

Pemodelan Spasial Prediksi Perkembangan Kawasan Permukiman Berbasis *Cellular Automata* dengan Pendekatan Kependudukan di Surabaya Timur

Windy Lestari dan Nursakti Adhi Pratomoatmojo
Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
e-mail: pratomoatmojo@urplan.its.ac.id

Abstrak— Pertumbuhan penggunaan lahan permukiman di Surabaya Timur mengalami peningkatan luas tertinggi dibandingkan penggunaan lahan lain dengan luas pertumbuhan dari tahun 2011-2018 sebesar 176,8 Ha. Pertumbuhan permukiman akan memberikan dampak terhadap penggunaan lahan lainnya seperti berkurangnya lahan kosong (188,5 Ha), pertanian (9,6 Ha) dan tambak (23,3 Ha). Untuk meminimalisir dampak perkembangan permukiman terutama dampak negatif yang diberikan, maka diperlukan sebuah upaya pencegahan. Upaya yang dapat dilakukan adalah memberikan informasi mengenai prediksi perkembangan permukiman di masa mendatang dengan memanfaatkan kemajuan teknologi salah satunya adalah Sistem Informasi Geografis (SIG). Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan model spasial prediksi perkembangan permukiman di Surabaya Timur pada tahun 2034 dengan menggunakan metode analisis CA (*Cellular Automata*) yang ditunjang dengan metode analisis delphi dan AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Metode analisis CA digunakan untuk melakukan prediksi perkembangan permukiman tahun 2034 sedangkan metode analisis delphi dan AHP digunakan dalam menentukan variabel yang mempengaruhi perkembangan permukiman beserta bobotnya. Hasil dari penelitian ini adalah model perkembangan permukiman di Surabaya Timur tahun 2018-2034 dengan tingkat akurasi sebesar 91,83%. Perkembangan permukiman di Surabaya Timur pada tahun 2018-2034 adalah seluas 1602,2 Ha (berdasarkan pendekatan penduduk dan *trend* perkembangan lahan permukiman). Terjadinya pertumbuhan luas lahan permukiman tersebut disebabkan oleh beberapa variabel diantaranya adalah jalan lingkungan, jalan utama, jaringan listrik, jaringan air bersih, lahan permukiman eksisting, fasilitas perdagangan, fasilitas pendidikan dan fasilitas perkantoran. Pertumbuhan lahan permukiman yang terjadi mengonversi beberapa penggunaan lahan diantaranya lahan kosong yang berkurang seluas 737,1 Ha, tambak yang berkurang seluas 248,2 Ha dan pertanian yang berkurang sebesar 178,2 Ha.

Kata Kunci—*Cellular Automata*, Pemodelan Penggunaan Lahan, Permukiman

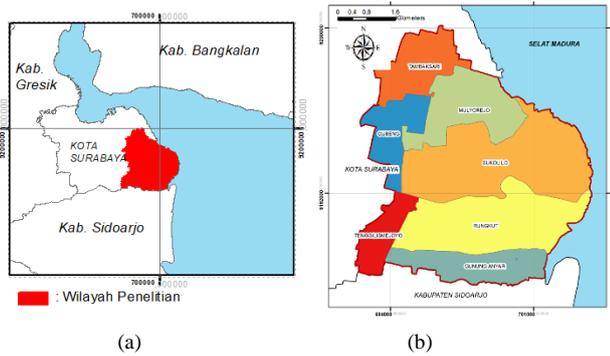
I. PENDAHULUAN

JUMLAH penduduk di Surabaya Timur pada tahun 2014-2017 merupakan yang tertinggi dibandingkan wilayah sekitarnya. Jumlah penduduk tersebut terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. [1] [2] [3]. Pertambahan jumlah penduduk akan memberikan dampak berupa peningkatan kebutuhan lahan untuk permukiman [4]. Perkembangan fisik wilayah permukiman mendorong ekspansi penggunaan lahan yang memberikan pengaruh

terhadap kawasan di sekitarnya. Salah satu bentuk pengaruh tersebut adalah alih fungsi lahan untuk dijadikan permukiman [5]. Alih fungsi lahan yang tidak terkendali memberikan dampak negatif terhadap lingkungan [6]. *Monitoring* dan pengendalian perkembangan fisik permukiman diperlukan guna menghindari dampak negatif yang terjadi akibat perubahan penggunaan lahan menjadi permukiman. Dalam mendukung upaya *monitoring* dan pengendalian perkembangan permukiman, perlu adanya ketersediaan informasi mengenai perubahan penggunaan lahan secara komprehensif yang dapat dilakukan dengan dukungan SIG [7]

