

PELAKSANAAN RANTAIAN CA-MARKOV MERAMALKAN PERUBAHAN GUNA TANAH DI SABAH, MALAYSIA

(IMPLEMENTATION OF CA-MARKOV CHAIN FORECASTS LAND USE CHANGE IN SABAH, MALAYSIA)

KHAIRULLAH, M. A. A. A.^{1*} – HUA, A. K.¹

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

**Corresponding author*

e-mail: MOHAMMAD_AL_MA22[at]iluv.ums.edu.my

(Received 05th November 2023; accepted 12th January 2024)

Abstrak. Perubahan guna tanah dan litupan tanah (LULC) mempunyai impak yang tinggi terhadap alam sekitar kerana mempunyai hubungkait secara langsung terhadap kemerosotan tanah dalam tempoh tertentu dan memberi implikasi kepada alam sekitar. Pemantauan perubahan guna tanah/litupan tanah (LULC) adalah penting untuk strategi perancangan sesuatu kawasan terutamanya dari segi aspek pembangunan. Sistem Maklumat Geografi (GIS) dan Penderiaan jauh (RS) merupakan salah satu perisian yang digunakan dalam mengurus dan menganalisis maklumat ruang geografi melalui visualisasi statistik geografi yang melibatkan data dalam bentuk raster dan vektor. GIS dan RS adalah satu perisian yang sangat bernilai digunakan dalam kajian bidang sains mahupun dalam bidang kemanusiaan terutamanya dalam kajian geografi. Kebimbangan mengenai perubahan guna tanah dan litupan merupakan senario yang menjadi agenda kepada penyelidikan berkenaan dengan perubahan alam sekitar global beberapa dekad yang lalu akibat aktiviti manusia itu tersendiri. Matlamat kajian ini adalah untuk mengaplikasikan GIS dan RS dalam menganalisis perubahan dinamik LULC serta melihat perbandingan antara LULC luar bandar dan bandar. Selain itu, kajian ini juga melihat perubahan LULC pada tahun 2035 dan 2050 akan datang dengan melalui model CA-Markov. Dengan mengintegrasikan GIS dan RS selain daripada melihat corak LULC, kajian ini juga dapat melihat perbezaan LULC antara kawasan bandar dan luar bandar. Hasil kajian ini juga dapat menjelaskan perubahan dinamik dalam struktur perkembangan pembangunan suatu kawasan dan menyumbang kepada strategi dalam mengawalselia suatu kawasan, membuat keputusan dalam merancang pembangunan dan dasar aktiviti guna tanah.

Katakunci: *guna tanah dan litupan tanah, CA-Markov, sistem maklumat geografi, penderiaan jauh, peluasan bandar, tanaman*

Abstract. Land use and land cover change (LULC) has a high impact on the environment because it is directly related to land degradation in a certain period and gives implications to the environment. Monitoring land use/land cover change (LULC) is important for the planning strategy of an area, especially in terms of development aspects. Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS) is one of the software used in managing and analyzing geographic spatial information through visualization of geographic statistics involving data in raster and vector form. GIS and RS very valuable software used in the study of science and in the field of humanities, especially in the study of geography. Concerns about land use and land cover changes are a scenario that has been on the agenda for research on global environmental change for the past several decades because of human activity. The aim of this study is to apply GIS and RS in analyzing the dynamic changes of LULC and to see the comparison between rural and urban LULC. In addition, this study also looked at the LULC changes in 2035 and 2050 by using the CA-Markov model. By integrating GIS and RS in addition to looking at LULC patterns, this study can also see the difference in LULC between urban and rural areas. The results of this study can also explain dynamic changes in the development structure area and contribute to strategies in regulating area, making decisions in planning development and land use activity policies.

Keywords: *land use and land cover, CA-Markov, geographical information systems, remote sensing, urban expansion, crop land*

Pengenalan

Pada masa kini pembangunan teknologi telah memberi peluang kepada pihak berkuasa perancangan dan pentadbiran bandar untuk membangunkan bandar yang pesat dan mapan. Perancangan dan pengurusan bandar telah diperkenalkan di Malaysia, kebanyakannya menggunakan kaedah penyediaan dan pemantauan rancangan pembangunan dan pembangunan bandar secara “blueprint” di mana kaedah ini melakukan pemetaan dalam lukisan. Kaedah ini juga digunakan untuk menganalisis potensi dan masalah pembangunan, menghasilkan rancangan pembangunan dan mengkaji latar belakang bandar. Namun, perkara ini menyukarkan pemantauan proses perancangan bandar yang tidak terkawal. Justeru, keupayaan Sistem Maklumat Geografi (GIS) digunakan dalam penyelesaian masalah pemrosesan data atribut dan data spatial secara selari.

Kebimbangan mengenai perubahan guna tanah/litupan merupakan senario yang menjadi agenda kepada penyelidikan berkenaan dengan perubahan alam sekitar global beberapa dekad yang lalu akibat aktiviti manusia itu tersendiri. Pelbagai kesan yang luas daripada perubahan guna tanah ke atas ekosistem fizikal dan manusia dapat dikenal pasti. Antara kebimbangan utama adalah kesan terhadap kehidupan biotik, kemerosotan tanah, dan keupayaan sistem biologi bagi menyokong dan memenuhi keperluan manusia. Perubahan guna tanah juga membawa kepada perubahan iklim kawasan, ekonomi dan sosiopolitik kawasan. Apabila dilihat secara global, perubahan litupan guna tanah ini akan memberi impak yang ketara dalam aspek utama fungsi sistem bumi. Walaubagaimanapun, perubahan ini tidak semuanya membawa kepada kesan negatif kerana terdapat pelbagai bentuk perubahan litupan guna tanah yang mana dikaitkan dengan peningkatan berterusan dalam memenuhi keperluan manusia seperti makanan dan serat, kecekapan penggunaan sumber dan kesejahteraan hidup.

Kajian literatur

Populasi secara global semakin meningkat selara dengan perkembangan teknologi pada masa kini. Hal ini juga dikaitkan dengan penduduk yang berhijrah dari Kawasan luar bandar ke bandar yang membawa kepada peningkatan dalam pembandaran. Lebih daripada separuh penduduk dunia menetap di kawasan bandar dan dijangka menjelang pertengahan abad ke-21 jumlah ini mencapai 70% yang membawa kepada peluasan Kawasan pembandaran (Singh et al., 2022). Sejak awal zaman, litupan tanah bumi telah berubah dan akan berubah di masa akan datang. Menurut Townshend et al. (1991) perubahan ini berlaku pada pelbagai dimensi geografi sama ada berlaku pada julat skala ruang iaitu tempatan dan global dan berlaku pada dimensi frekuensi masa daripada hari hingga ke tahun. Transformasi adalah hasil daripada proses aktiviti manusia dan semula jadi itu sendiri. Perubahan antropogenik dalam penggunaan dan perlindungan tanah telah meningkat dengan lebih cepat daripada perubahan semula jadi pada masa kini. Kadar perubahan yang mendadak ini menimbulkan kebimbangan terhadap alam sekitar secara serius di seluruh dunia. Perkara ini akan memberi kesan kepada semua ekosistem di dunia, serta menjejaskan keupayaan dalam menyediakan keperluan terhadap manusia. Antara faktor yang jelas dapat dilihat adalah perluasan populasi manusia dan kemajuan teknologi yang menyebabkan perubahan antropogenik (Hamad et al., 2018; Lambin dan Meyfroidt, 2011).

