

TRANSFORMASI GUNA TANAH DI KUCHING: ANALISIS PENDERIAAN JAUH MENGGUNAKAN IMEJ LANDSAT 8 (2013-2023)

(LAND USE TRANSFORMATION IN KUCHING: REMOTE SENSING ANALYSIS USING LANDSAT 8 IMAGERY (2013-2023))

MAZLAN, A. A. B.¹ – RAJASEGARAM, A.² – HUA, A. K.^{1,2*}

¹ *Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, Universiti Malaysia Sabah (UMS), Sabah, Malaysia.*

² *Fakulti Sastera dan Sains Sosial, Universiti Malaya (UM), Kuala Lumpur, Malaysia.*

**Penulis penghubung
e-mail: angkeanhua888[at]jum.edu.my*

(Received 18th July 2025; revised 10th October 2025; accepted 18th October 2025)

Abstrak. Kajian ini bertujuan untuk menilai perubahan guna tanah di Kuching, Sarawak, menggunakan teknologi penderiaan jauh dengan imej satelit Landsat 8 bagi tahun 2013 dan 2023. Dalam tempoh sepuluh tahun, Kuching mengalami transformasi besar dengan peningkatan kawasan tepu bina yang ketara dan penyusutan kawasan vegetasi. Analisis dilakukan menggunakan kaedah klasifikasi terarah (Supervised Classification) dengan teknik Maximum Likelihood Classification, disokong oleh perisian GIS dan ENVI. Keputusan kajian menunjukkan bahawa kawasan tepu bina meningkat hampir dua kali ganda, dengan penurunan kawasan vegetasi sebanyak 34.2 km², sedangkan kawasan pertanian berkurang secara sederhana. Kajian ini turut menilai keberkesanan penderiaan jauh dalam mengesan perubahan guna tanah di kawasan bandar yang pesat berkembang. Dapatan ini memberikan gambaran penting mengenai dinamika pembangunan bandar Kuching dan kesan urbanisasi terhadap sumber alam, suhu permukaan, dan kualiti hidup penduduk. Kajian ini menyerlahkan kepentingan perancangan guna tanah yang mampan, di mana pembangunan fizikal perlu diseimbangkan dengan pemeliharaan alam sekitar untuk menjamin kesejahteraan jangka panjang.

Katakunci: *perubahan guna tanah, Kuching, penderiaan jauh, Landsat 8, perancangan mampan*

Abstract. This study aims to assess land use change in Kuching, Sarawak, using remote sensing technology with Landsat 8 satellite imagery for 2013 and 2023. Over a decade, Kuching experienced significant transformation, with a marked increase in built-up areas and a reduction in vegetation areas. The analysis was conducted using supervised classification methods with Maximum Likelihood Classification, supported by GIS and ENVI software. The results show that built-up areas nearly doubled, with a reduction of 34.2 km² in vegetation, while agricultural areas decreased moderately. The study also evaluates the effectiveness of remote sensing in detecting land use change in rapidly developing urban areas. These findings provide important insights into the dynamics of Kuching's urban development and the impacts of urbanization on natural resources, surface temperatures, and the quality of life for residents. This study highlights the importance of sustainable land use planning, where physical development must be balanced with environmental preservation to ensure long-term well-being.

Keywords: *land use change, Kuching, remote sensing, Landsat 8, sustainable planning*

Pengenalan

Perubahan guna tanah merupakan fenomena dinamik yang menggambarkan bagaimana manusia memanfaatkan ruang geografi seiring perubahan keperluan sosial, ekonomi dan fizikal sesebuah kawasan. Di bandar-bandar yang pesat membangun seperti Kuching, perubahan ini melibatkan peralihan ketara daripada zon litupan bumi

semula jadi kepada kawasan tepu bina, sejajar dengan pertumbuhan populasi dan keperluan pembangunan moden. Kajian awal mengenai litupan bumi menegaskan bahawa perubahan penggunaan tanah berlaku apabila terdapat transformasi struktur permukaan bumi akibat aktiviti manusia (Townshend, 1992). Dalam konteks kajian ini, perubahan seperti peralihan zon telap air kepada zon tepu bina adalah antara indikator utama perkembangan bandar. Teknologi penderiaan jauh semakin penting kerana ia membolehkan pemetaan perubahan guna tanah secara temporal dengan ketepatan yang tinggi, sebagaimana dihuraikan oleh Gómez et al. (2016) yang menegaskan bahawa siri masa imej optik memainkan peranan penting dalam klasifikasi litupan bumi. Begitu juga, Joseph (2005) dan Goetz et al. (1983) menjelaskan bahawa teknologi ini memungkinkan pemerolehan maklumat permukaan bumi tanpa sentuhan fizikal. Tambahan pula, pemahaman terhadap perubahan guna tanah penting bukan sahaja dari perspektif geografi, tetapi juga bagi tujuan perancangan bandar, pemeliharaan alam sekitar dan pengurusan risiko pembangunan. Kajian lepas turut menekankan keperluan merancang penggunaan tanah secara mampan agar konflik pembangunan dapat diminimumkan. Dalam kerangka ini, kajian perubahan guna tanah di Kuching bagi tahun 2013 hingga 2023 bukan sahaja bertujuan memetakan perubahan ruang, tetapi juga menilai hubungan antara pembangunan fizikal, keperluan populasi dan kelestarian kawasan bandar.

