

Prediksi Potensi Deviasi Pola Ruang Permukiman Berbasis *Cellular Automata* (Studi Kasus: Kawasan Ekonomi Khusus Mekarputih, Kabupaten Kotabaru)

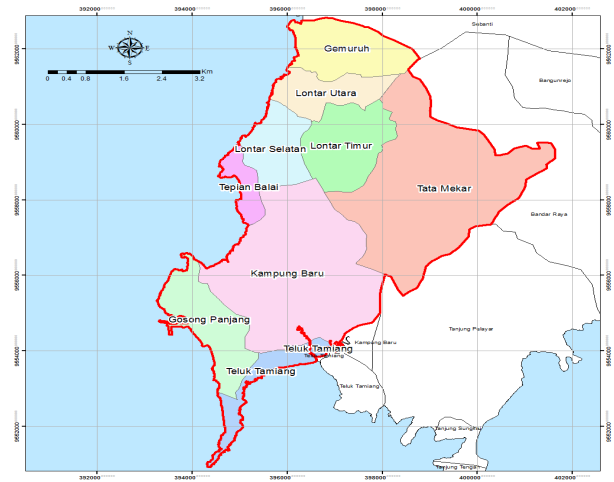
Khairun Nisa Abdillah, Nursakti Adhi Pratomoatmojo, Fendy Firmansyah, dan Surya Hadi Kusuma
Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: pratomoatmojo@urplan.its.ac.id

Abstrak—Kawasan mekarputih sebagai Kawasan Ekonomi Khusus memiliki rencana tata ruang yaitu RDTR kawasan mekarputih 2020-2040 yang berfokus pada industri. Dalam hal pelaksanaan, rencana tata ruang secara umum masih banyak terjadi penyimpangan di lapangan sehingga tidak sesuai dengan rencana yang telah disusun. Didukung dengan RDTR kawasan mekarputih serta peluang besar dari minat investor dalam berinvestasi, akan menyebabkan urbanisasi yang menambah kebutuhan tempat tinggal khususnya untuk kebutuhan industri di kawasan mekarputih. Untuk mengantisipasi dampak negatif yang tidak terkontrol, maka kawasan mekarputih memerlukan sebuah prediksi perkembangan penggunaan lahan permukiman guna memberikan gambaran perkembangan penggunaan lahan permukiman, serta mengetahui potensi deviasi yang terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan model spasial prediksi potensi deviasi pola ruang permukiman Kawasan Ekonomi Khusus mekarputih, Kabupaten Kotabaru hingga tahun 2040 dengan menggunakan metode analisis *cellular automata* yang digunakan untuk melakukan prediksi perkembangan permukiman hingga tahun 2040, analisis *delphi* dan *AHP (Analytical Hierarchy Process)* dalam menentukan faktor yang mempengaruhi perkembangan permukiman di kawasan mekarputih beserta bobotnya. Hasil penelitian ini adalah model perkembangan permukiman di kawasan mekarputih tahun 2020-2040 dengan akurasi sebesar 95,52 % dan melihat potensi deviasi yang terjadi di masa mendatang. Perkembangan permukiman di kawasan mekarputih disebabkan oleh faktor fasilitas pendidikan, perdagangan dan jasa, jalan utama, jalan lingkungan, kawasan pabrik/industri, permukiman eksisting, serta peruntukkan ruang permukiman. Potensi deviasi yang terjadi apabila hasil prediksi dibandingkan dengan rencana pola ruang kawasan mekarputih yaitu permukiman yang mengkonversi penggunaan lahan lain seperti fasilitas umum, hutan, industri, pertanian, sempadan pantai, transportasi, dan RTH seluas 337,99 Ha, rencana pola ruang permukiman yang tidak berkembang menjadi permukiman seluas 229,018 Ha, perkembangan permukiman yang sesuai dengan RDTR seluas 487,87 Ha. Kebutuhan permukiman berdasarkan prediksi hingga tahun 2040 seluas 828,09 Ha, sedangkan di rencana pola ruang kawasan mekarputih hanya merencanakan permukiman seluas 580,36 Ha, sehingga berpotensi terjadi perubahan penggunaan lahan yang tidak terkontrol.

Kata Kunci—*Cellular Automata*, Deviasi, Penggunaan Lahan, Permukiman.

I. PENDAHULUAN

URBANISASI yang sangat cepat dan konversi lahan pertanian menjadi lahan terbangun, merupakan faktor utama dari perubahan penggunaan/tutupan lahan di masa depan [1]. Hal ini dapat disebabkan adanya kegiatan perekonomian yang terus berkembang. Salah satu program



Gambar 1. Peta wilayah penelitian.

pemerintah yang dilakukan untuk mengembangkan wilayah adalah dengan pembentukan atau penetapan Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) berdasarkan UU No.39 Tahun 2009 tentang Kawasan Ekonomi Khusus dan PP No. 1 Tahun 2020 tentang Penyelenggaraan KEK di Indonesia. Pertumbuhan ekonomi yang terjadi akan menyebabkan urbanisasi, seperti migrasi pekerja menuju kawasan ekonomi yang akan membuat proses urbanisasi semakin cepat yang secara otomatis diikuti perubahan penggunaan lahan pada kawasan ekonomi, khususnya kebutuhan akan tempat tinggal.

