


Perkembangan Metode Klasifikasi Citra Penginderaan Jauh dalam Perspektif Revolusi Ilmiah Thomas Kuhn

Agus Ambarwari¹, Emir Mauludi Husni², Dimitri Mahayana³

¹Teknologi Rekayasa Internet, Politeknik Negeri Lampung, Lampung, Indonesia

^{2,3}Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

E-mail: ambarwariagus@polinela.ac.id¹, ehusni@itb.ac.id², dimitri@lskk.ee.itb.ac.id³

	<i>This is an open-access article under the CC BY-SA license. Copyright © XXXX by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.</i>	
Diterima: 09-11-2022	Direview: 28-01-2023	Publikasi: 30-09-2023

Abstrak

Pesatnya peningkatan teknologi penginderaan jauh memunculkan tiga paradigma metode klasifikasi citra penginderaan jauh, yaitu berbasis piksel, berbasis objek, dan berbasis pemandangan. Artikel ini bertujuan untuk menjelaskan atau mengungkap perkembangan metode klasifikasi citra penginderaan jauh dan hubungannya dengan proses revolusi saintifik Thomas Kuhn (pra-paradigma, sains normal, anomali, krisis, dan revolusi saintifik) yang terjadi pada perkembangan metode klasifikasi tersebut. Penyusunan artikel ini menggunakan metode kualitatif deskriptif. Sumber referensi berupa artikel dari jurnal yang dikumpulkan dari database Scopus dengan topik terkait klasifikasi dan penginderaan jauh. Sumber referensi lainnya yaitu data yang diekstrak dari artikel review. Dari semua referensi yang telah dikumpulkan, kemudian dilakukan studi literatur dengan menganalisis judul, abstrak, dan isi artikel secara keseluruhan. Setelah itu, diuraikan tahapan revolusi ilmiah terkait perkembangan metode klasifikasi pada citra penginderaan jauh. Berdasarkan telaah artikel yang dilakukan, dapat diuraikan bahwa perkembangan metode klasifikasi citra penginderaan jauh dimulai pada tahun 1970-an, ketika pertama kali satelit Landsat diluncurkan. Pada periode awal ini metode klasifikasi yang digunakan didasarkan pada piksel atau sub-piksel, karena resolusi spasial citra penginderaan jauh sangat rendah. Semakin berkembang teknologi penginderaan jauh, kemudian pada tahun 2000-an ditemukan pendekatan baru yang lebih efisien daripada pendekatan berbasis piksel untuk mengklasifikasikan citra beresolusi tinggi, yaitu metode klasifikasi berbasis objek. Kemudian, dengan dirilisnya dataset penggunaan lahan (UC-Merced) pada tahun 2010-an, interpretasi citra penginderaan jauh berbasis pemandangan mulai digunakan, karena metode berbasis piksel dan objek tidak cukup untuk mengklasifikasikan dengan benar.

Kata Kunci: klasifikasi citra; penginderaan jauh; revolusi saintifik; Thomas Kuhn;

Abstract

The rapid improvement of remote sensing technology has given rise to three paradigms of remote sensing image classification methods, namely pixel-based, object-based, and scene-based. This article aims to explain or reveal the development of remote sensing image classification methods and their relationship with Thomas Kuhn's scientific revolution process (pre-paradigm, normal science, anomaly, crisis, and scientific revolution) that occurs in the development of these classification methods. The preparation of this article uses a descriptive qualitative method. Reference sources are journal articles collected from the Scopus database with topics related to classification and remote sensing. Other reference sources are data extracted from review articles. From all the references collected, a literature study is then carried out by analyzing the article's title, abstract, and overall content. After that, the stages of the scientific revolution related to the development of classification methods in remote sensing images were described. Based on the review of the articles, it can be explained that the development of classification methods for remote sensing imagery began in the 1970s when the Landsat satellite was first launched. In this early period, the classification method used was based on pixels or sub-pixels, because the spatial resolution of remote sensing imagery was shallow. As remote sensing technology developed, in the 2000s a new approach was discovered that was more efficient than the pixel-based approach for classifying high-resolution imagery, namely object-based classification methods. Then, with the release of the land use dataset (UC-Merced) in the 2010s, scene-based

remote sensing image interpretation began to be used, as pixel- and object-based methods were insufficient to classify correctly.

Keywords: image classification; remote sensing; scientific revolution; Thomas Kuhn;

1. Pendahuluan

Citra penginderaan jauh (citra satelit) merupakan sumber data yang berharga untuk mengamati bumi, seperti membantu mengamati perubahan yang terjadi pada permukaan bumi. Citra ini bersumber dari satelit pengamatan bumi yang telah banyak digunakan dalam berbagai bidang, seperti kehutanan, pertanian, geologi, bencana alam, dll. (Zhao dkk., 2022). Berkat kemajuan teknologi pengamatan bumi, volume dan resolusi citra satelit meningkat secara drastis, serta menghasilkan sumber informasi yang sangat besar. Salah satu cara untuk mengekstrak informasi dalam citra satelit yaitu dengan metode klasifikasi.