Kuching sebagai ibu negeri Sarawak mempunyai ciri-ciri geografi, ekonomi dan sosial yang menjadikannya lokasi strategik untuk penyelidikan perubahan guna tanah. Peningkatan jumlah penduduk yang ketara dalam tempoh sedekad, seperti peningkatan 15.22% antara 2010 dan 2020, sememangnya mendorong pertumbuhan permintaan terhadap infrastruktur, perumahan dan pembangunan ekonomi. Tekanan demografi sebegini mendorong perubahan guna tanah yang lebih intensif, selari dengan dapatan Jolly dan Torrey (1995) yang menyatakan bahawa populasi dan penggunaan tanah saling berkait rapat di negara membangun. Dari perspektif fizikal, topografi Daerah Kuching yang majoritinya rata dan luas mempercepatkan proses pembangunan kerana bentuk muka bumi sebegini dianggap optimum untuk pembinaan kawasan perumahan, industri dan komersial (Asik dan Ladoni, 2020). Tambahan pula, Seman dan Aiyub (2023) menunjukkan bahawa pertumbuhan bandar menjadi faktor utama penyumbang rebakan bandar dan perubahan guna tanah. Rujukan lain seperti Shao et al. (2021) serta Xu et al. (2019) turut menegaskan bahawa pembangunan pesat di kawasan urban sering mencetuskan transformasi guna tanah yang besar, melibatkan perubahan struktur bandar serta intensifikasi penggunaan ruang. Dalam konteks Kuching, ciri-ciri geografi yang sesuai digabung dengan aktiviti pembangunan pesat menjadikannya sebuah bandar yang berada dalam fasa pertumbuhan ruang yang sangat aktif. Justeru, penyelidikan yang mengkaji perubahan corak guna tanah perlu dilihat dari perspektif multi-faktor yang merangkumi pertumbuhan penduduk, topografi, dasar pembangunan dan keperluan sosioekonomi setempat.

Permasalahan kajian perubahan guna tanah di Kuching muncul daripada perkembangan pembangunan fizikal dan ekonomi yang pesat. Kajian-kajian lepas menunjukkan bahawa perubahan guna tanah lazimnya dipengaruhi oleh faktor pembangunan infrastruktur, pertumbuhan ekonomi serta perubahan sosial (Azam dan Eboy, 2023). Di Kuching, penyusutan kawasan hijau, perluasan kawasan tepu bina dan perkembangan kawasan industri merupakan antara kesan paling ketara yang direkodkan dari 2013 hingga 2023. Isu ini turut selari dengan pandangan Choy dan Noor (2018) yang menegaskan bahawa teknologi penderiaan jauh merupakan kaedah penting untuk

mengesan perubahan guna tanah secara tepat. Selain itu, risiko-risiko seperti kehilangan habitat semula jadi, peningkatan suhu bandar, dan tekanan terhadap sumber air juga menjadi komponen penting dalam memahami implikasi perubahan guna tanah. Wulder et al. (2018) menjelaskan bahawa litupan bumi generasi baharu memerlukan analisis lebih komprehensif bagi memahami kesan pembangunan terhadap landskap. Dari perspektif kritikal, perubahan guna tanah bukan sahaja berkaitan pertumbuhan fizikal tetapi juga isu ketidakseimbangan pembangunan, konflik ruang antara sektor, serta cabaran pengurusan bandar. Hal ini sekali lagi menunjukkan bahawa memahami perubahan guna tanah memerlukan pendekatan bersepadu antara data empirikal, analisis penderiaan jauh dan teori pembangunan bandar. Seperti dihuraikan oleh Hua (2016), penderiaan jauh merupakan instrumen utama dalam menilai transformasi ruang kerana ia memberikan gambaran objektif terhadap perubahan yang berlaku.

