

**Prediksi Perkembangan Lahan Terbangun Kota Pekalongan Dengan Model *Cellular Automata* Menggunakan Sistem Informasi Geografis**

Irfan Rizkyanto ✉, Tjaturahono Budi Sanjoto, Moch. Arifien

Jurusan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel*Sejarah Artikel:*

Diterima Desember 2019
Disetujui Agustus 2019
Dipublikasikan April
2020

Keywords:

*Prediction Landcover, Urban
Changes, Cellular Automata*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *Cellular Automata* dalam memprediksi lahan terbangun dan membuat prediksi perkembangan fisik lahan terbangun yang ada di Kota Pekalongan. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan dokumentasi, observasi. Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Cellular Automata* dan teknik analisis deskriptif. Prediksi lahan terbangun menggunakan perangkat lunak *OpenSource Quantum GIS*. Penelitian ini bertujuan untuk 1) Mengetahui perubahan lahan terbangun di Kota Pekalongan tahun 2001, tahun 2011 dan tahun 2019. 2) Membuat prediksi perkembangan fisik wilayah Lahan terbangun Kota Pekalongan tahun 2031. Analisis lainnya adalah ANN (*Artificial Neural Network*). Validasi peta proyeksi dilakukan dengan *crosstab* peta proyeksi terhadap peta penggunaan lahan terbangun eksiting tahun 2019. Hasil dari *crosstab* adalah tabel tabulasi silang dan nilai kappa. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini adalah perubahan lahan terbangun mengalami penambahan luasan yaitu lahan terbangun dengan luas area 2565,46 Ha (55,9%) Validasi peta proyeksi berdasarkan peta penggunaan lahan 2019 menunjukkan kesesuaian yang baik dengan nilai Kappa 0,90712. Nilai ini menunjukkan bahwa prediksi penggunaan lahan terbangun tahun 2019 sangat baik terhadap penggunaan lahan terbangun tahun 2019 hasil interpretasi / eksiting.

Abstract

This research is to study Cellular Automata in predicting built-up land and make predictions of the physical development of built-up land in Pekalongan City. Data collection techniques in this study is to use documentation, observation. The analysis technique used in this study is Cellular Automata and descriptive analysis techniques. Land prediction is built using the OpenSource Auantum GIS software. This study aims to determine the changes in the built land in Pekalongan City in 2001, 2011 and 2019. Making predictions for the development of the physical area of Pekalongan City in 2031. Another analysis is ANN (Artificial Neural Network). The validation of the projection map is carried out by a crosstab projection map to the map of land use built in 2019. The results of the crosstab are cross tabulation tables and kappa values. The results obtained in this study are changes in built-up land It is estimated that the area is built-up land with an area of 2565.46 Ha (55.9%) Validation of projected maps using 2019 land use maps according to conformity with Kappa value of 0.90712. This value shows that the use in 2019 is very good for the use in 2019 results of interpretation / exiting.

PENDAHULUAN

Kota Pekalongan merupakan salah satu kota di Jawa Tengah. Letaknya yang strategis yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa, serta dilalui oleh jalur Pantai Utara (Pantura) membuat Kota Pekalongan menjadi salah satu pusat perdagangan dan termasuk dalam PKW berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Jawa Tengah.

Berdasarkan fakta tersebut, Kota Pekalongan sangat berpotensi mengalami perubahan lahan terbangun, khususnya perubahan lahan terbangun seperti permukiman, perdagangan, dan perkantoran. Sehingga perlu adanya kajian terkait perubahan lahan di Kota Pekalongan. Kajian perubahan lahan terbangun bisa dilakukan dengan integrasi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis, seperti yang dilakukan oleh Wijaya dan Susetyo (2017).

Dalam hasil penelitian yang dilakukan oleh Wijaya dan Susetyo (2017), didapatkan hasil bahwa lahan terbangun paling besar di Kota Pekalongan adalah permukiman dengan tren selalu mengalami penambahan luas. Untuk rentang waktu dari tahun 2003 sampai 2016, permukiman di Kota Pekalongan bertambah. Keterbatasan kajian yang dilakukan oleh Wijaya dan Susetyo hanya sebatas mengetahui perubahan lahan terbangun dahulu dan eksisting. Padahal kajian lahan terbangun sebaiknya juga memprediksi kondisi di masa depan agar mempermudah saat evaluasi dengan pola ruang yang ada.

Prediksi perubahan lahan terbangun bisa menggunakan metode *Cellular Automata*. Metode ini cukup representative dalam memprediksi penggunaan lahan terbangun seperti Wijaya dan Susilo (2013) untuk Kota Salatiga, Nurhidayati, dkk (2017) untuk Kota Pontianak dan Wijaya dan Umam (2015) untuk Kota Yogyakarta.

Dari uraian tersebut di atas, penelitian ini akan mencoba memprediksi pertumbuhan lahan terbangun di Kota Pekalongan menggunakan *Cellular Automata*.

Tujuan dalam penelitian ini adalah: (1) Mengetahui perubahan lahan terbangun di Kota Pekalongan tahun 2001, tahun 2011 dan tahun

2019. (2) Membuat prediksi perkembangan fisik wilayah Lahan terbangun Kota Pekalongan tahun 2031.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Kota Pekalongan dan analisis data dilakukan di Laboratorium Jurusan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, UNNES.

