

Prediksi Perkembangan Permukiman berbasis *Cellular Automata* dan Perspektif Developer di Sebagian Wilayah Kabupaten Sidoarjo

Belia Fransiska dan Nursakti Adhi Pratomoatmojo

Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Arsitektur, Desain dan Perencanaan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: pratomoatmojo@urplan.its.ac.id

Abstrak—Sidoarjo sebagai Kabupaten dengan aksesibilitas tinggi dan fasilitas yang lengkap, menjadi sasaran utama warga Surabaya dalam bermukim. Kabupaten Sidoarjo sebelah utara merupakan wilayah yang paling diminati, terutama Kecamatan Waru, Sedati, Buduran, Candi, dan Sidoarjo. Berdasarkan perhitungan GIS, dalam kurun waktu 9 tahun (2009-2018) lahan permukiman di 5 kecamatan tersebut mengalami peningkatan luasan sebesar 35.3% (1692.9 Ha) yang diikuti menurunnya lahan kosong, pertanian, dan tambak. Perkembangan lahan permukiman mengalami pelonjakan sehingga tidak terkontrol, sementara perkembangan lahan permukiman diperkirakan akan terus terjadi. Namun demikian tidak diketahui pola perkembangan lahan permukiman di masa mendatang. Berdasarkan permasalahan tersebut perlu diketahui perkembangan lahan permukiman di masa mendatang. Sehingga tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan prediksi perkembangan permukiman di Kabupaten Sidoarjo berdasarkan perspektif developer sebagai salah satu pihak yang berperan tinggi dalam pengembangan lahan permukiman. Pada penelitian ini menggunakan metode *Delphi* untuk mengetahui faktor pengaruh perkembangan lahan permukiman dan AHP untuk pembobotan setiap faktornya. Sedangkan untuk prediksi perkembangan lahan permukiman di masa mendatang digunakan metode *cellular automata*. Berdasarkan hasil prediksi tren perkembangan lahan permukiman pada tahun 2029 dengan *cellular automata* mengalami peningkatan sebesar 3762 Ha (78.43%) dengan tingkat akurasi prediksi sebesar 89.31%. kemudian dari hasil analisis *overlay* peta penggunaan lahan permukiman hasil prediksi tahun 2029 dengan RTRW Kabupaten Sidoarjo 2029, lahan permukiman mengalami potensi deviasi sebesar 7.43% (19922,82 Ha).

Kata kunci—*cellular automata*, lahan permukiman, pemodelan penggunaan lahan, prediksi perkembangan lahan.

I. PENDAHULUAN

KEBUTUHAN lahan sebagai wadah yang menampung kegiatan masyarakat berkembang secara pesat seiring meningkatnya jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi[1]. Meningkatnya kebutuhan lahan ini juga terjadi di Kota besar seperti Surabaya yang merupakan salah satu pusat arus urbanisasi[2]. Namun ketersediaan lahan di Surabaya semakin menipis, sementara kebutuhan terus meningkat menyebabkan penduduk mulai bergeser ke Kabupaten Sidoarjo sebagai salah satu wilayah yang mempunyai aksesibilitas tinggi dengan Surabaya [3]

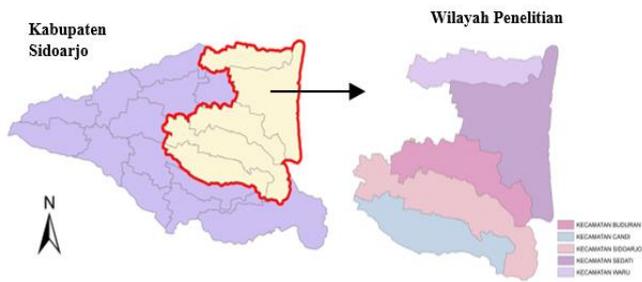
Sidoarjo sebagai kabupaten yang strategis dengan fasilitas dan utilitas lengkap, menjadikannya sasaran utama warga Surabaya dalam bermukim (RP4D Kabupaten Sidoarjo 2010-

2020). Percepatan tertinggi pertumbuhan perumahan (perkampungan dan pengembang) terjadi pada bagian utara Sidoarjo, terutama Kecamatan Waru, Sedati, Buduran, Candi, dan Sidoarjo (RP4D Kabupaten Sidoarjo 2010-2020)(Radar Surabaya, 5 Agustus 2017). Berdasarkan Dinas PU Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Sidoarjo, selama 2010-2015 lahan permukiman mengalami peningkatan sebesar 28%, dan diprediksi akan terus mengalami pelonjakan. Namun belum diketahui pola perkembangan lahan permukiman di masa mendatang.