Kawasan mekarputih, Kabupaten Kotabaru, telah ditetapkan menjadi Kawasan Ekonomi Khusus yang diharapkan dapat memberikan dampak pada kawasan mekarputih sendiri dan wilayah sekitarnya agar dapat berkembang lebih baik. Kawasan Ekonomi Khusus mekarputih diatur dalam RDTR kawasan mekarputih demi mendukung terbentuknya KEK Mekarputih yang sudah diatur dalam RTRW Kabupaten Kotabaru Tahun 2012-2032 yang merupakan kawasan strategis provinsi sebagai kawasan ekonomi khusus. Dalam hal pelaksanaan Rencana tata ruang masih banyak penyimpangan – penyimpangan yang terjadi di lapangan sehingga tidak sesuai dengan Rencana tata ruang yang sudah disusun, maka akan terjadi perubahan penggunaan lahan yang tidak terkontrol. Di kawasan mekarputih juga terdapat penyimpangan penggunaan lahan yang terindikasi, lahan yang sudah direncanakan menjadi industri di RTR kawasan mekarputih berkembang menjadi permukiman yang sekaligus mengindikasikan penggunaan lahan yang sudah kurang terkontrol di Kawasan mekarputih. Perubahan penggunaan lahan yang tidak terkontrol dapat menimbulkan

Tabel 1.
Aturan transisi perkembangan permukiman kawasan mekaputih

Penggunaan (Tahun)	Lahan	Estimasi Pertumbuhan Lahan (Ha)	Estimasi Pertumbuhan Lahan (cell)	Penggunaan Lahan <i>constraint</i>	Conraint Zone
2011-2020		63,31	703	Fasilitas umum, hutan, industri, tanah rawa, perdagangan dan jasa, RTH, Sempadan pantai, sungai, Transportasi	-
2020-2040		669,37	7437	Fasilitas umum, hutan, industri, tanah rawa, perdagangan dan jasa, RTH, Sempadan pantai, sungai, Transportasi	Rencana Industri Kawasan

Tabel 2.
Pertumbuhan penggunaan lahan kawasan mekaputih tahun 2011-2016 (Ha)

Penggunaan Lahan	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Permukiman	96,93	104	111	118	125	132
Pertanian	1838	1832	1825,6	1819	1813,5	1807,7
Semak Belukar	1246	1241	1240,5	1239	1238	1237
Lahan Terbuka	43,83	36,45	36,36	36,27	36,18	36,09

Tabel 3.
Pertumbuhan penggunaan lahan kawasan mekaputih tahun 2017-2022 (Ha)

Penggunaan Lahan	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Permukiman	139	146	153	160	193,68	227
Pertanian	1802	1796,6	1791	1785	1764	1744
Semak Belukar	1236	1235	1234	1233	1220	1208
Lahan Terbuka	35,64	35,46	35,37	35,28	34,92	34,56

Tabel 4.
Pertumbuhan penggunaan lahan kawasan mekaputih tahun 2023-2028 (Ha)

Penggunaan Lahan	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Permukiman	260,4	294	327	360,6	394	427
Pertanian	1723	1700	1678	1658	1636	1615
Semak Belukar	1196	1185,5	1174,5	1163	1149	1137
Lahan Terbuka	34,2	34,11	34,02	34,02	34,02	34

Tabel 5.
Pertumbuhan penggunaan lahan kawasan mekaputih tahun 2029-2034 (Ha)

Penggunaan Lahan	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Permukiman	460,8	494	527,5	561	594	627,7
Pertanian	1595	1573	1552	1530	1510	1490
Semak Belukar	1124	1113	1100	1089,5	1076,5	1064
Lahan Terbuka	33,66	33,48	33,21	32,76	32,49	31,86

Tabel 6.
Pertumbuhan penggunaan lahan kawasan mekaputih tahun 2035-2040 (Ha)

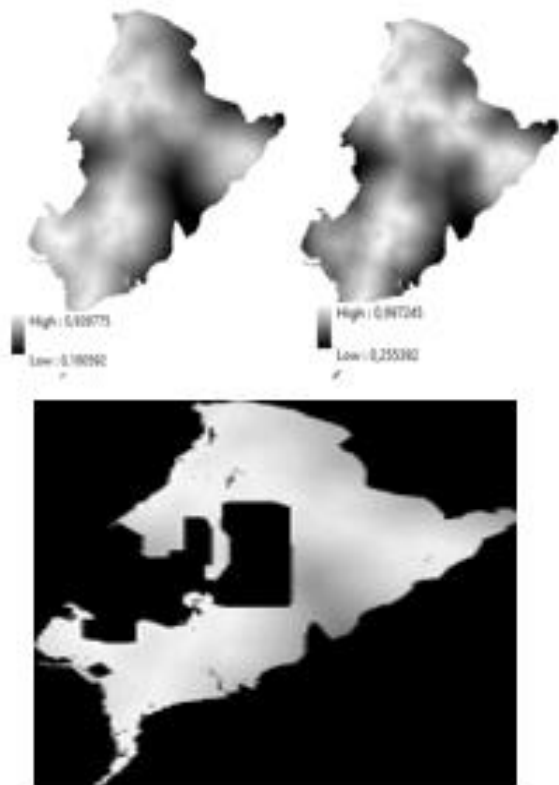
Penggunaan Lahan	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Permukiman	661	694,5	728	761	794,7	828
Pertanian	1470,5	1452	1432,5	1412	1391,6	1371
Semak Belukar	1051	1036	1023	1010	998	985
Lahan Terbuka	31,23	30,69	30,33	30,06	29,52	29,25

masalah sosial, ekonomi dan lingkungan [2]. Adanya rencana penetapan tentang kawasan Ekonomi terlihat pada Gambar 1.

