

Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Berbasis Cellular Automata Di Kota Batam Tahun 2041

(Prediction Of Landuse Change Based On Cellular Automata In Batam City On 2041)

Yohanes Paulus Goo Ado*, Rieneke L Sela, Fela Warouw

Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Jurusan Arsitektur, FATEK UNSRAT Manado

*Email korespondensi: yohanespaulus27@gmail.com

(Article History: Received July 18, 2022; Revised March 17, 2023; Accepted July 20, 2023)

ABSTRAK

Kota Batam merupakan salah satu kota industri yang cukup diminati oleh para investor. Publikasi Badan Pengusahaan Kota Batam menunjukkan terdapat 1.309 industri unggul dengan jumlah pekerja mencapai 169.000. Hal ini berpengaruh pada peningkatan jumlah penduduk dan perubahan penggunaan lahan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor pendorong serta penghambat perubahan penggunaan lahan dan memprediksi penggunaan lahan khususnya permukiman di Kota Batam Tahun 2041 dengan menggunakan metode cellular automata. Faktor pendorong perubahan penggunaan lahan yaitu kedekatan terhadap kawasan industri, permukiman eksisting, kawasan perdagangan dan jasa, kawasan perkantoran, sarana transportasi, sarana kesehatan, dan jalan arteri. Pembobotan menggunakan AHP menunjukkan bobot terbesar pada faktor permukiman eksisting. Faktor penghambat perubahan penggunaan lahan terdiri atas hutan lindung hutan mangrove, serta kawasan yang keberadaannya perlu dipertahankan seperti kawasan bandara/pelabuhan, kawasan industri, perdagangan dan jasa, serta perkantoran. Prediksi menunjukkan lahan permukiman bertumbuh menjadi 15.872 Ha, tanah terbuka berkurang 1.366 Ha, pertanian berkurang 1.195 Ha, hutan berkurang 656 Ha.

Kata kunci: Cellular Automata; Prediksi Penggunaan lahan; permukiman

ABSTRACT

Batam City is one of the industrial cities that is quite attractive to investors. The publication of the Batam City Concession Agency shows that there are 1,309 leading industries with a total of 169,000 workers. This affects the increase in population and changes in land use. This study aims to analyze the driving and inhibiting factors of land use change and predict land use, especially settlements in Batam City in 2041 using the cellular automata method. Factors driving land use change are proximity to industrial areas, existing settlements, trade and service areas, office areas, transportation facilities, health facilities, and arterial roads. Weighting using AHP shows the biggest weight on the existing settlement factor. Factors inhibiting changes in land use consist of protected mangrove forests, as well as areas whose existence needs to be maintained such as airport/port areas, industrial areas, trade and services, and offices. Predictions show that settlement land has grown to 15,872 hectares, open land has decreased by 1,366 hectares, agriculture has decreased by 1,195 hectares, forests have decreased by 656 hectares.

Keywords: Cellular Automata; Landuse Prediction; settlement

PENDAHULUAN

Penggunaan lahan merupakan segala aktivitas di atas lahan guna memenuhi kebutuhan dan kelanjutan hidup manusia. Segala perkembangan yang terjadi di permukaan bumi mempengaruhi penggunaan lahan. Faktor yang paling umum berpengaruh terhadap perubahan penggunaan lahan yaitu penambahan penduduk

(Christian *et al.*, 2021). Peningkatan jumlah penduduk berkorelasi positif dengan peningkatan kebutuhan akan lahan untuk fungsi-fungsi tertentu yang menunjang kehidupan manusia (Adhiatma *et al.*, 2020). Kebutuhan akan hiburan, kesehatan, perkantoran, perdagangan dan jasa, permukiman akan mendukung terjadinya alihfungsi pada penggunaan lahan yang saat ini telah ada.