Klasifikasi citra merupakan suatu teknik untuk mengkategorikan suatu piksel, objek, atau potongan gambar ke dalam kelas tertentu. Salah satu kegunaan klasifikasi pada citra satelit adalah untuk memetakan perubahan tutupan/penggunaan lahan. Awal peluncuran satelit pengamatan bumi (satelit Landsat), metode klasifikasi tutupan lahan mirip dengan metode yang digunakan pada interpretasi foto udara konvensional pada tahun 1950-an dan 1960-an (Lo, 1977; Spurr, 1952). Pada awal 1970-an, klasifikasi tutupan lahan dilakukan secara visual dan manual. Hal ini dilakukan melalui pemeriksaan gambar udara yang dicetak (Campbell & Wynne, 2011; France & Hedges, 1986). Haack (1982) menyebutkan bahwa citra tersebut dalam format cetak dan diperoleh dalam bentuk komposit hitam putih atau band individu. Hingga saat ini, sejumlah metode klasifikasi yang berbeda telah dikembangkan, terutama dengan meningkatnya pengetahuan di bidang ilmu komputer dan sistem informasi geografis (Thompson & Mikhail, 1976). Pesatnya perkembangan tersebut bersama dengan kemampuan teknologi penginderaan jauh yang semakin canggih, melahirkan tiga paradigma metode klasifikasi tutupan/penggunaan lahan, yaitu berbasis piksel/sub-piksel, berbasis objek, dan berbasis pemandangan (Cheng dkk., 2020; Mehmood dkk., 2022).

Metode pertama klasifikasi tutupan lahan dikembangkan pada tingkat piksel (tahun 1970-an) dan oleh karena itu, metode ini disebut klasifikasi berbasis piksel (Kirchhof dkk., 1980; Shlien & Smith, 1975). Metode klasifikasi berbasis piksel berfokus pada pelabelan setiap piksel dengan suatu kelas tutupan/penggunaan lahan. Pendekatan berbasis piksel biasanya dibagi menjadi metode klasifikasi terawasi (*supervised*) dan tidak terawasi (*unsupervised*). Dikarenakan beberapa kelemahan klasifikasi berbasis piksel, seperti pemisahan tutupan lahan pada piksel-piksel yang tercampur, kemudian dikembangkan metode klasifikasi berdasarkan tingkat sub-piksel kemudian dikembangkan pada tahun 1980-an (Fisher & Pathirana, 1990). Pada akhir tahun 1990-an, analisis berbasis objek (*object-based image analysis/OBIA*) dikembangkan dengan pendekatan untuk mengklasifikasikan citra berdasarkan pengelompokan piksel dan bukan bekerja pada piksel individual (Lu & Weng, 2007; Newman dkk., 2011; Zhou dkk., 2008). Sementara pendekatan berbasis piksel dan sub-piksel umumnya dikembangkan dan diterapkan pada citra Landsat, klasifikasi OBIA dikembangkan pada citra dengan resolusi yang lebih baik. Oleh karena itu, metode ini telah umum diterapkan pada citra dengan resolusi yang lebih baik daripada citra Landsat (Li dkk., 2014; Lu & Weng, 2007; Zhang dkk., 2013). Perkembangan terakhir metode klasifikasi citra penginderaan jauh adalah klasifikasi berbasis pemandangan (tahun 2010-an), metode ini berusaha mengklasifikasikan setiap bagian kecil gambar pada citra satelit ke dalam kelas semantik (Cheng dkk., 2020).

Pada penelitian terbaru pendekatan metode klasifikasi difokuskan berbasis pemandangan (Mehmood dkk., 2022). Sebagai seorang peneliti, ketika muncul suatu paradigma baru, sebaiknya perlu dipahami terlebih dahulu histori atau asal-muasal kemunculan paradigma baru tersebut. Pemahaman mengenai perkembangan suatu ilmu pengetahuan merupakan suatu hal yang sangat penting, dikarenakan dapat membantu dalam menemukan permasalahan pada paradigma yang ada. Sehingga peneliti dapat memberikan kontribusi penyelesaian masalah, baik dengan menggunakan paradigma yang sudah ada namun melalui sudut pandang berbeda atau mungkin dapat menemukan paradigma baru yang lebih menjanjikan. Berdasarkan hal tersebut, sangat penting membahas perkembangan paradigma metode klasifikasi citra satelit, mulai dari klasifikasi berbasis piksel (tahun 1970-an) sampai klasifikasi berbasis pemandangan (tahun 2010-an).

Perkembangan metode klasifikasi citra penginderaan jauh tidak terlepas oleh pergeseran teori, yaitu dari teori lama ke teori baru. Agar mendapatkan pemahaman secara mendalam mengenai perkembangan ini, artikel ini disusun dengan tujuan: (1) mengetahui perkembangan

metode klasifikasi citra penginderaan jauh dari tahun 1970-an sampai saat ini (tahun 2022); dan (2) mengetahui proses revolusi saintifik dalam perkembangan metode klasifikasi citra penginderaan jauh.

