



Jurnal Kemaritiman: Indonesian Journal of Maritime



Alamat Jurnal: <https://ejournal.upi.edu/index.php/kemaritiman>

Efektivitas Pemodelan Automata Seluler Untuk Prediksi Area Yang Dibangun Di Wilayah Pesisir Kota Bengkulu

Della Ayu Lestari^{1*}, Herli Salim²

¹Sistem Informasi Kelautan, Kampus Serang, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No.229, Isola, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40154

²Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Kampus Serang, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No.229, Isola, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40154

Correspondence: E-mail: della.ayu@upi.edu

ABSTRACT	ARTICLE INFO
<p><i>Coastal areas are areas where human activity is most widely carried out. Bengkulu City is one of the cities in the coastal region of Sumatra with high population growth. High population growth. then increasing the need for space and land that can have an impact on reducing the carrying capacity of the environment so we need predictions on land availability, one of which is by modeling Cellular Automata that can combine spatial and temporal dimensions. The purpose of this paper is to review the strengths, limitations and strategic solutions in the use of Cellular Automata modeling to predict the development of built land in coastal areas, especially Bengkulu City. The advantages of using Cellular Automata in predicting the development of built land include predicting changes in dynamic systems that depend on simple rules and develop only according to these rules over time. Cellular Automata limitations are modeling that does not provide information on the causes of growth that is the kinship between the dependent variable and the independent variable. The strategic solution in overcoming the limitations of Cellular Automata modeling that is limited only to physical variables is to collaborate with other models, one of them is dynamic system modeling. This modeling can take into account independent variables such as population variables that are very dynamic. The population variable can be in the form of population growth, birth rates, mortality rates, in-migration rates, out-migration rates and population pressures.</i></p> <p>© 2023 Kantor Jurnal dan Publikasi UPI</p>	<p>Article History: <i>Submitted/Received 12 003 2020 First Revised 18 003 2020 Accepted 10 004 2020 First Available online 23 005 2020 Publication Date 01 006 2020</i></p> <hr/> <p>Keyword: <i>Cellular automata, Carrying capacity of land, Developed land, Coastal area, Dynamic system.</i></p>

1. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir merupakan wilayah yang unik karena merupakan pertemuan antara darat dan laut, dimana wilayah darat memiliki karakteristik daratannya dan daerah laut pun memiliki karakteristik lautannya dan membawa dampak yang signifikan terhadap karakteristik wilayah itu sendiri yang menjadi lebih khas (Wahyudin, 2011). Wilayah pesisir merupakan wilayah tempat aktivitas manusia paling banyak dilakukan; bahkan menurut MacDonald (2005), sekitar 70% penduduk dunia tinggal di wilayah pesisir, sehingga menjadikan kawasan ini terkonsentrasi berbagai pusat kegiatan ekonomi seperti perikanan, pariwisata, perhubungan, perindustrian, pemukiman, pertahanan dan keamanan (Supriharyono, 2000 dan MacDonald, 2005).

Wilayah pesisir yang terbuka mengakibatkan bertambahnya aktivitas manusia. Bertambah banyaknya manusia dan semakin berkembangnya teknologi maka lingkungan diubah serta disesuaikan dengan cara hidup manusia. Ruang dan lahan yang ada dirombak untuk menampung berbagai bentuk perumahan dengan fasilitas pelayanan hidup yang bermacam-macam, seperti pelayanan kesehatan, pendidikan, hiburan atau pasar, industri penunjang lainnya (Soerjani et al., 2008). Dengan kata lain, perkembangan permukiman menjadi pemicu munculnya wilayah terbangun lain penunjang kehidupan penduduk. Kota Bengkulu merupakan salah satu daerah pesisir yang secara geografis berada di sebelah barat pegunungan Bukit Barisan. Kota Bengkulu merupakan kota dengan angka pertumbuhan penduduk yang paling signifikan di Provinsi Bengkulu yaitu sebesar 3,2% dari tahun 2007 hingga 2017 atau hampir tiga kali lipat dari angka pertumbuhan nasional. Hal ini terjadi bukan hanya karena tingginya angka kelahiran, melainkan juga dikarenakan tingginya angka migrasi (Badan Kependudukan dan Keluarga Berencana Nasional Provinsi Bengkulu, 2018).