Faktor lokasi juga berpengaruh terhadap cepat atau lambatnya perubahan penggunaan lahan (Mulya & Aliyah, 2022). Lahan yang berada dekat dengan kawasan industry, akses transportasi, perkantoran, pusat perbelanjaan, dan pusat perkembangan wilayah menjadikan lahan tersebut strategis sehingga semakin berpotensi untuk mengalami perubahan penggunaan lahan. Kota Batam merupakan salah satu kota industri yang cukup besar di Indonesia. Letak geografisnya yang berada pada jalur pelayaran internasional dan berdekatan dengan negara Singapura dan Malaysia menjadikannya kota yang menarik untuk investasi atau berusaha. Hal ini terbukti dengan terdapatnya 26 kawasan industri dengan sekurang-kurangnya 1306 perusahaan yang tersebar di seluruh Kota Batam. Kehadiran industry yang menyerap sekitar 169.000 pekerja menjadikan pertumbuhan penduduk di Kota Batam selalu meningkat.

Publikasi BPS Kota Batam tahun 2022 menunjukkan jumlah penduduk Kota Batam tahun 2021 sebanyak 1.230.097 jiwa. Jumlah ini bertambah dari jumlah penduduk pada tahun 2015. Peningkatan jumlah penduduk mendorong peningkatan kebutuhan akan lahan permukiman. Pengeadaan lahan untuk permukiman akan menyebabkan terjadinya alihfungsi lahan yang umumnya terjadi pada lahan tidak terbangun seperti hutan, lahan pertanian, dan lahan tidak terbangun lainnya (Yushardi *et al.*, 2022). Hal ini dapat menimbulkan terjadinya penurunan terhadap keseimbangan dan kualitas lingkungan di Kota Batam. Oleh karena itu, penelitian terkait prediksi penggunaan lahan di Kota Batam pada tahun-tahun ke depan perlu untuk dilakukan. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mendapatkan gambaran spasial perkembangan penggunaan lahan khususnya permukiman selama dua puluh (20) tahun ke depan sehingga dampak-dampak negatif perubahan yang terjadi dapat diantisipasi lebih awal.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Kota Batam pada bulan April hingga Agustus 2021. Identifikasi faktor pendorong dan penghambat perubahan penggunaan lahan di Kota Batam didapat dari hasil kajian literatur terhadap jurnal maupun penelitian yang telah dilakukan. Sedangkan prediksi penggunaan lahan dilakukan dengan metode analisis spasial berbasis cellular automata dengan menggunakan data citra satelit beresolusi tinggi yang bersumber dari Google Earth tahun 2021.

Adapun penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang terdiri atas,

a) Persiapan dan Pengumpulan Data

Tahap ini terdiri atas identifikasi kebutuhan data dan sumber-sumber data. Data primer yang dibutuhkan berupa pendapat para ahli terkait faktor pendorong perubahan penggunaan lahan. Data ini didapatkan dengan wawancara dan kuisioner. Data sekunder berkaitan dengan data statistik dasar berupa kependudukan, kondisi ekonomi, kebijakan wilayah, citra satelit, data *shapefile* faktor pendorong dan penghambat perubahan lahan. Data ini didapat melalui survey instansional, aplikasi, maupun website. Data *shapefile* kemudian diubah kedalam bentuk raster jarak untuk faktor

pendorong (*Euclidean distance*), raster penggunaan lahan, dan penghambat perubahan lahan.

b) Pembuatan Peta Transisi Potensi Perubahan Lahan

Peta transisi potensi perubahan lahan menunjukkan potensi arah perkembangan penggunaan lahan yang akan disimulasikan. (Pratomoatmojo, 2018). Peta transisi didapat dengan menggunakan teknik *Multi Criteria Evaluation (MCE)* yang mana memperhitungkan faktor pendorong perubahan lahan. Adapun penggunaan lahan yang diestimasikan akan tumbuh yaitu lahan permukiman. Faktor pendorong pertumbuhan lahan permukiman yang digunakan yaitu jarak terhadap kawasan industry, jarak terhadap kawasan perdagangan dan jasa, jarak terhadap kawasan perkantoran, jarak terhadap sarana kesehatan, jarak terhadap sarana transportasi, jarak terhadap permukiman eksisting, dan jarak terhadap jaringan jalan arteri. Penentuan faktor pendorong ini dapat menggunakan kajian literatur, analisis delphi, maupun regresi logistic. (Septawicaksono, 2019)