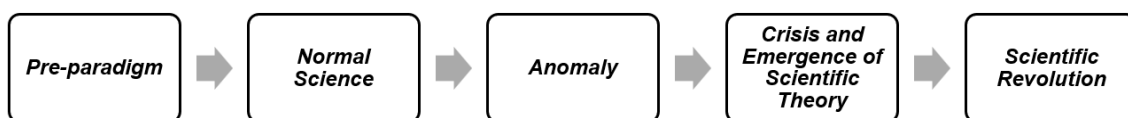
2. Metode

Penyusunan artikel ini menggunakan metode kualitatif deskriptif. Penulis mengumpulkan informasi dari artikel-artikel yang diterbitkan dari berbagai jurnal di basis data Scopus. Pencarian dilakukan dengan mempertimbangkan artikel yang diterbitkan dalam jurnal *peer-reviewed*. Pada makalah ini, kriteria utama untuk pencarian referensi adalah terkait “classification” dan “remote sensing”. Agar identifikasi terhadap artikel-artikel relevan dengan topik metode klasifikasi citra penginderaan jauh, beberapa ekspresi seperti “pixel-based”, “object-based”, “scene-based”, “satellite image”, “remote sensing”, dan “classification” digunakan secara bersama. Agar artikel-artikel yang didapatkan memiliki relevansi yang tinggi terkait topik dan lebih mutakhir, beberapa filter diterapkan dalam proses pencarian, antara lain rentang publikasi tahun 2017–2022, jenis dokumen “article”, tahap publikasi “final”, jenis sumber “journal”, dan berbahasa inggris. Setelah semua referensi dikumpulkan, kemudian dianalisis judul, abstrak, dan isi artikel secara keseluruhan. Selanjutnya, dilakukan pembahasan yang menguraikan tahapan sains menurut pandangan Thomas Kuhn berkaitan dengan perkembangan metode klasifikasi citra penginderaan jauh.

3. Hasil dan Pembahasan

a. Tahapan Revolusi Sains Thomas Kuhn

Thomas Samuel Khun adalah seorang filsuf yang lahir pada 18 Juli 1922 dan meninggal pada 17 Juni 1996 di Amerak Serikat. Thomas Kuhn dikenal dengan konsep paradigma revolusi sains (Kesuma & Hidayat, 2020), yaitu bahwa ilmu pengetahuan berkembang secara revolusioner, yang berarti secara total paradigma lama digantikan dengan paradigma baru yang berbeda (Kuhn, 1970). Secara singkat struktur revolusi sains yang dibawa Kuhn terdiri atas lima tahapan, yaitu: pra-paradigma; sains normal; anomali; krisis; dan revolusi saintifik, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Revolusi Sains (Mahayana, 2022)

Pada tahap pra-paradigma, penelitian mengenai suatu hal dilakukan tanpa tujuan dan arah yang jelas. Di mana banyak ditemui berbagai macam komunitas dengan beragam pemikiran yang berusaha menyelesaikan masalah dan saling mengungguli satu sama lain, namun belum ada yang diterima sebagai fakta maupun aturan ilmiah secara luas. Pada periode pra-paradigma akan muncul satu aliran pemikiran yang mendominasi aliran pemikiran lain, artinya aliran pemikiran yang mendominasi ini menjanjikan solusi pemecahan masalah yang lebih akurat dan lebih maju untuk penelitian di masa depan. Selanjutnya, keunggulan aliran pemikiran yang mendominasi tersebut diakui dan diterima oleh aliran pemikiran lainnya. Pada periode ini, mulai masuk tahap sains normal. Sains normal merupakan sekumpulan aturan-aturan, model-model, atau paradigma yang mendasari suatu bidang sains (baik teori maupun praktik) dalam periode tertentu, diakui dan diterima secara luas oleh komunitas ilmiah. Pada tahap ini, suatu paradigma yang kokoh digunakan sebagai referensi utama dan umum, sampai seolah-olah prinsip pertamanya tidak perlu dipertanyakan kembali. Pada tahap sains normal ini, para ilmuwan mengikuti metode dan teori yang mapan, melakukan penelitian kecil untuk memperluas pengetahuan yang ada (Kuhn, 1970).

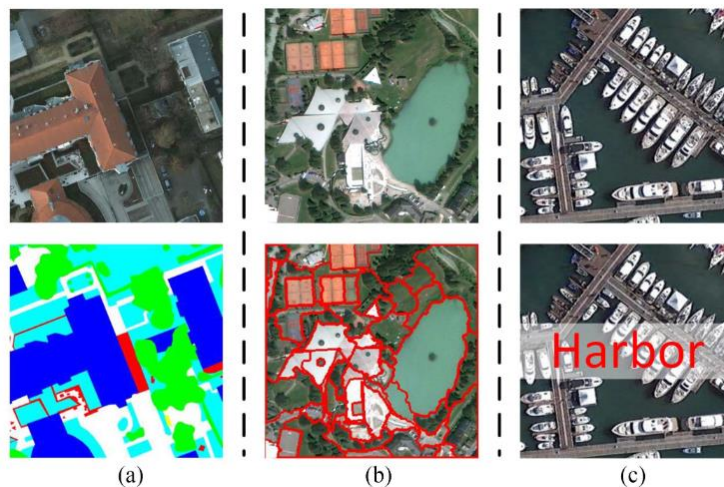
Namun, ada saat-saat ketika paradigma yang dominan menghadapi ketidaksesuaian dengan fenomena atau bukti baru yang tidak dapat dijelaskan. Apabila fenomena-fenomena yang tidak dapat dijelaskan oleh paradigma di dalam sains normal semakin bertambah, maka secara terus-menerus akan memicu munculnya anomali, yaitu adanya ketidakcocokan antara prediksi teori dan hasil pengamatan. Ketidaksesuaian antara prediksi teori dan hasil pengamatan dapat memicu keraguan terhadap paradigma yang dominan (Lakatos, 1970). Pada tahap ini, mulai muncul pemikiran alternatif dan perdebatan ilmiah tentang cara yang lebih baik untuk menjelaskan fenomena yang ada. Pada tahap ini, paradigma yang dominan mulai diragukan dan ketidakstabilan muncul dalam komunitas ilmiah. Hal tersebut mengakibatkan krisis, karena