Guna tanah merupakan satu perkara yang sering dikaitkan dengan aktiviti harian manusia yang dijalankan melibatkan penggunaan tanah atau landskap ruang sama ada

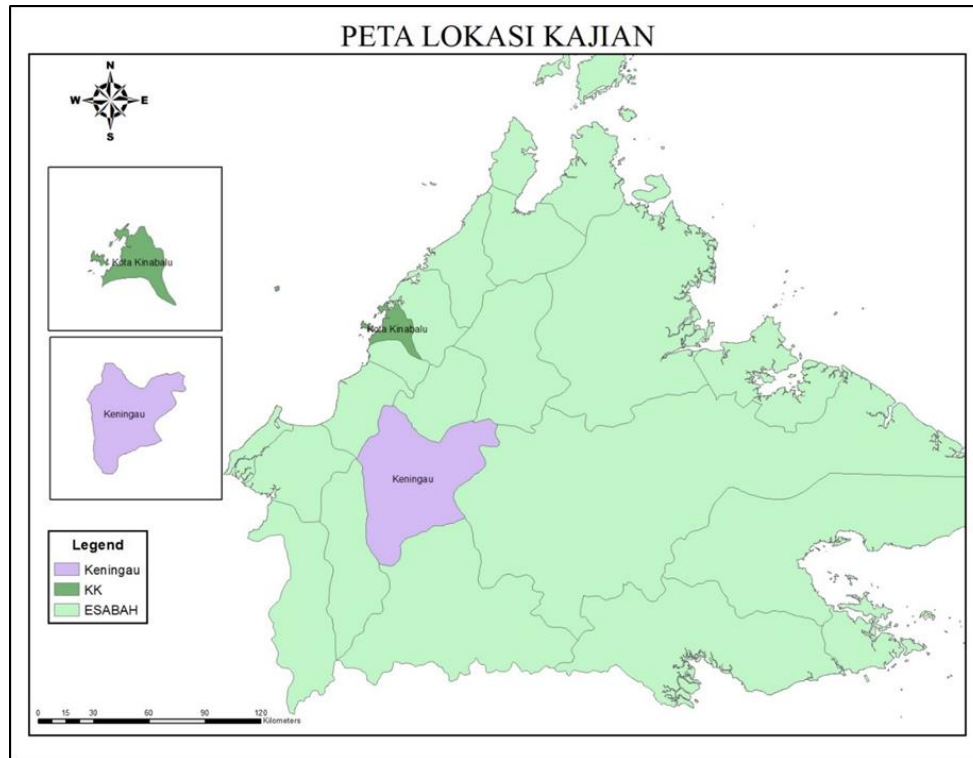
secara langsung ataupun tidak langsung. Menurut Meyer dan Turner (1994) guna tanah merujuk kepada aktiviti manusia ke atas tanah, manakala litupan bumi pula merujuk kepada keadaan fizikal permukaan ruang. Pemetaan perubahan LULC dan impaknya telah menyediakan banyak objektif dalam mengurangkan dan mengurus pelbagai bencana alam seperti tanah runtuh, pemanasan global, banjir dan sebagainya (Reis, 2008). Penggunaan GIS dan penderiaan jauh juga penting dalam mengesan perubahan dan membantu dalam merancang pembangunan Kawasan kajian. Penderiaan jauh merupakan alat canggih yang berguna dalam mengesan variasi LULC. Kedua-dua alat ini merupakan aplikasi penting dalam memetakan perubahan dalam LULC. Kajian mengesan perubahan ini juga bertujuan untuk menilai perubahan yang berlaku di Kawasan kajian dari tahun 1990 ke tahun 2020 serta mengenalpasti hubungannya terhadap spatiotemporal. Peta LULC dibangunkan dan dilihat menggunakan aplikasi penderiaan jauh USGS untuk pemerolehan data dan GIS dalam menganalisis data. Seterusnya meramal perubahan LULC pada masa akan datang juga menjadi satu kepentingan bagi menganggarkan pola guna tanah yang terjadi pada masa akan datang.

Oleh hal demikian, Model CA-Markov merupakan alat yang penting dalam penyelidikan alam sekitar dan geomatic berkenaan dengan LULC. Pemantauan dan analisis perubahan dalam LULC adalah penting dan sangat diperlukan dalam menyediakan maklumat mengenai pola perubahan guna tanah sedia ada bagi membuat keputusan serta menyokong pembangunan mapan. Model ini digunakan bagi menambah baik atau memahami perubahan penggunaan tanah yang berlaku disebabkan oleh aktiviti manusia (Hamad et al., 2018). Matlamat utama model ini dilaksanakan adalah bagi menggambarkan perubahan dan menghasilkan model terutamanya dalam kes perubahan litupan tanah. Seperti yang difahami ancaman daripada antropogenik membolehkan ekosistem terjejas pada pelbagai skala, sama ada dari aspek struktur dan fungsi ekosistem dalam menyokong kapasiti untuk penyediaan khidmat dan manfaat. Perubahan ini berlaku pada pelbagai skala ruang dan masa. Hal ini termasuk perubahan iklim yang disebabkan manusia yang memaksa dalam perubahan pada suatu kawasan dan menjejaskan fungsi serta peredaran ekosistem (Fu et al., 2017). Sama seperti gangguan ekosistem berskala kecil/tempatan jangka pendek yang berkaitan dengan guna tanah dan interaksinya yang berpotensi dalam menjejaskan struktur dan fungsi ekosistem.