Teknik SIG yang dapat digunakan untuk mengetahui perubahan penggunaan lahan adalah CA [8]. CA adalah metode simulasi yang dapat menentukan proses perilaku perubahan suatu sistem [9]. CA memiliki lima unsur pembentuk diantaranya adalah ruang *cellular*, keadaan yang dimiliki oleh masing-masing sel, sel ketetanggaan yang dapat mempengaruhi status suatu sel, aturan yang dapat menentukan perubahan status sel dan waktu [10]. Pada awalnya konsep CA dikenalkan sekitar tahun 1940an oleh Ulam dan Neumann untuk menyediakan kerangka untuk menginvestigasi perilaku sistem yang kompleks [11]. Kemudian pada tahun 1970 John Horton Conway yang merupakan matematikawan inggris mengembangkan lebih lanjut CA yang diberi nama *Game of Life* [12]. Pada tahun 1983 Stephen Wolfram melakukan pengkajian sederhana terhadap CA yang disebut *Elementary Cellular Automata* [13]. Hasil dari kajian tersebut adalah jenis-jenis CA dasar yang bekerja berdasarkan sekumpulan aturan yang seCARa umum dapat diwujudkan melalui program komputer sederhana [14]. Metode CA terus dikembangkan hingga pada tahun 1979, Tobler mulai mengenalkan teknik CA pada pemodelan geografis [15]. Selanjutnya pengembangan CA yang dilakukan oleh Couclelis (1985) dan dikembangkan oleh White dan Engelen (1993) mulai membahas mengenai aplikasi CA untuk studi perkotaan [16] [17]. Pada tahun 2002 metode CA mulai dikenalkan oleh Li dan Yeh untuk perencanaan penggunaan lahan [18].

Seiring perkembangan waktu, beberapa perangkat lunak dapat melakukan pemodelan perubahan lahan dengan metode CA salah satunya adalah LanduseSim [19]. Perangkat lunak LanduseSim memiliki beberapa kelebihan diantara perangkat lunak sejenisnya yaitu LanduseSim dapat meningkatkan pelibatan ahli GIS dalam praktek perencanaan, LanduseSim



Gambar 1. Peta Wilayah Penelitian (a) Wilayah Disekitar Surabaya Timur. (b) Kecamatan di Surabaya Timur

mampu mengakomodasi pendekatan *top-down* dan *bottom-up* dalam perencanaan spasial dan LanduseSim mampu melakukan simulasi spasial berbasis *trend* maupun target [19]. Selain itu LanduseSim memiliki tingkat akurasi yang tinggi sebagaimana telah didemonstrasikan dalam beberapa penelitian, seperti penelitian oleh yazid, dkk (2018) yang memodelkan pertumbuhan kota Ibb di negara Yemen dengan tingkat akurasi 93,76% [20], Gharbia, dkk (2016) memodelkan pertumbuhan perkotaan Shanon Basin di Irlandia dengan tingkat akurasi 87,09% dan 89,01% [21], dan penelitian oleh Syafitri dan Susetyo (2018) memodelkan perubahan penggunaan lahan terbangun di Kabupaten Kranganyar, Indonesia dengan tingkat akurasi 98,71% [22].

Berdasarkan permasalahan berupa dampak akibat perkembangan lahan permukiman yang terjadi di Surabaya Timur, maka penelitian ini berupaya untuk memodelkan perkembangan permukiman di Surabaya Timur pada tahun 2034 dengan metode CA. Dalam pemodelan yang dilakukan akan melibatkan analisis delphi dalam menentukan variabel pendorong perubahan lahan [23]. Selain itu, analisis AHP juga akan dilibatkan dalam penentuan bobot variabel yang akan digunakan pada pembentukan peta transisi. Sebagaimana telah ditunjukkan Syafitri dan Susetyo (2018) [22] dan Pratomoatmojo (2018) [24].

II. METODE PENELITIAN

A. Wilayah Penelitian

Penelitian ini mengambil lokasi di Surabaya Timur yang memiliki luas sebesar 9778,6 Ha.. Surabaya Timur terdiri dari tujuh kecamatan yaitu Kecamatan Tambaksari, Kecamatan Gunung Anyar, Kecamatan, Rungkut, Kecamatan Sukolilo, Kecamatan Mulyosari, Kecamatan Tegayut Mejoyo dan Kecamatan Gubeng (Gambar 1).