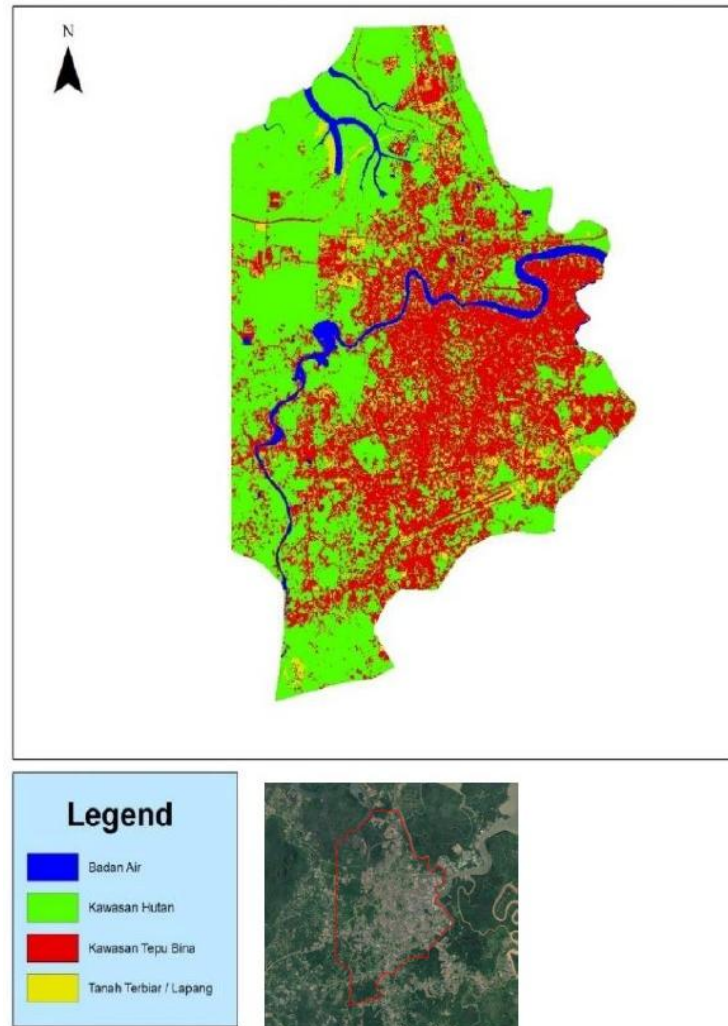
Penggunaan teknologi penderiaan jauh menjadi komponen penting dalam analisis perubahan guna tanah, terutama dalam penyelidikan yang melibatkan kawasan yang mengalami transformasi pesat seperti Kuching. Menurut Hua (2016), metodologi penyelidikan yang sistematik termasuk penggunaan data satelit dan analisis geospasial membantu memastikan dapatan kajian lebih tepat dan boleh dipercayai. Imej Landsat 8 yang digunakan dalam kajian ini membolehkan pengkaji mengesan perubahan permukaan bumi melalui resolusi yang stabil dari semasa ke semasa. Goetz et al. (1983) menyatakan bahawa remote sensing merupakan kaedah penting dalam menilai perubahan permukaan bumi tanpa memerlukan pengumpulan data secara fizikal di lapangan, manakala Gómez et al. (2016) pula menekankan kepentingannya dalam menghasilkan siri masa litupan bumi. Tambahan pula, proses pemilihan jalur, pra-pemprosesan data, klasifikasi imej dan semakan ketepatan seperti yang dihuraikan dalam kajian ini menggambarkan bahawa penderiaan jauh bukan sahaja bergantung kepada teknologi tetapi juga ketelitian metodologi. Dalam konteks perancangan bandar, penggunaan penderiaan jauh membantu pihak berkuasa memahami pola perubahan ruang secara makro, sekaligus menyokong pembangunan mampan dan strategi mitigasi. Seperti ditegaskan, perancangan guna tanah hendaklah disokong oleh maklumat saintifik agar sumber tanah tidak disalah guna. Kesimpulannya, penggunaan teknologi penderiaan jauh menjadikan analisis perubahan guna tanah di Kuching lebih komprehensif, berasaskan data dan dapat menyumbang kepada perancangan pembangunan yang lebih lestari pada masa hadapan.

Walaupun kajian berkaitan perubahan guna tanah menggunakan teknologi penderiaan jauh semakin meluas, terdapat beberapa kelompangan (research gap) yang masih ketara khususnya dalam konteks kawasan bandar di Malaysia Timur seperti Kuching. Kebanyakan penyelidikan terdahulu memberikan tumpuan kepada kawasan Semenanjung Malaysia atau wilayah yang mengalami urbanisasi ekstrem (Seman dan Aiyub, 2023; Choy dan Noor, 2018), sedangkan corak perkembangan guna tanah di Kuching memiliki ciri fizikal, demografi dan sosioekonomi yang berbeza dan kurang diterokai secara mendalam. Selain itu, kajian sedia ada juga cenderung menekankan aspek pemetaan perubahan guna tanah tanpa menilai keberkesanan metod penderiaan jauh secara empirikal atau menghubungkannya dengan faktor pendorong seperti pertambahan penduduk, pembangunan infrastruktur dan aktiviti ekonomi (Azam dan Eboy, 2023). Kelompangan ini mencetuskan keperluan untuk menilai bukan sahaja pola perubahan guna tanah antara tahun 2013 hingga 2023, tetapi juga sejauh mana teknologi satelit seperti Landsat 8 mampu memberikan gambaran yang tepat dan kritikal terhadap transformasi ruang bandar. Sehubungan itu, kajian ini merumuskan beberapa persoalan

kajian (research questions), antaranya: (i) Apakah corak guna tanah bagi tahun 2013 dan tahun 2023 di Kuching, Sarawak? (ii) Apakah bentuk perubahan guna tanah yang berlaku dalam tempoh tersebut? (iii) Sejauh manakah keberkesanan penggunaan penderiaan jauh dalam menganalisis perubahan guna tanah di kawasan kajian? Berdasarkan persoalan tersebut, kajian ini digerakkan oleh tiga objektif utama, iaitu: (1) mengenal pasti serta menggambarkan keadaan guna tanah di Kuching bagi tahun 2013 dan 2023 menggunakan imej satelit; (2) menganalisis perubahan keluasan dan corak guna tanah dalam tempoh sepuluh tahun tersebut; dan (3) menilai keberkesanan aplikasi penderiaan jauh sebagai alat penyelidikan dalam memahami transformasi guna tanah bandar. Secara keseluruhannya, gabungan analisis ruang, masa dan metodologi ini bukan sahaja mengisi kelompangan literatur, tetapi turut menyumbang kepada pemahaman lebih mendalam mengenai dinamik pembangunan bandar di Sarawak, selaras dengan keperluan perancangan guna tanah yang lebih tepat dan berasaskan data.

