

# Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan Berbasis *Cellular Automata* pada Wilayah Peri Urban Kota Surabaya di Kabupaten Sidoarjo

Mardiyah Rahmawati dan Nursakti Adhi Pratomoatmojo

Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail:* pratomoatmojo@urplan.its.ac.id

**Abstrak**—Kota Surabaya sebagai kota kedua terbesar setelah Jakarta, memiliki wilayah peri urban. Salah satu wilayah peri urban Kota Surabaya adalah Kabupaten Sidoarjo. Tidak semua wilayah Kabupaten Sidoarjo sebagai peri urban Kota Surabaya. Kecamatan Waru, Kecamatan Sedati, Kecamatan Taman, Kecamatan Gedangan dan Kecamatan Sukodono sebagai wilayah peri urban kota Surabaya. Wilayah peri urban Kota Surabaya mengalami perubahan dari tahun 2009-2018, dengan penggunaan lahan yang bertumbuh cepat adalah permukiman, perdagangan jasa dan industri. Penggunaan lahan industri mengalami pertambahan 1298,05 Ha, perdagangan jasa bertambah 375,90 Ha dan permukiman bertambah 6696,79 Ha dari tahun 2009-2018. Salah satu teknik yang digunakan untuk mengetahui perubahan lahan adalah *Cellular Automata* pada software LanduseSim versi 2.3.1. Adanya perubahan tersebut belum diketahui secara pasti mempengaruhi perkembangan lahan dimasa mendatang. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian dengan tujuan menyusun model perubahan penggunaan lahan melalui prediksi berdasarkan tren perubahan lahan di wilayah peri urban Kota Surabaya (Kabupaten Sidoarjo). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa lahan permukiman mengalami pertumbuhan seluas 2328,93 Ha (66,1%), perdagangan jasa mengalami pertumbuhan 115,74 Ha (3,1%) dan industri bertambah 1080 Ha (30,6%). Sedangkan lahan yang terkonversi adalah tanah kosong seluas 466,2 Ha (13,2%), pertanian 2659,86 Ha (75,5%) dan tambak seluas 398,43 Ha (11,3%). Validasi menggunakan tools *map comparison* di software LanduseSim dengan membandingkan antara hasil simulasi tahun 2018 dan peta kondisi eksisting tahun 2018. Hasil validasi menunjukan *overall accuracy* 83,63% yang artinya hasil simulasi sangat baik.

**Kata Kunci**—Perubahan Penggunaan Lahan, Peri Urban, Cellular Automata

## I. PENDAHULUAN

WILAYAH peri urban merupakan wilayah yang berbatasan langsung dengan batas kota [1]. Dilihat dari karakteristiknya wilayah peri urban merupakan wilayah yang ditandai dengan adanya percampuran kenampakan fisik kota dan kedesaan [2]. Kota Surabaya memiliki wilayah peri urban, salah satunya adalah Kabupaten Sidoarjo. Wilayah Kabupaten Sidoarjo yang termasuk kedalam wilayah peri urban Kota Surabaya adalah Kecamatan Waru, Kecamatan Taman, Kecamatan Sedati, Kecamatan Gedangan dan Kecamatan Sukodono [3].

Sidoarjo sebagai wilayah peri urban Kota Surabaya telah mengalami beberapa perubahan baik dari segi fisik, ekonomi dan juga sosial. Dari segi fisik, Sidoarjo telah mengalami perubahan lahan sawah menjadi permukiman, perdagangan jasa dan industri. Berdasarkan data dari pemerintah Dinas Pertanian Kabupaten Sidoarjo, lahan pertanian mencapai 14.250 Ha. Kemudian pemerintah Kabupaten Sidoarjo

mengajukan pengurangan sehingga tersisa 7.000 Ha. Pengajuan pengurangan lahan pertanian itu akan dialih fungsikan menjadi lahan permukiman dan industri. Perubahan yang terjadi pada ekonomi Kabupaten Sidoarjo yaitu terdapat banyak investor yang menanamkan modalnya di Kabupaten Sidoarjo, hal ini disampaikan oleh Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu. Menurut Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu terdapat 136 permohonan untuk pembangunan dan perluasan perumahan di Sidoarjo. Kabupaten Sidoarjo juga mengalami perubahan pada aspek sosial. Berdasarkan data BPS Kabupaten Sidoarjo, jumlah penduduk Sidoarjo mengalami pertumbuhan dari tahun 2012 hingga 2016 sejumlah 2.222.996 jiwa [4].

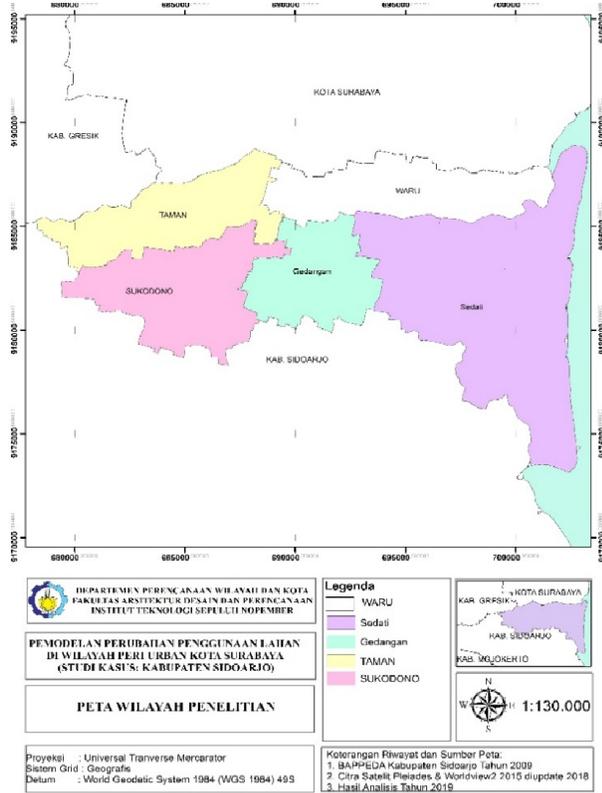
Adanya perubahan dari aspek fisik, ekonomi dan sosial juga mengakibatkan adanya perubahan lahan. Adanya perubahan fisik, ekonomi dan sosial di peri urban Surabaya belum diketahui secara pasti berdampak pada perubahan penggunaan lahan. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian mengenai prediksi perubahan di wilayah peri urban Surabaya.