Pengembangan perkotaan dan pengaruhnya terhadap lingkungan, kesehatan masyarakat, sumber daya lahan dan konsumsi energi telah menarik perhatian penelitian yang semakin meningkat (Liu et al., 2017). Semakin banyak orang bermigrasi ke kota-kota, lahan pertanian yang luas menghilang dengan area-area yang diperluas terutama di daerah-daerah yang sedang berkembang pesat (Chen et al, 2016). Pemodelan pertumbuhan perkotaan adalah alat yang menjanjikan untuk lebih memahami sejarah pembangunan perkotaan dan merancang skenario masa depan untuk mendukung pengambilan keputusan dan manajemen risiko (Gonzales et al, 2015). Penggunaan metode CA (Cellular Automata) digunakan untuk melihat perubahan penggunaan lahan ini dan mendapatkan polanya untuk dilakukan prediksi pada waktu yang akan datang (Kusratmoko et al, 2017). Pemodelan Cellular Automata telah digunakan oleh Mentari Pratami (2018) dalam tulisannya "Pemodelan Cellular Automata untuk Daya Dukung Lahan Permukiman di Kota Bengkulu". Tujuan tulisan ini adalah menganalisis kelebihan, keterbatasan dan solusi strategis dalam penggunaan pemodelan Cellular Automata untuk memprediksi perkembangan lahan terbangun pada kawasan pesisir khususnya Kota Bengkulu.

2. PEMODELAN *CELLULAR AUTOMATA* DALAM PREDIKSI PERKEMBANGAN LAHAN TERBANGUN DI KOTA BENGKULU

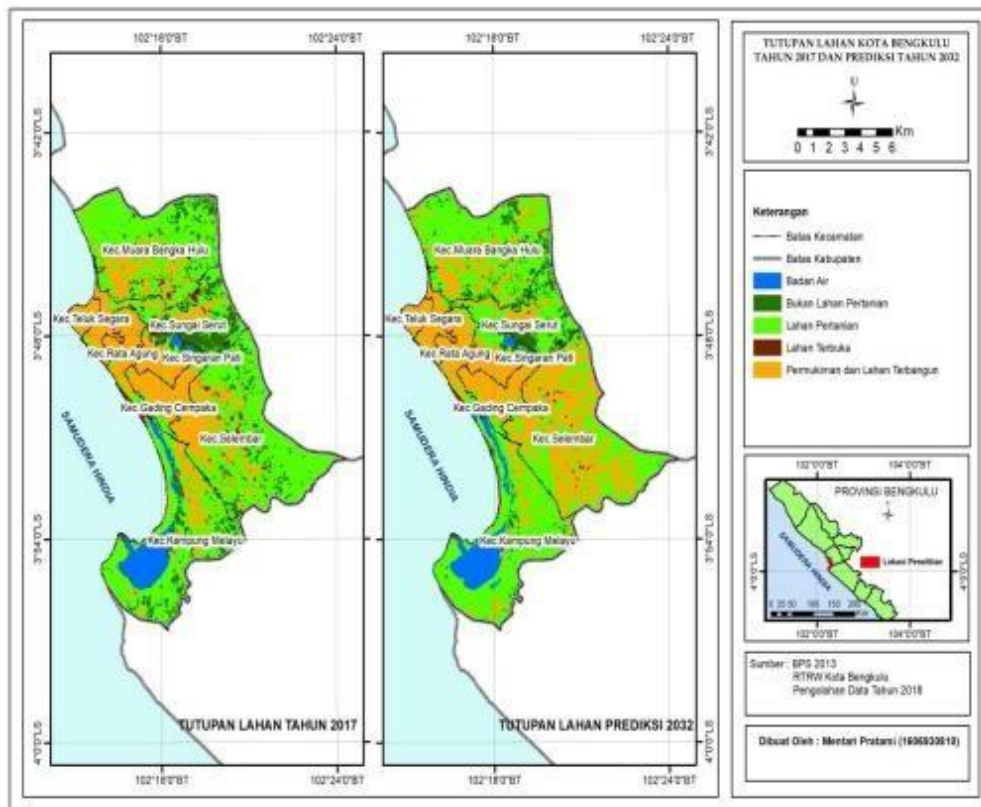
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pratami, 2018 dalam "Pemodelan Cellular Automata untuk Daya Dukung Lahan Permukiman di Kota Bengkulu, pemodelan Cellular Automata merupakan alat yang sangat sederhana dalam penggunaannya dan menjanjikan dalam melihat perubahan penggunaan lahan serta prediksi di masa depan. Kota Bengkulu yang pertumbuhan populasinya juga cukup tinggi Kota Bengkulu merupakan kota dengan