Masing-masing peta faktor pendorong perubahan lahan dilakukan standarisasi dengan menggunakan fuzzy set pada landuseSim. Standarisasi yang dimaksud bertujuan untuk mendapatkan nilai riil (0 – 1) dari masing-masing faktor pendorong. Terdapat dua jenis fuzzy set yaitu *monotonically increasing* dan *monotonically decreasing*. *Monotonically increasing* menghasilkan potensi perkembangan lahan yang semakin besar jika jaraknya semakin jauh dari faktor pendorong. Sedangkan *monotonically decreasing* menghasilkan potensi perkembangan lahan yang semakin besar jika berada semakin dekat dari faktor pendorong. Penelitian ini menggunakan jenis fuzzy set *monotonically decreasing*. Berikut persamaan yang digunakan dalam fuzzy set pada landuseSim (Septawicaksono, 2019).

$$S_{std_{x,y}} = -\left(\frac{S_{i_{x,y}}}{\max S_i} - 1\right)$$

Keterangan :

$S_{std_{x,y}}$ = Nilai yang sudah distandardisasi pada sel tertentu (x,y)

$S_{i_{x,y}}$ = Angka kesesuaian/nilai jarak pada sel tertentu (x,y)

Max S_i = Nilai maksimum dari angka kesesuaian/nilai jarak

Selanjutnya peta faktor pendorong yang telah di fuzzy set diberikan bobot dengan menggunakan tool weighted raster pada landusesim. Pemberian bobot dari masing-masing faktor pendorong didapat dari pendapat para ahli (*expert opinion*) dengan menggunakan *Analysis Hierarchy Process (AHP)*. Peta transisi perubahan penggunaan lahan pada landusesim didapatkan dengan persamaan berikut. (Septawicaksono, 2019)

$$TP_{i_{x,y}} = \sum_{z=0}^n (N_{i(z-n)_{x,y}} \cdot ITP_{i(z-n)_{x,y}})$$

Keterangan :

$TP_{i_{x,y}}$ = Nilai potensi transisi dari penggunaan lahan I pada sel tertentu (x,y)

$Ni_{(z-n)x,y}$ = Proses ketetangaan dan akumulasinya dalam merubah nilai sel (x,y), sedangkan n adalah total tetangga yang diproses dalam mekanisme filtering

$ITPi_{(z-n)x,y}$ = Peta potensi awal (*initial transition potential map*) untuk penggunaan lahan i. Selain itu dapat juga dijelaskan sebagai peta kesesuaian suatu penggunaan lahan.

c) Penentuan *Neighborhood Filter*

Neighborhood filter menentukan tingkat interaksi antara penggunaan lahan dan dinamika yang ditentukan dalam pemodelan. Penelitian ini menggunakan ukuran *neighborhood filter* 3x3 dengan bobot pada setiap sell 1 dengan mekanisme SUM. Proses cellular automata dengan filter 3x3 menghasilkan pemodelan yang lebih kompak (Rahmawati, 2019) daripada filter lainnya seperti 5x5 atau 7x7 .

d) Penentuan *Zoning Constraint Map*

Tahap ini berupa penentuan lahan yang tidak dapat mengalami pertumbuhan. Lahan yang dimaksud berupa kawasan lindung, terdiri atas hutan lindung, kawasan mangrove, dan lahan yang diarahkan untuk tidak mengalami perubahan. Lahan ini diberi nilai 0 sedangkan lahan yang dapat dikembangkan atau mengalami perubahan diberi nilai 1. Tahap ini akan mengubah peta transisi potensi perubahan lahan.

e) Simulasi Perubahan Lahan Menggunakan Cellular Automata LanduseSim

Simulasi perubahan penggunaan lahan menunjukkan perkembangan lahan yang disimulasikan. Simulasi dilakukan mulai dari tahun 2021 hingga 2041 atau 20 tahun dari tahun awal. Iterasi dilakukan sebanyak empat (4) kali yang mana akan menghasilkan peta prediksi perkembangan lahan dengan rentang waktu 5 tahun. Peta yang dihasilkan berupa peta prediksi tahun 2026, 2031, 2036, dan 2041. Persamaan yang digunakan pada proses simulasi ini yaitu,

$$LU_{x,y}^{t+1} = f(LU_{x,y}^t, TPi_{x,y}, Gi_{x,y}, Ci_{x,y}, Ei_{x,y}, Zi_{x,y}, TS)$$