Sistem Informasi Geografi memiliki empat fungsi yaitu pemodelan, pemetaan, pemantauan dan pengukuran [5]. Sehingga SIG dapat digunakan untuk mengkaji perkembangan fisik perkotaan. Salah satu model yang dapat digunakan untuk mengkaji perkembangan fisik perkotaan adalah model *Cellular Automata* (CA) [6]. CA adalah sistem diskrit dimana ruang dibagi kedalam bentuk spasial sel teratur dan waktu berproses pada setiap tahapan berbeda [7]. Konsep CA pertama kali dikembangkan sekitar tahun 1940 oleh Stanislaw Ulam dan John von Neumann untuk menyediakan kerangka investigasi perilaku sistem yang kompleks [8]. Kemudian tahun 1970 John Horton Conway mengembangkan *cellular automata* yang diberi nama "*Game of Life*" [9]. Selanjutnya tahun 2002 Stephen Wolfram melakukan kajian tentang jenis *Cellular Automata* dasar yang ditulis dalam buku "*A New Kind Of Science*" [10].

Salah satu aplikasi yang dapat mengimplementasi teknik CA adalah LanduseSim Versi 2.3.1. LanduseSim merupakan *software* simulasi dan pemodelan spasial berbasis *grid/cell* dengan menggunakan data raster penggunaan lahan sebagai atribut spasial [11]. LanduseSim sudah digunakan dalam berbagai penelitian tentang perkembangan perkotaan dengan validasi 89,01% [12], penentuan LP2B di Kabupaten Karanganyar dengan validasi 98,71% [13], perubahan lahan akibat industri di Kabupaten Kendal dengan validasi 95,68% [14], prediksi perkembangan perkotaan dan pengaruhnya terhadap lingkungan sekitar di Negara Yaman dengan validasi 93,76% [15] dan sebagainya.

Adanya perubahan yang terjadi di wilayah peri urban

sidoarjo belum diketahui secara pasti mempengaruhi perkembangan lahan dimasa yang akan datang. Maka penelitian ini berupaya untuk menyusun model perubahan penggunaan lahan melalui prediksi berdasarkan tren perubahan lahan di wilayah peri urban Kota Surabaya (Kabupaten Sidoarjo) menggunakan teknik *Cellular Automata* software LanduseSim. Gambar 1 menunjukan peta wilayah penelitian.



Gambar 1. Peta wilayah penelitian

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri dari metode pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari kuisioner, wawancara dan observasi lapangan secara langsung. Sedangkan data sekunder diperoleh dari survei instansi dan tinjauan literatur dengan sumber data berupa dokumen, data atau studi literatur yang berkaitan dengan penelitian.

Dalam mengidentifikasi perubahan lahan dilakukan menggunakan metode *overlay* peta penggunaan lahan tahun 2009 dan tahun 2018. Metode *overlay* ESRI ArcGis versi 10.1 untuk mengetahui apakah ada perubahan penggunaan lahan. Hasil dari analisis *overlay* ini berupa peta perubahan penggunaan lahan dan matriks perubahan lahan.

Untuk menentukan variabel yang mempengaruhi perubahan penggunaan lahan menggunakan teknik Analisis Delphi [16]. Teknik Delphi sebagai cara untuk menentukan pendapat secara konsensus (mufakat) diantara para pakar mengenai tujuan dan kebutuhan yang mendesak dari suatu intuisi [17]. Sedangkan untuk menentukan bobot setiap variabel yang mempengaruhi perubahan penggunaan lahan menggunakan metode *Analitycal Hierarchy Process* (AHP) pada software Expert Choice 11. AHP merupakan teori

pengukuran melalui perbandingan berpasangan dan tergantung pada penilaian dari para ahli untuk mendapatkan skala prioritas [18]. Responden untuk Analisis Delphi dan AHP untuk penelitian ini terdiri dari pemerintah, swasta dan akademisi.

Pemodelan perubahan penggunaan lahan di wilayah peri urban Kota Surabaya menggunakan metode *Cellular Automata* software LanduseSim. Tahapan dalam simulasi ini terdiri dari konversi dari ASCII format menjadi TIFF, standarisasi data, membuat peta *initial transition potential map*, menentukan *neighborhood filter*, membuat peta *elasticity of landuse change*, membuat *transition rules* dan langkah LUCS Simulation [19].

Data yang digunakan untuk simulasi harus dikonversi kedalam format TIFF. Selanjutnya standarisasi variabel dengan metode *Fuzzy*. Pada penelitian ini menggunakan standarisasi *monotonically decreasing* dengan algoritma

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

Dimana  $S_{std_{x,y}}$  adalah nilai standar pada *cell* tertentu (x,y),  $S_{i_{x,y}}$  adalah nilai kesesuaian/ nilai jarak terhadap *cell* tertentu, dan  $\max.S_i$  adalah nilai maksimum dari nilai kesesuaian/ nilai jarak [20].