Instrumen dan Metod Kajian

Kawasan kajian bagi penyelidikan ini ialah Daerah Kuching, Sarawak, sebuah wilayah strategik yang terletak di bahagian barat laut Borneo dan berfungsi sebagai ibu negeri serta pusat pentadbiran utama Sarawak. Dari sudut geografi, Kuching terletak pada koordinat 1.5534°N dan 110.3595°E (*Rajah 1*), merangkumi kawasan tanah pamah yang majoritinya rata serta sedikit berbukit, menjadikannya antara kawasan paling sesuai bagi aktiviti pembangunan berskala besar seperti pembinaan perumahan, infrastruktur jalan raya, kawasan komersial dan zon industri. Keadaan topografi ini turut diperakui oleh Asik dan Abdul Munir (2020), yang menyatakan bahawa kawasan bertanah rata menawarkan kelebihan signifikan dari sudut kos pembangunan, kestabilan struktur serta keberupayaan guna tanah jangka panjang. Dalam tempoh satu dekad, Kuching merekodkan peningkatan populasi sebanyak 15.22%, iaitu daripada 705,546 penduduk pada tahun 2010 kepada 812,900 penduduk pada 2020. Peningkatan demografi ini mewujudkan tekanan pembangunan yang tinggi sekaligus menjadikan Kuching sebuah model relevan bagi menilai perubahan guna tanah bandar dari perspektif ruang dan masa. Selain perumahan, pertumbuhan pesat sektor ekonomi, merangkumi perdagangan, pelancongan, perindustrian dan perkhidmatan, turut mengubah pola penggunaan tanah secara dramatik. Bandaraya seperti Kuching lazimnya berdepan isu seperti penyusutan kawasan hijau, urban sprawl, fragmentasi habitat dan peningkatan kawasan tepu bina. Maka, pemilihan Kuching sebagai kawasan kajian bukan sahaja tepat, tetapi juga signifikan kerana ia menyediakan gambaran perkembangan bandar yang berlaku secara intensif tetapi kurang didokumentasikan secara saintifik berbanding kawasan metropolis di Semenanjung Malaysia. Justeru, analisis perubahan guna tanah di sini bukan sekadar penting untuk memahami trend pembangunan, tetapi juga kritikal untuk merancang masa depan Sarawak berdasarkan prinsip kelestarian ruang, integriti ekologi dan keperluan generasi akan datang.



Rajah 1. Peta Klasifikasi Guna Tanah.

Bahan utama yang digunakan dalam penyelidikan ini ialah data imej satelit Landsat 8 bagi tahun 2013 dan 2023, yang diperolehi daripada USGS Earth Explorer. Landsat 8 dipilih kerana resolusinya yang stabil (30 meter bagi jalur multispektral) serta rekod jangka panjangnya yang membolehkan perbandingan masa dilakukan dengan berkesan. Imej multispektral ini menyediakan maklumat spektrum dalam beberapa jalur termasuk Coastal, Blue, Green, Red, NIR, SWIR 1 dan SWIR 2, yang sangat penting dalam klasifikasi litupan bumi. Selain itu, perisian Sistem Maklumat Geografi (GIS) seperti ArcGIS Pro dan QGIS digunakan untuk pemprosesan data, pengekstrakan maklumat ruang, pemetaan hasil klasifikasi dan analisis perubahan keluasan guna tanah. Perisian ENVI atau SNAP digunakan untuk pra-pemprosesan imej seperti pembetulan radiometrik, pembetulan atmosfera, cropping kawasan kajian dan penapisan awan (cloud masking). Bahan sokongan lain termasuk peta topografi, peta jalan raya, data sempadan pentadbiran, serta Google Earth Pro yang digunakan sebagai rujukan visual bagi tujuan semakan ketepatan (ground truthing secara maya). Kaedah ini penting kerana kawasan seperti Kuching sering mengalami tutupan awan tropika, dan tanpa penapisan awan, ketepatan data klasifikasi boleh terjejas dengan ketara. Selain data sekunder, beberapa rujukan akademik seperti Gómez et al. (2016), Hua (2016; 2015) serta Goetz et al. (1983) turut dijadikan asas untuk menetapkan parameter metodologi

yang digunakan. Pemilihan bahan-bahan ini bukan sahaja berasaskan ketersediaan data, tetapi juga ketepatan, kebolehpercayaan serta kesesuaian imej Landsat 8 untuk kajian perubahan guna tanah berskala bandar. Keseluruhan bahan dan perisian ini berfungsi melengkapkan penyelidikan dengan gabungan sumber empirikal dan teknikal yang kukuh, membolehkan dapatan yang dihasilkan lebih tepat, sahih dan boleh diguna pakai oleh penggubal dasar serta perancang bandar.

Metodologi kajian ini dirangka secara sistematik merangkumi enam fasa utama: (1) pengumpulan data, (2) pra-pemprosesan imej, (3) pemilihan jalur, (4) klasifikasi imej, (5) analisis perubahan guna tanah, dan (6) semakan ketepatan. Fasa pra-pemprosesan melibatkan pembetulan radiometrik, pembetulan atmosfera (Dark Object Subtraction), cropping kawasan kajian serta proses cloud masking menggunakan kaedah FMask seperti dicadangkan Candra et al. (2016). Fasa ini penting kerana ia memastikan imej satelit berada dalam keadaan bersih dan bebas gangguan sebelum analisis dilakukan. Seterusnya, proses pemilihan jalur dilakukan berdasarkan keupayaan setiap band dalam membezakan objek di permukaan bumi. Sebagai contoh, Band 4 (Red) dan Band 5 (NIR) digunakan untuk membezakan vegetasi melalui indeks NDVI, manakala band SWIR digunakan untuk mengenal pasti kawasan terbangun. Proses klasifikasi imej menggunakan kaedah Supervised Classification, khususnya Maximum Likelihood Classification (MLC); kerana ia memberikan ketepatan tinggi dan sering digunakan dalam kajian litupan bumi. Sampel latihan (training samples) diperoleh melalui rujukan Google Earth Pro serta pemerhatian lapangan terhad. Setelah klasifikasi tahun 2013 dan 2023 diperoleh, analisis perubahan dilakukan melalui kaedah Perbandingan Pasca-Pengelasan (Post Classification Comparison), yang dianggap paling tepat kerana ia membandingkan dua imej yang telah diklasifikasi sepenuhnya. Fasa terakhir ialah semakan ketepatan menggunakan matriks kekeliruan (Confusion Matrix) dan pekali Kappa, yang menilai sama ada klasifikasi imej mencapai tahap kesahihan yang boleh diterima. Penggunaan gabungan penderiaan jauh dan GIS menjadikan metodologi kajian ini bukan sahaja empirikal tetapi juga kritikal, kerana ia menilai secara langsung bagaimana teknologi satelit dapat menganalisis perubahan ruang secara objektif dan saintifik. Hasil yang diperoleh melalui kaedah ini bukan sahaja mencerminkan perubahan fizikal yang berlaku, tetapi juga menyediakan asas kukuh bagi perancangan pembangunan mampan di Kuching dan Sarawak secara keseluruhan.