B. Metode Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini diperoleh dari survei primer dan survei sekunder. Data yang diperoleh dari survei primer diantaranya adalah hasil kuisioner delphi dan kuisioner AHP. Sedangkan data yang diperoleh dari survei sekunder adalah data yang berasal dari Badan Perencanaan dan Pembangunan Kota Surabaya (BAPPEKO Surabaya) berupa Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Surabaya tahun 2014-2034, peta penggunaan lahan kota Surabaya tahun 2011 dan peta variabel pendorong pertumbuhan permukiman. Data lain yang diperoleh dari

survei sekunder adalah penggunaan lahan kota Surabaya tahun 2018 yang berasal dari digitasi menggunakan citra *quickbird* pada skala 1:5000, dan data jumlah penduduk yang diperoleh dari BPS Kota Surabaya. Data berupa peta yang telah diperoleh seperti penggunaan lahan dan variabel pendorong pertumbuhan permukiman akan diubah menjadi data raster dengan resolusi (30m x 30m) per sel raster.

C. Estimasi Luas Pertumbuhan Permukiman Tahun 2034

Perumusan luas pertumbuhan permukiman di Surabaya Timur tahun 2011-2034 didasarkan pada luas permukiman per penduduk tahun 2011 dan jumlah penduduk tahun 2034. Untuk mengetahui luas permukiman perpenduduk di Surabaya Timur dilakukan dengan perhitungan matematika berupa pembagian antara luas perkembangan permukiman pada tahun 2011 dengan jumlah penduduk tahun 2011. Pemilihan tahun 2011 karena pada penelitian ini akan memprediksi dengan tahun dasar yaitu 2011. Dalam mengetahui jumlah penduduk hingga tahun 2034 dilakukan dengan proyeksi penduduk menggunakan metode aritmatika. Adapun rumus untuk proyeksi penduduk dengan metode aritmatika dapat dilihat pada rumus (1) dan (2) [25].

$$P_t = P_0(1 + r)^t \tag{1}$$

$$r = \frac{1}{t} \left(\frac{P_t}{P_0} - 1 \right) \tag{2}$$

P_t = Jumlah penduduk pada tahun t

P_0 = Jumlah penduduk pada tahun dasar

r = Laju pertumbuhan penduduk

t = Periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun).

Setelah didapatkan hasil luas permukiman perpenduduk dan hasil proyeksi penduduk, dilakukan perkalian antara kedua hasil tersebut sehingga diperoleh luas prediksi perkembangan permukiman di Surabaya Timur pada tahun 2034.

D. Simulasi Prediksi Pertumbuhan Permukiman di Surabaya Timur

Pada penelitian ini, perangkat lunak LanduseSim versi 2.3.1 akan digunakan untuk melakukan simulasi perkembangan lahan. Dalam melakukan simulasi spasial perangkat lunak ini menggunakan algoritma CA [23]. Adapun langkah-langkah dalam melakukan simulasi dengan LanduseSim adalah sebagai berikut.

1) Pembuatan peta transisi

Sebelum melakukan simulasi dengan LanduseSim diperlukan persiapan data untuk penyusunan *initial transition map*. Salah satu persiapan data yang dilakukan adalah standarisasi variabel pendorong yang dikonversi dari nilai jarak dalam bilangan bulat menjadi bilangan real (0-1) dengan pengaturan *fuzzy set membership* [21]. Variabel pendorong yang distandarisasi merupakan variabel yang telah ditentukan berdasarkan hasil analisis delphi.

Fuzzy set pada LanduseSim terdiri dari dua jenis yaitu *monotonically decreasing* dan *monotonically increasing*. Namun pada penelitian ini jenis *fuzzy set* yang dipilih untuk seluruh variabel pendorong adalah *monotonically decreasing*. Hal ini berarti semakin dekat dengan variabel pendorong maka akan semakin berpotensi untuk berubah menjadi lahan

permukiman. Berikut ini merupakan algoritma *fuzzy set membership monotonically decreasing* di perangkat lunak LanduseSim [24].

$$S_{std_{x,y}} = \left(\frac{Si_{x,y}}{\max \cdot Si} - 1 \right) \quad (3)$$

$S_{std_{x,y}}$ = Nilai standar pada cell tertentu (x,y)

$Si_{x,y}$ = Nilai kesesuaian/ nilai jarak terhadap cel tertentu

$\max \cdot Si$ = nilai maksimum dari nilai kesesuaian/nilai jarak

Peta transisi untuk pertumbuhan lahan dikembangkan dengan menggabungkan metode *multi criteria evaluation (MCE)*, sistem informasi geografis dan *fuzzy set membership* [23]. Pada penelitian, ini pembentukan peta transisi dilakukan dengan *overlay* variabel (yang telah terstandarisasi) menggunakan modul *weighted raster* di LanduseSim dengan bobot tiap variabel diperoleh dari analisis AHP. Adapun algoritma dalam pembentukan peta transisi di LanduseSim dapat dilihat pada persamaan (4) [24].