Khusus mekarputih didukung dengan rencana detail tata ruang kawasan mekaputih serta peluang besar dari minat investor dalam berinvestasi di kawasan mekaputih akan menyebabkan urbanisasi yang akan menambah kebutuhan tempat tinggal. Dalam rangka mengantisipasi konversi lahan yang tidak terkontrol maka dibutuhkan perencanaan yang tepat sesuai dengan kebutuhan dimasa mendatang. Oleh karena itu kawasan mekaputih memerlukan sebuah prediksi perkembangan penggunaan lahan permukiman guna

memberikan gambaran perkembangan penggunaan lahan permukiman, khususnya pola ruang yang sudah direncanakan serta mengetahui potensi deviasi yang akan terjadi.

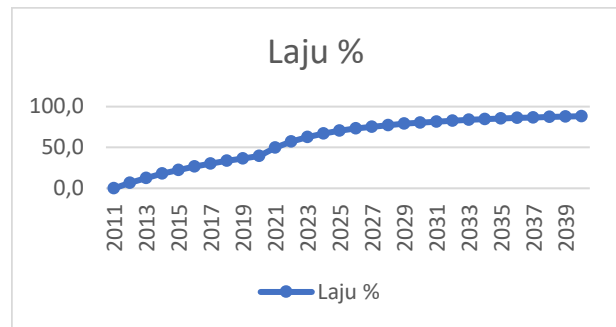
Simulasi penggunaan lahan merupakan pendekatan populer untuk menguji kebijakan dan strategi dalam rangka mengurangi dampak dari pembangunan yang tidak diinginkan dengan beberapa skenario perencanaan [3]. Penelitian ini menggunakan alat analisis perangkat lunak Landusesim yang berprinsip terhadap teori *Cellular Automata* (CA) yang berupaya untuk memodelkan potensi deviasi pola ruang permukiman kawasan mekaputih tahun



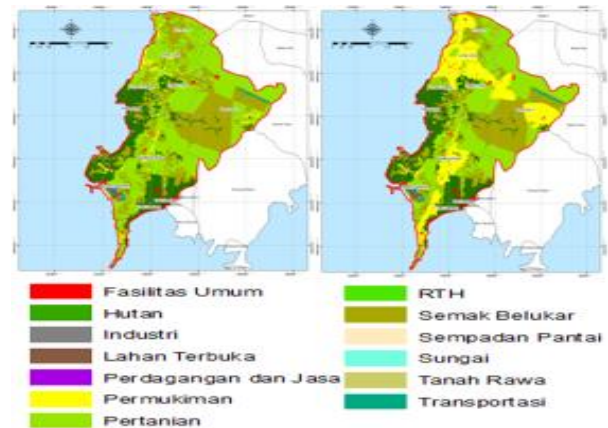
Gambar 2. Peta transisi perkembangan lahan kawasan mekaputih, peta transisi tahun 2011-2020, peta transisi tahun 2020-2040.

2040. CA adalah suatu metode komputasi untuk memprediksi perubahan sistem dinamik yang bergantung pada aturan sederhana dan berkembang menurut aturan tersebut dari waktu ke waktu [2]. Konsep CA dikenalkan sekitar tahun 1940 an oleh Ulam dan Neumann untuk menyediakan kerangka untuk menginvestigasi perilaku sistem yang kompleks [4]. tahun 1970 John Horton Conway yang merupakan matematikawan inggris mengembangkan lebih lanjut CA yang diberi nama *Game of Life*. Kemudian ada kajian sederhana terhadap CA yang disebut Elementary Cellular Automata pada tahun 1983 [5]. Hasil kajian tersebut yaitu jenis-jenis CA dasar yang bekerja berdasarkan sekumpulan aturan yang dapat diwujudkan melalui program komputer sederhana [6]. Pada tahun 1979, Aplikasi CA diperkenalkan pada pemodelan geografis. CA mulai dikembangkan untuk studi perkotaan [7-8]. Hingga pada tahun 2002 Metode CA mulai dikenalkan untuk perencanaan penggunaan lahan [9].

LanduseSim merupakan software yang didesain dan dikembangkan untuk kebutuhan perencanaan dimana perencana memiliki kemampuan untuk menentukan faktor-faktorspasial yang digunakan untuk memprediksi masa depan dengan pendekatan perencanaan [10]. Penggunaan *software* Landusesim dikarenakan LanduseSim salah satu aplikasi yang dapat meramalkan / memprediksi perkembangan wilayah melalui simulasi penggunaan lahan. Dengan menggunakan Teknik komputasi, LanduseSim dapat dijadikan alat untuk melakukan simulasi spasial, termasuk simulasi penggunaan lahan yang memiliki kemampuan mengakomodasi pendekatan bottom-up dan top-down [10]. Beberapa penelitian yang menggunakan LanduseSim



Gambar 3. Grafik laju perkembangan permukiman kawasan mekaputih (%).