Cellular Automata (CA) digunakan untuk mengetahui kondisi spasial masa depan dengan menggabungkan metode AHP dalam proses pembobotan. Konsep CA telah dikembangkan sejak tahun 1940 dalam bidang computer oleh Von Neuman dan Ulam[4]. Dengan menggunakan teknik komputasi, CA merupakan metode terbaik saat ini dalam melakukan simulasi spasial, termasuk simulasi *landuse* dengan mengakomodasi pendekatan *bottom-up* dan *top-down* [5]. Selain itu menurut Langdon (1998) serta White dan Engelen (1994) konsep perubahan penggunaan lahan yang paling populer adalah CA[6], [7]. Prinsip dasar CA adalah perubahan lahan dapat dijelaskan oleh keadaan sel saat ini dan perubahan pada tetangganya[8]. CA terdiri dari empat elemen, yaitu ruang sel, keadaan sel, *timestep*, dan transisi [9] Implementasi CA dalam pemodelan geografis telah dilakukan oleh Tobler (1979)[10], dan dikembangkan lebih lanjut oleh Batty dan Xie (1994) serta White dan Engelen, (2000)[8], [10], dan perkembangan fisik perkotaan oleh Pinto dan Antunes (2007) [11].

Penelitian ini menggunakan mekanisme CA dalam prediksi perkembangan di masa mendatang dengan *software* LanduseSim *versi 2.3.1*. LanduseSim merupakan salah satu aplikasi pemodelan dan simulasi spasial perubahan penggunaan lahan berbasis Sistem Informasi Geografis dalam konteks perencanaan wilayah dan kota [5], menggunakan algoritma CA untuk simulasi spasial, dengan memanfaatkan data spasial berbentuk raster[12]. Aplikasi LanduseSim mampu meramalkan perkembangan lahan dengan tingkat akurasi tinggi, contohnya prediksi perkembangan kota di *River Shannon Basin* dengan akurasi 89,01% [13]; prediksi perkembangan Negara Yaman dengan akurasi 93,76% [14]; model spasial penggunaan lahan sawah dengan akurasi 96% [15]; dan simulasi perubahan penggunaan lahan Mataram dengan akurasi 84,14% [16]. Dengan melihat fakta dinamika perkembangan permukiman di Kabupaten Sidoarjo, maka penelitian ini bertujuan untuk

mengetahui prediksi perkembangan lahan permukiman Kabupaten Sidoarjo di masa mendatang, berdasarkan



Gambar 1. Peta Batas Wilayah Penelitian

perspektif developer sebagai pihak yang berperan dalam pengembangan lahan permukiman, berbasis CA. Gambar 1 menunjukkan peta batas wilayah penelitian:

II. URAIAN PENELITIAN

A. Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini metode pengumpulan data menggunakan teknik survei primer dan sekunder. Survei data primer dengan cara observasi lapangan terkait kondisi penggunaan lahan dan wawancara kepada responden penelitian (developer). Sedangkan survei sekunder terdiri atas survei instansi untuk memperoleh data sekunder yang relevan dengan penelitian, serta pengambilan *citra quickbird* untuk proses analisis

B. Metode Analisis

Prediksi perkembangan lahan permukiman dilakukan beberapa tahapan analisis sebagai berikut:

1) Analisis Perubahan Lahan Permukiman pada Tahun 2009-2018

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui *growth* perkembangan lahan. Untuk klasifikasi penggunaan lahan dilakukan interpretasi citra Quickbird 0.62 m x 0.62 m tahun 2009 dan 2018. Untuk mendapatkan tren perkembangan lahan wilayah penelitian tahun 2009-2018 digunakan *tools maps comparison* yang terdapat dalam *software* LanduseSim. Sebelum melakukan *map comparison* dilakukan konversi peta Landuse eksisting tahun 2009 dan 2018 menjadi format raster dengan ukuran sel 30x30, yang mengacu pada skala sumber peta (RTRW Kabupaten) 1:50000 [15].

2) Membangun Peta Potensi Transisi

Peta potensi transisi didapatkan dari *weighted raster* semua faktor pengaruh perkembangan lahan permukiman pada LanduseSim. Sebelumnya dilakukan *weighted raster*, pertama menentukan variabel yang mempengaruhi perkembangan lahan permukiman dengan Delphi [17] dan dilanjutkan menentukan bobot setiap faktor dengan AHP (*Analytical Hierarchy Process*) menggunakan *software expert choice* [18]. Selanjutnya melakukan penentuan operasi *fuzzy*. Fuzzy set terdiri dari *monotonically increasing* dan *monotonically decreasing*. *Monotonically decreasing* berarti semakin dekat sel ke salah satu variabel pendorong, maka probabilitas untuk berubah menjadi lahan yang diprediksi

tinggi, dan begitu sebaliknya untuk *monotonically increasing* [13].

3) Menentukan Neighborhood Filter

Neighborhood filter merupakan proses perhitungan ketetanggaan yang bekerja pada sistem grid [5]. *Neighborhood filter* yang akan digunakan pada simulasi ini adalah 3x3, karena menghasilkan perubahan lahan yang lebih kompak dibanding filter 5x5 dan 7x7, sebagaimana telah didemonstrasikan menggunakan aplikasi *LanduseSim* oleh Gharbia (2016)[13], Darwish (2018)[14], Santoso (2018)[15], Pratomoatmojo (2016)[19], Pratomoatmojo (2018)[12], dan Pratomoatmojo (2012)[20].