Instrumen dan Metod Kajian

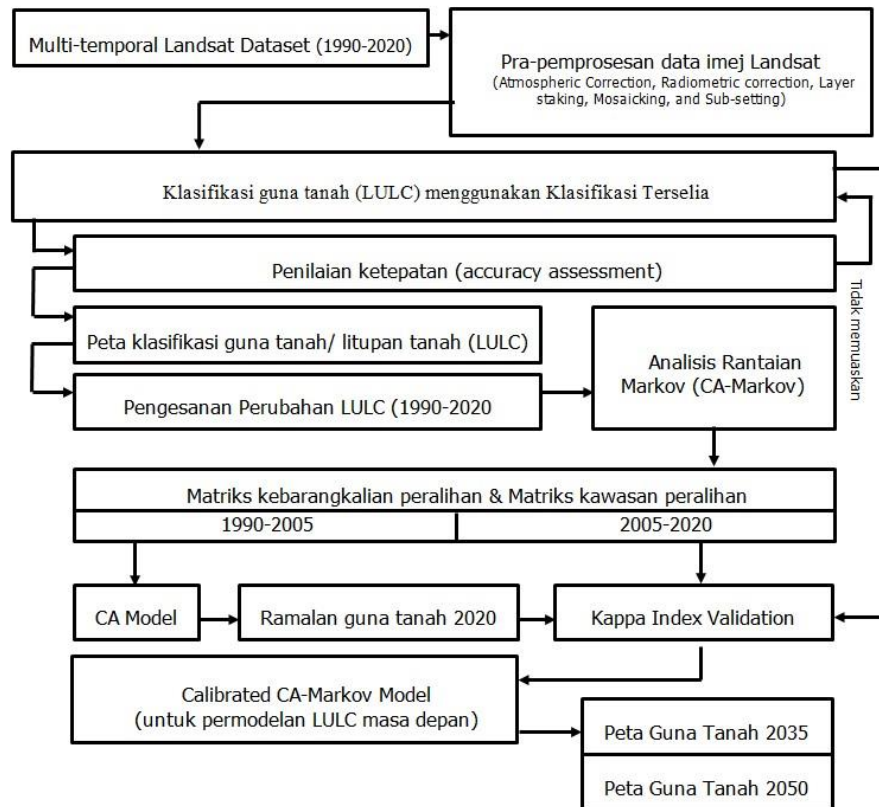
Lokasi kajian

Sabah; Kota Kinabalu merupakan bandar yang keenam dirasmikan bagi Malaysia pada tahun 2000 dan merupakan ibu kota Sabah (*Rajah 1*). Keningau pula merupakan sebuah bandar yang terletak di kawasan pedalaman Sabah, Malaysia, dan merupakan bandar terbesar di Bahagian Pedalaman. Seperti kebanyakan kawasan pedalaman, Keningau merupakan kawasan yang lebih cenderung kepada kawasan pertanian dan perladangan, yang mana ini merupakan sektor utama bagi ekonomi kawasan tersebut. Disebabkan aktiviti ekonomi yang pesat dan perkembangan populasi semakin meningkat, maka ini akan memberi kesan kepada persekitaran. Dalam kajian ini tumpuan yang diberikan adalah corak guna tanah, kriteria pembangunan utama di kawasan kajian dan ramalan perkembangan LULC di masa akan datang.



Rajah 1. Peta lokasi kajian.

Pendekatan metodologi yang digunakan dalam kajian ini dibahagikan kepada beberapa peringkat (*Rajah 2*). Peringkat-peringkat ini adalah bermula daripada pra-pemrosesan data satelit kemudiannya diklasifikasikan imej seterusnya penyelidik melakukan penilaian ketepatan menggunakan teknik kappa Koefisien. Setelah penilaian ketepatan dilakukan pengesanan perubahan tutupan tanah dilakukan dan yang terakhir permodelan dan ramalan LULC menggunakan Model CA-Markov.



Rajah 2. Carta alir model CA-Markov yang digunakan.

Data imej landsat

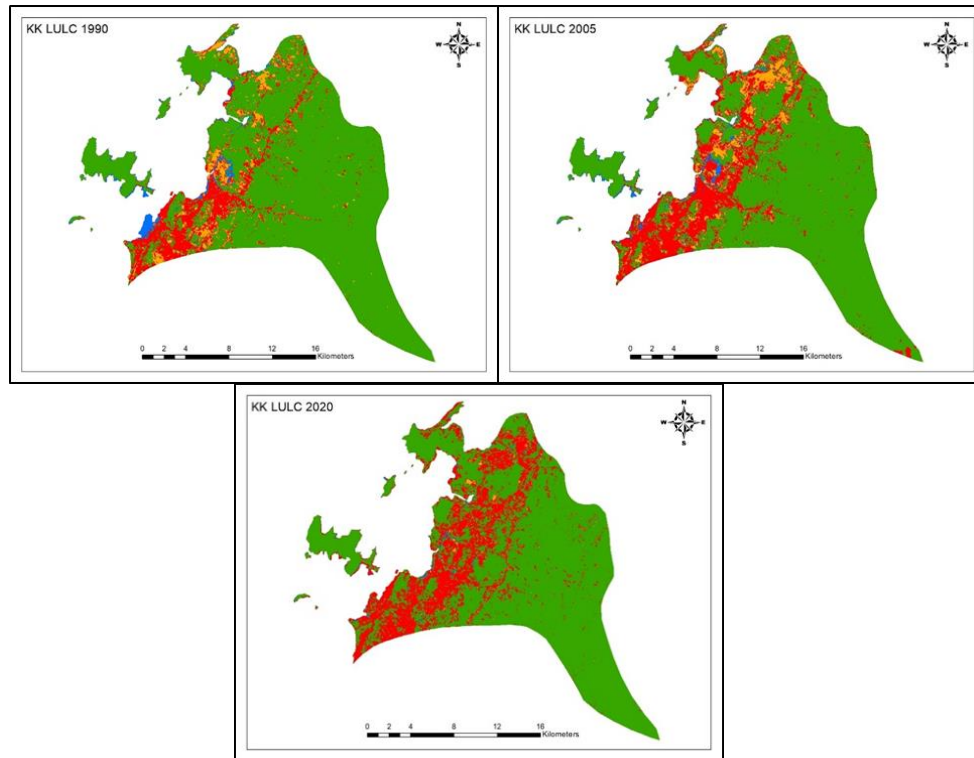
Data imej satelit daripada Landsat 5 Thematic Mapper (TM) dan Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) diperoleh daripada laman web United States Geological Survey (USGS). Imej bagi tahun 1990-2020 dipilih mengikut kesesuaian keadaan bagi mewakili LULC tahun 1990,2005 dan 2020 seperti dalam *Jadual 1*.

Jadual 1. Imej satelit yang digunakan dalam kajian.