paradigma dominan semakin disudutkan oleh anomali yang terus terjadi. Krisis ini mendorong penelitian lebih lanjut dan upaya untuk mencari paradigma baru yang lebih inklusif dan mampu mengatasi kesulitan yang dihadapi oleh paradigma yang lama (Feyerabend, 2020).

Krisis merupakan periode di mana secara perlahan sains normal mulai ditinggalkan. Hal ini disebabkan sains normal diyakini tidak mampu lagi menjadi solusi dari setiap permasalahan yang muncul. Pada kondisi ini, paradigma di dalam sains normal diperiksa dan dipertanyakan kembali. Situasi krisis ini kemudian berakhir dengan pergeseran paradigma (revolusi). Perubahan besar terhadap sains mulai terjadi di tahap ini, yang menghadirkan suatu paradigma baru yang diharapkan mampu menjadi solusi dari permasalahan yang tidak dapat dipecahkan oleh paradigma sebelumnya. Namun demikian, paradigma baru yang muncul tidak serta-merta langsung diterima oleh masyarakat ilmiah dan dijadikan sebagai paradigma baru. Melainkan harus berjuang terlebih dahulu untuk dapat menggantikan paradigma lama dan diterima sebagai paradigma baru. Perubahan ini terjadi melalui serangkaian perdebatan ilmiah, uji coba, dan pengakuan komunitas ilmiah terhadap keunggulan paradigma baru dalam menjelaskan fenomena dan memecahkan masalah yang dihadapi. Revolusi sains terjadi ketika paradigma baru diterima secara luas dan menjadi kerangka kerja utama dalam bidang pengetahuan tersebut (Kuhn, 1970).

b. Paradigma Metode Klasifikasi Citra Penginderaan Jauh

Pada dasarnya terdapat tiga pendekatan metode klasifikasi citra penginderaan jauh, yaitu: *pixel-based*, *object-based*, dan *scene-based* (Cheng dkk., 2020; Mehmood dkk., 2022), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tiga paradigma metode klasifikasi citra penginderaan jauh: (a) *pixel-based*, (b) *object-based*, dan (c) *scene-based* (Cheng dkk., 2020)

1) *Pixel-based* (berbasis piksel), tahun 1970-an

Metode klasifikasi berbasis piksel berfokus pada pelabelan setiap individual piksel dengan suatu kelas. Metode ini mengasumsikan setiap piksel diberi label sebagai tipe tutupan/penggunaan lahan tunggal (unit klasifikasi independen), di mana atribut spektral (nilai intensitas radiometrik) digunakan untuk mengklasifikasikan piksel ke dalam kelas yang sesuai. Pada metode ini, citra penginderaan jauh dianggap sebagai kumpulan piksel dengan informasi spektral, dengan demikian variabel spektral dan transformasinya (misalnya indeks vegetasi) dijadikan sebagai input ke pengklasifikasi per piksel (Cheng dkk., 2020; Li dkk., 2014; Shivakanth & Tanwar, 2018). Biasanya pendekatan ini menerapkan teknik seperti aturan *thresholding* dan algoritme statistik seperti *Maximum Likelihood Classification* (MLC) (Jensen, 2015; Phan & Stive, 2022).

2) *Object-based* (berbasis objek), tahun 2000-an

Metode klasifikasi berbasis objek bertujuan untuk mengenali objek dalam citra penginderaan jauh. Metode ini menghasilkan objek gambar melalui segmentasi citra penginderaan jauh dan kemudian mengklasifikasikan gambar berdasarkan atribut objek tersebut. Dengan teknik segmentasi citra, objek gambar dibangkitkan dengan data kontekstual, spasial, spektral, dan tekstur. Selanjutnya, objek-objek tersebut diklasifikasikan lebih lanjut menggunakan spektral

dan kriteria lain yang relevan. Pendekatan berbasis objek dianggap lebih tepat untuk citra penginderaan jauh resolusi sangat tinggi, karena mengasumsikan bahwa beberapa piksel citra membentuk suatu objek (Cheng dkk., 2020; Shivakanth & Tanwar, 2018). Piksel-piksel tersebut digabungkan berdasarkan kesamaan atribut spektral dan spasial, sehingga menjadi objek yang lebih besar seperti bangunan, lahan pertanian, atau hutan. Pendekatan ini mempertimbangkan konteks spasial antara piksel dan menghasilkan akurasi klasifikasi yang lebih akurat dan lebih baik dalam mengatasi variasi spektral dalam objek yang sama (Baatz, 2000; Blaschke, 2010).