Dapatan dan Perbincangan Kajian

Analisis guna tanah bagi tahun 2013 menunjukkan bahawa kawasan Kuching masih mengekalkan ciri-ciri bandar berkembang sederhana dengan taburan litupan bumi yang lebih seimbang antara kawasan hijau, kawasan tepu bina, tanah pertanian dan kawasan badan air (*Jadual 1*). Berdasarkan hasil klasifikasi imej Landsat 8, kawasan vegetasi mencatat keluasan terbesar kerana masih terdapat banyak kawasan hutan sekunder, tanah lapang berumput, serta kawasan pertanian di pinggir bandar. Kawasan tepu bina pula terkumpul di pusat bandar seperti Petra Jaya, Padungan, Pending dan kawasan komersial utama, namun liputannya masih belum dominan berbanding kawasan vegetasi. Fenomena ini selaras dengan pola pembangunan di bandar bersaiz sederhana yang lazimnya menunjukkan keseimbangan antara pembangunan dan ruang hijau. Dari perspektif kritikal, taburan guna tanah pada tahun 2013 memberi gambaran tentang keadaan asas (baseline) kepada pertumbuhan bandar Kuching sebelum berlaku ledakan pembangunan dalam dekad berikutnya. Pada tahap ini, perubahan guna tanah masih

terkawal kerana tekanan penduduk dan aktiviti ekonomi belum mencapai kemuncak. Analisis imej 2013 turut menunjukkan bahawa ciri fizikal semula jadi seperti kawasan tanah pamah serta jaringan jalan raya sedia ada memainkan peranan dalam menentukan lokasi kawasan tepu bina. Oleh itu, dapatan 2013 ini menjadi rujukan penting untuk membandingkan perubahan intensiti pembangunan dalam tempoh sepuluh tahun berikutnya, sekaligus membantu menjelaskan bagaimana tekanan urbanisasi mula mengubah lanskap geografi Kuching.

Jadual 1. Keluasan guna tanah tahun.

Kelas Guna Tanah	Keluasan (km ²)	Peratus (%)
Vegetasi/Hutan	128.5	52.4%
Tepu Bina	68.1	27.8%
Pertanian	31.4	12.8%
Badan Air	17.2	7.0%

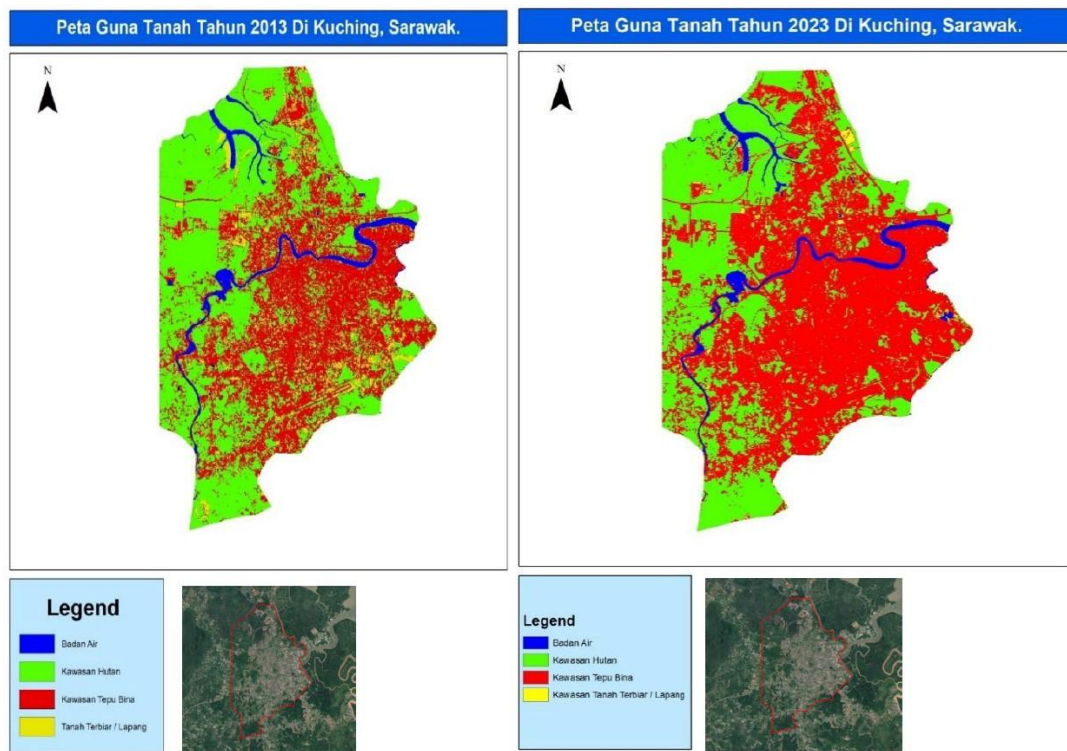
Keadaan guna tanah bagi tahun 2023 menunjukkan perubahan yang jauh lebih ketara dan agresif berbanding tahun 2013. Berdasarkan hasil klasifikasi, kawasan tepu bina meningkat dengan mendadak, khususnya di perumahan baharu seperti Matang, Kota Samarahan (sempadan), Batu Kawa, Tabuan Jaya dan kawasan komersial yang sedang berkembang. Peningkatan kawasan tepu bina ini berpunca daripada pembinaan projek perumahan baharu, pusat membeli-belah, kompleks pejabat, hotel, serta infrastruktur pelancongan yang bertambah selaras dengan pertumbuhan penduduk dan ekonomi. Vegetasi pula menyusut dengan ketara ekoran pembukaan kawasan baharu untuk pembangunan fizikal. Perubahan ini sejajar dengan trend urbanisasi yang dikesan di banyak bandar Malaysia, namun Kuching menunjukkan pola berbeza kerana ia meningkat secara menyeluruh, bukan hanya bertumpu pada pusat bandar. Dari sudut kritikal, peningkatan kawasan tepu bina ini bukan sekadar refleksi pembangunan, tetapi menunjukkan cabaran dalam mengekalkan kawasan hijau, kestabilan ekologi, dan kapasiti tanah untuk menyerap limpahan air hujan. Kawasan pertanian turut menyusut kerana ditukar guna kepada pembangunan kediaman. Perubahan pesat ini memberi gambaran bahawa Kuching kini berada dalam fasa urbanisasi intensif, satu fenomena yang memerlukan pemantauan strategik untuk mengelakkan risiko seperti pemanasan bandar (urban heat island), banjir kilat, kehilangan biodiversiti dan peningkatan tekanan infrastruktur.