angka pertumbuhan penduduk yang paling signifikan di Provinsi Bengkulu yaitu sebesar 3,2% dari tahun 2007 hingga 2017 atau hampir tiga kali lipat dari angka pertumbuhan nasional. Kemudian, pada penelitian yang diulas para penulis menggunakan tiga skenario sedangkan untuk ulasan transformasi lahan di Kota Bengkulu hanya menggunakan 2 skenario, yaitu berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bengkulu Tahun 2032 dan berdasarkan kesesuaian lahan permukiman. Perubahan tutupan lahan permukiman terjadi karena penambahan jumlah penduduk yang semakin bertambah kebutuhan akan hunian/permukiman meningkat. Lahan yang terbatas dalam menyediakan tempat hunian/permukiman menjadi kendala di Kota Bengkulu tercatat Bengkulu Dalam Angka 2016 oleh Badan Pusat Statistik jumlah penduduk Kota Bengkulu pada tahun 2016 sebesar 359.488 jiwa sedangkan pada tahun 2015 sebesar 351.298 jiwa dengan kata lain dalam satu tahun terakhir mengalami peningkatan penduduk sebesar 2,33 persen memiliki komposisi penduduk 18,73 persen yang berasal dari Kota Bengkulu Sedangkan tahun 2016 proyeksi penduduk Kota Bengkulu 19,17% karena angka hasil proyeksi yang cukup besar ini maka perlu dilakukan sebuah proses Pemodelan untuk daya dukung lahan permukiman. Melihat kemungkinan terjadinya persaingan ruang yang nantinya terjadi dimasa depan dapat dilakukan sebuah perencanaan pola spasial yang efisien pada Kota Bengkulu untuk menyelesaikan permasalahan ini.

Driving factors merupakan sebuah faktor yang biasanya digunakan untuk memperkirakan arah dan besaran dari perubahan permukiman yang akan terjadi. Pada jurnal yang diulas, driving factor yang digunakan adalah pertumbuhan perkotaan, termasuk faktor lingkungan, faktor lingkungan skala lokal, faktor karakteristik spasial dan faktor sosial ekonomi antara tahun 2003 dan 2013. Sedangkan untuk ulasan di Kota Bengkulu, faktor penentu perubahan permukiman terbagi menjadi dua variabel yaitu kondisi fisik Kota Bengkulu dan Infrastruktur Kota Bengkulu secara detail terbagi menjadi 5 faktor yaitu jarak dari garis pantai, jarak dari sungai, kemiringan lereng, wilayah ketinggian dan jarak dari jalan. Setiap kelas yang ada akan memiliki skor yang digunakan untuk melihat besaran nilai yang menunjukkan tingkat pengaruh dari sebuah faktor.

Gambar .1 merupakan menunjukkan perubahan tutupan lahan permukiman hasil simulasi menggunakan Cellular Automata tahun 2017 dan tahun 2032. Simulasi tahun 2017 dan tahun 2032 menghasilkan nilai akurasi lebih dari 60%. Pada tahun 2017- tahun 2032 bagian utara dan timur kota Bengkulu mengalami perkembangan tutupan lahan permukiman yang signifikan. Pada tahun 2017 tutupan lahan permukiman mulai menyebar pada bagian utara dan timur sedangkan pada tahun 2032 tutupan lahan permukiman sudah mengalami penambahan yang signifikan pada bagian utara dan timur Kota Bengkulu. Bagian utara dan timur berdasarkan kondisi fisik mendorong untuk dikembangkan sebagai kawasan permukiman dan dilihat RTRWK Bengkulu bagian utara tepatnya Kecamatan Muara Bangka Hulu dan timur tepatnya Kecamatan Selebar direncanakan dikembangkan kawasan pusat pendidikan dan kawasan permukiman.

Tutupan lahan Kota Bengkulu Tahun 2032 memiliki luas 18.690,47 ha. Hasil modelling Cellular Automata menunjukkan luas lahan untuk permukiman pada tahun 2032 sebesar 5.993,15 ha sedangkan kebutuhan lahan sesuai dengan peraturan Menteri Negara Perumahan Rakyat No. 11/PERMEN/M/2008 tentang kebutuhan Ruang Per Kapita Menurut Zona Kawasan bahwa pada Zona Pusat Kota Kebutuhan ruang/kapita adalah 16 m²/Kapita dan jumlah penduduk yang dihitung melalui proyeksi penduduk pada tahun 2032 sebesar 439.833 /jiwa.