4) Menentukan Transition Rules

Set of transition rules dalam aplikasi *landuseSim* merupakan kunci untuk simulasi CA, dan menentukan arah simulasi pertumbuhan lahan [21]. Algoritma proses pembuatan transisi di *LanduseSim* dapat dilihat pada persamaan (1):

$$TP_{i_{x,y}} = \sum_{Z=0}^N (N_{i_{(z \rightarrow n)_{x,y}}} \cdot ITP_{i_{(z \rightarrow n)_{x,y}}}) \quad (1)$$

$TP_{i_{x,y}}$ = nilai potensial transisi penggunaan lahan *I* pada sel (x,y) (filter operasi *sum*)

$N_{i_{(z \rightarrow n)_{x,y}}}$ = proses *neighborhood filter* oleh filter tertentu (x,y), yang mana 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

5) Melakukan simulasi prediksi berbasis cellular automata

LanduseSim merupakan salah satu aplikasi berbasis raster yang menggunakan algoritma CA dengan mekanisme iterasi [21]. Pada penelitian ini dilakukan simulasi perkembangan lahan permukiman dengan iterasi 20 kali. Persamaan 2 menunjukkan algoritma iterasi CA pada *software* LanduseSim.

$$LU_{i_{x,y}}^{t+1} = f(LU_{xy}^t, TP_{i_{xy}}, G_{i_{xy}}, C_{i_{xy}}, E_{i_{xy}}, Z_{i_{xy}}, TS) \quad (2)$$

$LU_{i_{x,y}}^{t+1}$ = 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

$TP_{i_{xy}}$ = Peta transisi landuse *i* pada cell tertentu

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

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

$Z_{i_{xy}}$ = Sistem zonasi

TS = Time step iterasi dari cellular automata

Tabel 1.
Perkembangan Penggunaan Lahan Tahun 2009-2018

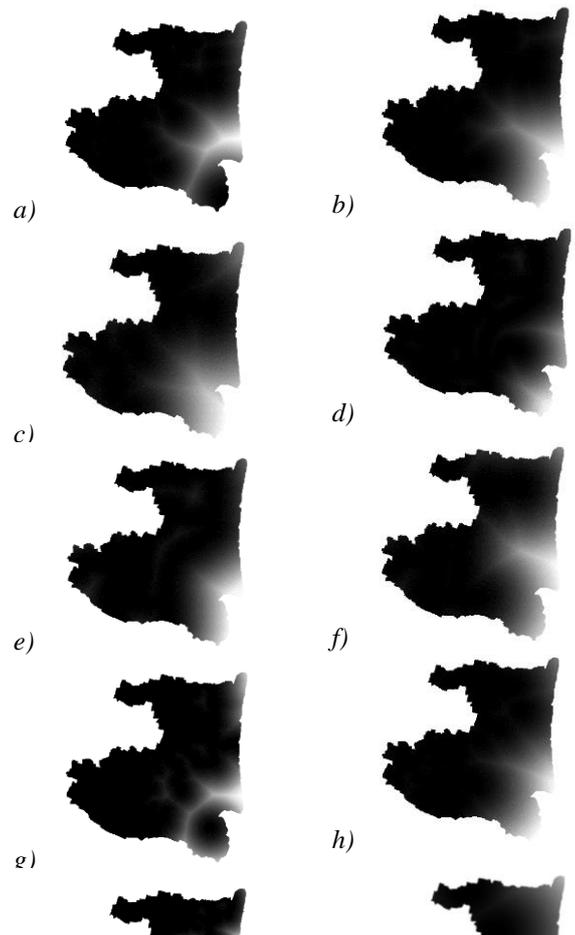
Kode	Penggunaan Lahan	Luas (Ha)		Perubahan	
		2009	2018	(Ha)	(%)
1	Bandara	525.96	525.87	-0.09	0.0
2	Fasilitas Transportasi	17.91	17.91	0	0.0
3	Fasilitas Umum	354.33	352.26	-2.07	-0.6
4	Hankam	111.96	112.05	0.09	0.1
5	Industri	791.91	958.32	166.41	21
6	Jalan	149.49	142.83	-6.66	-4.5
7	Perdagangan dan Jasa	139.5	168.48	28.98	20.8
8	Lahan Kosong	1021.4	230.31	-791.09	-77.5
9	Permukiman	4796.6	6489.5	1692.9	35.3
10	Pertanian	4064.4	3279.2	-785.2	-19.3
11	Sungai	453.51	449.91	-3.6	-0.8
12	Tambak	13411	13112	-299	-2.2

6) Proses Validasi

Validasi prediksi dilakukan dengan perhitungan *overall accuracy*. Akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) merupakan suatu nilai dari salah satu alat yang digunakan untuk penilaian keakurasian model spasial tematik (Aburas et al. 2016; Congalton dan Green 2009).