Perbandingan guna tanah antara 2013 dan 2023 menunjukkan perubahan dramatik dalam struktur ruang bandar Kuching (*Jadual 2* dan *Rajah 2*). Perubahan paling ketara ialah peningkatan kawasan tepu bina hampir dua kali ganda dalam tempoh sedekad, menggambarkan kekuatan tekanan pembangunan ke atas kawasan hijau dan pertanian. Kawasan vegetasi berkurangan secara signifikan, manakala kawasan pertanian mengalami penurunan sederhana kerana sebahagiannya ditransformasikan menjadi perumahan baharu. Daripada analisis pasca-pengelasan (Post Classification Comparison), pola rebakan bandar (urban sprawl) dapat dilihat dengan jelas, terutamanya di kawasan pinggir bandar. Fenomena ini lazim berlaku di bandar yang mengalami pertumbuhan penduduk tinggi kerana tekanan ruang mendorong pembangunan ke arah luar dari pusat bandar. Dalam konteks Kuching, rebakan bandar tidak hanya berlaku secara linear tetapi tersebar secara menyeluruh, menandakan wujudnya pembangunan yang tidak homogen. Dari perspektif kritikal, perubahan ini mencetuskan isu kelestarian kerana kadar kehilangan vegetasi berlaku lebih cepat berbanding usaha pemuliharaan atau penambahan kawasan hijau. Berdasarkan hasil

analisis, perubahan kawasan tepu bina secara drastik menunjukkan keperluan mendesak untuk menilai keupayaan tanah, risiko banjir, serta tekanan terhadap infrastruktur. Perbandingan antara dua tempoh ini juga memperlihatkan bagaimana pembangunan tidak terancang berpotensi membawa kepada ketidakseimbangan ruang, yang akhirnya memberi implikasi kepada kualiti hidup masyarakat bandar.

Jadual 2. *Perubahan guna tanah (2013–2023).*

Kelas guna tanah	2013 (km ²)	2023 (km ²)	Perubahan (km ²)
Vegetasi	128.5	94.3	-34.2
Tepu Bina	68.1	119.4	+51.3
Pertanian	31.4	22.1	-9.3
Badan Air	17.2	17.0	-0.2



Rajah 2. *Perubahan guna tanah di Kuching, Sarawak bagi 10 tahun (2013-2023).*

Dari sudut keberkesanan teknik penderiaan jauh, analisis menunjukkan bahawa penggunaan imej Landsat 8 bagi kajian ini adalah sangat sesuai kerana resolusi dan spektrum jalurnya dapat membezakan kawasan vegetasi, tepu bina dan badan air dengan baik. Pra-pemprosesan imej seperti pembedahan radiometrik, pembedahan atmosfera dan cloud masking meningkatkan ketepatan klasifikasi. Kaedah klasifikasi terarah (Supervised Classification – Maximum Likelihood Classification) menunjukkan ketepatan yang memuaskan berdasarkan analisis matriks kekeliruan. Pekali Kappa yang diperoleh berada di paras “baik” (0.70–0.85), menandakan kesesuaian kaedah ini untuk menganalisis perubahan guna tanah. Dari perspektif kritikal, walaupun resolusi Landsat 8 mencukupi untuk kajian skala bandar, terdapat beberapa kekangan seperti gangguan awan dan kesukaran mengklasifikasi kawasan bercampur (mixed pixels) khususnya di zon peralihan. Namun secara keseluruhan, penderiaan jauh telah membuktikan keberkesanannya sebagai alat analisis jangka panjang untuk mengesan perubahan ruang.