Gambar 1. Peta Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2017 – Tutupan lahan Prediksi Tahun 2032 (Pratami, 2018)

Pada skenario pertama yaitu daya dukung lahan untuk permukiman Berdasarkan RTRW Kota Bengkulu, LPm (Luas lahan yang layak untuk permukiman) di dapatkan dari Luas RTRW Kota Bengkulu dikurang dengan Luas prediksi tahun 2032 Kota Bengkulu sehingga luas lahan yang layak untuk permukiman 5.387,50 ha. Jumlah penduduk tahun 2032 dari perhitungan proyeksi penduduk tahun 2016 ke 2032 maka jumlah penduduk tahun 2032 Kota Bengkulu 439.833 jiwa. Sedangkan koefisien luas kebutuhan ruang/kapita ($m^2/kapita$) berdasarkan Zona Pusat Kota (Peraturan Menteri Negara Perumahan Rakyat No. 11/PERMEN/2008) yaitu $16 m^2/kapita$. Hasilnya menunjukkan bahwa pada tahun 2032 nilai DDPm sebesar 68,18 $m^2/kapita$ yang berarti DDPm >1 , daya dukung permukiman tinggi dan masih mampu menampung penduduk untuk bermukim. Dengan kata lain, kawasan Kota Bengkulu masih dapat menampung pertambahan permukiman sebesar $68,18 m^2/kapita$.

Kemudian untuk skenario kedua yaitu daya dukung lahan permukiman berdasarkan kesesuaian lahan, LPm (Luas lahan yang layak untuk permukiman) di dapatkan dari Luas kesesuaian lahan untuk permukiman sebesar 15.341,37 ha dikurang dengan luas prediksi tahun 2032. Jumlah penduduk tahun 2032 dari perhitungan proyeksi penduduk dari tahun 2016 ke 2032 sehingga jumlah penduduk tahun 2032 Kota Bengkulu 439.833 jiwa. Sedangkan koefisien luas kebutuhan ruang/kapita ($m^2/kapita$) berdasarkan Zona Pusat Kota (Peraturan Menteri Negara Perumahan Rakyat No. 11/PERMEN/2008) yaitu 16 $m^2/kapita$. Hasilnya menunjukkan bahwa pada tahun 2032 nilai DDPm sebesar 109,22 $m^2/kapita$ yang berarti DDPm >1, daya dukung permukiman tinggi dan masih mampu menampung penduduk untuk bermukim. Dengan kata lain, kawasan Kota Bengkulu masih dapat menampung pertambahan.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kebutuhan Ruang Kota Bengkulu

LPm	Luas (ha)	Luas (m^2)	Kebutuhan Ruang	Meter/Jiwa
RTRWK Bengkulu – Prediksi 2032	5.387, 50	53.874,9	790128	68,18
Kesesuaian – Prediksi 2032	15.341,37	153.413,7	790128	109,22

Sumber: Pratami, 2018

Tabel 1 menunjukkan 2 perhitungan daya dukung lahan yaitu berdasarkan RTRWK Bengkulu dan Kesesuaian. Daya dukung lahan berdasarkan RTRWK Bengkulu menunjukkan hasil 68,18 $m^2/kapita$ sedangkan daya dukung lahan untuk permukiman berdasarkan kesesuaian menunjukkan hasil 109,22 $m^2/kapita$. Perhitungan daya dukung lahan permukiman berdasarkan RTRW Bengkulu dan Kesesuaian menghasilkan nilai DDPm > 1 yang artinya daya dukung permukiman tinggi dan masih mampu menampung penduduk untuk bermukim pada tahun 2032.

3. KELEBIHAN DAN KETERBATASAN PEMODELAN DENGAN MENGGUNAKAN *CELLULAR AUTOMATA*

Membahas kelebihan dari Cellular Automata, maka tidak akan terlepas dari Markov Chain (MC). Markov Chain (MC) adalah suatu proses stokastik yang memiliki sifat bahwa suatu fenomena di masa yang akan datang tidak dipengaruhi oleh fenomena di masa lalu melainkan hanya dipengaruhi oleh fenomena saat ini saja. Prinsip dasar MC adalah mengukur probabilitas pada serangkaian kejadian di masa sekarang untuk memprediksi kejadian di masa depan. Hal ini menunjukkan sifat kebergantungan dalam MC, sehingga dapat dimanfaatkan untuk penyusunan model simulasi termasuk perubahan penggunaan lahan. Model Cellular Automata (CA) adalah metode berbasis agen diskrit umumnya digunakan dalam aplikasi berbasis sel yang paling banyak digunakan untuk mensimulasikan perubahan penggunaan lahan dalam beberapa decade terakhir (Davies et. al., 2014 & Chia-An., 2016). Cellular Automata berisi sejumlah sel (cell) yang memiliki nilai tertentu setiap sel dapat berubah mengikuti suatu prinsip transisi tertentu (transition rule). Metode komputasi ini digunakan memprediksi perubahan system dinamik yang bergantung pada aturan sederhana dan berkembang hanya menurut aturan tersebut dari waktu ke waktu. CA melakukan proses komputasi berdasar prinsip ketetanggaan sel (neighbourhood).