Langkah selanjutnya setelah standarisasi data adalah membuat peta *initial transition potential*. Input data yang digunakan adalah bobot setiap variabel. Berikut merupakan algoritma peta transisi

$$TPi_{x,y} = \sum_{z=0}^n (Ni_{(z-n)x,y} \cdot ITP_{i(z-n)x,y}) \tag{2}$$

Dimana  $Tpi_{x,y}$  adalah nilai transisi dari penggunaan lahan i pada *cell* tertentu (x,y),  $Ni_{(z-n)x,y}$  adalah proses *neighborhood filter* oleh filter tertentu,  $ITP_{i(z-n)x,y}$  adalah nilai awal peta transisi penggunaan lahan tertentu i atau peta kesesuaian pertumbuhan penggunaan lahan [20].

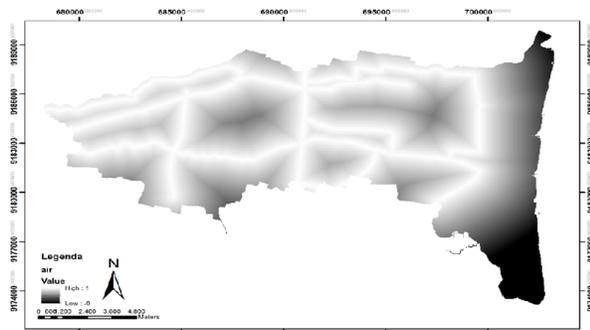
Proses CA yang dilakukan menggunakan *neighborhood filter* 3X3 yang dapat memberikan hasil perubahan lahan yang lebih kompak dibandingkan dengan *neighborhood filter* 5X5 atau 7X7 [21], sebagai mana telah didemonstrasikan menggunakan aplikasi LanduseSim oleh Gharbia dkk (2016) [12], Al-darwish dkk (2018) [15], Pratomoatmojo (2016) [19] dan Pratomoatmojo (2018) [20]. Pada penelitian ini mengabaikan nilai elastisitas perubahan penggunaan lahan atau kemampuan mengonversi lahan lain dianggap sama. Dalam membuat *transition rules* harus memperhatikan urutan landuse, karena urutan landuse sangat berpengaruh pada LanduseSim [19]. Tahapan terakhir dalam simulasi yaitu LUCS Simulation. Berikut algoritma dalam melakukan LUCS Simulation

$$LU_{i,x,y}^{t+1} = f(LU_{xy}^t G_{i,x,y} C_{i,x,y} E_{i,x,y} Z_{i,x,y} TS) \tag{3}$$

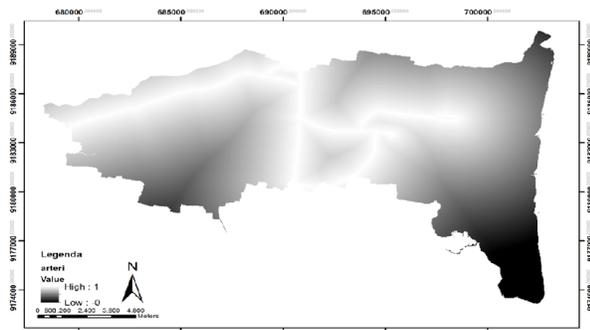
Dimana  $LU_{i,x,y}^{t+1}$  adalah pertumbuhan penggunaan lahan i pada waktu t+1 pada *cell* tertentu,  $LU_{xy}^t$  adalah perubahan kelas penggunaan lahan sebelum disimulasikan pada *cell* tertentu,  $TPi_{x,y}$  adalah peta transisi landuse i pada *cell* tertentu,  $G_{i,x,y}$  adalah jumlah *cell* yang diharapkan tumbuh,  $C_{i,x,y}$  adalah lahan penghambat / lahan yang tidak dapat

Tabel 1.  
Variabel pendorong perubahan penggunaan lahan

Tema	Variabel
Permukiman	Jalan arteri
	Jalan kolektor
	Fasilitas kesehatan
	Fasilitas perdagangan jasa
	Fasilitas pendidikan
	Jaringan air bersih
	Jaringan listrik
Perdagangan jasa	Permukiman eksisting
	Industri eksisting
	Jalan arteri
	Jalan kolektor
	Jaringan air bersih
Industri	Jaringan listrik
	Perdagangan jasa eksisting
	Permukiman eksisting
	Industri eksisting
	Jalan arteri



Gambar 2. Hasil fuzzy set variabel jaringan air bersih



Gambar 3. Hasil fuzzy set variabel jalan arteri

dikonversi,  $Z_{i,x,y}$  adalah sistem zonasi dan TS adalah time step iterasi [20].

Setelah melakukan simulasi maka, harus dilakukan validasi untuk mengetahui seberapa akurat hasil simulasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan peta hasil simulasi dengan kondisi eksisting di tahun yang sama. Dimana berdasarkan acuan akurasi yang dianggap layak adalah 80%-85% [22]. Selain itu hasil simulasi dapat diterima jika memiliki tingkat akurasi 80% [23].

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Konversi data dari ASCII format menjadi TIFF

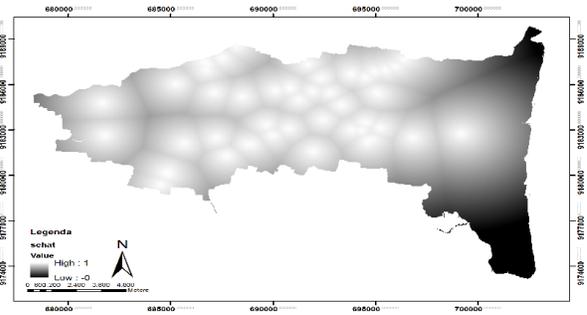
Data berupa peta yang digunakan untuk simulasi harus dikonversi menjadi format TIFF pada aplikasi LanduseSim.