$$TPi_{x,y} = \sum_{z=0}^n (Ni_{(z \rightarrow n)(x,y)} \cdot ITP_{i(z \rightarrow n)(x,y)}) \quad (4)$$

$TPi_{x,y}$ = Nilai transisi dari penggunaan lahan i pada cell tertentu (x,y) (jumlah operasi filter)

$Ni_{(z \rightarrow n)(x,y)}$ = Proses *neighbourhood filter* oleh filter tertentu dan akumulasi pada pusat cell (x,y), yangmana n merupakan jumlah total cell tetangga dengan atau tanpa pusat cell

$ITP_{i(z \rightarrow n)(x,y)}$ = Nilai awal peta transisi pada penggunaan lahan tertentu i atau dapat diwakili oleh peta kesesuaian untuk pertumbuhan penggunaan lahan tertentu.

2) Penentuan *neighbourhood filter*

Neighbourhood filter yang digunakan pada penelitian ini adalah 3x3 yang berarti satu *cell* memiliki 3 baris *grid* dan 3 kolom *grid*. Pemilihan *neighbourhood 3x3* dikarenakan dibandingkan *neighbourhood filter* lainnya yaitu 5x5 dan 7x7, *neighbourhood filter 3x3* memberikan hasil perubahan lahan lebih kompak [26]. Selain itu *neighbourhood 3x3* sudah pernah didemostrasikan pada penelitian sebelumnya dengan *software* serupa oleh Gharbia dkk (2016) [21], Al Darwish (2018) dan Pratomoatmojo (2016, 2018) [27] [28].

3) Penentuan *zoning constraint map*

Dalam membatasi area pertumbuhan pada model spasial yang disimulasikan, perlu dibuat sebuah pengaturan terhadap *zoning constraint map* sehingga suatu zona tertentu dapat dihindari dari konversi oleh penggunaan lahan lain. Adapun nilai dari *zoning constraint map* berkisar antara 0 hingga 1. Nilai 1 memiliki arti suatu kawasan dapat berpotensi dalam terkonversi oleh penggunaan lahan lainnya, sedangkan nilai 0 memiliki arti suatu kawasan tidak dapat terkonversi sama sekali. Pada penelitian ini, nilai 1 akan diberikan pada kawasan budidaya sedangkan nilai 0 akan diberikan pada kawasan konservasi yang merupakan kawasan terlarang untuk kegiatan pembangunan.

4) Proses simulasi

Pada aplikasi LanduseSim proses simulasi dilakukan dengan memasukan peta penggunaan lahan dasar yaitu tahun 2011 sebagai awal simulasi yang akan diiterasi sebanyak 23 kali sehingga menghasilkan peta prediksi setiap tahun dalam rentang 2011-2034. Selain itu data yang dimasukan pada proses simulasi adalah *neighbourhood filter* dan aturan transisi yang telah dibuat berdasarkan peta transisi dan



Gambar 1. Grafik Pertumbuhan Permukiman di Surabaya Timur Tahun 2011-2034

perhitungan luas pertumbuhan luas permukiman pada tahun 2034. Untuk mengetahui proses simulasi dengan LanduseSim dapat melihat algoritma pada persamaan (5) [24]

$$LU_{i_{x,y}}^{t+1} = f(LU_{xy}^t, TP_{i_{x,y}}, G_{i_{x,y}}, C_{i_{x,y}}, E_{i_{x,y}}, Z_{i_{x,y}}, TS) \quad (5)$$

$LU_{i_{x,y}}^{t+1}$ = Pertumbuhan (perubahan keadaan) dari penggunaan lahan i pada waktu t+1 pada cell tertentu (x,y)

LU_{xy}^t = Perubahan kelas penggunaan lahan sebelum disimulasikan pada cell tertentu

$TP_{i_{x,y}}$ = Peta transisi landuse i pada cell tertentu

$G_{i_{x,y}}$ = Jumlah cell yang diharapkan untuk tumbuh dari penggunaan lahan/ tutupan lahan i pada waktu t+1

$C_{i_{x,y}}$ = Lahan penghambat yang diwakili dengan penggunaan lahan tertentu yang tidak dapat dikonversi dengan penggunaan lahan i atau kawasan yang dikonservasi atau dilindungi.

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

$Z_{i_{x,y}}$ = Sistem zonasi seperti rencana penggunaan lahan, area bencana, zona pertumbuhan yang dipromosikan

TS = Time step dari iterasi CA

5) Validasi

Pada penelitian ini validasi dilakukan dengan perhitungan *overall accuracy*. *Overall Accuracy* adalah akurasi yang membandingkan jumlah total area yang diklasifikasi dengan benar terhadap jumlah total area observasi [29].