7) Identifikasi Potensi Deviasi Lahan Permukiman Terhadap Rencana Tata Ruang

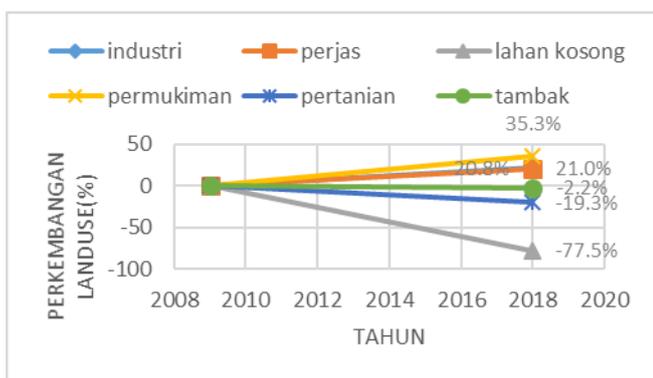
Identifikasi potensi deviasi penggunaan lahan permukiman dilakukan dengan analisis *overlay* peta penggunaan lahan permukiman hasil prediksi tahun 2029 dengan peta rencana penggunaan lahan permukiman RTRW Sidoarjo 2029



III. HASIL DAN DISKUSI

A. Perubahan Lahan Permukiman pada Tahun 2009-2018

Dari hasil analisis *map comparison* pada Tabel 1 dan Gambar 2 diketahui bahwa selama kurun waktu 9 tahun



Gambar 2. Grafik Perkembangan Lahan Tahun 2009-2018 hasil *overlay* dengan aplikasi Esri GIS 10.1

(2009-2018), lahan permukiman mengalami pertumbuhan sebesar 34.3% (1692.9 Ha), dengan mengkonversi lahan kosong, pertanian, dan tambak.

B. Peta Potensi Transisi

Penyusunan peta transisi terdapat beberapa hal yang harus dilakukan yaitu:

Tabel 2.
Bobot setiap Variabel yang Mempengaruhi Perkembangan Lahan

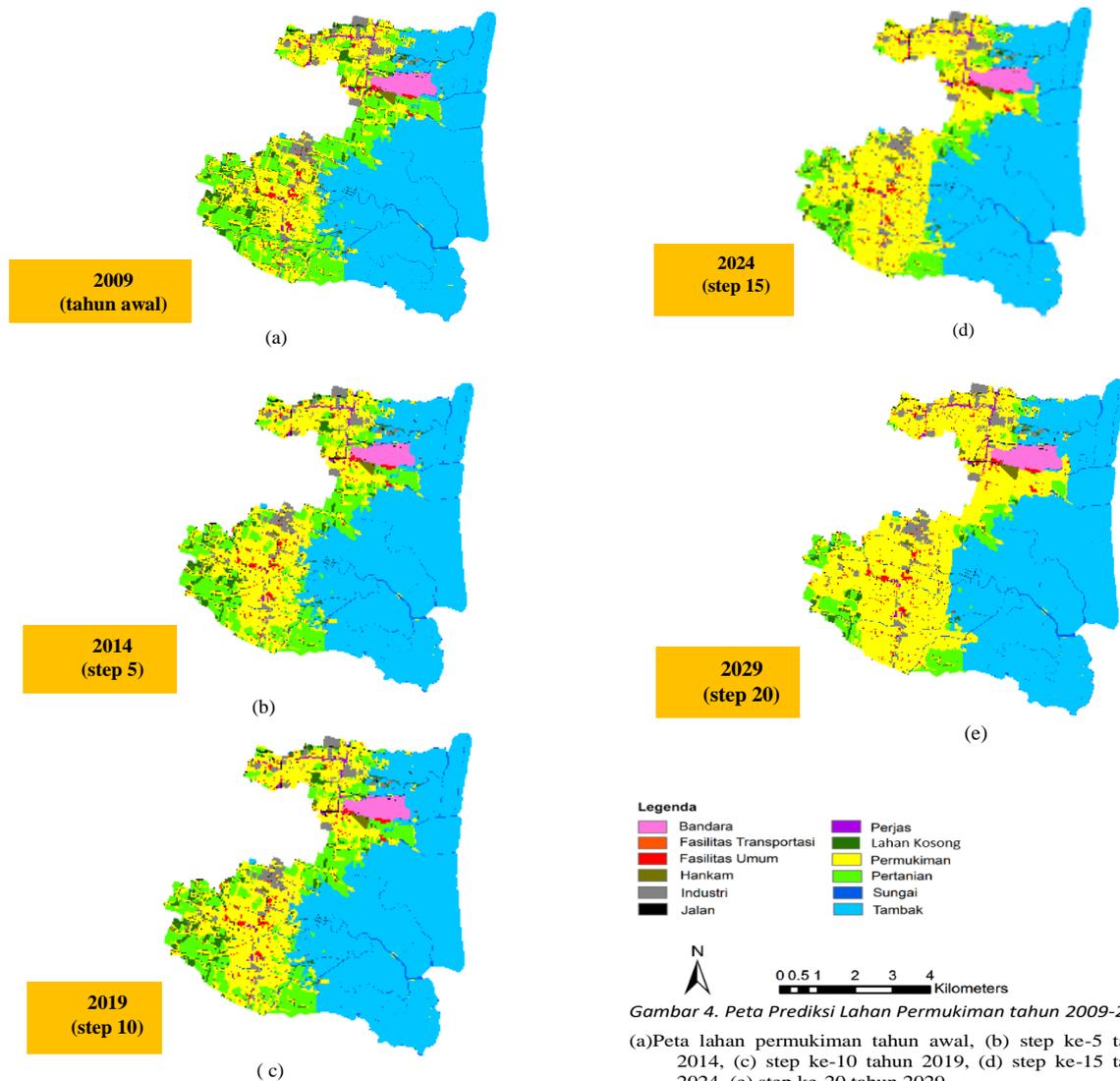
No	Variabel	Bobot
1	Jaringan Listrik	0,181
2	Jaringan Jalan Lingkungan	0,168
3	Jaringan Air Bersih	0,160
4	Jarak Terhadap Pusat Kota	0,117
5	Jaringan Jalan Arteri	0,115
6	Jarak dari Permukiman yang Sudah Terbangun	0,093
7	Fasilitas Perdagangan dan jasa	0,068
8	Fasilitas Pendidikan	0,040
9	Fasilitas Perkantoran	0,032
10	Jarak dari Kegiatan Industri	0,026