Cellular Automata merupakan pendekatan komputasi berbasis keruangan yang memiliki keunggulan dalam mengakomodasi dimensi ruang, waktu dan atributnya. Cellular Automata

sudah banyak dikembangkan karena keunggulannya yang digunakan untuk prediksi sedimentasi, pemodelan aliran granular, pemodelan arus lalu lintas, prediksi pertumbuhan pemukiman dan perubahan penggunaan lahan. Seperti yang dipaparkan oleh jurnal yang diulas dengan menggunakan Cellular Automata maka didapatkan bahwa permintaan perumahan yang lebih tinggi memberikan tekanan lebih besar pada ketersediaan ruang hijau di kedua tingkat. Selain itu, struktur tata ruang perkotaan polisentrik ditemukan kurang terbatas dalam hal ketersediaan ruang hijau daripada struktur monosentris di tingkat regional.

Kemudian dalam membahas keterbatasan dari Cellular Automata dalam memprediksi transformasi perubahan antara lain, pertama, Cellular Automata lebih menunjukkan proses pertumbuhan dan prediksi tumbuhnya suatu piksel namun tidak memberikan informasi penyebab tumbuhnya yaitu hubungan kekerabatan antar variable terikat (dependent variable) dan variabel bebasnya (independent variable). Sedangkan suatu perubahan penggunaan lahan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang bersifat independent yang harus diakomodasi. Oleh karena itu metode ini sering dikombinasikan dengan metode lain guna mengatasi kelemahan untuk meningkatkan ketelitiannya.

Kedua, Cellular Automata ini termasuk dalam salah satu pemodelan dalam Sistem Informasi Geografis (SIG). Model pada hakekatnya merupakan bentuk penyederhanaan dari realita atau fenomena dunia nyata. Pemodelan dengan pendekatan sistem dinamis umumnya bersifat dinamik dalam waktu sehingga dapat memprediksi kondisi di waktu yang akan datang (Munibah, 2008). Pemodelan membantu para ilmuwan dan pembuat kebijakan untuk memahami mengantisipasi dan mungkin mencegah dampak buruk dari perubahan penggunaan lahan dengan berorientasi pada kebijakan lokasi dengan mengembangkan skenario masa depan yang berbeda (Mas et. al., 2014). Model tentunya dapat dijadikan acuan, namun jika ada faktor internal dan eksternal dalam model yang berubah secara anomali, tentunya model Cellular Automata yang telah dibuat tidak dapat dijadikan sebagai acuan dan harus membuat pemodelan yang baru sesuai dengan kondisi eksistingnya.

4. SOLUSI STRATEGIS PEMODELAN PREDIKSI PERKEMBANGAN LAHAN TERBANGUN

Salah satu dinamika spasial yang kerap terjadi adalah adanya perubahan penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan terdiri dari suatu proses perubahan ruang dan waktu yang melibatkan beberapa elemen dari lingkungan alam maupun lingkungan sosial. Pemodelan dapat mendukung pembuatan keputusan secara ilmiah, dan dengan demikian berkontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan yang berkaitan dengan perubahan penggunaan lahan (Liao et al, 2015). Penyebab terjadinya transformasi perubahan lahan bisa terjadi dari interaksi non-linear antara kondisi sosial ekonomi (seperti populasi, teknologi, dan ekonomi), karakteristik fisik dari lahan (seperti tanah, topografi, dan iklim), dan unsur historis dari penggunaan lahan (Meiyappan et al, 2014).

Daya dukung dapat digunakan sebagai alat atau ukuran untuk perencanaan pembangunan yang memberikan gambaran mengenai hubungan antar penduduk, penggunaan lahan, dan lingkungan, maka paling tidak, ada dua variabel pokok yang harus diketahui secara pasti untuk melakukan analisis daya dukung (Soerjani et al., 2008), yaitu: a) Potensi lahan yang tersedia (dalam hal ini adalah luas lahan) dan b) Jumlah penduduk Berdasarkan konsep daya dukung lingkungan dalam konteks ekologis di atas, maka penghitungan daya dukung lingkungan ini dapat digunakan untuk memprediksi kemampuan suatu sumber daya lahan yang dapat mendukung populasi penduduk yang tinggal di dalamnya seiring waktu hingga mencapai batas maksimalnya. Dalam hal ini, dibutuhkan banyak riset salah satunya seperti jurnal yang