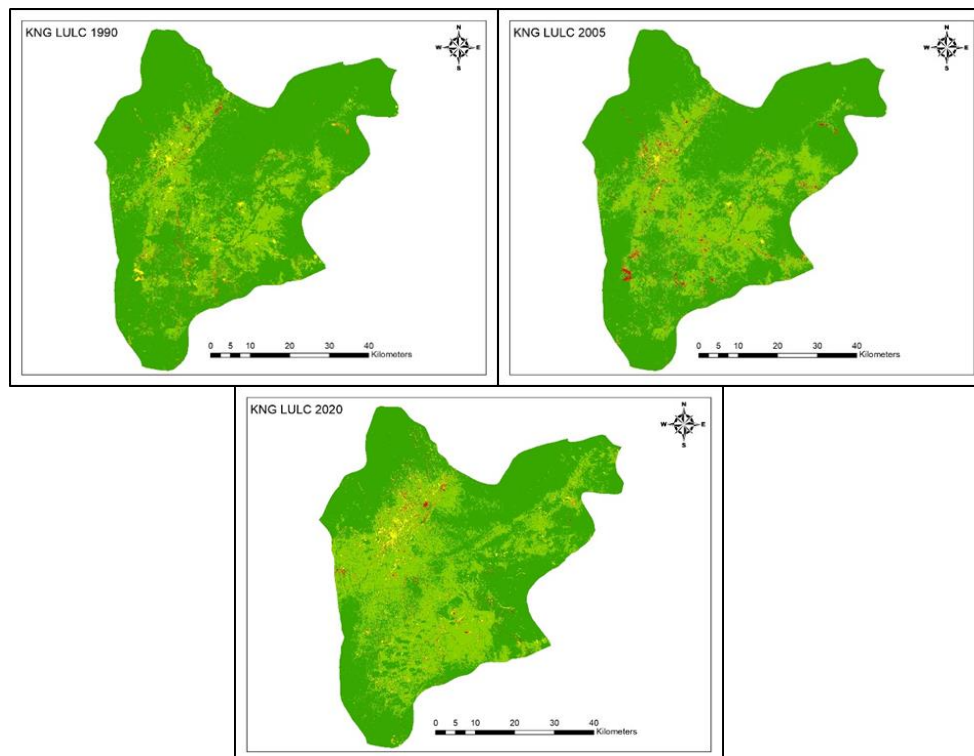
No.	Satelit	Tarikh pemerolehan	WRS Path/Row	Jenis sensor	Julat litupan awam (%)	Zon UTM	Resolusi spatial
1	Landsat 5	1991/06/14	118/056	TM	<10	50N	30X30
2	Landsat 5	2004/06/17	118/056	TM	<10	50N	30X30
3	Landsat 8	2020/04/13	118/056	OLI	<10	50N	30X30

Data kawasan Kota Kinabalu dan Keningau

Data yang digunakan melibatkan 3 imej satelit (Landsat) pada selang jarak 15 tahun dalam penganalisisan dinamik perubahan guna LULC. Imej satelit ini terdiri daripada Landsat TM (5) bagi tahun 1990 dan 2005 dan Landsat OLI (8) bagi tahun 2020 (*Rajah 3* dan *Rajah 4*). Data landsat ini diakses daripada sumber terbuka di portal Kajian Geologi Amerika Syarikat (USGS) (2023). Data yang diperoleh telah pun mempunyai geo koordinat ke zon peta Universal Transverse Mercator (UTM) 50N, dengan datum dan ellipsoid WGS84. Pelbagai operasi pra-pemrosesan telah dilakukan dengan menggunakan ArcGIS 10.8.



Rajah 3. Guna tanah dan litupan tanah Kota Kinabalu bagi tahun: (a) 1990; (b) 2005; (c) 2020.



Rajah 4. Guna tanah dan litupan tanah Keningau bagi tahun: (a) 1990; (b) 2005; (c) 2020.

Data pra-pemprosesan dan klasifikasi imej landsat

Pra-pemrosesan imej satelit adalah penting bagi bertujuan untuk mewujudkan hubungan yang lebih jelas antara data dan fenomena biofizikal yang diwakilinya (Amini Parsa et al., 2016). Proses ini dicapai dengan menggunakan perisian ArcGIS 10.8 bagi melakukan geo-reference, mozek dan clipping untuk kawasan kajian (AOI). Bagi data landsat 8 peningkatan resolusi landsat dilakukan dengan menggunakan panchromatic bands dengan menghasilkan peta beresolusi 15 meter. Bagi imej landsat 5 dan 7 hanya menggunakan resolusi 30meter. Imej yang telah dkomposit dan dipersembahkan dalam penyelidikan menggunakan warna semula jadi dengan gabungan jalur 3 2 1 bagi Landsat 5 dan 5 4 3 bagi Landsat 8. Seterusnya, klasifikasi seliaan kemungkinan maksimum telah dilakukan dengan menggunakan beberapa kawasan kajian (AOI) berdasarkan kategori kelas yang dipilih iaitu kawasan hutan, tanah pertanian, tanah lapang, pembangunan dan air (*Jadual 2*).

Jadual 2. Pengkelasan LULC berdasarkan klasifikasi terselia.

No.	Jenis guna tanah & litupan tanah	Penerangan
1	Pembangunan (Urban)	Kawasan yang merangkumi kawasan kediaman, perindustrian dan komersial, bangunan, jalan raya dan fasiliti pengangkutan lain.
2	Hutan (Forest)	Kawasan yang dipenuhi dengan kawasan hutan, semak belukar dan ladang lain dalam pelbagai jenis.
3	Tanah tandus (Barelands)	Kawasan tanah yang terdedah, tanah yang tidak mempunyai tumbuhan, dan tapak pelupusan.
4	Badan air (Water bodies)	Kawasan yang meliputi kawasan air, sungai, tasik, kolam dan kawasan takungan air yang lain.
5	Pertanian (Cropland)	Kawasan yang merangkumi kawasan tanaman yang dihasilkan oleh manusia.

Proses penilaian ketepatan

Penilaian ketepatan dilakukan bagi imej landsat 1990, 2005 dan 2020 bagi 2 kawasan iaitu Kota Kinabalu dan Keningau bagi menentukan kualiti maklumat yang terhasil daripada pemrosesan. Penilaian ketepatan untuk pengelasan adalah penting sekiranya data adalah melibatkan pengesanan perubahan. Dalam mengukur ketepatan pengelasan ujian kappa digunakan kerana ujian ini mengambil kira semua elemen dalam matriks kekeliruan (Halmy et al., 2015).

Model CA-Markov

Model CA-Markov mewakili integrasi model Markov standard dan Automata Selular (CA). menurut Menurut Amini Parsa et al. (2016) model Cellular Automata dan Markov Chain adalah bermanfaat bagi memodelkan perubahan guna tanah bagi suatu kawasan. Dalam persekitaran GIS, model data raster ruang digunakan untuk menggambarkan perubahan dalam data berterusan dari semasa ke semasa menggunakan kebrangkalian peralihan, manakala CA digunakan untuk menghasilkan dinamik spatial. Automata Selular yang ditambah ke dalam model Markov ini akan membawa kepada kemungkinan peralihan spatial yang berlaku di kawasan dan tempoh masa tertentu (Hua, 2017; Subedi et al., 2013). Setelah pemproses seliaan peta LULC dalam perisian ArcGIS dilakukan, data tersebut dieksport dalam bentuk Ascii dan dikelaskan kepada 4 kelas bagi Kota Kinabalu dan 5 kelas bagi Keningau. Kawasan peralihan dan matriks

kebarangkalian dihasilkan dengan menggunakan perisian IDRISI17 untuk menghasilkan ramalan LULC bagi tahun 2035 dan 2050.

Mengesahkan model ramalan LULC

Pengesahan (Validate) menyediakan kaedah untuk mengukur persetujuan antara imej, peta perbandingan dan rujukan. Statistic daripada pengiraan indeks ini akan menunjukkan peta perbandingan persetujuan dengan peta rujukan. Pengesahan model ini juga untuk mengelakkan kesilapan pengiraan, penyelidikan antara imej sebenar dan imej simulasi yang dihasilkan. Dengan membandingkan peta LULC yang diramal melakili 2020 dengan LULC yang sebenar (peta 2020) adalah berdasarkan pendekatan Kappa Index of Agreement yang digunakan secara meluas dalam pengesahan ramalan perubahan LULC (Subedi et al., 2013).