Gambar 4. Hasil fuzzy set variabel jalan kolektor



Gambar 5. Hasil fuzzy set variabel jaringan listrik

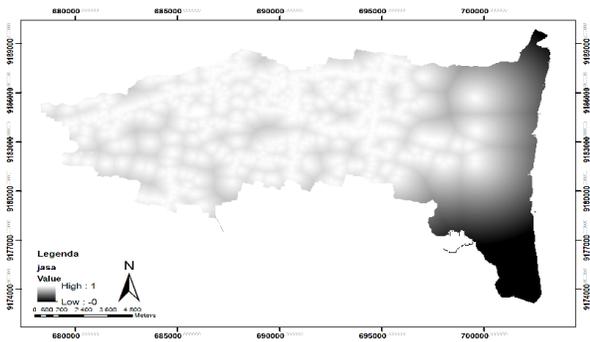


Gambar 6. Hasil fuzzy set variabel fasilitas kesehatan

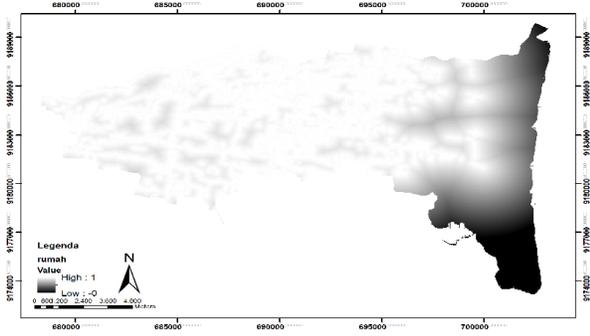


Gambar 7. Hasil fuzzy set variabel fasilitas pendidikan

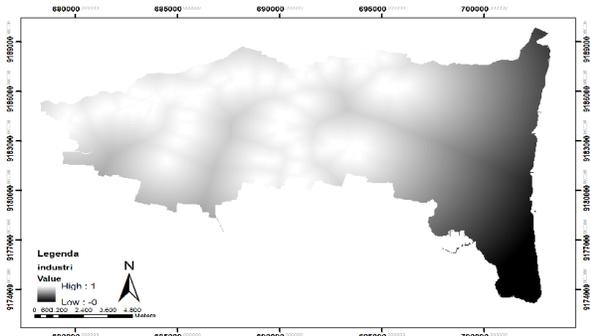
Peta penggunaan lahan harus dikonversi sebagai integer, karena bilangan di peta penggunaan lahan berupa bilangan bulat. Sedangkan peta variabel dikonversi sebagai float, karena bilangan pada peta variabel berupa bilangan desimal. Peta variabel yang digunakan adalah variabel hasil dari analisis delphi. Analisis delphi dalam penelitian ini dilakukan sebanyak dua kali eksplorasi dengan sekali iterasi. Hasil dari delphi dapat dilihat pada Tabel 1.



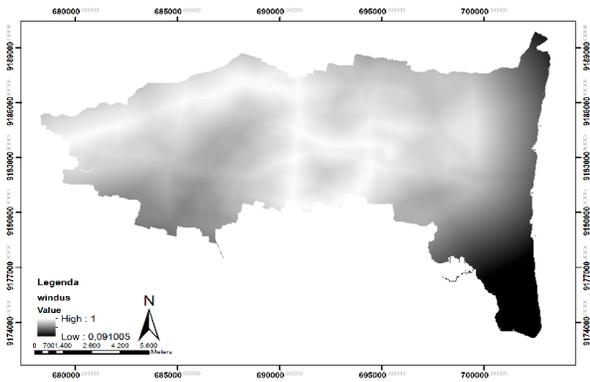
Gambar 8. Hasil fuzzy set variabel perdagangan jasa eksisting



Gambar 9. Hasil fuzzy set variabel permukiman eksisting



Gambar 10. Hasil fuzzy set variabel industri eksisting



Gambar 11. Transisi potensial map industri

**B. Standarisasi data peta variabel dengan metode Fuzzy Set pada software LanduseSim Versi 2.3**

Standarisasi berfungsi untuk memberikan nilai potensi perkembangan terbaik perubahan lahan. Pada penelitian ini semua peta variabel menggunakan standarisasi data *monotonically decreasing* (semakin dekat dengan variabel pendorong maka memiliki potensi tinggi untuk mengalami

perubahan lahan). Hasil standarisasi peta dapat dilihat pada Gambar 2-10.

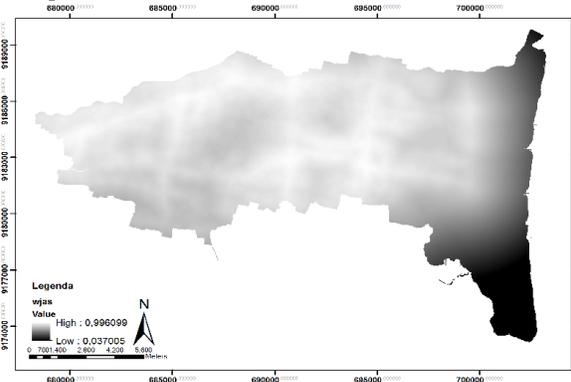
**C. Peta initial transition potential map**

Input data yang digunakan yaitu peta variabel yang sudah distandarisasi dan bobot setiap variabel. Bobot tersebut didapatkan dari hasil analisis AHP. Hasil analisis AHP dapat dilihat pada Tabel 2.