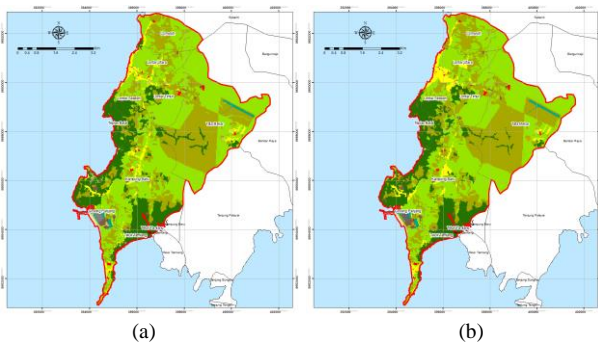
Gambar 4. Peta perkembangan penggunaan lahan permukiman kawasan mekaputih, tahun 2011 (eksisting) dan tahun 2040 (simulasi).

sebelumnya menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi, seperti Satrio dan Adhi (2019) memodelkan Perkembangan Permukiman dengan Batasan Kawasan Rawan Banjir di Perkotaan Kabupaten Bojonegoro pada 3 kecamatan dengan akurasi model 97% [11]. Penelitian Sadewo (2018) memodelkan Perubahan Penggunaan Lahan Akibat Pembangunan Kawasan Industri Kendal (KIK) dengan *overall accuracy* 95,68% [12]. Penelitian dari Darwish dkk (2018) memprediksi pertumbuhan perkotaan di masa depan dan dampaknya terhadap lingkungan sekitar di Yaman dengan rasio kecocokan secara keseluruhan adalah 93,76 % dan rasio kecocokan untuk lapisan perkotaan adalah 89,40%. Penelitian simulasi penggunaan lahan menggunakan LanduseSim juga pernah diterapkan di Kota Surabaya seperti pada penelitian Rahmawati dan Pratomoatmojo (2019) memodelkan perubahan penggunaan lahan pada Wilayah Peri Urban Kota Surabaya di Kabupaten Sidoarjo dengan tingkat akurasi model 83,63% [13]. Penelitian dari Lestari dan Pratomoatmojo (2019) memodelkan prediksi perkembangan kawasan permukiman berbasis *cellular automata* dengan pendekatan kependudukan di Surabaya timur dengan tingkat akurasi model 91,83% [14].

II. METODE PENELITIAN

A. Wilayah Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Kabupaten Kotabaru, Kalimantan Selatan lebih tepatnya Kawasan Ekonomi Khusus mekarputih yang memiliki luas sebesar 3986,36 Ha. Kawasan mekaputih terdiri dari 2 Kecamatan dan 9 Desa yaitu Kecamatan Pulau Laut Barat yang terdiri dari Desa



Gambar 5. Peta penggunaan lahan kawasan mekaputih (a) Tahun 2020 eksisting, (b) Tahun 2020 simulasi.

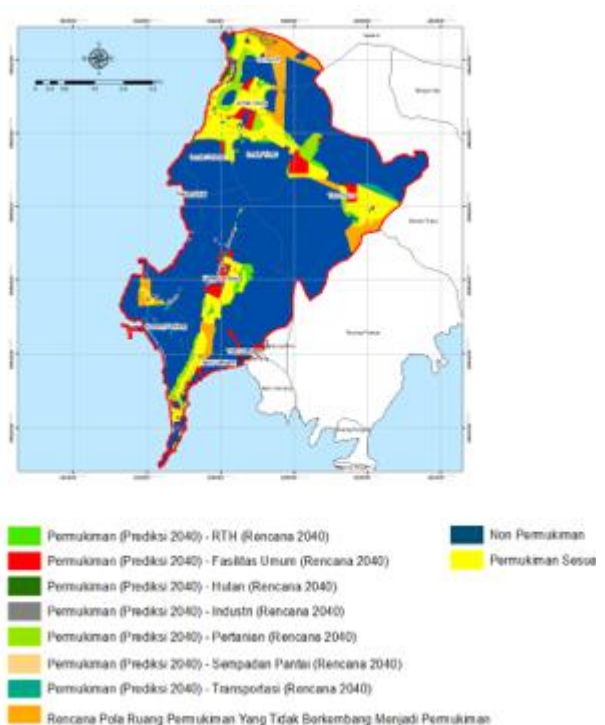
Lontar Selatan, Desa Lontar Timur, Desa Lontar Utara, Desa Gemuruh, serta Desa Tepian Balai, sedangkan untuk Kecamatan Pulau Laut Tanjung Selayar terdiri dari Desa Tata Mekar, Desa Teluk Tamiang, Desa Kampung Baru, dan Desa Gosong Panjang (Gambar 1).

B. Metode Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini diperoleh dari survei primer dan sekunder. Data yang diperoleh dari survei primer diantaranya Observasi wilayah penelitian, kuesioner delphi, serta kuesioner AHP. Sedangkan data yang diperoleh dari survei sekunder adalah RDTR kawasan mekaputih tahun 2020-2040, RTR kawasan mekaputih, peta penggunaan lahan kawasan mekaputih tahun 2011 dan 2020 serta peta faktor pendorong perkembangan permukiman yang berasal dari Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah Kabupaten Kotabaru (BAPPEDA) dan Dinas PUPR Kabupaten Kotabaru. Data lain berupa jumlah penduduk didapatkan dari BPS Kecamatan Pulau Laut Barat dan BPS Kecamatan Pulau Laut Tanjung Selayar.