Dapatan dan Perbincangan Kajian

Peta LULC yang dihasilkan daripada imej satelit bagi tahun 1990, 2005 dan 2020 ditunjukkan dalam rajah 3 untuk Kota Kinabalu dan rajah 4 bagi Keningau. Ketepatan keseluruhan peta LULC yang dihasilkan bagi Kota Kinabalu tahun 1990, 2005 dan 2020 didapati masing-masing 86.67%, 90% dan 93.33% dan bagi Keningau masing-masing 73.33%, 86.67% dan 80%. Untuk peta ramalan tahun 2035 dan 2050 pula dihasilkan menggunakan model CA-Markov daripada petal lalu yang ditunjukkan pada rajah 5 dan 6. LULC bagi perbezaan masa telah dianalisis dan pengesanan perubahan telah dilakukan kemudiannya dijadualkan perubahan peratusan dalam kelas LULC. Keputusan analisis perubahan guna tanah dibentangkan dalam *Jadual 3* dan *Jadual 4*. Hasilnya menggambarkan perubahan guna tanah dan kuantiti perubahan dalam setiap kelas guna tanah tersebut. dengan menghasilkan kajian seperti ini, individu akan mengetahui rentak perubahan guna tanah, tingkah laku perubahan guna tanah dan kelajuan perubahannya. Malumat seperti ini sangat membantu bagi perancangan bandar dan membuat keputusan. Bagi kawasan Keningau dapat dilihat bahawa terdapat peningkatan sebanyak 68.58% dan 243.56% bagi kategori kawasan pertanian dan Pembangunan, manakala berlaku penurunan pada kategori tanah tandus, hutan dan air sebanyak 21.63%, 19.13% dan 66.59% antara tahun 1990 dan 2020. Bagi trend kawasan Kota Kinabalu antara tahun 1990 dan 2020 pula dapat dilihat bahawa peningkatan sebanyak 3.18% dan 11.14% bagi kategori Hutan dan Pembangunan, manakala penurunan corak bagi kawasan tanah tandus dan air masing-masing sebanyak 84.7% dan 72.56%.

Jadual 3. Perubahan LULC dari tahun 1990-2020 bagi kawasan Keningau.

Kelas	Keningau (sq km)						Perubahan (30 tahun) %
	1990	%	2005	%	2020	%	
Tanah Tandus	48.026	1.32	49.604	1.36	37.638	1.04	-21.63
Tanah Pertanian	712.834	19.62	943.901	25.97	1201.727	33.07	68.58
Hutan	2830.460	77.89	2616.147	72	2288.958	63	-19.13
Pembangunan	29.321	0.80	17.557	0.48	100.735	2.77	243.56
Badan air	13.262	0.36	6.684	0.18	4.431	0.12	-66.59
Jumlah	3633.905	100	3633.895	100	3633.490	100	-

Jadual 4. Perubahan LULC dari tahun 1990-2020 bagi kawasan Kota Kinabalu.

Kelas	Kota Kinabalu (sq km)						Perubahan (30 tahun) %
	1990	%	2005	%	2020	%	
Tanah Tandus	13.663	3.8	18.231	5.02	2.091	0.58	-84.7

Hutan	264.688	73.4	257.186	70.95	273.093	75.34	3.18
Pembangunan	76.710	21.3	79.253	21.86	85.253	23.52	11.14
Badan air	7.406	2.05	7.802	2.15	2.032	0.56	-72.56
Jumlah	362.469	100	362.473	100	362.470	100	-

Kebarangkalian perubahan matriks dan kawasan

Daripada matriks kebarangkalian peralihan dikira menggunakan analisis rantaian Markov seperti dalam *Jadual 5* dan *Jadual 6*. Matriks kebarangkalian peralihan ini memberikan keputusan kemungkinan masa hadapan perubahan guna tanah dalam tempoh 1990-2005 dan 2005-2020. Perubahan LULC diterangkan dalam jadual dibawah (*Jadual 5* dan *Jadual 6*) di mana aktiviti dan spatial di Keningau dan Kota Kinabalu yang dikategorikan kepada 5 kelas iaitu tanah tandus, tanah pertanian, hutan, Pembangunan dan kawasan air. Bagi kawasan Keningau data perubahan LULC antara tahun 1990 hingga 2005 (*Jadual 5*) menunjukkan kawasan pertanian dan kawasan tanah tandus akan mengalami perubahan menjadi kawasan hutan (dengan 13.58% dan 33.80%) dan kawasan Pembangunan (dengan 1.97% dan 3.89%). Manakala bagi kawasan badan air pula dijangkakan susut kepada 25.48% dan berubah menjadi kawasan pertanian, di mana ini berlaku akibat daripada bekalan air yang mencukupi dan tanah yang subur menyebabkan aktiviti pertanian dapat dijalankan. Sementara itu, kawasan Pembangunan dijangkakan berlaku perubahan kepada tanah tandus sebanyak 66.62%. Hanya peratusan kecil dikesan pertukaran kawasan pertanian kepada kawasan pembangunan dengan nilai 1.97% menunjukkan bahawa keningau merupakan kawasan sektor pertanian yang tinggi.

Jadual 5(a). Matriks kebarangkalian perubahan dan kawasan Keningau: 1990-2005.

LULC 1990-2005	Tanah Tandus	Tanah Pertanian	Hutan	Pembangunan	Badan air
Tanah Tandus	0.2154	0.4077	0.3380	0.0389	0.0000
Tanah Pertanian	0.0638	0.7792	0.1358	0.0197	0.0014
Hutan	0.0002	0.2303	0.7688	0.0001	0.0006
Pembangunan	0.6662	0.0216	0.0432	0.2690	0.0000
Badan air	0.2162	0.2548	0.1235	0.0154	0.3901

Jadual 5(b). Matriks kebarangkalian perubahan dan kawasan Keningau: 2005-2020.

LULC 2005-2020	Tanah Tandus	Tanah Pertanian	Hutan	Pembangunan	Badan air
Tanah Tandus	0.0373	0.4054	0.3747	0.1806	0.0019
Tanah Pertanian	0.0241	0.4635	0.4538	0.0563	0.0022
Hutan	0.0078	0.3533	0.6183	0.0202	0.0004
Pembangunan	0.0402	0.2946	0.2612	0.3973	0.0067
Badan Air	0.0659	0.3424	0.2634	0.1976	0.1308

Jadual 6(a). Matriks kebarangkalian perubahan dan kawasan Kota Kinabalu: 1990-2005.