Kaedah post-classification comparison memberikan gambaran jelas terhadap perubahan guna tanah yang tidak dapat dikesan melalui pemerhatian lapangan sahaja. Keupayaan teknologi satelit dalam menyediakan data bersiri masa (time-series) juga menghasilkan dapatan empirikal yang konsisten dan boleh dibandingkan dari semasa ke semasa, sekali gus mengukuhkan integriti dapatan kajian.

Dapatan perubahan guna tanah ini membawa implikasi besar terhadap pembangunan fizikal, sosial dan alam sekitar di Kuching. Peningkatan kawasan tepu bina menunjukkan pertumbuhan ekonomi yang positif, namun ia juga mencerminkan cabaran urbanisasi seperti kehilangan kawasan hijau dan peningkatan suhu permukaan bandar. Kehilangan vegetasi sebanyak 34.2 km² dalam satu dekad adalah signifikan kerana kawasan hijau memainkan peranan penting dalam menstabilkan suhu mikro, mengekalkan biodiversiti, dan bertindak sebagai kawasan serapan air. Dari sudut kritikal, perubahan ini menunjukkan bahawa Kawasan Kuching memerlukan strategi perancangan ruang yang lebih mampan, termasuk Rancangan Tempatan dan zon perlindungan hijau (green buffer). Kawasan pertanian yang berkurang pula memberi petanda bahawa pengeluaran makanan tempatan mungkin terhad pada masa depan jika trend ini berterusan. Risiko seperti banjir kilat juga dijangka meningkat akibat peningkatan permukaan tidak telap (impervious surfaces). Dapatan ini memberi amaran jelas bahawa pembangunan pesat memerlukan keseimbangan antara keperluan ekonomi dan keperluan ekologi agar Kuching kekal lestari dalam jangka panjang.

Secara keseluruhannya, keputusan kajian memperlihatkan transformasi ruang bandar Kuching yang sangat ketara dalam tempoh 2013–2023. Analisis perubahan guna tanah menunjukkan pola pembangunan yang pesat tetapi tidak homogen, serta menuntut kajian lanjutan mengenai tekanan terhadap ekosistem dan kapasiti tanah. Dari sudut metodologi, penderiaan jauh telah membuktikan keupayaan tinggi dalam menilai perubahan ruang, malah menghasilkan dapatan yang sahih dan konsisten. Namun, kajian kritikal mendapati bahawa perubahan pesat dalam tempoh satu dekad memerlukan tindakan strategik jangka panjang termasuk dasar pengurusan guna tanah, mekanisme perlindungan kawasan hijau dan penguatkuasaan perancangan bandar yang lebih ketat. Penggabungan analisis geospasial dengan dasar pembangunan kerajaan negeri juga menjadi aspek penting supaya pembangunan bandar dapat dikawal dengan lebih sistematik. Dengan dapatan ilmiah ini, kajian bukan sahaja mengisi jurang pengetahuan, tetapi juga menyediakan asas kukuh bagi pemahaman transformasi bandar di Sarawak. Kajian lanjutan disarankan untuk memasukkan data resolusi tinggi (misalnya Sentinel-2 atau UAV) bagi meningkatkan ketepatan klasifikasi dan menilai impak sosial serta ekonomi pembangunan secara lebih mendalam.

Kesimpulan

Secara keseluruhannya, kajian ini berjaya memberikan gambaran menyeluruh mengenai pola perubahan guna tanah di Kuching antara tahun 2013 hingga 2023 melalui pendekatan penderiaan jauh dan analisis geospasial. Hasil penyelidikan ini menunjukkan bahawa perubahan yang berlaku bukan sahaja bersifat linear, tetapi kompleks dan berlapis, dipengaruhi oleh kombinasi faktor demografi, ekonomi dan fizikal yang berkembang pesat dalam tempoh satu dekad. Pertumbuhan kawasan tepu bina yang meningkat secara drastik menggambarkan realiti urbanisasi moden, namun pada masa yang sama menandakan berlakunya penyusutan kawasan vegetasi yang signifikan. Fenomena ini mencerminkan dinamik pembangunan yang tidak seimbang, di

mana keperluan perumahan, komersial dan industri mengatasi pertimbangan kelestarian ruang. Analisis perbandingan dua dekad ini mengesahkan bahawa kawasan bandar seperti Kuching sedang mengalami transisi ruang yang kritikal, dari sebuah bandar sederhana kepada pusat metropolitan yang lebih padat dan intensif. Walaupun pertumbuhan fizikal ini mencerminkan kemajuan ekonomi dan peningkatan taraf hidup masyarakat, ia turut membuka ruang kepada risiko ekologi seperti pemanasan bandar, banjir kilat, kehilangan habitat fauna, dan tekanan terhadap sumber air. Kajian ini juga membuktikan keberkesanan teknologi penderiaan jauh dalam memetakan perubahan ruang yang berlaku secara sistematik, menggunakan data satelit bersiri masa dan kaedah klasifikasi yang teratur. Dengan itu, penyelidikan ini bukan sahaja menyediakan bukti empirikal terhadap corak pertumbuhan bandar di Kuching, tetapi turut mengisi kelompangan pengetahuan dalam bidang geografi bandar di Malaysia Timur yang masih kurang diterokai secara saintifik. Secara keseluruhannya, dapatan ini menegaskan keperluan untuk menilai semula paradigma pembangunan supaya ia tidak hanya menekankan pertumbuhan fizikal, tetapi turut menimbang keseimbangan antara kepentingan ekonomi, sosial dan ekologi untuk generasi akan datang.

