning</i> . 3. Perbandingan hasil citra konvensional dan integrasi melalui <i>confussion matrix</i> dan kappa dan dua tahap validasi lapangan (36 & 90 GCP)	1. Hasil dari akurasi model, validasi lapangan 1 dan validasi lapangan 2 menunjukkan bahwa integrasi citra multispektral SAR jauh mengungguli kualitas dari hasil citra multispektral konvensional dengan peningkatan <i>overall accuracy</i> sekitar 28-31%. 2. hasil pemetaan klasifikasi tutupan lahan pada wilayah peri urban KBB menunjukkan bahwa citra terintegrasi lebih baik secara tampilan dan statistik. 3. penelitian ini membuktikan bahwa pemetaan klasifikasi tutupan lahan melalui integrasi citra multi-satelit dengan proses <i>machine learning random forest</i> dan <i>deep learning parameter tuning</i> menghasilkan peningkatan kualitas pemetaan yang signifikan.
----	------------------------------	--	---	--	--	--	---