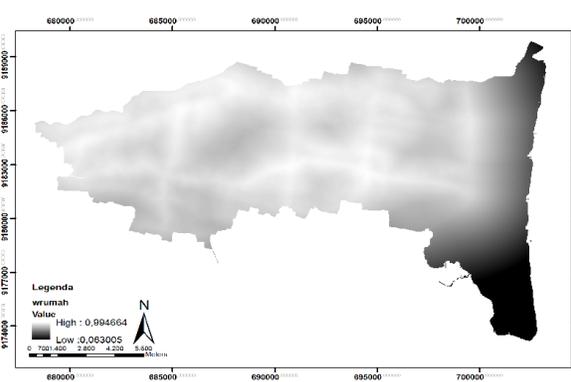
Tabel 2.  
Bobot variabel pendorong perubahan penggunaan lahan

Tema	Variabel	Bobot
Permukiman	Jalan arteri	0,184
	Jalan kolektor	0,221
	Fasilitas kesehatan	0,048
	Fasilitas perdagangan jasa	0,084
	Fasilitas pendidikan	0,053
	Jaringan air bersih	0,187
	Jaringan listrik	0,102
	Permukiman eksisting	0,068
	Industri eksisting	0,043
Perdagangan jasa	Jalan arteri	0,232
	Jalan kolektor	0,175
	Jaringan air bersih	0,078
	Jaringan listrik	0,107
	Perdagangan jasa eksisting	0,240
	Permukiman eksisting	0,103
Industri	Industri eksisting	0,065
	Jalan arteri	0,565
	Jaringan air bersih	0,253
	Jaringan listrik	0,179

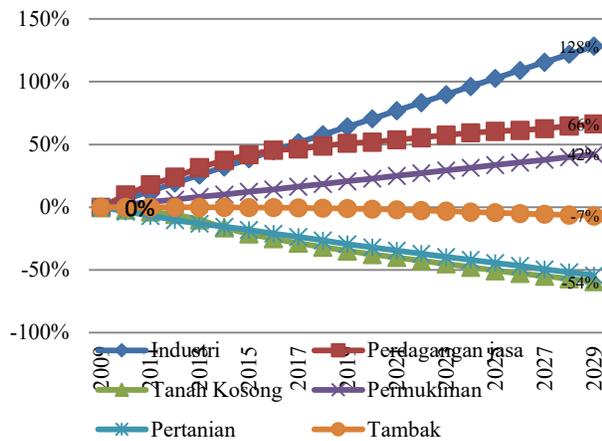
*Transition potential map* ini dibuat untuk setiap penggunaan lahan yang akan disimulasikan (permukiman, perdagangan jasa dan industri). Gambar 11-13 menunjukkan hasil peta inisial transisi.



Gambar 12. Transisi potensial map perdagangan jasa



Gambar 13. Transisi potensial map permukiman



Gambar 14. Grafik dinamika perubahan lahan hasil simulasi tahun 2009-2029

D. Neighborhood Filter/ sistem ketetangaan

Neighborhood filter merupakan proses perhitungan ketetangaan yang bekerja pada sistem grid. Pada penelitian ini menggunakan neighborhood filter 3X3. Neighborhood filter ini dipilih bertujuan agar model yang dihasilkan lebih kompak [24].

E. Transition rules pada

Tahap transition rules merupakan proses utama dan kunci dari proses simulasi perkembangan lahan. Pada tahap ini akan menentukan jenis penggunaan lahan yang akan disimulasikan, jumlah pertumbuhan luas lahan yang akan disimulasikan, lahan penghambat serta elastisitas.

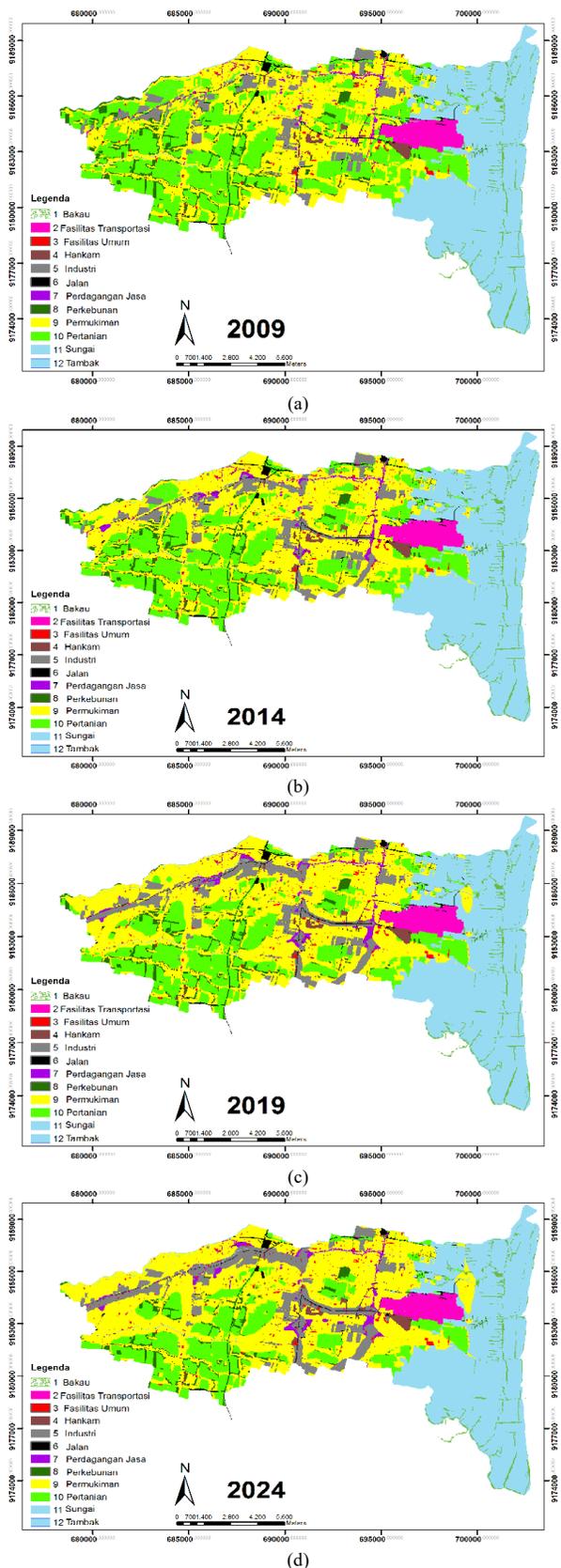
Pada penelitian ini penggunaan lahan yang akan disimulasikan adalah permukiman, perdagangan jasa dan industri. Dengan pertumbuhan masing-masing penggunaan lahan selaman 20 tahun mendatang adalah permukiman seluas 3515,4 Ha (70,0%); perdagangan jasa seluas 424,8 Ha (8,5%) dan industri seluas 1080 Ha (21,5%). Pada simulasi yang akan dilakukan ini lahan bakau, fasilitas transportasi, fasilitas umum, hankam, jalan dan sungai menjadi lahan penghambat.