C. Estimasi Luas Perkembangan Permukiman Hingga Tahun 2040

Perhitungan luas pertumbuhan permukiman dari tahun 2011–2040 terbagi menjadi dua dengan mekanisme pendekatan *trend* dan target. pertama melihat estimasi perkembangan permukiman untuk simulasi prediksi tahun 2011-2020 menggunakan data *trend* dari perubahan penggunaan lahan tahun 2011-2020. sedangkan untuk simulasi prediksi tahun 2020-2040 menggunakan target kebutuhan permukiman industri tenaga kerja pendatang dengan melakukan perhitungan matematika berupa perkalian dan pembagian yang didasarkan oleh Permenperin Nomor 40 Tahun 2016 tentang pedoman teknis Kawasan Industri, sedangkan untuk kebutuhan rumah penduduk lokal dilakukan proyeksi penduduk dengan metode aritmatika dan melakukan perhitungan matematika berupa perkalian dan pembagian yang didasarkan oleh beberapa sumber pedoman seperti Permen Perumahan Rakyat RI Nomor 10 Tahun 2012 tentang Penyelenggaraan Perumahan dan Kawasan Permukiman dengan Hunian Berimbang, RP4D Kabupaten (Keputusan Menteri Negara Perkim Nomor 09/KPTS/M/IX/1999, dan SNI 03-1733-2004 Tentang Tata Cara Perencanaan Lingkungan Perumahan di Perkotaan. Setelah dilakukan penambahan dari perhitungan kebutuhan permukiman industri dan penduduk lokal maka diperoleh estimasi luas perkembangan permukiman kawasan mekaputih tahun 2020-



Gambar 6. Peta potensi deviasi perkembangan permukiman kawasan mekarputih prediksi 2040 terhadap rencana pola ruang 2040.

2040. Perhitungan luas akan menghasilkan luasan permukiman yang didalamnya terdiri dari perumahan serta dukungan terhadap sarana dan prasarana sosial

D. Simulasi Prediksi Perkembangan Permukiman Kawasan mekaputih

Simulasi prediksi pada penelitian ini merupakan simulasi *single landuse* yaitu memprediksi penggunaan lahan permukiman. Dalam melakukan prediksi perkembangan permukiman, pada penelitian digunakan perangkat lunak LanduseSim versi 2.3.1 untuk simulasi Prediksi dan dibantu dengan ArcGIS 10.7 sebagai persiapan data. Ukuran *cell* yang digunakan adalah 30 dengan asumsi 1 *cell* pada model spasial yang disimulasikan sama dengan 30 x 30 m² di lapangan. Berikut langkah-langkah dalam melakukan simulasi LanduseSim.

1) Pembuatan Aturan dan Peta Transisi

Sebelum melakukan simulasi diperlukan persiapan data untuk penyusunan *transition map*. pertama, melakukan penentuan faktor-faktor pendorong perubahan penggunaan lahan permukiman kawasan mekaputih yang didapatkan melalui sintesa pustaka dari kajian teori yang telah dilakukan sebelumnya, kemudian faktor-faktor tersebut di justifikasi menggunakan analisis *Delphi*, kemudian dibobatkan menggunakan analisis *Analytical Hierarchy Process (AHP)* sebagai model pendukung keputusan yang mengurai suatu model menjadi hirarki [15]. Pembobotan bertujuan untuk mengetahui tingkat pengaruh antar variabel dengan menggunakan bantuan dari perangkat lunak *Expert Choice*, identifikasi faktor-faktor tersebut juga menggunakan bantuan dari stakeholder selaku *expert* dalam menentukan faktor yang berpengaruh. Faktor-faktor pendorong yang telah dibobatkan kemudian dibentuk menjadi data euclidean distance menggunakan aplikasi ArcGIS 10.7. Selain itu data

penggunaan lahan tahun 2011 dan 2020, constraint zone, dan seluruh data yang dipersiapkan untuk simulasi dikonversi menjadi data ASCII.

Data ASCII yang telah dipersiapkan kemudian dikonversi menjadi data *raster*. Faktor-faktor pendorong yang berformat *raster* selanjutnya dikonversi menjadi data *fuzzy set* agar keseluruhan data variabel pendorong yang digunakan memiliki rentang nilai yang seragam [16]. *Fuzzy set* pada LanduseSim terdiri dari dua jenis yaitu *monotonically decreasing* dan *monotonically increasing*. penelitian ini menggunakan jenis *fuzzy set monotonically decreasing*. Hal ini berarti semakin dekat dengan faktor pendorong maka akan semakin berpotensi untuk berubah menjadi lahan permukiman. Adapun data faktor pendorong yang digunakan untuk simulasi prediksi tahun 2011-2020 menggunakan data tahun 2011, sedangkan untuk simulasi Prediksi tahun 2020-2040 menggunakan data Rencana dari RDTR kawasan mekaputih, berikut merupakan algoritma *fuzzy set membership monotonically decreasing* di LanduseSim [17]:

$$S_{std_{x,y}} = \frac{S_{max_{x,y}} - S_{i_{x,y}}}{S_{max_{x,y}} - S_{min_{x,y}}}$$