Keterangan:

$LU_{x,y}^{t+1}$ = Pertumbuhan baru dari penggunaan lahan pada waktu t+1 pada sel tertentu (x,y)

$LU_{x,y}^t$ = Keadaan kelas penggunaan lahan sebelum simulasi pada sel tertentu (x,y)

$TPi_{x,y}$ = Peta potensi transisi dari penggunaan lahan I pada sel tertentu (x,y)

$Gi_{x,y}$ = Jumlah pertumbuhan sel yang diharapkan dari penggunaan lahan i pada waktu t+1.

$Ci_{x,y}$ = Konstrains pertumbuhan lahan yang dapat diwakili dari penggunaan lahan tertentu yang tak bisa dikonversikan oleh penggunaan lahan i atau zona yang dibutuhkan untuk dilindungi atau dikonservasi. Area konstrain biasanya digunakan untuk mewakili penggunaan lahan tertentu yang tidak memungkinkan untuk dikonversi oleh lahan i.

$Ei_{x,y}$ = *Elasticity of change* untuk penggunaan lahan tertentu untuk dikonversikan menjadi penggunaan lahan (i)

$Zi_{x,y}$ = sistem zonasi seperti rencana penggunaan lahan, area bencana, zona pertumbuhan yang dipromosikan

TS = *Time-step* dari iterasi cellular automata

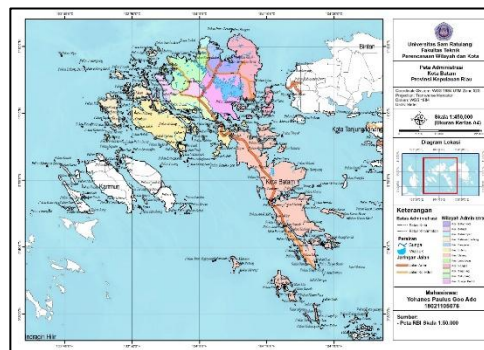
f) Validasi model

Proses validasi model bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dari model prediksi penggunaan lahan yang telah dibuat. Proses validasi yang dilakukan dapat menggunakan teknik *overall accuracy*. Berdasarkan modul pelatihan URGEOS tahun 2022, proses validasi untuk pemodelan yang berbasis perencanaan umumnya tidak dapat dilakukan sebagai mana dalam penelitian ini. Oleh karena itu, proses validasi tahap ini menggunakan kajian akurasi prediksi yang telah dilakukan dalam penelitian sebelumnya dengan metode yang sama. Adapun hasil validasi yang telah dilakukan menunjukkan tingkat akurasi model landusesim sebesar 87-89% (Pratomoatmojo,2018).

HASIL DAN PEMBAHASAN

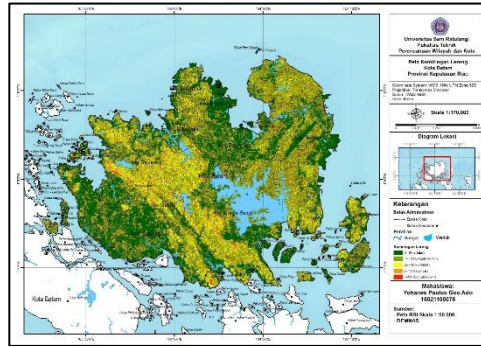
Gambaran Umum

Kota Batam secara geografis berada pada lokasi yang sangat strategis yaitu berada pada jalur pelayaran internasional. Berdasarkan RTRW Kota Batam Tahun 2021-2041, wilayah administrasi Kota Batam terletak pada koordinat 0⁰25'29" sampai dengan 1⁰15'00" Lintang Utara dan 103⁰34'35" sampai 104⁰26'04" Bujur Timur dengan luas daratan administrasi kurang lebih 103.374 Ha (**Gambar 1**).