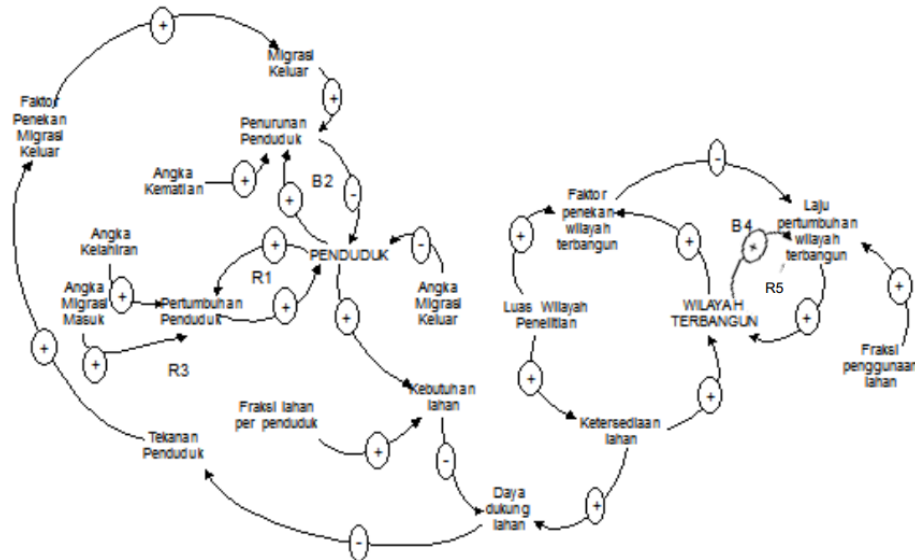
diulas yaitu dengan menggunakan Cellular Automata atau riset lainnya yang berhubungan dengan kemampuan daya dukung wilayah agar dapat menjadi “warning” dan acuan dalam pengembangan wilayah.

Terdapat beberapa keterbatasan dalam pemodelan dengan menggunakan Cellular Automata di Kota Bengkulu oleh Pratami, 2018 karena masih menggunakan data resolusi rendah dan hanya menggunakan 6 driving faktor dalam melihat kesesuaian lahan untuk permukiman. Sehingga salah satu solusi strategis untuk mengatasi keterbatasan tersebut yaitu menggunakan data dengan resolusi yang lebih tinggi (seperti Spot atau Quickbird) serta menambahkan kemungkinan faktor yang sangat mempengaruhi dalam kesesuaian lahan untuk permukiman. Solusi strategis selanjutnya untuk menyempurnakan model Cellular Automata adalah dengan didukung oleh metode pemodelan lainnya. Penggunaan model Cellular Automata hanya terfokus ke daya dukung lahan permukiman dan tidak membahas lebih jauh faktor-faktor lain yang mungkin mempengaruhi dalam perkembangan kawasan permukiman di Kota Bengkulu terutama variabel kependudukan seperti pertumbuhan penduduk, angka kelahiran, angka kematian, angka migrasi masuk, angka migrasi keluar dan tekanan penduduk.

Pemodelan yang dapat merangkap hingga ke variabel kependudukan adalah pemodelan sistem dinamik. Model sistem dinamik adalah suatu bentuk yang dibuat untuk menirukan suatu sistem atau gambaran (abstraksi) suatu sistem yang kompleks, dinamis, non-linear dan memiliki feedback dengan menggunakan bantuan perangkat simulasi yang dilakukan oleh pemodel dengan menerapkan siklus permodelan (Soesilo dan Karuniasa, 2014). Metode Sistem Dinamik memiliki berbagai tools dalam melihat sebuah situasi menyeluruh yang saling berhubungan, diantaranya adalah Model Causal Loop Diagram (CLD). CLD adalah pengungkapan tentang kejadian hubungan sebab-akibat (causal relationship) ke dalam bahasa gambar tertentu untuk memahami konsep dari perilaku fenomena tersebut. Berdasarkan Gambar 2 Causal Loop Diagram (CLD) model pertumbuhan penduduk dengan ketersediaan lahan terdapat 5 umpan balik yaitu 2 umpan balik negatif dan 3 umpan balik positif (Supriatna, 2014 dan Lestari, 2018).