- Fuzzy Set : Untuk membuat peraturan transisi ke dalam model CA, fuzzy set (Liu dan Phinn 2003)[13] digunakan untuk semua peta variabel pendorong, berupa kedekatan/ jarak (bilangan bulat) ke bilangan real (0-1). Pada penelitian ini digunakan operasi fuzzy set monotonically decreasing untuk semua faktor.

Variabel-variabel pada Gambar 3. Selanjutnya dilakukan *weighted raster* pada LanduseSim, dengan menggunakan bobot dari analisis AHP:

C. Penyusunan Set of Transition Rules

Berikut merupakan ketentuan dalam menentukan *transition rules*:



Gambar 4. Peta Prediksi Lahan Permukiman tahun 2009-2029

(a)Peta lahan permukiman tahun awal, (b) step ke-5 tahun 2014, (c) step ke-10 tahun 2019, (d) step ke-15 tahun 2024, (e) step ke-20 tahun 2029

- *Kode penggunaan lahan:* kode 9 (permukiman), sebagai penggunaan lahan yang akan diprediksi
- *Cell growth:* Perhitungan *cell growth* telah didapatkan pada analisis sebelumnya, dan menghasilkan laju pertumbuhan sebesar 41800 cell/ 20 tahun (3762 Ha/20 tahun)
- *Initial transition potential map:* merupakan peta transisi yang sudah dihasilkan pada tahap sebelumnya yaitu proses *weighted raster*
- *Constrain landuse:* merupakan penggunaan lahan yang dibatasi perkembangannya. Pada penelitian ini terdapat lahan bandara (kode LU:1), fasilitas transport (kode LU:2), fasilitas umum (kode LU:3), hankam(kode LU:4), industri (kode LU:5), jalan (kode LU:6), perdagangan dan jasa (kode LU:7), serta sungai (kode LU:11)

D. Simulasi Prediksi dengan Cellular Automata

Tahap ini merupakan proses simulasi perkembangan lahan tahun 2009 menuju tahun 2029 atau selama 20 tahun kedepan dengan CA. *LUCC simulation* merupakan modul proses analisis CA di LanduseSim. Dimana dalam simulasi digunakan *initial landuse* tahun 2009, *time step* atau iterasi 20 kali atau setiap tahun, dan *neighbourhood filter 3x3*. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa perkembangan lahan permukiman di wilayah penelitian pada tahun 2009-2029,

perkembangan penggunaan lahan permukiman mengalami kenaikan luasan dari tahun 2009 ke 2029 sebesar 78.43% (3762 Ha). Pada Gambar 4 diketahui bahwa penambahan luasan permukiman pada wilayah penelitian terjadi dari hasil konversi beberapa penggunaan lahan oleh permukiman, diantaranya adalah:

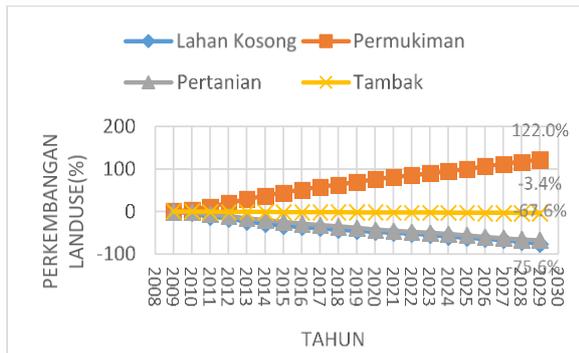
- Lahan lahan kosong sebesar 732.87 Ha (71.7%)
- Lahan pertanian sebesar 2555,64 Ha (62.9%), serta
- Lahan tambak sebesar 473,49 Ha (2.4)

Gambar 4 merupakan peta perkembangan lahan permukiman hasil prediksi:

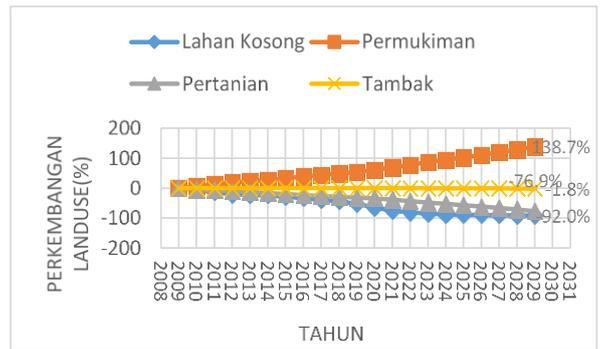
Pada Gambar 6 diketahui perkembangan lahan permukiman di Kecamatan Buduran sebesar 122% atau 795.42 Ha, yang mengkonversi lahan kosong sebesar 127 Ha, lahan pertanian sebesar 588.78 Ha, dan lahan tambak sebesar 79.47 Ha