LULC 1990-2005	Tanah Tandus	Hutan	Pembangunan	Badan Air
Tanah Tandus	0.3170	0.3981	0.2734	0.0116
Hutan	0.2808	0.4211	0.2744	0.0238
Pembangunan	0.0533	0.4219	0.5074	0.0174
Badan Air	0.0260	0.0449	0.2641	0.6650

Jadual 6(b). Matriks kebarangkalian perubahan dan kawasan Kota Kinabalu: 2005-2020.

LULC 2005-2020	Tanah Tandus	Hutan	Pembangunan	Badan Air
----------------	--------------	-------	-------------	-----------

Tanah Tandus	0.2116	0.2697	0.4923	0.0264
Hutan	0.0740	0.7531	0.1583	0.0147
Pembangunan	0.1624	0.3183	0.4998	0.0195
Badan Air	0.1504	0.2021	0.2185	0.4290

Dalam tempoh 15 tahun iaitu dari 2005-2020 (*Jadual 5*) menunjukkan kawasan pembangunan mengalami perubahan yang dijangkakan kepada kawasan pertanian dan hutan iaitu 29.46% dan 26.12%. Manakala perkembangan kawasan tandus kepada pertanian dan hutan juga tinggi iaitu masing-masing sebanyak 40.54% dan 37.47%. Jika dilihat perubahan di kawasan Keningau kepada LULC pembangunan semuanya adalah kurang kecuali LULC air iaitu sebanyak 19.76%. Sementara itu, LULC tanah tandus pula menunjukkan perubahan kepada tanah pertanian dan hutan sebanyak 40.54% dan 37.47%. Hal ini menunjukkan perubahan yang baik dengan peningkatan kawasan hijau di kawasan Keningau. Berbeza dengan pengelasan daerah Keningau, Kota Kinabalu hanya dikategorikan kepada 4 kelas iaitu tanah tandus, hutan, pembangunan dan badan air. Secara keseluruhannya, kawasan Kota Kinabalu bagi tahun 1990 hingga 2005 adalah kawasan tanah tandus, hutan dan badan air yang berubah kepada tanah pembangunan dengan masing-masing nilai 27.34%, 27.44% dan 26.41%. Manakala untuk perubahan ke tanah tandus berlaku pada nilai yang tinggi bagi kelas hutan kepada 28.08%. Seterusnya, bagi matriks kebarangkalian perubahan Kota Kinabalu tahun 2005 hingga ke 2020 (*Jadual 6*) menunjukkan kawasan tanah tandus mengalami perubahan menjadi kawasan hutan dan pembangunan dengan masing-masing dengan nilai 26.97% dan 49.23% bagi kawasan pembangunan pula dijangkakan mengalami perubahan kepada kawasan hutan iaitu sebanyak 31.83%. Sementara itu kawasan badan air berubah kepada hutan dan pembangunan masing-masing pada nilai 20.21% dan 21.85%. Secara keseluruhannya, pembangunan yang berterusan yang berlaku selama 15 tahun bermula dari tahun 2005 hingga 2020 adalah kawasan industri yang pesat dengan pembangunan yang berubah daripada tanah tandus dan badan air di Kota Kinabalu.

Model pengesahan untuk ramalan akan datang (2035 dan 2050)

Bagi mengesahkan ramalan LULC yang diberikan oleh CA-Markov, kawasan LULC disimulasikan digunakan untuk membandingkan kawasan guna tanah pada masa kini. LULC bagi tahun 2020 telah diramal untuk menghasilkan peta simulasi dan kemudiannya dibuat perbandingan dengan peta yang kini 2020. Dan hasil daripada perbandingan tersebut dapat dilihat keputusan bagi parameter Keningau dan Kota Kinabalu ditunjukkan di bawah (*Jadual 7*). Keputusan menunjukkan nilai K (K-standard=0.7290, K-no=0.7901, K-location=0.7662) bagi Keningau dan nilai K (K-standard=0.7062, K-no=0.673, K-location=0.7435) bagi Kota Kinabalu. Nilai Kappa yang melebihi 0.7 menunjukkan tahap ketepatan adalah hampir memuaskan. Menurut McHugh (2012). Oleh itu, permodelan CAMarkov sesuai untuk ramalan tepat bagi LULC di masa akan datang. Hal ini berguna dalam membuat keputusan dan perancangan pengurusan yang melibatkan dengan ruang.

Jadual 7. Pengesahan ramalan 2020.

Tahun 2020	Kappa parameter Idrisi Selva (CA-Markov)			
	K-standard	K-no	K-location	K-location tsrata
Keningau	0.7290	0.7901	0.7662	0.7662
Kota Kinabalu	0.7062	0.673	0.7435	0.7435

Ramalan LULC masa akan datang

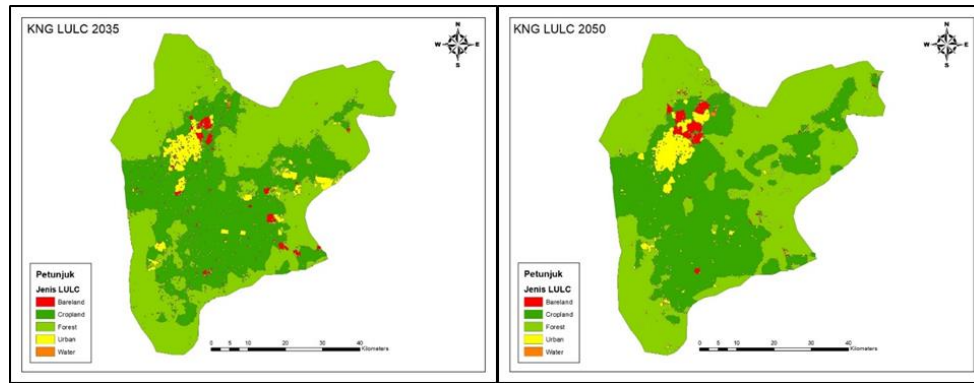
Simulasi perubahan LULC masa hadapan bagi tahun 2035 dan 2050 hasil daripada model CA-Markov telah menunjukkan trend bagi kategori tertentu seperti *Jadual 8* (*Rajah 5*). Hasil analisis statistic menunjukkan bahawa hanya satu kategori kelas LULC mengalami perubahan yang menurun iaitu kelas hutan dengan nilai 2007.82 km² bersamaan dengan 12.28% penurunan dari tahun 2020. Manakala bagi 4 kategori yang lain mengalami peningkatan kepada 47.93 km² (tanah tandus), 1418.30 (pertanian), 154.90 km² (pembangunan) dan 4.51 km² (air). Bagi tahun 2050 pula aktiviti pertanian dan tanah tandus terus menyumbang kepada peningkatan dengan keluasan masing-masing 1513.89 km² dan 34.24 km². Sementara itu, bagi kategori hutan, pembangunan dan badan air mengalami penurunan keluasan dengan keluasan masing-masing 1926.72 km², 154.31 km² dan 4.06 km². Bagi kawasan Kota Kinabalu pula terdapat beberapa perubahan corak LULC yang berlaku bagi tahun 2035 dan 2050 (*Jadual 9* dan *Rajah 6*). Bagi kategori pembangunan, tanah tandus dan badan air mengalami peningkatan dengan jumlah 87.73 km², 7.621 km² dan 3.664 km². Manakala bagi pada tahun 2035 kategori kawasan air berkurangan kepada 263.05 km². ini berbeza dengan tren perubahan LULC bagi tahun 2050 yang mana kategori kawasan pembangunan dan air tetap mengalami peningkatan sebanyak 6.1 km² bersamaan dengan 6.95% bagi kawasan pembangunan dan 3 km² bersamaan dengan 81.96% perubahan. Sebaliknya kawasan tanah tandus berkurangan kepada 3.62 bersamaan dengan 52.49%.