Gambar 1. Peta Administrasi Kota Batam

Wilayah administrasi Kota Batam (BPS, 2022) sebagaimana terdapat pada gambar 1 diatas, terbagi atas 12 kecamatan yaitu Kecamatan Batu Ampar (39,99 Km²), Kecamatan Bengkong(19,27 Km²), Kecamatan Nongsa (290,36 Km²), Kecamatan Batam Kota(46,81 Km²), Kecamatan Sungai Beduk(120,67 Km²), Kecamatan Sagulung(63,86 Km²), Kecamatan Sekupang(106,78 Km²), Kecamatan Batu Aji(61,94 Km²), Kecamatan Belakang Padang(601,54 Km²), Kecamatan Galang(2018,49 Km²), Kecamatan Lubuk Baja(36,12 Km²), dan Kecamatan Bulang(463,14 Km²). Luas terbesar yaitu pada Kecamatan Galang. Ketinggian wilayah di Kota Batam berada pada kategori 0 – 50 m seluas 409,28 Km². Topografi Kota Batam umumnya termasuk dalam kategori datar(0 – 8%) seluas 186,65 Km² sebagaimana ditampilkan pada gambar 2 di bawah. Delineasi penelitian berfokus pada kecamatan yang terdapat pada Pulau Batam.



Gambar 2 Peta Kemiringan Lereng Pulau Batam

Faktor perkembangan kota yang terpusat pada Pulau Batam menjadi alasan pemilihan deliniasi wilayah penelitian. Penelitian dilakukan terhadap satu Pulau Batam dengan sampel pada tiga kecamatan yaitu Kecamatan Nongsa, Sagulung, dan Sungai Beduk. Ketiga kecamatan ini dipilih karena kondisinya yang belum banyak dilakukan pengembangan.

Faktor Pendorong Perubahan Penggunaan Lahan

Penelitian ini mengestimasi penggunaan lahan yang akan tumbuh yaitu lahan permukiman. Berdasarkan hasil kajian literatur, faktor pendorong perkembangan lahan permukiman (Pratomoatmojo, 2018) terdiri atas kawasan industri, kawasan permukiman eksisting, kawasan perdagangan dan jasa, kawasan perkantoran, sarana transportasi, sarana kesehatan (Rahmawati, 2019), jaringan jalan arteri. Pembobotan masing-masing faktor dilakukan berdasarkan pendapat ahli (*expert choice*) dengan menggunakan *analysis Hierarchy Process* (AHP) (Lestari, 2019). Berikut tabel 1 bobot dari masing-masing faktor.

Tabel 1 Bobot Faktor Pendorong Perubahan Lahan Permukiman

No	Faktor	Bobot
1.	Jalan Arteri	0.1605
2.	Kawasan Industri	0.2131
3.	Kawasan Perdagangan dan Jasa	0.1847
4.	Sarana Transportasi	0.0455
5.	Sarana Kesehatan	0.0810
6.	Kawasan Perkantoran	0.0952
7.	Permukiman Eksisting	0.2202

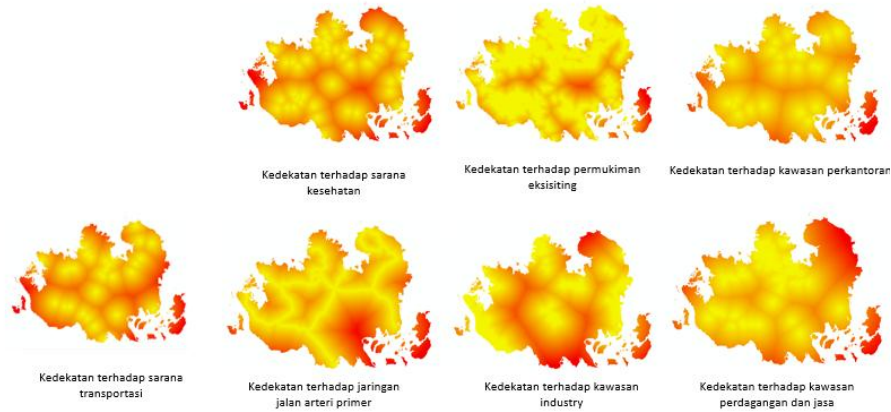
Bobot terbesar pada faktor permukiman eksisting (0,22) dan bobot terendah pada sarana transportasi (0,04). Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan lahan permukiman sangat potensial terjadi pada lahan yang berdekatan dengan permukiman eksisting.

Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan

a) Persiapan

Data pendorong perubahan penggunaan lahan diubah kedalam format raster berupa raster jarak faktor pendorong dengan ukuran sel tertentu (Septawicaksono, 2019). Penelitian ini menggunakan ukuran sel 50x50 m. Peta tersebut akan menunjukkan informasi jarak antar faktor pendorong. Peta

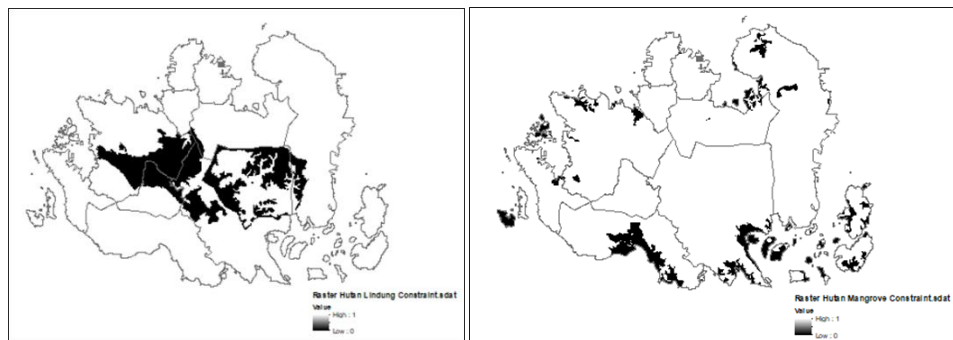
pada **Gambar 3** di bawah ini menunjukkan bahwa semakin gelap warnanya maka semakin jauh wilayah tersebut dari faktor pendorong.



Gambar 3 Peta Jarak (Euclidian Distance) Faktor Pendorong

Pembuatan Raster Constraint Zone

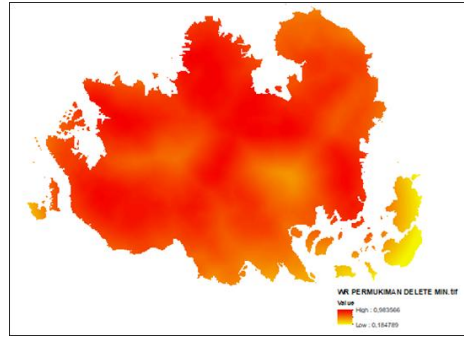
Faktor penghambat (*constraint*) yang terdiri atas kawasan lindung (hutan lindung dan kawasan mangrove) dan Kawasan yang diarahkan untuk tidak terkonversi (Susetyo, 2019) diubah ke dalam raster dengan atribut 0 (hitam) untuk lahan faktor penghambat dan 1 (putih) untuk lahan yang dapat dikembangkan. Berikut peta faktor penghambat (*constraint*) pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Peta *Constraint*

b) Peta Transisi Potensi Perubahan Lahan

Variabel-variabel pendorong hasil *fuzzy set* tadi kemudian di-overlay dan diberikan bobot masing-masing faktor dengan menggunakan *tool weighted raster* pada LanduseSim (Rahmawati, 2019). Proses *weighted raster* ini akan menghasilkan peta transisi (*transition map*). Berikut peta transisi hasil *weighted raster* dengan nilai terendah yaitu 0,184 dan nilai tertinggi yaitu 0,983, semakin gelap warna peta pada gambar 5 maka semakin tinggi nilai atau potensi perubahan penggunaan lahan pada wilayah tersebut.