Pada Gambar 7 diketahui perkembangan lahan permukiman di Kecamatan Candi sebesar 112.1% atau 1027.4 Ha, yang mengkonversi lahan kosong sebesar 162.99 Ha, lahan pertanian sebesar 786.33 Ha, dan lahan tambak sebesar 78.12 Ha.

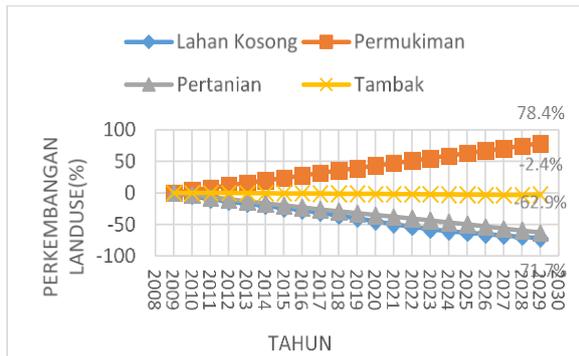
Pada Gambar 8 diketahui perkembangan lahan permukiman di Kecamatan Sedati sebesar 111.15 Ha atau sebesar 138.7%. Penggunaan lahan permukiman mengkonversi lahan kosong sebesar 111.15 Ha, lahan



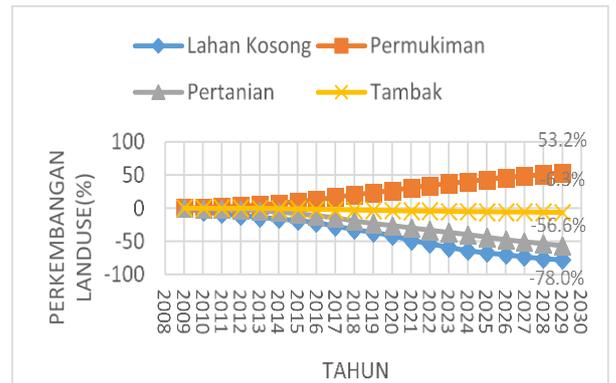
Gambar 6. Grafik Prediksi Perkembangan Lahan Permukiman Kecamatan Buduran Tahun 2009-2029



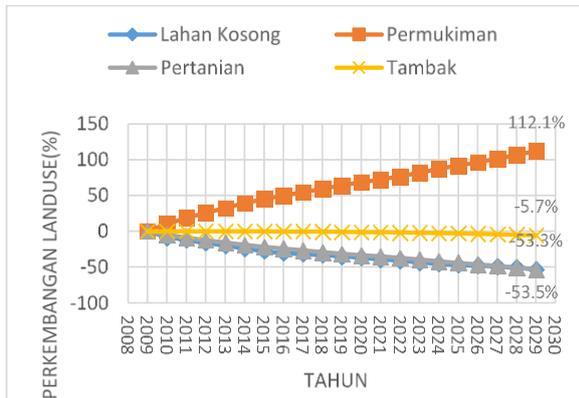
Gambar 8. Grafik Prediksi Perkembangan Lahan Permukiman Kecamatan Sedati Tahun 2009-2029



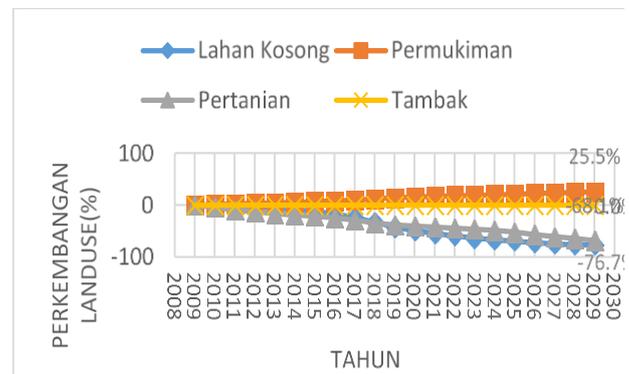
Gambar 5. Grafik Prediksi Perkembangan Lahan Permukiman Wilayah Penelitian Tahun 2009-2029



Gambar 9. Grafik Prediksi Perkembangan Lahan Permukiman Kecamatan Sidoarjo Tahun 2009-2029



Gambar 7. Grafik Prediksi Perkembangan Lahan Permukiman Kecamatan Candi Tahun 2009-2029



Gambar 10. Grafik Prediksi Perkembangan Lahan Permukiman Kecamatan Waru Tahun 2009-2029

pertanian sebesar 675.36 Ha, dan lahan tambak sebesar 94.77 Ha

Pada Gambar 9 diketahui perkembangan lahan permukiman di Kecamatan Sidoarjo sebesar 761.67 Ha atau sebesar 53.2%. Penggunaan lahan permukiman mengkonversi lahan kosong sebesar 215.55 Ha, lahan pertanian sebesar 325.35 Ha, dan lahan tambak sebesar 220.77 Ha