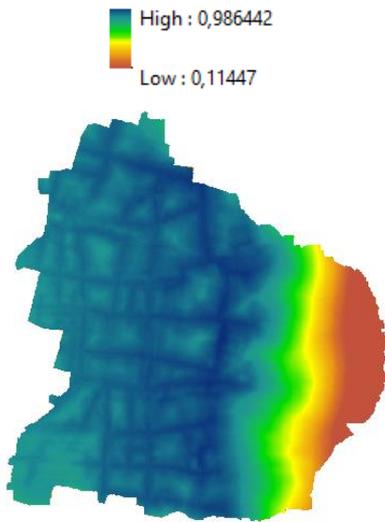
III. HASIL DAN DISKUSI

A. Estimasi Luas Pertumbuhan Permukiman Tahun 2034

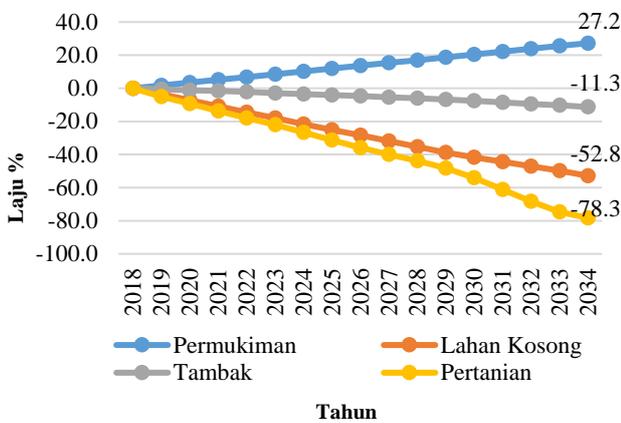
Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan diketahui bahwa satu penduduk Surabaya Timur membutuhkan luas lahan permukiman sebesar 42 m². Pertumbuhan penduduk Surabaya Timur tahun 2011-2034 adalah 381494 jiwa. Sehingga perkembangan lahan permukiman tahun 2011-2034 adalah seluas 16.022.761 m² atau setara dengan 1602,2 ha (Gambar 1).

B. Peta Transisi

Berdasarkan hasil analisis delphi dan AHP variabel yang akan digunakan pada penelitian ini terdiri dari variabel lahan permukiman eksisting (0,090), fasilitas pendidikan (0,045), fasilitas perdagangan dan jasa (0,062), fasilitas perkantoran (0,03), jaringan jalan lingkungan (0,190), jaringan jalan utama (0,158), jaringan jalan lingkaran luar timur (0,106), jaringan listrik (0,156), dan jaringan air bersih (0,154). Variabel dan bobot tersebut menjadi input dalam pembentukan peta transisi.



Gambar 2. Peta Transisi Hasil *Weighted Raster* di LanduseSim



Gambar 3. Grafik Laju Pertumbuhan Permukiman di Surabaya Timur (%)

C. Simulasi Prediksi Pertumbuhan Permukiman di Surabaya Timur

Pertumbuhan kawasan permukiman pada tahun 2034 mulai menuju bagian Timur (Gambar 4). Pertumbuhan permukiman mengakibatkan terjadinya konversi beberapa penggunaan lahan. Penggunaan lahan yang paling banyak terkonversi menjadi permukiman lahan kosong yang berkurang seluas 737,1 Ha. Penggunaan lahan lain yang terkonversi menjadi permukiman diantaranya adalah penggunaan lahan tambak yang berkurang seluas 248,2 ha dan penggunaan lahan pertanian yang berkurang sebesar 178,2 Ha. Apabila dilihat berdasarkan ketersediaan lahan setelah dikonversi oleh permukiman, ketersediaan penggunaan lahan pertanian hanya tersisa 21,7 % sedangkan ketersediaan penggunaan lahan kosong dan tambak yaitu sebesar 47,2% dan 88,7% (Gambar 3).

Laju perkembangan permukiman di Surabaya Timur di seluruh kecamatan selalu mengalami peningkatan (Tabel 1, 2 dan 3). Laju pertumbuhan permukiman tertinggi di Surabaya Timur pada tahun 2034 berada di Kecamatan Gunung Anyar yaitu sebesar 58,3% (191,7 Ha). Adapun laju perkembangan permukiman terendah adalah di Kecamatan Gubeng yaitu sebesar 3,5% (18,9 Ha).

Tabel 1.