Gambar 5 Peta Transisi (*Transition Map*)

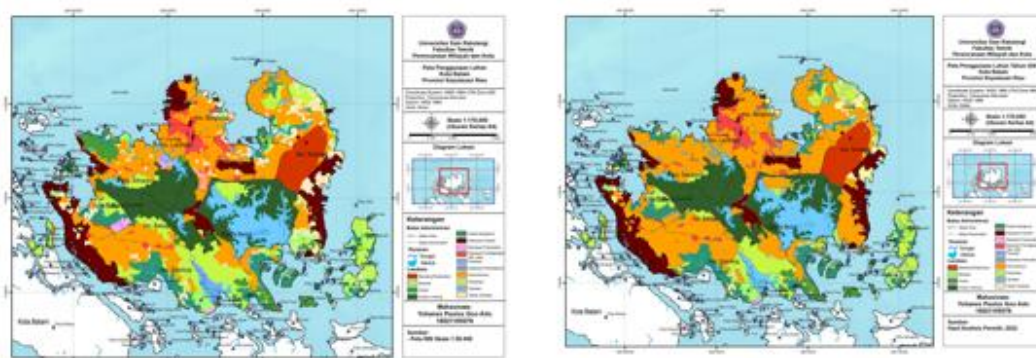
c) Simulasi Perubahan Lahan Permukiman Tahun 2041

Proses simulasi dilakukan setelah diketahui potensi transisi, zona pembatas (*constraint*), dan pengaturan transisi perubahan lahan (*transition rules*). Hasilnya, pada tahun 2041, penggunaan lahan permukiman mengalami pertumbuhan sebesar 3.993 Ha diiringi alihfungsi lahan yang cukup besar pada tanah terbuka, pertanian, dan hutan. Berikut merupakan tabel 2 hasil prediksi penggunaan lahan tahun 2021-2041. Kolom perubahan lahan menunjukkan status penggunaan lahan jika negative berarti penggunaan lahan tersebut mengalami penurunan luas, sebaliknya jika positif berarti penggunaan lahan tersebut mengalami kenaikan.

Tabel 2 Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan

Landuse	Luas Ha					Perubahan Lahan
	2021	2026	2031	2036	2041	
Bandara / Pelabuhan	1856	1856	1856	1856	1856	0
Belukar	1999	1899	1822	1745	1589	-410
Hutan	1429	1183	969	839	776	-653
Hutan Lindung	6561	6561	6561	6562	6562	1
Hutan Mangrove	3744	3744	3744	3744	3744	0
Kawasan Industri	4727	4726	4726	4726	4726	-1
Kawasan Pariwisata	452	343	278	155	110	-342
Kawasan Perdagangan dan Jasa	1289	1288	1288	1288	1288	-1
Perairan	3311	3311	3311	3311	3312	1
Perkantoran	77	77	77	77	77	0
Permukiman	11904	12898	13888	14880	15872	3968
Pertanian	4850	4755	4499	4145	3653	-1197
Tambak	55	55	51	51	51	-4
Tanah Terbuka	2926	2483	2110	1799	1564	-1362
Total	45329,84	45180,1	45180,71	45179,63	45179,76	

Terdapat cukup banyak penggunaan lahan yang mengalami alihfungsi akibat pertumbuhan permukiman yaitu lahan belukar, hutan, kawasan pariwisata, kawasan perdagangan dan jasa, pertanian, dan tanah terbuka. Luas alihfungsi terbesar yaitu pada lahan tanah terbuka dan selanjutnya lahan pertanian dengan luas 1.362 dan 1.197 Ha. Berikut peta perbandingan perubahan penggunaan lahan tahun 2021 dan 2041 **Gambar 6**.



Penggunaan Lahan 2021

Penggunaan Lahan 2041

Gambar 6 Peta Penggunaan Lahan Kota Batam Tahun 2021 dan 2041

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, faktor pendorong perubahan penggunaan lahan khususnya lahan permukiman disebabkan oleh beberapa faktor yaitu kedekatan terhadap jaringan jalan arteri, kawasan industry, kawasan perdagangan dan jasa, kawasan perkantoran, sarana kesehatan, sarana transportasi, dan permukiman eksisting. Analisis hirarki (AHP) menunjukkan bobot pendorong perubahan penggunaan lahan terbesar yaitu faktor permukiman eksisting dengan nilai sebesar 0,2202 dan bobot terkecil yaitu sarana transportasi 0,0455.