F. Cellular Automata pada LanduseSim

LUC simulation merupakan modul proses analisis CA di LanduseSim. Dimana tahap simulasi ini terdapat beberapa ketentuan antara lain start date dan end date merupakan tahun awal dan akhir dilakukan simulasi, initial landuse merupakan data penggunaan lahan tahun awal yang akan disimulasi, set of transition rule merupakan aturan transisi untuk menentukan perkembangan lahan, neighborhood filter merupakan analisis ketetangaan serta time step merupakan banyaknya iterasi yang dilakukan selama periode simulasi (pada penelitian ini 20 iterasi atau setiap tahunnya). Berikut adalah hasil dari simulasi

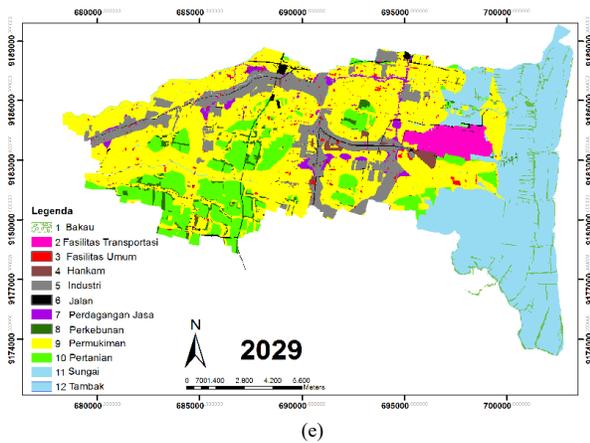
G. Validasi Hasil Simulasi

Validasi dalam penelitian ini menggunakan Overall Accuracy, dengan membandingkan peta hasil simulasi tahun 2018 dan peta eksisting tahun 2018. Hasil validasi hasil simulasi menunjukkan angka 83,63% yang berarti hasil simulasi sangat baik.

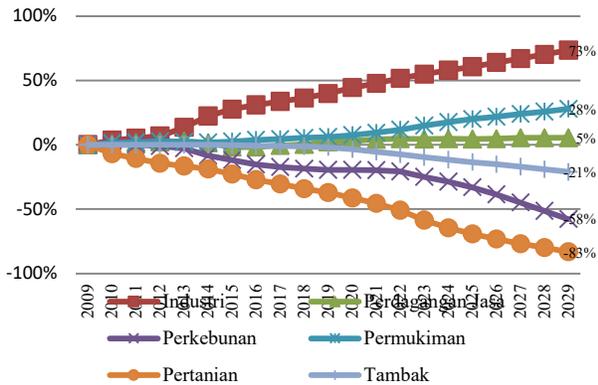


H. Hasil Simulasi

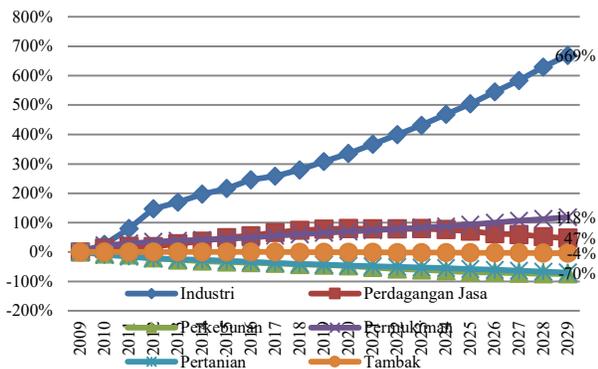
Gambar 14 menunjukkan bahwa lahan yang terkonversi adalah pertanian, tanah kosong dan tambak. Lahan permukiman mengonversi 398,43 Ha (9,1%) tambak;



Gambar 15. Hasil simulasi perubahan penggunaan lahan di wilayah peri urban kota Surabaya (kabupaten Sidoarjo) tahun 2009-2029



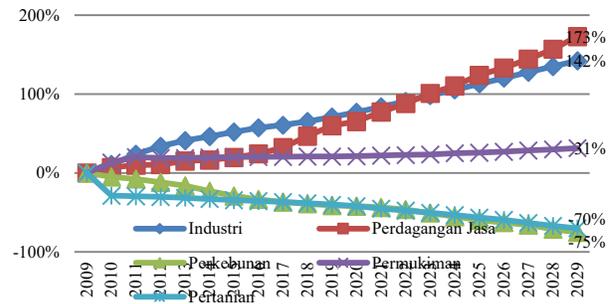
Gambar 16. Grafik dinamika perubahan lahan hasil simulasi di Kecamatan Waru tahun 2009-2029