Pertumbuhan Penggunaan Lahan Surabaya Timur Tahun 2018-2023

Penggunaan Lahan	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Permukiman	4274,7	4347,5	4420,2	4492,9	4565,6	4638,3
Lahan Kosong	1394,9	1345,4	1294,8	1242,9	1193,0	1144,2
Tambak	2203,1	2191,4	2178,8	2168,2	2155,1	2140,5
Pertanian	227,5	216,0	206,6	196,3	186,6	177,3

Tabel 2.

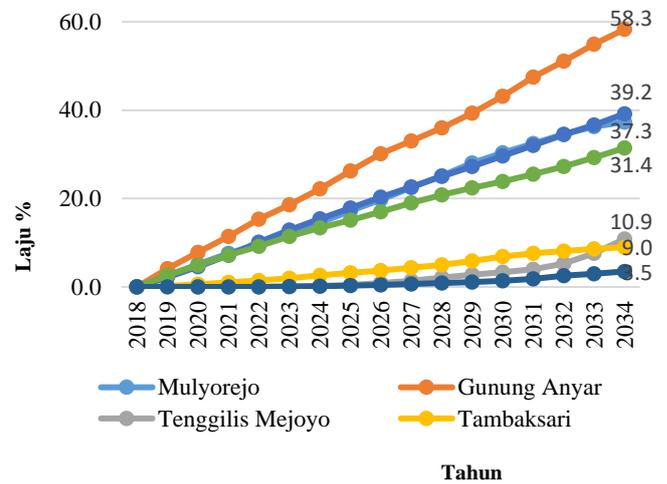
Pertumbuhan Penggunaan Lahan Surabaya Timur Tahun 2024-2029

Penggunaan Lahan	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Permukiman	4711,1	4783,8	4856,5	4929,2	5001,9	5074,6
Lahan Kosong	1094,3	1045,3	998,2	950,5	901,5	854,3
Tambak	2128,1	2115,0	2099,9	2084,0	2069,1	2053,4
Pertanian	166,9	156,2	145,7	136,5	127,71	118,0

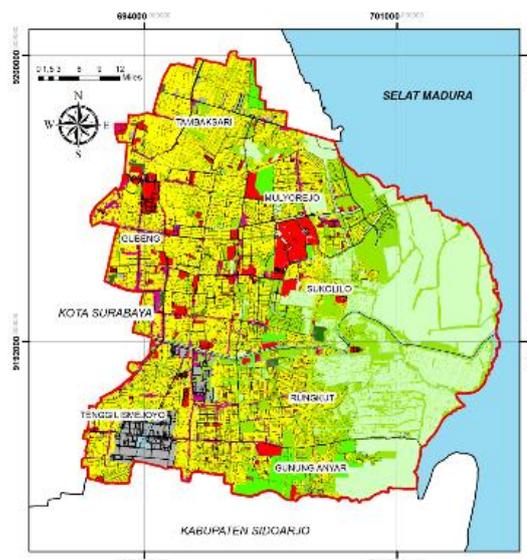
Tabel 3.

Pertumbuhan Penggunaan Lahan Surabaya Timur Tahun 2030-2034

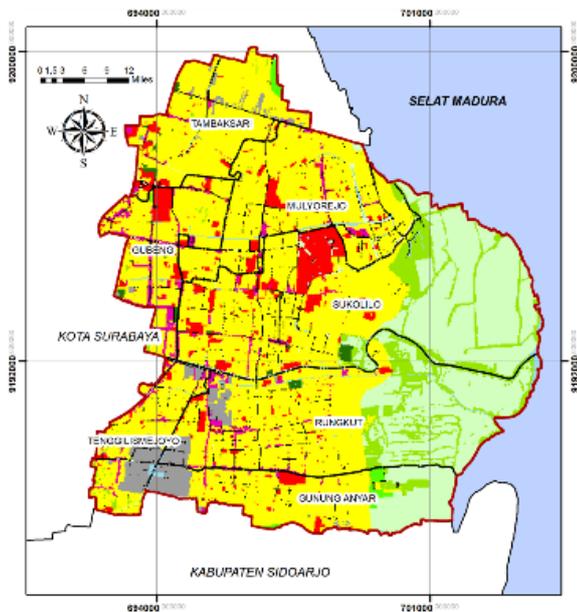
Penggunaan Lahan	2030	2031	2032	2033	2034
Permukiman	5147,4	5220,1	5292,8	5365,5	5438,3
Lahan Kosong	813,0	776,0	739,4	700,9	657,8
Tambak	2035,4	2015,8	1995,8	1976,1	1954,9
Pertanian	104,5	88,4	72,2	57,7	49,3