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

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

max = Nilai maksimum dari nilai kesesuaian/nilai jarak

Setelah dikonversi menjadi *fuzzy set*, faktor-faktor pendorong tahun 2011 dan rencana kemudian masing-masing di bobotkan menggunakan perangkat *weighted raster* sesuai dengan bobot yang telah ditentukan pada analisis AHP. Hasil dari *weighted raster* tahun 2011 dan rencana kemudian digunakan untuk membuat peta transisi menggunakan perangkat *transition rules* (Gambar 2). Pada tahap *transition rules* di penelitian ini dibagi menjadi dua sesuai dengan input *weighted raster* dengan tambahan data berupa estimasi penggunaan lahan tahun 2011-2020, estimasi penggunaan lahan tahun 2020-2040 serta aturan *elasticity change*. Hasil dari tahapan ini adalah peta aturan transisi perkembangan permukiman kawasan mekaputih tahun 2011-2020 dan tahun 2020-2040. Adapun algoritma dalam pembentukan peta transisi di LanduseSim adalah [17]:

$$TPi_{x,y} = \sum_{z=0}^n (Ni_{(z \rightarrow n(x,y))})$$

Keterangan:

$TPi_{x,y}$ = 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), n merupakan jumlah total cell tetangga dengan atau tanpa pusat cell

2) Penentuan Neighbourhood Filter

Pada penelitian ini menggunakan *Neighbourhood filter* 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 [10].

3) Penentuan Zoning Constraint Map

Zoning constraint map dilakukan untuk membatasi area pertumbuhan pada model spasial yang disimulasikan, sehingga zona tersebut dapat dihindari dari konversi penggunaan lahan yang berkembang. Pada penelitian *zoning constraint map* hanya dilakukan di simulasi prediksi tahun 2020-2040, *constraint map* yang digunakan adalah rencana kawasan industri, yang dimana nilai 1 akan diberikan pada rencana kawasan non industri dan nilai 0 pada rencana kawasan industri. Peta aturan transisi pada tahun 2020-2040 sebelumnya disesuaikan dengan constraint zone dengan menggunakan modul *TP with Zoning*.

4) Proses Simulasi

Proses simulasi pada penelitian ini terbagi menjadi, pertama simulasi prediksi tahun 2011-2020 dengan memasukkan peta penggunaan lahan dasar yaitu tahun 2011 sebagai awal simulasi dan dilakukan iterasi sebanyak 9 kali. Sedangkan, simulasi prediksi tahun 2020-2040 memasukkan peta penggunaan lahan dasar yaitu tahun 2020 yang merupakan hasil simulasi prediksi tahun 2011-2040, dan dilakukan iterasi sebanyak 20 kali. Sehingga dari kedua simulasi tersebut menghasilkan peta prediksi perkembangan permukiman setiap tahun dalam rentang 2011-2040. Selain itu data yang dimasukkan pada proses simulasi prediksi adalah *neighborhood filter* serta *transition map* masing-masing simulasi. Algoritma yang digunakan pada tahap simulasi prediksi adalah [17]:

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

Keterangan:

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

$LU_{x,y}^t$ = 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.

$Z_{i_{x,y}}$ = Sistem zonasi

TS = Time step iterasi dari cellular automata

5) Validasi

Model spasial yang telah dihasilkan akan divalidasi menggunakan perhitungan *overall accuracy*. *overall accuracy* merupakan perhitungan yang membandingkan luas lahan yang disimulasikan terhadap luas lahan eksisting dalam bentuk persentase [18].

E. Potensi Deviasi

Setelah melakukan simulasi prediksi perkembangan permukiman hingga tahun 2040, kemudian dilakukan tahap

penentuan potensi deviasi, yaitu dengan mengkomparasikan peta simulasi prediksi tahun 2040 dengan rencana pola ruang kawasan mekaputih menggunakan Teknik *overlay (intersect)* di aplikasi ArcGIS 10.7. Hasil dari tahap ini berupa peta potensi deviasi kawasan mekaputih di masa yang akan datang seperti permukiman yang terdeviasi ke penggunaan lahan lain dan deviasi kepada rencana pola ruang permukiman yang tidak berkembang menjadi permukiman pada hasil simulasi prediksi perkembangan permukiman.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Estimasi Luas Perkembangan Permukiman Hingga Tahun 2040

Estimasi luas pada penelitian ini dibagi menjadi dua jenis pendekatan. Yang pertama, pendekatan *trend* untuk estimasi luas simulasi tahun 2011-2020, dengan cara mengidentifikasi pola perubahan penggunaan lahan kawasan mekaputih tahun 2011-2020 menggunakan Teknik *overlay (Intersect)* dengan aplikasi ArcGIS 10.7. Berdasarkan hasil analisis perubahan penggunaan lahan kawasan mekaputih mengalami pertumbuhan pada penggunaan lahan hutan (27,32 Ha), Industri (1,5 Ha), Permukiman (63,31 Ha), Pertanian (13,33 Ha), serta Tanah rawa (1,89 Ha). Penggunaan lahan yang mengalami penurunan adalah penggunaan lahan lahan terbuka (-7,35 Ha) dan semak belukar (-100 Ha). Sedangkan penggunaan lahan yang luas nya tetap adalah fasilitas umum (19,63 Ha), Perdagangan dan jasa (0,63 Ha), Sempadan Pantai (14,83 Ha), Sungai (1,21 Ha), dan transportasi (33,89 Ha). Setelah mengetahui pola perkembangannya, dapat diketahui bahwa estimasi luas perkembangan permukiman untuk simulasi prediksi tahun 2011-2040 adalah 63,31 Ha.