1. *Loop* R1 menjelaskan tentang hubungan penduduk, pertumbuhan penduduk, dan penduduk. Jumlah penduduk meningkat maka pertumbuhan penduduk akan meningkat. Pertumbuhan penduduk meningkat, maka jumlah penduduk akan meningkat juga.
2. *Loop* B2 menjelaskan mengenai hubungan penduduk, kematian penduduk, dan penduduk jumlah penduduk meningkat maka kematian penduduk akan meningkat. Sebaliknya jika kematian penduduk meningkat maka jumlah penduduk akan menurun.
3. *Loop* R3 menjelaskan mengenai hubungan penduduk, kebutuhan lahan, daya dukung lahan, tekanan penduduk, faktor penekan migrasi keluar, migrasi keluar, dan penduduk. Jumlah penduduk meningkat maka kebutuhan lahan akan meningkat juga. Kebutuhan lahan meningkat maka daya dukung lahan menurun. Daya dukung lahan menurun maka tekanan penduduk meningkat. Tekanan penduduk meningkat maka akan meningkatkan penduduk yang pindah ke luar wilayah penelitian (migrasi keluar meningkat). Migrasi keluar meningkat akan menyebabkan jumlah penduduk akan berkurang.
4. *Loop* B4 menjelaskan hubungan antara wilayah terbangun, faktor penekan wilayah terbangun, dan laju pertumbuhan wilayah terbangun. Wilayah terbangun semakin luas maka faktor penekan pada wilayah terbangun semakin besar sehingga laju pertumbuhan wilayah terbangun semakin cepat.

5. *Loop R5* menjelaskan mengenai hubungan antara wilayah terbangun, laju pertumbuhan wilayah terbangun, dan wilayah terbangun. Luas wilayah terbangun meningkat maka laju pertumbuhan wilayah terbangun akan meningkat. Laju pertumbuhan wilayah terbangun meningkat maka luas wilayah terbangun akan meningkat juga (Supriatna, 2016).



Gambar 2. Causal Loop Diagram Pemodelan Sistem Dinamik Ketersediaan Lahan Terbangun (Supriatna, 2016 dan Lestari, 2018).

Berdasarkan model atau diagram alir ini dilakukan simulasi untuk mendapatkan hasil. Simulasi dapat dilakukan dengan memasukkan data ke dalam model, dimana perhitungan dilakukan untuk mengetahui perilaku gejala atau proses. Hasil dari pembuatan grafis CLD yang telah dibuat sebelumnya kemudian dilakukan simulasi dalam software Powersim Studio, ke dalam bentuk grafis lain yang lebih formal, yakni Stock Flow Diagram (SFD). Kemudian dilakukan validasi untuk mengetahui kesesuaian antara hasil simulasi dengan gejala atau proses yang ditirukan. Apabila kesalahan atau simpangan hasil simulasi terhadap gejala atau proses yang ditirukan kecil, maka model dapat dinyatakan baik.

Selain itu, dalam memprediksi lahan terbangun hendaknya mempertimbangkan peraturan yang telah dibuat dalam master plan dan tata ruang daerah. Contohnya seperti di Indonesia, dalam merumuskan muatan RTRW Kota harus mengacu pada muatan RTRW nasional dan rencana rincinya (RTR pulau dan RTR kawasan strategis nasional), RTRW provinsi dan rencana rincinya (RTR kawasan strategis provinsi), serta memperhatikan RTRW kabupaten/kota yang berbatasan. Dalam RTRW terdapat rencana struktur ruang wilayah kota, rencana pola ruang wilayah kota, Penetapan Kawasan Strategis Wilayah Kota dan Ketentuan Pengendalian Pemanfaatan Ruang Wilayah Kota.

5. KESIMPULAN

Salah satu tindakan preventif dalam menghadapi perkembangan lahan terbangun di kawasan pesisir membutuhkan banyak riset salah satunya seperti jurnal yang diulas yaitu dengan menggunakan Cellular Automata. Keunggulan penggunaan Cellular Automata dalam memprediksi perkembangan lahan terbangun antara lain digunakan memprediksi perubahan

sistem dinamik yang bergantung pada aturan sederhana dan berkembang hanya menurut aturan tersebut dari waktu ke waktu. Cellular Automata melakukan proses komputasi berdasar prinsip ketetanggaan sel (neighbourhood). Model ini juga merupakan pendekatan komputasi berbasis keruangan yang memiliki keunggulan dalam mengakomodasi dimensi ruang, waktu dan atributnya.

Namun, dibalik beberapa kelebihan diatas penggunaan Cellular Automata untuk memprediksi transformasi lahan antara lain Cellular Automata lebih menunjukkan proses pertumbuhan dan prediksi tumbuhnya suatu piksel namun tidak memberikan informasi penyebab tumbuhnya yaitu hubungan kekerabatan antar variable terikat (dependent variable) dan variabel bebasnya (independent variable). Sedangkan suatu perubahan penggunaan lahan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang bersifat independent seperti variabel kependudukan yang harus diakomodasi. Kemudian, jika ada faktor internal dan eksternal dalam model yang berubah secara anomali, tentunya model Cellular Automata yang telah dibuat tidak dapat dijadikan sebagai acuan dan harus membuat pemodelan yang baru sesuai dengan kondisi eksistingnya. Solusi strategis dalam mengatasi keterbatasan pemodelan Cellular Automata yang terbatas hanya pada variabel fisik adalah mengkolaborasikan dengan model lainnya, salah satunya pemodelan sistem dinamik. Pemodelan ini dapat memperhitungkan variabel bebas seperti variabel kependudukan yang sangat dinamis. Variabel kependudukan tersebut dapat berupa pertumbuhan penduduk, angka kelahiran, angka kematian, angka migrasi masuk, angka migrasi keluar dan tekanan penduduk.