3) Scene-based (berbasis pemandangan), tahun 2010-an

Berbeda dengan pendekatan berbasis piksel dan berbasis objek, pendekatan berbasis pemandangan memberikan pemahaman yang lebih holistik tentang citra dan konteksnya. Metode klasifikasi berbasis pemandangan melibatkan analisis klasifikasi yang lebih luas dengan mempertimbangkan konteks spasial yang lebih besar, termasuk interaksi antara objek dalam pemandangan. Metode ini berusaha mengklasifikasikan setiap bidang kecil gambar (istilahnya *patch*, misalnya berukuran 256 x 256) pada citra penginderaan jauh ke dalam kelas semantik. Di sini, item "pemandangan" mewakili *patch* gambar yang dipotong dari citra penginderaan jauh skala besar yang berisi informasi semantik yang jelas di permukaan bumi. Metode ini bertugas memprediksi label dari suatu gambar pada dataset dengan kategori semantik tutupan lahan yang berbeda. Kategori semantik yang dimaksud seperti ukuran, bentuk, tekstur, komposisi, dan distribusi objek dalam pemandangan. Secara umum, metode klasifikasi berbasis pemandangan diproses dengan dua tahapan. Pertama, gambar dikodekan dalam representasi fitur. Kemudian, pengklasifikasi dilatih dengan representasi ini untuk membedakan antara kelas semantik yang berbeda (Berg dkk., 2022; Cheng dkk., 2020; Herold dkk., 2003).

c. Proses Perkembangan Paradigma Metode Klasifikasi Citra Penginderaan Jauh

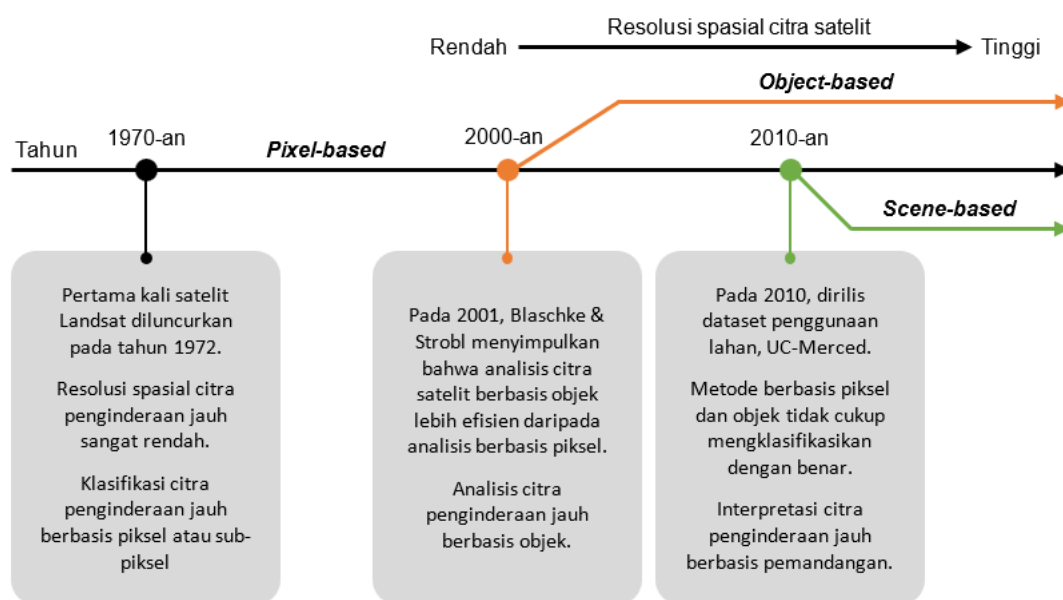
Peningkatan resolusi spasial pada citra penginderaan jauh secara bertahap membentuk tiga cabang klasifikasi citra penginderaan jauh, yaitu: *pixel-based*, *object-based*, dan *scene-based*. Dalam perspektif revolusi sains Thomas Kuhn, perkembangan metode klasifikasi citra remote sensing dapat dilihat sebagai evolusi dalam pemahaman dan pendekatan yang mendasarinya. Kuhn mengemukakan bahwa dalam sains, terdapat periode sains normal di mana paradigma yang dominan diterima secara luas, tetapi juga terjadi periode revolusi ilmiah ketika paradigma baru menggantikan yang lama. Dalam konteks metode klasifikasi citra remote sensing, terdapat beberapa revolusi ilmiah yang terjadi seiring waktu.