Estimasi luas perkembangan permukiman yang kedua dengan pendekatan target untuk simulasi prediksi tahun 2020-2040. Kebutuhan permukiman industri untuk tenaga kerja pendatang dengan melakukan perhitungan matematika berupa perkalian dan pembagian yang didasarkan oleh Permenperin Nomor 40 Tahun 2016 tentang pedoman teknis Kawasan Industri, dihasilkan estimasi perkembangan permukiman seluas 589,904 Ha.

Sedangkan untuk kebutuhan permukiman penduduk lokal dilakukan proyeksi penduduk dengan metode aritmatika dan melakukan perhitungan matematika berupa perkalian dan pembagian yang didasarkan oleh beberapa sumber pedoman seperti Permen Perumahan Rakyat RI Nomor 10 Tahun 2012 tentang Penyelenggaraan Perumahan dan Kawasan Permukiman dengan Hunian Berimbang, RP4D Kabupaten (Keputusan Menteri Negara Perkim Nomor 09/KPTS/M/IX/1999, dan SNI 03-1733-2004 Tentang Tata Cara Perencanaan Lingkungan Perumahan di Perkotaan, dihasilkan estimasi perkembangan permukiman untuk penduduk lokal adalah 79,47 Ha. Dapat diketahui estimasi luas perkembangan permukiman untuk simulasi prediksi tahun 2020-2040 adalah seluas 669,37 Ha. Keseluruhan luas dari perhitungan kebutuhan permukiman industri dan penduduk lokal sudah mempertimbangkan dukungan sarana dan prasarana sosial dalam permukiman.

B. Peta Transisi

Langkah awal pada tahap ini adalah mengidentifikasi faktor-faktor pendorong perkembangan permukiman kawasan mekaputih beserta bobotnya berdasarkan analisis delphi dan AHP terdiri dari faktor fasilitas Pendidikan (0,047), perdagangan dan jasa (0,083), jalan utama (0,214), jalan lingkungan (0,085), kawasan pabrik/industri (0,098), permukiman eksisting (0,242), dan peruntukkan ruang permukiman (0,232). Faktor-faktor yang digunakan adalah data tahun 2011 dan rencana.

Faktor yang telah dibobotkan beserta estimasi perkembangan permukiman yang telah ditentukan sebelumnya kemudian dijadikan masukan dalam pembuatan peta transisi dengan hasil seperti pada Tabel 1.

C. Simulasi Prediksi Perkembangan Permukiman Kawasan Mekaputih

Pertumbuhan permukiman hingga tahun 2040 berkembang mengikuti jalan utama dan permukiman eksisting yang sudah ada. Permukiman tumbuh dari tahun 2020 seluas 160,29 Ha menjadi 828,09 Ha di tahun 2040, pertumbuhan permukiman mengakibatkan terjadinya konversi penggunaan lahan. Penggunaan lahan yang paling banyak terkonversi menjadi permukiman adalah pertanian yang berkurang sebanyak 414 Ha, penggunaan lahan lain yang terkonversi adalah semak belukar sebanyak 247,7 Ha dan lahan terbuka sebanyak 6,03 Ha. Laju perkembangan permukiman kawasan mekaputih sebesar 88,28% (731,07 Ha) pada Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6. Gambar 3 menunjukkan grafik laju perkembangan permukiman kawasan mekaputih dan Gambar 4 menunjukkan peta perkembangan penggunaan lahan permukiman kawasan mekaputih.

D. Validasi

Validasi model spasial dilakukan dengan membandingkan peta 2020 eksisting dan peta 2020 hasil simulasi (Gambar 5). Berdasarkan hasil *overall accuracy*, tingkat akurasi modelnya adalah 95,52%.

E. Potensi Deviasi

Berdasarkan hasil *overlay* penggunaan lahan tahun 2040 dengan rencana pola ruang kawasan mekaputih diketahui bahwa terdapat penggunaan lahan permukiman yang telah sesuai dengan keadaan rencana yaitu seluas 487,87 Ha. terdapat penggunaan lahan permukiman yang mengkonversi penggunaan lahan lain seperti fasilitas umum, hutan, industri, pertanian, sempadan pantai, transportasi, dan RTH seluas 337,99 Ha, adanya deviasi terhadap penggunaan lahan lain ini juga dipengaruhi oleh permukiman eksisting yang telah ada di kawasan mekaputih (Gambar 6).