Gambar 4. Grafik Laju Pertumbuhan Permukiman per Kecamatan di Surabaya Timur (%)



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Peta Perkembangan Penggunaan Lahan Surabaya Timur (a) Tahun 2011 (eksisting), (b) tahun 2034 (simulasi), (c) legenda peta

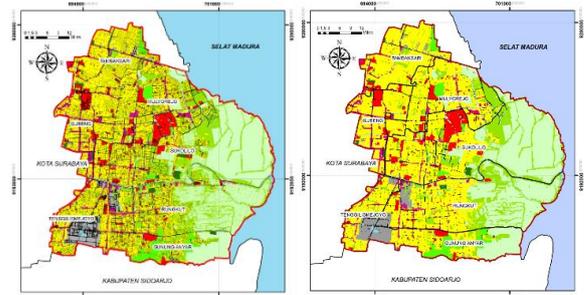
D. Validasi

Validasi dilakukan dengan membandingkan peta 2018 eksisting dan peta 2018 hasil prediksi (Gambar 6). Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa nilai *overall accuracy* model adalah 91,83%.

A. KESIMPULAN

Penelitian berupa pemodelan spasial prediksi perkembangan kawasan permukiman berbasis CA dengan pendekatan kependudukan di Surabaya Timur berhasil dilakukan dengan tingkat akurasi 91,83%. Penelitian ini berhasil memberikan gambaran perkembangan permukiman di masa depan, sehingga akan mempermudah dalam merumuskan kebijakan yang tepat untuk meminimalisir dampak yang terjadi. Namun, dalam melakukan penelitian ini ditemukan beberapa kendala seperti sulitnya mencari data penggunaan lahan eksisting *time series* dari instansi sehingga peneliti harus membuat peta penggunaan lahan sendiri dengan teknik *digitation on screen*. Selain itu, ditemukannya *error* ketika melakukan konversi data *polygon* menjadi data *raster* yang akan mempengaruhi tingkat akurasi.

Perkembangan lahan permukiman akan terus bertambah seiring berkembangnya jumlah penduduk. Perkembangan permukiman tersebut berdampak pada konversi penggunaan lahan seperti lahan kosong, pertanian maupun tambak. Apabila alihfungsi tersebut terus terjadi maka ketersediaan



(a)

(b)



(c)

Gambar 6. Peta Penggunaan Lahan Surabaya Timur (a) Tahun 2018 Eksisting, (b) Tahun 2018 Prediksi, (c) Legenda Peta

lahan untuk permukiman akan semakin menipis. Selain itu, berdasarkan peta hasil prediksi, pertumbuhan permukiman di Surabaya Timur mulai menuju kawasan konservasi. Maka dari itu pemerintah kota Surabaya harus memulai membuat kebijakan terkait ketersediaan lahan permukiman dan pencegahan potensi pelanggaran yang akan terjadi di masa depan.

Penelitian yang telah dibuat memiliki beberapa keterbatasan seperti prediksi yang dilakukan hanya *single landuse* sehingga penggunaan lahan yang tumbuh hanya permukiman. Maka dari itu diharapkan pada penelitian selanjutnya memperhatikan perkembangan penggunaan lahan lainnya. Selain itu prediksi yang dilakukan adalah prediksi secara horizontal. Sehingga pertumbuhan hunian secara vertikal tidak diperhitungkan. Maka dari itu diharapkan pada penelitian selanjutnya mulai melakukan prediksi secara vertikal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, Surabaya dalam angka 2016, Surabaya: Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2016.
- [2] Badan Pusat Statistik, Kota Surabaya dalam Angka 2017, Surabaya: Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2017.
- [3] Badan Pusat Statistik, Kota Surabaya dalam Angka 2018, Surabaya: Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2018.
- [4] V. H. Makarau, "Penduduk, Perumahan Pemukiman Perkotaan Dan Pendekatan Kebijakan," *Jurnal Sabua Vol.3*, pp. 53-57, 2011.
- [5] A. L. Fitriana, S. Subiyanto dan H. S. Firdaus, "model cellular automata markov untuk prediksi perkembangan fisik wilayah permukiman kota surakarta menggunakan sistem informasi geografis," *Jurnal Geodesi Undip*, pp. 246-253, 2017.
- [6] A. Rosytha, "Studi Dampak Pengembangan Permukiman di wilayah Pesisir Surabaya Timur," *AGEGAT*, pp. 38-43, 2016.
- [7] Paharuddin, "Simulasi Spasial Berbasis Cellular Automata Perubahan Penggunaan Lahan untuk Prediksi Sedimentasi," Universitas Hasanudin, Makasar, 2012.
- [8] M. S. Wijaya dan N. Umam, "Pemodelan Spasial Perkembangan Fisik Perkotaan Yogyakarta Menggunakan Model Cellular Automata Dan Regresi Logistik Biner," *Majalah Ilmiah Globe*, vol. 17, pp. 165-172, 2015.
- [9] M. S. Harta, "Pemanfaatan Citra Landsat Multitemporal untuk Prediksi Perkembangan Kota dengan Menggunakan Cellular Automata (Kasus di Kota Surabaya, Jawa Timur)," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2016.