Paradigma pertama metode klasifikasi citra penginderaan jauh hadir ketika pertama kali diluncurkannya satelit Landsat pada tahun 1972, di mana resolusi spasial citra penginderaan jauh (citra satelit) masih sangat rendah. Pada periode ini, para peneliti berfokus pada pengklasifikasian citra satelit berdasarkan piksel atau sub-piksel, melalui pelabelan setiap piksel dalam citra satelit menggunakan kelas semantik. Hal ini dikarenakan resolusi spasial citra satelit sangat rendah (ukuran piksel mirip dengan ukuran objek yang diinginkan). Karena kemajuan pencitraan penginderaan jauh, resolusi spasial citra satelit semakin halus daripada objek yang diamati dalam citra, sehingga piksel tunggal kehilangan makna semantiknya. Pada kasus seperti itu, tidak mungkin untuk mengenali gambar pemandangan hanya pada tingkat piksel, karena akan menurunkan akurasi dalam klasifikasi tutupan/penggunaan lahan (Li dkk., 2014; Shivakanth & Tanwar, 2018). Hal tersebut mengakibatkan analisis per piksel mulai dinilai kurang memuaskan. Sebagai alternatif yang lebih baik, metode klasifikasi sub-piksel dianggap lebih tepat dan akurat dalam menentukan proporsi areal dari setiap jenis tutupan /penggunaan lahan (Cheng dkk., 2020). Berdasarkan revolusi sains Thomas Kuhn, pada fase ini berlaku pra-paradigma, di mana ada perbedaan konsepsi mengenai metode klasifikasi berbasis piksel dan sub-piksel. Hingga akhirnya konsep piksel dan sub-piksel dianggap sama, yaitu metode klasifikasi berdasarkan piksel. Fase ini menurut Thomas Kuhn mulai berlaku sains normal, artinya klasifikasi berbasis piksel dianggap paling benar, dapat dijadikan sebagai tolok ukur, dan telah menjadi kesepakatan umum. Paradigma metode klasifikasi berbasis piksel ini telah diyakini kebenarannya lebih dari dua dekade, yaitu dari tahun 1970-an sampai tahun 2000-an.

Kemajuan teknologi penginderaan jauh, yang mana resolusi spasial secara bertahap lebih halus dan objek dalam citra umumnya terdiri atas banyak piksel, secara signifikan telah meningkatkan variabilitas dalam kelas. Hal ini mengakibatkan sulitnya mengkategorikan gambar pemandangan pada tingkat piksel secara murni. Menurut Thomas Kuhn, pada fase ini terjadi anomali, di mana metode klasifikasi berbasis piksel tidak mampu menjadi solusi terhadap masalah baru. Setelah mengidentifikasi peningkatan ketidakpuasan terhadap paradigma

klasifikasi citra berbasis piksel, pada tahun 2001, Blaschke dan Strobl mempertanyakan dominasi paradigma berbasis piksel melalui papernya yang berjudul *“What’s wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS”* (Blaschke & Strobl, 2001). Pada fase ini mulai terjadi krisis dan munculnya paradigma baru. Selain itu, Blaschke & Strobl (2001) juga menyimpulkan bahwa peneliti harus fokus pada pola spasial yang dibentuk oleh sekumpulan piksel daripada menganalisis piksel tunggal. Mereka menyarankan bahwa peneliti harus memperhatikan analisis tingkat objek, karena dinilai lebih efisien daripada analisis per piksel. Selanjutnya, serangkaian pendekatan untuk menganalisis citra satelit berbasis objek telah mendominasi selama dua dekade terakhir (Cheng dkk., 2017, 2020). Fase ini menurut Thomas Kuhn dikenal dengan revolusi saintifik, di mana terjadi pergeseran paradigma (*shifting paradigm*) yaitu dari paradigma lama menuju ke paradigma baru. Pada fase ini, muncul paradigma baru yang memberikan solusi atas permasalahan yang terjadi pada paradigma sebelumnya, sehingga sains normal mulai berlaku kembali.

Sampai pada tahun 2010, dirilisnya dataset UC-Merced yang merupakan data penggunaan lahan, memunculkan paradigma metode klasifikasi baru. Disamping itu, karena pemandangan sering kali memiliki kesamaan visual dan objek tingkat rendah, analisis citra berdasarkan piksel atau objek saja belum cukup untuk mengklasifikasikan secara benar. Paradigma baru analisis berbasis pemandangan dalam citra satelit baru-baru ini disarankan (Berg dkk., 2022; Cheng dkk., 2020). Pada fase ini menurut Thomas Kuhn, paradigma sebelumnya yaitu klasifikasi berbasis objek masih dalam sains normal, karena paradigma tersebut masih digunakan hingga saat ini. Hal ini berarti paradigma tersebut masih mampu menjawab persoalan yang terjadi. Selain itu, metode klasifikasi berbasis pemandangan harus berjuang sampai terjadi anomali dan krisis pada paradigma sebelumnya untuk menjadi paradigma baru. Hingga adanya paradigma baru yang menggantikan paradigma lama, tahapan ini akan terus berlangsung. Secara singkat peta jalan pendekatan metode klasifikasi citra penginderaan jauh ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta jalan pendekatan metode klasifikasi citra penginderaan jauh (Cheng dkk., 2020)