Terdapat rencana pola ruang permukiman yang tidak berkembang menjadi permukiman seluas 229,018 Ha. Ketersediaan lahan di masa yang akan datang mengacu pada rencana pola ruang kawasan mekaputih peruntukkan ruang permukiman sampai pada tahun 2040 seluas 580,36 Ha, namun setelah dilakukan simulasi dengan kebutuhan penduduk dan kebutuhan rencana industri menunjukkan bahwa hingga tahun 2040 di perkiraan pertumbuhan

permukiman menjadi 828,09 Ha termasuk eksisting, maka pertumbuhan akan melebihi dari rencana pola ruang permukiman yang telah ditentukan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui potensi deviasi pola ruang permukiman kawasan mekaputih berbasis CA dengan adanya rencana kawasan industri berhasil dilakukan. Hasil pemodelan menghasilkan tingkat akurasi 95,52%, hasil tersebut diklasifikasikan sebagai model yang sangat baik. Model penggunaan lahan permukiman yang disimulasikan hingga tahun 2040 memiliki luas 828,09 Ha yang pada awalnya memiliki luas 96,93 Ha pada tahun 2011, laju pertumbuhan permukiman hingga tahun 2040 sebesar 88,28%. Potensi deviasi pada pola ruang permukiman terbagi menjadi dua yaitu potensi deviasi permukiman ke penggunaan lahan lain yang berarti pada simulasi berkembang sebagai permukiman akan tetapi di rencana pola ruang peruntukannya sebagai penggunaan lahan non permukiman seluas 337,99 Ha. Yang kedua, deviasi permukiman ke rencana pola ruang permukimannya yang berarti pada saat simulasi tidak berkembang sebagai permukiman sedangkan di rencana pola ruang sudah di peruntukkan untuk permukiman seluas 229,018 Ha. Dalam penelitian ini juga mengindikasikan potensi kekurangan ketersediaan lahan yaitu pada rencana pola ruang permukiman dialokasikan seluas 580,36 Ha, setelah di simulasikan potensi perkembangan permukiman menjadi seluas 828,09 Ha, simulasi pada penelitian ini didasarkan pada trend penggunaan lahan, target kebutuhan permukiman industri, dan target kebutuhan penduduk lokal hingga tahun 2040, sehingga dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya penduduk maka perkembangan lahan permukiman akan terus bertambah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Han, C. Yang, and J. Song, "Scenario simulation and the prediction of land use and land cover change in Beijing, China," *Sustain.*, vol. 7, no. 4, pp. 4260–4279, 2015.
- [2] D. W. Wardani, P. Danoedoro, and B. Susilo, "Kajian perubahan penggunaan lahan berbasis citra penginderaan jauh resolusi menengah dengan Metode Multi Layer Perceptron dan Markov Chain," *Maj. Geogr. Indones.*, vol. 30, no. 1, pp. 9–18, 2016.
- [3] F. Hosseinali, A. A. Alesheikh, and F. Nourian, "Agent-based modeling of urban land-use development, case study: Simulating future scenarios of Qazvin city," *Cities*, vol. 31, pp. 105–113, 2013.
- [4] 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.
- [5] S. Wolfram, "Statistical mechanics of cellular automata," *Rev. Mod. Phys.*, vol. 55, no. 3, p. 601, 1983.
- [6] S. Wolfram, "Cellular automata as simple self-organizing systems," *Caltech Prepr. CALT*, pp. 68–938, 1982.
- [7] H. Couclelis, "Cellular worlds: a framework for modeling micro-macro dynamics," *Environ. Plan. A*, vol. 17, no. 5, pp. 585–596, 1985.
- [8] R. White and G. Engelen, "Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns," *Environ. Plan. A*, vol. 25, no. 8, pp. 1175–1199, 1993.
- [9] X. Li and A. G.-O. Yeh, "Modelling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 14, no. 2, pp. 131–152, 2000.
- [10] N. A. Pratomatmojo, "LanduseSim Sebagai Aplikasi Pemodelan dan Simulasi Spasial Perubahan Penggunaan Lahan Berbasis Sistem Informasi Geografis dalam Konteks Perencanaan Wilayah dan Kota." Seminar Nasional CITIES, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [11] D. S. Septawicaksono and N. A. Pratomatmojo, "Prediksi perkembangan permukiman berbasis cellular automata dengan batasan kawasan rawan banjir di perkotaan Kabupaten Bojonegoro," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. C131–C137, 2020.
- [12] M. N. Sadevo 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.
- [13] M. Rahmawati and N. A. Pratomatmojo, "Pemodelan perubahan penggunaan lahan berbasis cellular automata pada wilayah peri urban Kota Surabaya di Kabupaten Sidoarjo," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. C200–C206, 2020.
- [14] W. Lestari and N. A. Pratomatmojo, "Pemodelan spasial prediksi perkembangan kawasan permukiman berbasis cellular automata dengan pendekatan kependudukan di Surabaya Timur," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. C150–C155, 2020.
- [15] T. L. Saaty, "A scaling method for priorities in hierarchical structures," *J. Math. Psychol.*, vol. 15, no. 3, pp. 234–281, 1977.
- [16] N. A. Pratomatmojo, "LanduseSim Algorithm: Land Use Change Modelling by Means of Cellular Automata and Geographic Information System," vol. 202, no. 1. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, p. 12020, 2018.
- [17] N. A. Pratomatmojo, "Permodelan perubahan penggunaan lahan berbasis cellular automata dan sistem informasi geografis dengan menggunakan LanduseSim," *J. Penataan Ruang*, vol. 13, no. 1, pp. 25–29, 2018.
- [18] R. M. Derajat *et al.*, "Klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra landsat 8 operational land imager (OLI) di Kecamatan Pangandaran," *J. Samudra Geogr.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2020.