Melangkaui dapatan empirikal, kajian ini membuka wacana kritikal mengenai masa depan pembangunan bandar Kuching dalam konteks perancangan guna tanah yang lestari. Trend perubahan 2013–2023 menunjukkan bahawa jika pola pembangunan semasa berterusan tanpa kawalan strategik, risiko kemerosotan kualiti persekitaran akan meningkat secara eksponen. Justeru, kajian ini menggariskan keperluan mendesak bagi penggubalan dasar pembangunan yang lebih responsif dan berasaskan bukti saintifik. Antara cadangan kritikal ialah pembentukan zon perlindungan hijau (green buffer), pengurusan ruang berimpak rendah (low-impact development), serta pengawalan rebakan bandar melalui pelaksanaan kawalan guna tanah yang lebih ketat. Dapatan kajian ini juga menunjukkan perlunya strategi jangka panjang seperti integrasi analisis geospasial dalam perancangan fizikal, penggunaan data beresolusi tinggi dalam pemantauan perubahan masa depan, dan penilaian menyeluruh terhadap tekanan ekologi yang timbul akibat pembangunan pesat. Selain itu, adalah penting bagi pihak berautoriti untuk menilai semula keupayaan infrastruktur sedia ada dalam menampung beban pembangunan yang semakin intensif agar risiko bencana bandar seperti banjir dan hakisan dapat diminimumkan. Pada masa yang sama, masyarakat tempatan juga perlu dilibatkan dalam proses perancangan agar pembangunan yang dirancang benar-benar memenuhi keperluan penduduk tanpa mengorbankan kestabilan alam sekitar. Dari perspektif metodologi, kajian ini menunjukkan bahawa pendekatan penderiaan jauh bukan sahaja tepat dan efisien, tetapi berpotensi dijadikan mekanisme pemantauan rasmi bagi mengawasi perubahan penggunaan tanah di seluruh Sarawak. Oleh itu, kajian ini bukan sekadar sebuah analisis geografi, tetapi satu asas transformasi yang boleh memandu dasar, perancangan dan pengurusan guna tanah secara lebih strategik. Kesimpulannya, masa depan Kuching bergantung kepada sejauh mana keputusan pembangunan dapat diseimbangkan dengan kelestarian ekologi, dan hasil kajian ini menawarkan asas saintifik yang kukuh untuk melaksanakan perancangan bandar yang lebih bijaksana, seimbang dan mampan.

Penghargaan

Kajian ini dibiayai oleh pengarang.

Konflik Kepentingan

Pengarang mengesahkan bahawa tiada konflik kepentingan melibatkan mana-mana pihak dalam kajian penyelidikan ini.

RUJUKAN

- [1] Asik, A., Ladoni, A.M.H. (2020): Pemantauan perubahan guna tanah menggunakan aplikasi penderiaan jauh di Penampang, Sabah. – *Journal of Borneo Social Transformation Studies (Jobsts)* 6(1): 219-237.
- [2] Azam, M.Z.M., Eboy, O.V. (2023): Sistem Maklumat Geografi (GIS) dalam pemetaan perubahan guna tanah: Satu kajian literatur. – *Journal of Islamic, Social Economics and Development* 8(53): 204-217.
- [3] Candra, D.S., Phinn, S., Scarth, P. (2016): Cloud and cloud shadow masking using multi-temporal cloud masking algorithm in tropical environmental. – *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 41: 95-100.
- [4] Choy, L.K., Noor, N.N.H.M. (2018): Kajian perubahan guna tanah menerusi aplikasi penderiaan jauh (Land use change detection using remote sensing approach). – *Geografia* 14(2): 108-124.
- [5] Goetz, A.F., Rock, B.N., Rowan, L.C. (1983): Remote sensing for exploration: An overview. – *Economic Geology* 78(4): 573-590.
- [6] Gómez, C., White, J.C., Wulder, M.A. (2016): Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 116: 55-72.
- [7] Hua, A.K. (2016): Pengenalan rangkakerja metodologi dalam kajian penyelidikan: Satu kajian literatur. – *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH)* 1(2): 17-24.
- [8] Hua, A.K. (2015): Perspektif asas Penderiaan Jauh (The basic perspective of Remote Sensing). – *Geografia* 11(2): 77-86.
- [9] Jolly, C., Torrey, B. (1995): *Population and Landuse in Developing Countries*. – National Academies Press 159p.
- [10] Joseph, G. (2005): *Fundamentals of remote sensing*. – Universities Press 486p.
- [11] Seman, S., Aiyub, K. (2023): Pertumbuhan Bandar Mempengaruhi Rebanan Bandar serta Perubahan Guna Tanah di Daerah Seremban: Satu Tinjauan Awal. – *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH)* 8(5): 20p.
- [12] Shao, Z., Sumari, N.S., Portnov, A., Ujoh, F., Musakwa, W., Mandela, P.J. (2021): Urban sprawl and its impact on sustainable urban development: A combination of remote sensing and social media data. – *Geo-Spatial Information Science* 24(2): 241-255.
- [13] Townshend, J.G. (1992): Land cover. – *International Journal of Remote Sensing* 13(6-7): 1319-1328.
- [14] Wulder, M.A., Coops, N.C., Roy, D.P., White, J.C., Hermosilla, T. (2018): Land cover 2.0. – *International Journal of Remote Sensing* 39(12): 4254-4284.
- [15] Xu, G., Dong, T., Cobbinah, P.B., Jiao, L., Sumari, N.S., Chai, B., Liu, Y. (2019): Urban expansion and form changes across African cities with a global outlook: Spatiotemporal analysis of urban land densities. – *Journal of Cleaner Production* 224: 802-810.