- [10] Y. Liu, *Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata*, CRC Press (Taylor & Francis Group), 2009.
- [11] H. Yu, Z. He dan X. Pan, "Wetlands shrink simulation using Cellular Automata: a case study in Sanjiang Plain, China," *Procedia Environmental Science*, pp. 225-233, 2010.
- [12] M. Gardner, "Mathematical Games: The Fantastic Combinations of John Conway's New Solitaire Game "Life"," *Scientific American*, vol. 223, pp. 120-123, 1970.
- [13] W. Stephen, "Statistical Mechanics of Cellular Automata," *Review of Modern Physics*, vol. 55, pp. 601-644, 1983.
- [14] W. Stephen, *A New Kind of Science*, Champaign: Wolfram Media Inc, 2002.
- [15] W. R. Tobler, "Cellular Geography," dalam *Gale S., Olsson G. (eds) Philosophy in Geography. Theory and Decision Library (An International Series in the Philosophy and Methodology of the Social and Behavioral Sciences)*, Boston, 1979, pp. 379-386.
- [16] H. Couclelis, "Cellular worlds: a framework for modelling micro-macro dynamics," *Environment and Planning A*, vol. 17, no. 5, pp. 585-596, 1985.
- [17] R. White dan G. Engelen, "Cellular Automata and fractal urban form: a cellular modelling," *Environment and Planning A*, vol. 25, pp. 1175-1199, 1993.
- [18] X. Li dan A. G.-O. Yeh, "Modelling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 14, no. 2, pp. 131-152, 2000.
- [19] N. A. Pratomoatmojo, "LanduseSim sebagai aplikasi pemodelan dan simulasi spasial perubahan penggunaan lahan berbasis Sistem Informasi Geografis dalam konteks perencanaan wilayah dan kota," dalam *Seminar Nasional Eco City: Utopis atau Realistis?*, Surabaya, 2014.
- [20] Y. Al-Darwish, H. Ayad, D. Taha dan D. Saadallah, "Predicting the future urban growth and it's impacts on the surrounding environment using urban simulation models: Case study of Ibb city – Yemen," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, pp. 2887-2895, 2018.
- [21] S. S. Gharbia, S. A. Alfatah, L. Gill dan P. Johnston, "Land use Scenarios and Projections Simulation Using an Integrates GI Cellular Automata Algorithms," *Model Earth System Environment*, vol. 2, p. 151, 2016.
- [22] R. A. Syafitri dan C. Susetyo, "Pemodelan Pertumbuhan Lahan Terbangun sebagai Upaya Prediksi Perubahan Lahan Pertanian di Kabupaten Karanganyar," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, pp. 2301-9271, 2018.
- [23] N. A. Pratomoatmojo, "LanduseSim Algorithm: Land use change modelling by means of Cellular Automata and Geographic Information System," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 202*, 2017.
- [24] N. A. Pratomoatmojo, "Permodelan Perubahan Penggunaan Lahan Berbasis Cellular Automata dan Sistem Informasi Geografis dengan Menggunakan LanduseSim," *Jurnal Penataan Ruang*, vol. 13, pp. 41-50, 2018.
- [25] BPS, *Pedoman Perhitungan Proyeksi Penduduk dan Angkatan Kerja*, Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2010.
- [26] N. A. Pratomoatmojo, "Land Use Change Modelling Under Tidal Flood Scenario by Means of Markov-Cellular Automata in Pekalongan Municipal," MSc Thesis. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2012.
- [27] N. A. Pratomoatmojo, *LanduseSim Practice: Spatial Modelling of Settlement and Industrial Growth by Means of Cellular Automata and Geographic Information System*, Surabaya: Urban and Regional Planning Department, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [28] N. A. Pratomoatmojo, "LanduseSim Methods: Land Use Class Hierarchy for Simulation of Multiple Land Use Growth," dalam *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science 202 012023*, 2018.
- [29] R. M. Sampurno dan A. Thoriq, "Klasifikasi Tutupan Lahan menggunakan Citra Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) Data in Sumedang Regency," *Teknotan*, vol. 10, pp. 61-70, 2016.