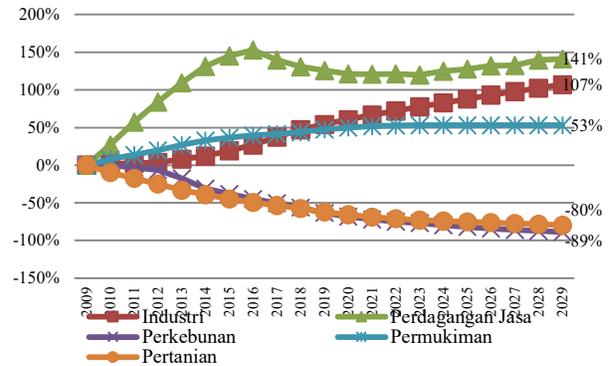
Gambar 17. Grafik dinamika perubahan lahan hasil simulasi di kecamatan sedati tahun 2009-2029

2424,42 Ha (55,6%) pertanian dan 434,88 Ha (1%) tanah kosong. Perdagangan jasa dari tahun 2009-2029 mengonversi 22,23 Ha (0,5%) pertanian; 2,7 Ha (0,06%) tanah kosong dan 153,81 Ha (3,5%) permukiman. Sedangkan industri mengonversi seluas 63 Ha (1,4%) perdagangan jasa; 28,62 Ha (1%) tanah kosong; 775,08 Ha (17,8%) permukiman dan 213,21 (4,9%) pertanian. Berikut merupakan peta hasil simulasi tahun 2009-2029.

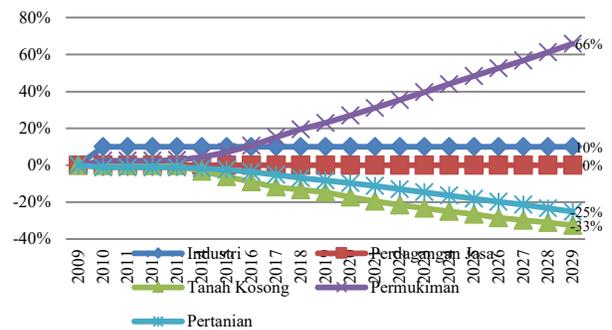
Gambar 15 menunjukkan bahwa pertumbuhan lahan yang terjadi lebih mengikuti jalan. Hal ini terjadi sesuai dengan variabel pendorong dan juga bobot terbesar diantara variabel lainnya. Perkembangan permukiman lebih berkembang kearah timur dan selatan, sedangkan untuk industri lebih



Gambar 18. Grafik dinamika perubahan lahan hasil simulasi di Kecamatan Gedangan tahun 2009-2029



Gambar 19. Grafik dinamika perubahan lahan hasil simulasi di Kecamatan Taman tahun 2009-2029



Gambar 20. Grafik dinamika perubahan lahan hasil simulasi di Kecamatan Sukodono tahun 2009-2029

banyak berkembang ke arah barat dan selatan. Untuk perkembangan perdagangan jasa berkembang mengikuti jalan. Namun, perkembangan perdagangan jasa tidak sebanyak permukiman dan industri.

Gambar 16 menunjukkan bahwa di Kecamatan Waru, penggunaan lahan permukiman mengonversi pertanian 284,49 Ha, tanah kosong 28,53 Ha dan tambak seluas 174,15 Ha. Penggunaan lahan industri di Kecamatan Waru mengonversi pertanian 4,41 Ha; tanah kosong 0,54 Ha; permukiman 136,08 Ha dan perdagangan jasa 11,34 Ha. Sedangkan untuk penggunaan lahan perdagangan jasa hanya mengonversi permukiman seluas 15,3 Ha.

Gambar 17 menunjukan bahwa permukiman di Kecamatan Sedati mengonversi pertanian seluas 542,52 Ha; tambak 224,01 Ha dan tanah kosong 26,1 Ha. Penggunaan lahan industri di Kecamatan Sedati dalam kurun 2009-2029 mengonversi pertanian seluas 30,51 Ha; perdagangan jasa 23,22 Ha; tanah kosong 9,54 Ha dan permukiman 162,45 Ha.

Sedangkan penggunaan lahan perdagangan jasa mengonversi pertanian 4,23 Ha dan permukiman 30,78 Ha.

Gambar 18 menunjukkan bahwa di Kecamatan Gedangan, permukiman mengonversi 337,05 Ha pertanian dan 76,68 Ha tanah kosong. Perdagangan jasa mengonversi 0,09 Ha pertanian dan 64,35 Ha permukiman. Sedangkan industri mengonversi 26,91 Ha pertanian, 21,69 Ha perdagangan jasa, 2,34 Ha tanah kosong dan 252,18 Ha permukiman.

Gambar 18 menunjukkan bahwa di Kecamatan Taman menunjukkan bahwa perkembangan permukiman mengonversi 748,44 Ha pertanian dan 182,43 Ha tanah kosong. Industri mengonversi pertanian seluas 31,77 Ha; perdagangan jasa 23,49 Ha; permukiman 276,48 Ha dan tanah kosong 5,67 Ha.