Jadual 8. Ramalan guna tanah dan litupan tanah bagi Keningau.

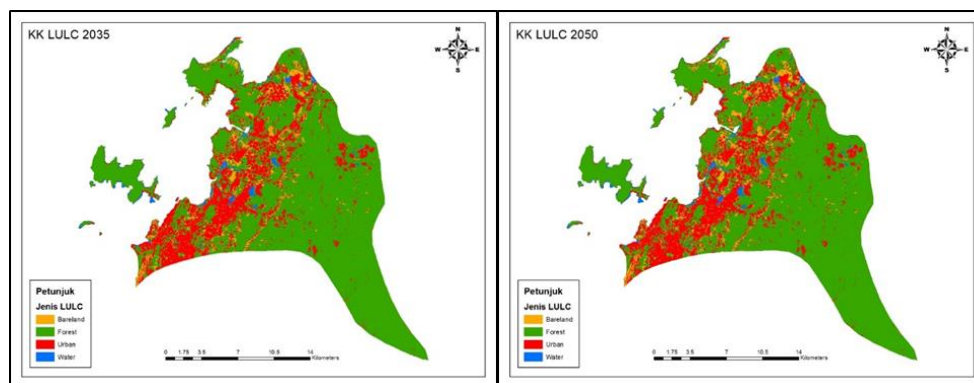
Kelas	Keningau (sq km)	
	2035	2050
Tanah Tandus	47.932687	34.235323
Tanah Pertanian	1418.299354	1513.886925
Hutan	2007.822376	1926.74248
Pembangunan	154.903649	154.306569
Badan air	4.509144	4.063702
Jumlah	3633.467	3633.235

Jadual 9. Ramalan guna tanah dan litupan tanah bagi Kota Kinabalu.

Kelas	Kota Kinabalu (sq km)	
	2035	2050
Tanah Tandus	7.621672	3.618982
Hutan	263.057244	258.310944
Pembangunan	87.737534	93.838576
Badan Air	3.664063	6.661412
Jumlah	362.0805	362.4299



Rajah 5. Guna tanah dan litupan tanah (LULC) kawasan Keningau bagi tahun 2035 dan 2050.



Rajah 6. Guna tanah dan litupan tanah (LULC) kawasan Kota Kinabalu bagi tahun 2035 dan 2050.

Salah satu matlamat utama penyelidikan ini adalah untuk menyiasat ciri spatiotemporal perkembangan yang berlaku bagi dua kawasan iaitu Kota Kinabalu dan Keningau. Imej landsat tahun 1990, 2005 dan 2020 telah digunakan dalam pengklasifikasian LULC dan membuat ramalan tahun 2035 dan 2050 untuk melihat dinamik LULC di masa 15 dan 30 tahun akan datang dari tahun 2020. Model rantaian Markov menjadi model yang penting dalam melakukan penjelasan perubahan dan perkembangan LULC di suatu kawasan. Rantaian Markov ini sering digunakan untuk menentukan kedua-dua masa dan set keadaan imej landsat yang telah diklasifikasikan (Hua, 2017). Metod ini juga digunakan pada tanah bandar dan luar bandar bermula tahun 70an sebagai alternatif sebagai simulasi kepada peramalan guna tanah (Arsanjani et al., 2013).

Berbantuan dengan pengesahan LULC melalui Kappa statistik dengan nilai K (K-standard=0.7290, K-no=0.7901, K-location=0.7662) bagi Keningau dan nilai K (K-standard=0.7062, K-no=0.673, K-location=0.7435) bagi Kota Kinabalu menunjukkan persetujuan hampir memuaskan telah analisis. Dengan kebolehpercayaan ini corak spatial pertumbuhan bandar dan luar bandar di masa hadapan Berjaya dihasilkan dan diramal arah perkembangannya. Dengan menganalisis corak LULC dan memodelkan pertumbuhan LULC pada dua kawasan (Kota Kinabalu dan Keningau) dapat membantu menghasilkan data yang bermanfaat. Yang pertama kajian ini dapat melihat dan menentukan corak perubahan spatiotemporal dan pertumbuhan kategori LULC terpilih. Seterusnya kajian ini dapat memvisualisasikan antara interaksi antara corak pembangunan dengan persekitaran, serta dapat melihat kesan-kesan yang bakal berlaku

pada suatu kawasan. Terakhir adalah dengan hasil analisis ramalan CA-Markov membolehkan pihak seperti perancang bandar untuk menjadikan data tersebut sebagai garis panduan. Ini akan memberi kelebihan dalam menentukan arah aliran pembangunan dan faedah dalam meramal keadaan masa depan seterusnya dapat menentukan tindakan dan usaha pembangunan yang lebih mapan di masa akan datang tanpa menjejaskan ekosistem ruang bumi. Seperti yang dibuktikan, kebolegunaan dan kebolehlaksanaan model ini telah disaksikan dalam banyak penyelidikan dan keputusannya menepati (Khawaldah et al., 2020; Mansour et al., 2020; Al-sharif dan Pradhan, 2014). Keputusan daripada model Markov ini juga merupakan matriks peralihan yang menunjukkan kebarangkalian perubahan yang berlaku di setiap LULC pada masa hadapan yang dapat dilihat di *Jadual 5* dan *Jadual 7*.

Dinamik LULC sering dikaitkan dengan pertumbuhan populasi penduduk (Singh et al., 2022; Hamad et al., 2018; Lambin dan Meyfroidt, 2011). Perubahan guna tanah juga menerangkan pengaruh manusia manusia terhadap struktur persekitaran seperti hidorlogi dan ekologi, yang mana semakin tinggi perubahan yang berlaku tanpa kawalan yang baik maka semakin tinggi kesan yang dialami keseimbangan alam sekitar (Lawson et al., 2015). Secara keseluruhannya, kajian ini memberi pendedahan dan pandangan yang lebih jelas dan baru dengan mensimulasikan keadaan dinamik LULC bagi dua kawasan. Seterusnya memberi gambaran ramalan perubahan yang dialami terhadap LULC di masa akan datang dengan menggunakan perisian Idrisi Selva. Di samping itu, data akhir simulasi dalam kajian ini memberi manfaat tidak hanya sebagai panduan data spatial berkaitan dengan LULC malah juga dapat merencanakan dan menangani masalah yang berlaku di masa akan datang. Walaupun penyelidikan ini dapat menghasilkan ramalan dan hasil analisis yang baik namun imej landsat dengan resolusi yang tinggi amatlah diperlukan agar analisis lebih tepat dapat dilakukan. Oleh itu antara cadangan kajian lanjut yang boleh dilakukan adalah penggunaan imej landsat yang mempunyai resolusi yang lebih tinggi dan menambah pemboleh ubah yang lain dalam meningkatkan lagi pemahaman berkaitan dengan dinamik LULC suatu kawasan.