DAFTAR PUSTAKA

- [BKKBN] Badan Kependudukan dan Keluarga Berencana Nasional Provinsi Bengkulu. (2018). Tiga Hal Besar Menjadi Persoalan Kependudukan. Maret 22, 2020. <http://bengkulu.bkkbn.go.id/ViewBerita.aspx?BeritaID=1801>
- Chen, Y., Li X., Liu, X., Ai, B., & Li, S. (2016). Capturing the varying effects of driving forces over time for the simulation of urban growth by using survival analysis and cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, 152, 59–71
- Chia-An, Ku. (2016). Incorporating spatial regression model into cellular automata for simulating land use change. *Applied Geograph*, 69, 1–9.
- Davie,s K.J., Green, J.E.F., Bean N.G., Binder, B.J., & Ross, JV. (2014). On the Derivation of Approximations to Cellular Automata Models and the Assumption of Independence. *Mathematical Biosciences*, 253, 63–71.
- Gonzalez., Pablo B., Aguilera-Benavente., Francisco., Gomez-Delgado., & Montserrat. (2015). Partial validation of cellular automata based model simulations of urban growth: An approach to assessing factor influence using spatial method. *Environmental modelling & software*, Volume 69, pages 77-89
- Kusratmoko, E., Albertus, S.D.Y., & Supriatna. (2017). Modelling land use/cover changes with markov-cellular automata in Komering Watershed, South Sumatera. IOP Conf. *Series: Earth and Environmental Science*, Volume 54, No. 012103

- Lestari, D.A. (2018). Model Dinamika Spasial Ketersediaan Lahan dengan Kawasan Rawan Gempa Bumi dan Tsunami di Kota Bengkulu. Depok: Tesis Departemen Geografi, FMIPA, Universitas Indonesia.
- Liao, J., Tang, L., Shao, G., Shu, X., Chen, D., & Shu, T. (2015). Incorporation of Extended Neighborhood Mechanisms and its Impact on Urban Land-use Cellular Automata Simulations. *Environmental Modelling and Software*, 75, 163 - 175.
- Liu., Dongya., Zheng., Xinqi., Zhang C., Wang., & Hongbin. (2017). A new temporalspatial dynamics method of simulating land-use change. *Ecological Modelling*, Volume 350, 1-10.
- MacDonald R. 2005. How Women Were Affected by the Tsunami: A Perspective from Oxfam. *PLoS Med* 2(6): e178. August 30, (2018). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0020178>
- Mas, J.F., Puig, H., Palacio, J.L., & Sosa, AL. (2014). Modelling Deforestation using GIS and Artificial Neural Network. *Environmental Modelling & Software*, 19, 461-471
- Meiyappan, P., Dalton, M., O'Neill, B.C., & Jain, A.K. (2014). Spatial Modeling of Agricultural Land use Change at Global Scale. *Journal of Ecological Modeling*, 291, 152 - 174.
- Munibah, K., Sitorus, S.R.P., Rustiadi, E., Gandasasmita, K., Hartrisari. (2008). Perubahan Penggunaan Lahan dan Faktor yang Berpengaruh, studi kasus Di DAS Cidanau, Provinsi Banten. *Majalah Ilmiah Globe*, 8(2): 91-104
- Pratami, M. (2018). Pemodelan Cellular Automata untuk Daya Dukung Lahan Permukiman di Kota Bengkulu. Depok: Tesis Departemen Geografi, FMIPA, Universitas Indonesia.
- Soerjani, M., Rofiq, A., Munir, R. (2008). Lingkungan: Sumberdaya Alam dan Kependudukan dalam Pembangunan. Jakarta: UI-Press
- Supriharyono. (2000). Pengelolaan Ekosistem Terumbu Karang. Jakarta: Djambatan
- Wahyudin, Y. (2011). Karakteristik Sumber Daya Pesisir dan Laut Kawasan Teluk Palabuhanratu, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Bogor: PKSPL-IPB
- Supriatna, J., Koestoer, RH., Takarina ND. (2016). Spatial Dynamics Model for Sustainability Landscape in Cimandiri Estuary, West Java, Indonesia. *Journal Procedia Social and Behavioral Sciences*, 227.