Gambar 19 menunjukkan bahwa di Kecamatan Sukodono hanya terjadi pada permukiman saja yang mengonversi 475,02 Ha pertanian dan 115,75 Ha tanah kosong. Untuk perdagangan jasa dan industri tidak mengalami perkembangan.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian yang sudah dilakukan untuk menjawab pemodelan perubahan penggunaan lahan berbasis cellular automata pada wilayah peri urban kota Surabaya di kabupaten Sidoarjo berhasil dilakukan dengan tingkat akurasi 83,63%. Namun dalam melakukan simulasi ini terdapat beberapa kendala yaitu adanya perbedaan klasifikasi penggunaan lahan peta tahun 2009 dan tahun 2028. Hal ini terjadi karena sumber data peta yang didapatkan berbeda, peta tahun 2009 didapatkan dari BAPPEDA Sidoarjo sedangkan peta tahun 2018 didapatkan dari hasil klasifikasi citra. Selain itu, dalam mengonversi polygon menjadi raster juga terdapat beberapa data eror. Dimana data eror tersebut dapat mempengaruhi tingkat akurasi. Penentuan variabel pendorong juga mengalami beberapa kendala salah satunya yaitu berbedanya pandangan antar stakeholder, maka perlu dilakukan dua kali eksplorasi dan sekali iterasi.

Dari hasil simulasi prediksi perkembangan lahan didapatkan bahwa permukiman bertambah seluas 2328,93 Ha (66,1%); perdagangan jasa bertambah 115,74 Ha (3,3%) dan industri bertambah 1080 Ha (30,6%) dalam kurun waktu 2009-2029. Sedangkan lahan yang terkonversi adalah tanah kosong seluas 466,2 Ha (13,2%); pertanian 2659,86 Ha (75,5%) dan tambak 398,43 Ha (11,3%).

Saran untuk penelitian selanjutnya menambahkan variabel yang lainnya seperti jumlah penduduk, PDRB, harga lahan, melibatkan masyarakat dalam menentukan variabel dan lainnya serta dapat melakukan simulasi di wilayah Kabupaten Sidoarjo keseluruhan. Selain itu dalam pengolahan persiapan data untuk proses simulasi lebih diperhatikan dan lebih akurat lagi. Sehingga akurasi dari hasil simulasi yang dilakukan akan lebih tinggi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Pryor, *Defining Urban Fringe*. North Carolina: University of North Carolina Press, 1970.
- [2] H. S. Yunus, *Dinamika wilayah peri-urban : determinan masa depan kota*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2008.
- [3] I. D. M. F. Septanaya and P. G. Ariastita, "Model perkembangan perumahan di wilayah peri urban Kota Surabaya (studi kasus: Kabupaten Sidoarjo)," *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, pp. C27-C32, 2012.
- [4] Badan Pusat Statistik Sidoarjo, *Kabupaten Sidoarjo dalam angka 2017*. Sidoarjo: Badan Pusat Statistik Sidoarjo.
- [5] S. Aronof, *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. Canada: WDL Publications Ottawa, 1991.
- [6] M. S. Wijaya and N. Umam, "Pemodelan spasial perkembangan fisik perkotaan Yogyakarta menggunakan model cellular automata dan regresi logistik biner," *Maj. Ilm. Globe*, vol. 17, no. 2, 2015.
- [7] S. Wolfram, "Statistical mechanics of cellular automata," *Rev. Mod. Physics*, vol. 55, no. 3, pp. 601-644, 1983.
- [8] H. Yu, Z. He, and X. Pan, "Wetlands shrink simulation using cellular automata: a case study in Sanjiang Plain, China," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 2, pp. 225-233, 2010.
- [9] M. Gardener, "Mathematical games: the fantastic combinations of John Conway's new solitaire game 'life,'" *Sci. Am.*, vol. 223, pp. 120-123, 1970.
- [10] S. Wolfram, *A New Kind of Science*, vol. 5. Wolfram media Champaign, IL, 2002.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] R. A. W. D. Syafitri and C. Susetyo, "Pemodelan pertumbuhan lahan terbangun sebagai upaya prediksi perubahan lahan pertanian di Kabupaten Karanganyar," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, pp. C255-C262, 2019.
- [14] M. N. Sadewo and I. Buchori, "Simulasi perubahan penggunaan lahan akibat pembangunan kawasan industri kendal (KIK) berbasis cellular automata," *Maj. Geogr. Indones.*, vol. 32, no. 2, pp. 142-154, 2018.
- [15] Y. Al-Darwish, H. Ayad, D. Taha, and D. Saadallah, "Predicting the future urban growth and its 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.
- [16] G. Rahardian, "Skenario perkembangan permukiman di kawasan perkotaan bandar kedungmulyo pasca terbangunnya interchange jalan tol Mojokerto-Kertosono," *POMITS*, pp. 1-9, 2015.
- [17] B. R. Witkin, *Assessing Needs in Educational and Social Programs*. Jossey-Bass, 1984.
- [18] W. Fahrozi, "Penerapan metode analytical hierarchy process (AHP) dalam menentukan ras ayam serama," *Creat. Inf. Technol. J.*, vol. 3, no. 3, pp. 214-277, 2016.
- [19] N. A. Pratomoatmojo, "LanduseSim methods: land use class hierarchy for simulations of multiple land use growth," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 202, no. 1, pp. 012-023.
- [20] N. A. Pratomoatmojo, "LanduseSim algorithm: land use change modelling by means of cellular automata and geographic information system," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 202, no. 1, pp. 012-020.
- [21] N. A. Pratomoatmojo, "Land Use Change Modelling Under Tidal Flood Scenario by Means of Markov Cellular Automata in Pekalongan Municipal," Universitas Gadjah Mada, 2012.
- [22] Sutanto, *Metode Penelitian Penginderaan Jauh*. Yogyakarta: Penerbit Ombak, Yogyakarta, 2013.
- [23] J. Easteman, *IDRISI Manual*. Worcester: IDRISI Production, 2012.