Kesimpulan

Dengan menggunakan imej landasat untuk tahun 1990, 2005, dan 2020 serta penggunaan model CA-Markov bersepadu dalam kajian ini Berjaya dimodelkan dan disimulasikan untuk tahun 2035 dan 2050. Kejayaan pemodelan keseluruhan LULC Keningau dan Kota Kinabalu dengan masing-masing nilai Kappa 72.9% dan 70.62% untuk ramalan 2020 dan peta yang sebenar pada tahun 2020. Selain daripada itu, model CA-Markov juga dapat mensimulasikan secara peta ramalan di masa hadapan (LULC tahun 2035 dan 2050). Analisis perubahan LULC bagi tempoh masa 1990-2020 bagi Keningau menunjukkan peningkatan bagi kategori tanah pertanian dan pembangunan dan penurunan kategori tanah tandus, hutan dan badan air. Manakala bagi Kota Kinabalu pula peningkatan berlaku pada kelas pembangunan dan hutan, serta penurunan pada kelas kategori tanah tandus dan badan air. Situasi penggunaan tanah yang diramal pada tahun 2035 dan 2050 bagi keningau menunjukkan peningkatan pada kelas tanah pertanian. Walaupun kawasan hijau dapat dikekalkan namun pencemaran daripada aktiviti pertanian tidak dapat dinafikan seperti pencemaran udara, air dan tanah itu sendiri. Oleh itu kawalan dan pemantauan daripada pihak atasan perlu dilakukan agar kesan negatif dapat dikawal dengan baik. Begitu juga dengan kawasan Kota Kinabalu yang mana simulasi tahun 2035 dan 2050 menunjukkan peningkatan. Walaupun

perkembangan ini memberi manfaat kepada ekonomi negara namun kesan negatif perlu ditangani dengan lebih awal agar kos rawatan kesan pencemaran dapat diminimumkan dan pembangunan mampan dapat dihasilkan. Akhir sekali, penyelidikan ini dapat memberi manfaat dan penting dalam permodelan perubahan guna tanah melalui model rantaian CA-Markov untuk mensimulasikan imej akan datang untuk dijadikan sebagai garis panduan di masa akan datang.

Penghargaan

Penulis mengucapkan ribuan terima kasih kepada Dr. Ang Kean Hua, pensyarah Geografi, Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan Universiti Malaysia Sabah kerana memberi dorongan dan tunjuk ajar kepada saya dalam menghabiskan penulisan ini. Selain itu, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Pusat Pengurusan Penyelidikan (PPP), Universiti Malaysia Sabah (UMS) atas sokongan kewangan dan dibiayai sepenuhnya untuk membuat penerbitan jurnal artikel ini. Kertas kerja ini adalah di bawah pemberian dana dalaman dengan nombor rujukan: SLB2267 daripada UMS.

Konflik Kepentingan

Tiada konflik kepentingan melibatkan mana-mana pihak dalam penyelidikan ini.

RUJUKAN

- [1] Al-sharif, A.A., Pradhan, B. (2014): Monitoring and predicting land use change in Tripoli Metropolitan City using an integrated Markov chain and cellular automata models in GIS. – *Arabian Journal of Geosciences* 7: 4291-4301.
- [2] Amini Parsa, V., Yavari, A., Nejadi, A. (2016): Spatio-temporal analysis of land use/land cover pattern changes in Arasbaran Biosphere Reserve: Iran. – *Modeling Earth Systems and Environment* 2: 1-13.
- [3] Arsanjani, J.J., Helbich, M., Kainz, W., Boloorani, A.D. (2013): Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21: 265-275.
- [4] Fu, Q., Li, B., Hou, Y., Bi, X., Zhang, X. (2017): Effects of land use and climate change on ecosystem services in Central Asia's arid regions: a case study in Altay Prefecture, China. – *Science of the Total Environment* 607: 633-646.
- [5] Halmy, M.W.A., Gessler, P.E., Hicke, J.A., Salem, B.B. (2015): Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. – *Applied Geography* 63: 101-112.
- [6] Hamad, R., Balzter, H., Kolo, K. (2018): Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. – *Sustainability* 10(10): 23p.
- [7] Hua, A.K. (2017): Application of CA-Markov model and land use/land cover changes in Malacca River watershed, Malaysia. – *Applied Ecology & Environmental Research* 15(4): 605-622.
- [8] Kajian Geologi Amerika Syarikat (USGS) (2023): Sumber Terbuka. – Web Portal USGS. Diperoleh daripada: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- [9] Khawaldah, H.A., Farhan, I., Alzboun, N.M. (2020): Simulation and prediction of land use and land cover change using GIS, remote sensing and CA-Markov model. – *Global Journal of Environmental Science and Management* 6(2): 215-232.

- [10] Lambin, E.F., Meyfroidt, P. (2011): Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. – *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(9): 3465-3472.
- [11] Lawson, C.R., Vindenes, Y., Bailey, L., van de Pol, M. (2015): Environmental variation and population responses to global change. – *Ecology Letters* 18(7): 724-736.
- [12] Mansour, S., Al-Belushi, M., Al-Awadhi, T. (2020): Monitoring land use and land cover changes in the mountainous cities of Oman using GIS and CA-Markov modelling techniques. – *Land Use Policy* 91: 15p.
- [13] McHugh, M.L. (2012): Interrater reliability: the kappa statistic. – *Biochemica Medica* 22 (3): 276-282.
- [14] Meyer, W.B., Turner, B.L. (Eds.). (1994): *Changes in land use and land cover: a global perspective*. – Cambridge University Press 20p.
- [15] Reis, S. (2008): Analyzing land use/land cover changes using remote sensing and GIS in Rize, North-East Turkey. – *Sensors* 8(10): 6188-6202.
- [16] Singh, P., Sarkar Chaudhuri, A., Verma, P., Singh, V.K., Meena, S.R. (2022): Earth observation data sets in monitoring of urbanization and urban heat island of Delhi, India. – *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 13(1): 1762-1779.
- [17] Subedi, P., Subedi, K., Thapa, B. (2013): Application of a hybrid cellular automaton–Markov (CA-Markov) model in land-use change prediction: a case study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. – *Applied Ecology and Environmental Sciences* 1(6): 126-132.
- [18] Townshend, J., Justice, C., Li, W., Gurney, C., McManus, J. (1991): Global land cover classification by remote sensing: present capabilities and future possibilities. – *Remote Sensing of Environment* 35(2-3): 243-255.