Dalam perspektif Thomas Kuhn mengenai revolusi sains, perkembangan metode klasifikasi citra penginderaan jauh dapat dipandang sebagai perubahan paradigma dalam pemahaman dan pendekatan ilmiah terhadap pengolahan citra. Paradigma dalam konteks ini mengacu pada kerangka konseptual yang melandasi pemahaman dan praktik ilmiah yang dominan dalam bidang penginderaan jauh. Awalnya, metode klasifikasi citra penginderaan jauh didominasi oleh pendekatan berbasis piksel, di mana analisis dilakukan pada tingkat piksel individual. Paradigma ini didasarkan pada asumsi bahwa nilai spektral piksel mencerminkan kelas objek yang terkait. Namun, seiring dengan perkembangan teknologi dan pemahaman yang lebih baik, ketidaksesuaian antara prediksi paradigma ini dengan fenomena yang diamati mulai muncul. Ketidaksesuaian ini mengarah pada tahap anomali dalam paradigma, di mana bukti atau fenomena baru tidak dapat dijelaskan dengan tepat oleh pendekatan berbasis piksel. Munculnya kesenjangan ini memicu keraguan dan perdebatan ilmiah tentang kelemahan dan keterbatasan

pendekatan tersebut. Kemudian, muncul paradigma baru dalam bentuk metode klasifikasi berbasis objek. Pendekatan ini memperluas analisis ke tingkat objek yang lebih besar daripada piksel individual, dengan mempertimbangkan atribut dan konteks spasial antara piksel dalam objek. Paradigma ini menekankan pentingnya atribut seperti tekstur, bentuk, dan konteks spasial dalam klasifikasi citra. Metode segmentasi objek dan analisis atribut objek digunakan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan objek dalam citra dengan pendekatan yang lebih holistik. Kemudian, terjadi evolusi lebih lanjut dalam paradigma dengan munculnya metode klasifikasi berbasis pemandangan. Pendekatan ini melibatkan analisis yang lebih luas terhadap konteks spasial dan interaksi antara objek dalam pemandangan. Paradigma ini memandang citra secara keseluruhan sebagai pemandangan yang terintegrasi dan menggabungkan atribut spasial objek, komposisi, dan distribusi dalam pemandangan untuk klasifikasi yang lebih holistik.

Perubahan paradigma dalam metode klasifikasi citra penginderaan jauh sesuai dengan konsep revolusi sains Kuhn, di mana terdapat tahap sains normal, anomali, krisis, dan revolusi. Tahap sains normal mencakup paradigma yang dominan, sedangkan tahap anomali dan krisis mencerminkan ketidaksesuaian dan keraguan terhadap paradigma yang ada. Tahap revolusi terjadi ketika paradigma baru, seperti metode klasifikasi berbasis objek atau berbasis pemandangan, menggantikan paradigma yang lama.

4. Simpulan dan Saran

Sejarah perkembangan paradigma metode klasifikasi citra penginderaan jauh dibagi menjadi tiga periode. Periode I tahun 1970-an, periode II tahun 2000-an, dan periode III tahun 2010-an. Berdasarkan proses perkembangannya, metode klasifikasi citra penginderaan jauh terbagi menjadi tiga kelompok, antara lain klasifikasi berbasis piksel, berbasis objek, dan berbasis pemandangan. Pergeseran paradigma metode klasifikasi citra penginderaan jauh menurut revolusi saintifik Thomas Kuhn terjadi karena ketidakmampuan paradigma lama (klasifikasi berbasis piksel) dalam mengatasi permasalahan baru yang muncul akibat kemajuan teknologi penginderaan jauh. Revolusi saintifik Thomas Kuhn menyatakan bahwa perkembangan ilmu pengetahuan adalah secara revolusioner melalui tahapan-tahapan tertentu. Adapun tahapan revolusi sains menurut Kuhn ada lima, yaitu: (1) pra-paradigma; (2) sains normal; (3) anomali; (4) krisis; dan (5) revolusi saintifik.

Pada artikel ini, literatur yang digunakan sebagai kajian mengenai perkembangan metode klasifikasi citra penginderaan jauh sebagian besar merujuk pada survei paper. Hal ini dimungkinkan masih ada peluang untuk mengkaji kembali berdasarkan revolusi saintifik Thomas Kuhn melalui paper terbaru atau menambahkan referensi berupa *technical paper*, mengingat pesatnya perkembangan teknologi penginderaan jauh saat ini. Selain itu, di masa mendatang perlu dikaji perkembangan teknik *machine learning* yang telah diterapkan untuk klasifikasi citra penginderaan jauh dengan menggunakan pendekatan *research program Imre Lakatos*.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Pembiayaan Pendidikan Tinggi (BPPT) Kemendikbudristek dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas bantuan Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI) dalam pendidikan doktor di Institut Teknologi Bandung. Politeknik Negeri Lampung yang telah memberikan penugasan belajar dan dukungannya.

6. Daftar Pustaka

- Baatz, M. (2000). Multiresolution segmentation: An optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. *Angewandte geographische informationsverarbeitung*, 12–23.
- Berg, P., Pham, M.-T., & Courty, N. (2022). Self-Supervised Learning for Scene Classification in Remote Sensing: Current State of the Art and Perspectives. *Remote Sensing*, 14(16), 3995. <https://doi.org/10.3390/rs14163995>
- Blaschke, T. (2010). Object Based Image Analysis for Remote Sensing. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 65(1), 2–16.
- Blaschke, T., & Strobl, J. (2001). *What's Wrong With Pixels? Some Recent Developments Interfacing Remote Sensing and GIS*. 12–17.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing*. Guilford Press.