Prediksi penggunaan lahan khususnya lahan permukiman menunjukkan bahwa pada tahun 2041, lahan permukiman akan bertumbuh dengan luas 15.872 Ha. Pertumbuhan ini dibarengi dengan berkurangnya luas pada lahan terbuka seluas 1.366 Ha, lahan pertanian seluas 1.195 Ha, hutan seluas 656 Ha, semak belukar seluas 421 Ha. Hasil penelitian ini dapat menjadi salah satu pertimbangan untuk pemerintah maupun pihak lain dalam merumuskan kebijakan-kebijakan terkait tata ruang ke depannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhiatma, R., Widiatmaka, & Iskandar Lubis. (2020). Perubahan penggunaan/ tutupan lahan dan prediksi perubahan penggunaan/ tutupan lahan di Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(2), 234–246.
- Badan Pusat Statistik. (2022). Kota Batam Dalam Angka Tahun 2022. Batam:Badan Pusat Statistik Kota Batam
- Christian, Y., Asdak, C., Kendarto, D. R., Agroindustri, M. T., Teknologi, F., Pertanian, I., Padjadjaran, U., Teknologi, F., Pertanian, I., & Padjadjaran, U. (2021). *Analisis Perubahan Penggunaan Lahan di Kabupaten Bandung Barat*. 15(1), 15–20.
- Iqni'a Fajril Wahida, Y. Yushardi, dkk . (2022). *Analisis Peningkatan Jumlah Penduduk Terhadap Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2016-2020 Berbasis Citra Landsat 8- OLI di Kecamatan Sumpalsari Dan Patrang*. 0(2), 55–68.
- Mulya, Q. P., & Aliyah, I. (2022). *Perubahan penggunaan lahan dan faktor-faktor yang mempengaruhi di kawasan Jalan Ahmad Yani Kartasura*

- berdasarkan persepsi masyarakat Land use changes and factors influencing land use changes on Ahmad Yani. Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif. Volume 17, Nomor 2 (2022)*
- Lestari, W., & Pratomoatmojo, A. (2019). Pemodelan Spasial Prediksi Perkembangan Kawasan Permukiman Berbasis Cellular Automata dengan Pendekatan Kependudukan di Surabaya Timur. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), 150-155
- Pratomoatmojo, N. A. (2018). Permodelan Perubahan Penggunaan Lahan Berbasis Cellular Automata dan Sistem Informasi Geografis dengan Menggunakan LanduseSim. *Jurnal Penataan Ruang*, 13(1), 26.
- Rahmawati, Mardiyah & Pratomoatmojo, N. A. (2019). Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan Berbasis Cellular Automata pada Wilayah Peri Urban Kota Surabaya di Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik ITS Volume 8, Nomor 2*
- Saleh, S. M., & Majid, A. I. (2013). Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process Dalam Penentuan Prioritas Penanganan Pemeliharaan Jalan Di Kota Banda Aceh - PDF Free Download. *Jurnal Transportasi*, 13(2), 75–84.
- Septawicaksono, Dwiky S & Pratomoatmojo, N A. (2019). Prediksi Perkembangan Permukiman Berbasis Cellular Automata dengan Batasan Kawasan Rawan Banjir di Perkotaan Kabupaten Bojonegoro. *Jurnal Teknik ITS Volume 8, Nomor 2*
- Susetyo, C., Yusuf, L., & Pratomoatmojo, N. A. (2019). Pemodelan Spasial Berbasis Cellular Automata untuk Identifikasi Potensi Alih Fungsi Lahan di Kawasan Konservasi Pantai Timur Surabaya. *Jurnal Perencanaan Wilayah Pps Uho*, 4(2), 2–8.
- Yudichandra, F. K., Widiatmaka, W., & Anwar, S. (2020). Perubahan dan Prediksi Penggunaan Lahan Menggunakan Markov – Cellular Automata di Kota Batu. *Tataloka*, 22(2), 202–211.