Pada Gambar 10 diketahui perkembangan lahan permukiman di Kecamatan Waru sebesar 296.28 Ha atau sebesar 25.5%. Penggunaan lahan permukiman mengkonversi lahan kosong sebesar 116.01 Ha, lahan pertanian sebesar 179.91 Ha, dan lahan tambak sebesar 0.36 Ha

Pada Gambar 5-10 diketahui bahwa lahan perkembangan lahan permukiman paling masif terdapat di Kecamatan Sedati yaitu sebesar 138.7%, hal ini dikarenakan keberadaan

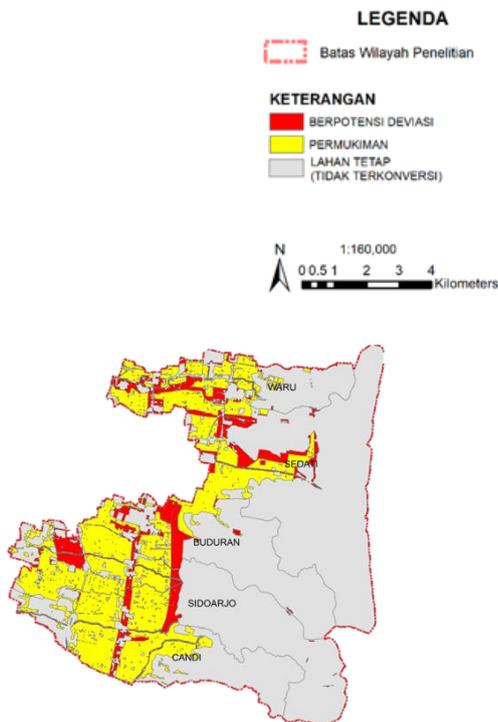
variabel pendorong perkembangan lahan permukiman yang mempunyai bobot cukup besar di Kecamatan Sedati.

E. Validasi model

Pada umumnya, pada riset pemodelan *landuse* validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan peta eksisting[22]. Pada penelitian ini menggunakan peta *landuse* eksisting tahun 2018 dan peta hasil simulasi *landuse* 2018 untuk proses validasi. Hasil validasi dengan menggunakan *tools landuse change analysis and validation* pada *software* LanduseSim didapatkan akurasi prediksi sangat baik (89.31%)

IV. POTENSI DEVIASI LAHAN PERMUKIMAN TERHADAP TATA RUANG

Potensi deviasi lahan permukiman di masa depan, menggunakan dengan teknik *overlay* (tumpang tindih) peta



Gambar 11. Peta Potensi Deviasi Lahan Permukiman dengan aplikasi Esri GIS 10.1

hasil simulasi lahan permukiman tahun 2029 dengan peta rencana pola ruang RTRW Kabupaten Sidoarjo tahun 2029. Dari hasil *overlay* didapatkan bahwa lahan permukiman hasil prediksi yang berpotensi deviasi yaitu sebesar 7,43% atau seluas 1922,82 Ha. Gambar 11 menunjukkan peta potensi deviasi lahan permukiman terhadap RTRW Kabupaten Sidoarjo tahun 2029

V. KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan untuk menjawab Prediksi Perkembangan Permukiman berbasis *Cellular Automata* dan Perspektif Developer di Sebagian Wilayah Kabupaten Sidoarjo berhasil dilakukan dengan tingkat akurasi sangat baik (89.31%). Namun ada beberapa kendala yang dialami, diantaranya pada tahap konversi peta polygon ke raster, yang perlu diperhatikan, karena dapat mempengaruhi tingkat akurasi prediksi. Selain itu pada saat proses analisis Delphi ditemukan kendala yaitu adanya perbedaan pandangan antar stakeholder, sehingga perlu dilakukan dua kali eksplorasi dan satu kali iterasi untuk mencapai konsensus.

Dari hasil prediksi perkembangan lahan permukiman dari tahun 2009-2029 (20 tahun), lahan permukiman mengalami peningkatan sebesar 78.43 (3762 Ha). Penambahan luas permukiman pada wilayah penelitian terjadi dari hasil konversi beberapa penggunaan lahan oleh permukiman, diantaranya adalah: Lahan kosong seluas 732.87 Ha, Lahan pertanian seluas 2555,64 Ha, serta Lahan tambak seluas 473,49 Ha. Selain itu dari hasil *overlay* peta lahan permukiman hasil prediksi tahun 2029 dengan peta pola ruang RTRW Kabupaten Sidoarjo tahun 2029, lahan permukiman yang berpotensi deviasi sebesar 7,43% (1922,82 Ha).