- Cheng, G., Han, J., & Lu, X. (2017). Remote Sensing Image Scene Classification: Benchmark and State of the Art. *Proceedings of the IEEE*, 105(10), 1865–1883. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2017.2675998>
- Cheng, G., Xie, X., Han, J., Guo, L., & Xia, G.-S. (2020). Remote Sensing Image Scene Classification Meets Deep Learning: Challenges, Methods, Benchmarks, and Opportunities. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 3735–3756. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3005403>
- Feyerabend, P. (2020). *Against method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*. Verso Books.
- Fisher, P. F., & Pathirana, S. (1990). The Evaluation of Fuzzy Membership of Land Cover Classes In the Suburban Zone. *Remote Sensing of Environment*, 34(2), 121–132. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(90\)90103-S](https://doi.org/10.1016/0034-4257(90)90103-S)
- France, M. J., & Hedges, P. D. (1986). A Hydrological Comparison of Landsat TM, Landsat MSS And Black & White Aerial Photography. *Remote Sensing for Ressources Development and Environmental Management. International symposium*. 7, 717–720.
- Haack, B. N. (1982). Landsat: A Tool for Development. *World Development*, 10(10), 899–909.
- Herold, M., Gardner, M. E., & Roberts, D. A. (2003). Spectral Resolution Requirements for Mapping Urban Areas. *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing*, 41(9), 1907–1919.
- Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (4th ed.). Pearson.
- Kesuma, U., & Hidayat, A. W. (2020). Pemikiran Thomas S. Kuhn Teori Revolusi Paradigma. *Islamadina : Jurnal Pemikiran Islam*, 166. <https://doi.org/10.30595/islamadina.v0i0.6043>
- Kirchhof, W., Haberäcker, P., Krauth, E., Kritikos, G., & Winter, R. (1980). Evaluation of LANDSAT Image Data for Land-Use Mapping. *Acta Astronautica*, 7(2), 243–253. [https://doi.org/10.1016/0094-5765\(80\)90064-8](https://doi.org/10.1016/0094-5765(80)90064-8)
- Kuhn, T. S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions* ([2d ed., enl]). University of Chicago Press.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. Dalam A. Musgrave & I. Lakatos (Ed.), *Criticism and the Growth of Knowledge: Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science, London, 1965* (Vol. 4, hlm. 91–196). Cambridge University Press; Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139171434.009>
- Li, M., Zang, S., Zhang, B., Li, S., & Wu, C. (2014). A Review of Remote Sensing Image Classification Techniques: The Role of Spatio-contextual Information. *European Journal of Remote Sensing*, 47(1), 389–411. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20144723>
- Lo, C. P. (1977). Landsat Images As A Tool In Regional Analysis: The example of Chu Chiang (Pearl River) delta in South China. *Geoforum*, 8(2), 79–87.
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A Survey of Image Classification Methods And Techniques for Improving Classification Performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823–870. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- Mahayana, D. (2022). *Filsafat Sains: Dari Newton, Einstein hingga Sains-Data*. ITB Press.
- Mehmood, M., Shahzad, A., Zafar, B., Shabbir, A., & Ali, N. (2022). Remote Sensing Image Classification: A Comprehensive Review and Applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2022/5880959>
- Newman, M. E., McLaren, K. P., & Wilson, B. S. (2011). Comparing the Effects of Classification Techniques on Landscape-Level Assessments: Pixel-Based Versus Object-Based Classification. *International Journal of Remote Sensing*, 32(14), 4055–4073.
- Phan, M. H., & Stive, M. J. F. (2022). Managing Mangroves and Coastal Land Cover in the Mekong Delta. *Ocean & Coastal Management*, 219, 106013. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.106013>

- Shivakanth, G., & Tanwar, P. S. (2018). Review On Conventional and Advanced Classification Approaches in Remote Sensing Image Processing. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6(11), 871–879. <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i11.871879>
- Shlien, S., & Smith, A. (1975). A Rapid Method to Generate Spectral Theme Classification of LANDSAT Imagery. *Remote Sensing of Environment*, 4, 67–77. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(75\)90006-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(75)90006-1)
- Spurr, S. H. (1952). Aerial Photographs in Forest Management. *Photogrammetria*, 9, 33–41. [https://doi.org/10.1016/S0031-8663\(52\)80004-3](https://doi.org/10.1016/S0031-8663(52)80004-3)
- Thompson, M. M., & Mikhail, E. M. (1976). Automation in Photogrammetry: Recent Developments and Applications (1972–1976). *Photogrammetria*, 32(4), 111–145. [https://doi.org/10.1016/0031-8663\(76\)90008-9](https://doi.org/10.1016/0031-8663(76)90008-9)
- Zhang, T., Yang, X., Hu, S., & Su, F. (2013). Extraction of Coastline in Aquaculture Coast from Multispectral Remote Sensing Images: Object-Based Region Growing Integrating Edge Detection. *Remote sensing*, 5(9), 4470–4487.
- Zhao, Q., Yu, L., Du, Z., Peng, D., Hao, P., Zhang, Y., & Gong, P. (2022). An Overview of the Applications of Earth Observation Satellite Data: Impacts and Future Trends. *Remote Sensing*, 14(8), 1863. <https://doi.org/10.3390/rs14081863>
- Zhou, W., Troy, A., & Grove, M. (2008). Object-Based Land Cover Classification and Change Analysis In The Baltimore Metropolitan Area Using Multitemporal High Resolution Remote Sensing Data. *Sensors*, 8(3), 1613–1636.