Hasil dari penelitian didapatkan dinamika perkembangan lahan permukiman dari tahun 2010-2029, sehingga penelitian ini dapat dijadikan masukan dalam penyusunan atau peninjauan kembali Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Sidoarjo khususnya pada bagian rencana pola ruang terkait lahan permukiman. Selain itu juga dapat dipertimbangkan pemerintah dalam penyusunan atau peninjauan kembali RTRW Sidoarjo, terutama terkait potensi perkembangan permukiman yang tidak sesuai dengan rencana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. F. Metekohy, W. Mononimbar, and R. C. Tarore, "PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN PADA PUSAT KOTA AMBON," *SPASIAL*, vol. 3, no. 1, pp. 106–112, 2016.
- [2] M. A. Serlin and E. Umilia, "Faktor-faktor yang Mempengaruhi Masyarakat dalam Memilih Lokasi Hunian Peri Urban Surabaya di Sidoarjo," *J. Tek. Pomits*, vol. 2, no. 2, p. C-143-C-148, 2013.
- [3] T. B. Jayanti, "Fenomena Tata Guna Lahan , Perumahan Dan Transportasi Dalam Perkembangan Kota-Kota Besar (Kasus : Kota Surabaya Dan Metropolitan Gks Plus)," *Temu Ilm. Iplbi*, pp. 1–7, 2017.
- [4] "John von Neumann's Cellular Automata," *Arizona State University. School of Life Sciences. Center for Biology and Society. Embryo Project Encyclopedia*, 2010. .
- [5] N. A. Pratomoatmojo, "LanduseSim sebagai aplikasi pemodelan dan simulasi spasial perubahan penggunaan lahan berbasis Sistem Informasi Geografis dalam konteks perencanaan wilayah dan kota," in *Seminar Nasional CITIES 2014*, 2014.
- [6] W. . Langdon, "Genetic Programming and Data Structures (350p)," *Univ. Coll. London*, 1998.
- [7] G. White, R., & Engelen, "Cellular Dynamics and GIS: Modelling Spatial Complexity," *Geogr. Syst.*, vol. I, pp. 237–253, 1994.
- [8] J. van Schroyenstien Lantman, P. H. Verburg, A. Bregt, and S. Geertman, "Core principles and concepts in land-use modelling: A literature review," in *Land-use modelling in planning practice*, Springer, Dordrecht, 2011, pp. 35–57.
- [9] G. White, R., & Engelen, "High Resolution Integrated Modelling of the Spatial Dynamics of Urban and Regional Systems," *Comput. Environ. Urban Syst.*, vol. 24 (05), pp. 383–400, 2000.
- [10] W. Tobler, "Cellular Geograogy. In S. Gale & G Olsson (Eds)," *Philos. Geogr.*, pp. 379–386, 1979.
- [11] A. . Pinto, N. N., & Antunes, "Cellular Automata and Urban Studies," *Aechitecture, City Environ.*, vol. 4, pp. 471–486, 2007.
- [12] N. A. Pratomoatmojo, "LanduseSim Methods: Land Use Class Hierarchy for Simulations of Multiple Land Use Growth," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 202 012023*, 2018.
- [13] S. S. Gharbia, S. A. Alfatah, L. Gill, P. Johnston, and F. Pilla, "Land use scenarios and projections simulation using an integrated GIS cellular automata algorithms," *Model. Earth Syst. Environ.*, vol. 2, no. 3, p. 151, 2016.
- [14] Y. Al-darwish, H. Ayad, D. Taha, and 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 Eng. J.*, vol. 57, no. 4, pp. 2887–2895, 2018.
- [15] P. B. K. Santoso, "Model Dinamika Spasial Penggunaan Lahan Sawah di Kabupaten Subang Provinsi Jawa Barat," *repository.ipb.ac.id*, 2018.
- [16] M. Rusdin, R. Putra, and I. Rudiarto, "SIMULASI PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DENGAN KONSEP CELLULER AUTOMATA DI KOTA MATARAM," no. November, 2018.
- [17] G. A. Rahadyan, "Skenario Lahan Permukiman di Kawasan Perkotaan Bandar Kedungmulyo Pasca Terbangunnya Interchange Jalan TOL Mojokerto-Kertosono," *POMITS*, pp. 1–9, 2015.
- [18] R. A. W. D. S. C. Syafitri, "Pemodelan Pertumbuhan Lahan Terbangun sebagai Upaya Prediksi Perubahan Lahan Pertanian di Kabupaten Karanganyar," *J. Tek.*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [19] N. A. Pratomoatmojo, "LanduseSim Practice: Spatial Modelling of Settlement and Industrial Growth by Means of Cellular Automata and Geographic Information System," *Urban and Regional Planning Department, Sepuluh Nopember Institut of Technology*, 2016. .
- [20] N. A. Pratomoatmojo, "Land Use Change Modelling Under Tidal Flood Scenario by Means of Markov-Cellular Automata in

- [21] Pekalongan Municipal,” Universitas Gadjah Mada, 2012.
N. A. Pratomatmojo, “LanduseSim Algorithm : Land use change modelling by means of Cellular Automata and Geographic Information System LanduseSim Algorithm : Land use change modelling by means of Cellular Automata and Geographic Information System,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. Pap.*, 2018.
- [22] A. A. Nugroho, “Model Air Laut Maksimum Di Pantai Utara Teluk Lamong (Putl) Bagian Surabaya,” *thesis*, 2013.