Data yang digunakan antara lain Peta RBI Kota Pekalongan edisi tahun 2000, peta penggunaan lahan KLHK tahun 2010, Citra Quickbird dan Citra Google Earth, Peta Jaringan Jalan Kota Pekalongan, dan Peta Fasilitas umum Kota Pekalongan. Alat yang digunakan adalah seperangkat computer dengan software QGIS 2.18 dan ArcGIS 10.1.

Penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan yaitu tahap persiapan, tahap pengolahan data, tahap pemodelan spasial dan validasi peta proyeksi, serta proyeksi penggunaan lahan terbangun.

Tahap Persiapan

Tahap persiapan dimulai dari pengumpulan data. Data yang dipersiapkan antara lain citra Google Earth, Peta Batas Administrasi Kota Pekalongan, Peta RBI, Peta Jaringan jalan, serta Peta Fasilitas Umum.

Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data pada tahap awal adalah interpretasi peta RBI dan peta penggunaan lahan KLHK menjadi 3 kelas. Lahan terbangun, Non lahan terbangun, dan lahan pertanian. Dalam pengolahannya software QGIS 2.18 dengan plugin *Molusce* menggunakan data raster, sehingga semua data vector di ubah menjadi data raster terlebih dahulu. Perubahan lahan terbangun dari tahun 2001 - tahun 2011 dijadikan sebagai variable dependen dalam model, sedangkan hasil interpretasi penggunaan lahan terbangun tahun 2019 digunakan sebagai dasar validasi peta proyeksi permodelan.

Variabel independen yang dipakai dalam pemodelan antara lain jarak ke jalan serta jarak ke fasilitas umum. Peta jarak ke jalan dibuat dengan modul Distance pada ArcGIS 10.1. jarak

dihitung berdasarkan Euclidean, yaitu jarak dari satu objek ke objek lainnya.

Tahap Pemodelan dan Proyeksi Penggunaan Lahan Terbangun

Pemodelan dan proyeksi dilakukan dengan menggunakan plugin *Molusce* di dalam software QGIS 2.18. Tahapan yang digunakan antara lain *Area Changes*, *Transition Potential Modeling*, *Cellular Automata Simulation*, serta *Validation*.

Pada tahap *Area Changes* akan muncul tabel jumlah luasan yang dimungkinkan akan berubah beserta jumlah luasannya. Pada tahap ini juga muncul *Transition Matrix*, yaitu matriks yang berisi besaran peluang dari masing-masing tipe penutupan lahan untuk berubah menjadi tipe penutupan lahan lain dalam rentang tahun 2001 – tahun 2011.

Tahapan selanjutnya adalah tahapan *transition potential* yang bertujuan untuk memprediksi lokasi yang berpotensi mengalami perubahan penggunaan lahan. Pendekatan yang digunakan dalam tahapan ini adalah *Artificial Neural Network (ANN) Multi-layer Preception*.

Pembuatan prediksi penggunaan lahan terbangun dilakukan dalam tahap *Cellular Automata Simulation* untuk membuat prediksi di tahun 2031. Dalam tahapan ini, proyeksi dilakukan dengan mengasumsikan bahwa perubahan yang akan terjadi di masa depan memiliki pola dan peluang yang serupa dengan pola perubahan yang terjadi selama periode waktu yang digunakan.

Tahap validasi peta proyeksi

Validasi peta proyeksi dilakukan dengan crosstab peta proyeksi terhadap peta penggunaan lahan terbangun eksisting tahun 2019. Hasil dari *crosstab* adalah tabel tabulasi silang dan nilai kappa.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kota Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis, wilayah Kota Pekalongan terletak antara 60° 50' 42" - 60° 55' 44" Lintang Selatan dan 109° 37' 55" - 109° 42' 19" Bujur Timur, dengan koordinat fiktif 510,00 – 518,00 Km membujur dan 517,75 – 526,75 Km melintang.

Batas administratif Kota Pekalongan adalah sebagai berikut, Sebelah Utara berbatasan dengan Laut Jawa, Sebelah Timur berbatasan dengan Kabupaten Batang, Sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Batang dan Pekalongan, Sebelah Barat berbatasan dengan Kabupaten Pekalongan.

Penggunaan lahan terbangun tahun 2001 sampai tahun 2019

Lahan terbangun yang ada di Kota Pekalongan dalam penelitian ini dibuat dengan menggunakan cara digitasi manual dari peta Rupa Bumi Indonesia, Peta Penutup Lahan yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, serta dikoreksi ulang menggunakan Citra Quickbird dan Google Earth sebagai data pendukung. Dalam proses analisis atribut dalam pembuatan peta perubahan lahan terbangun, diketahui luas lahan terbangun di Kota Pekalongan yang mengalami perubahan. Perubahan lahan terbangun di Kota Pekalongan Tahun 2001 – 2019 dapat dilihat pada tabel 1.

Perubahan Lahan Terbangun di Kota Pekalongan mengalami peningkatan luas, Luas lahan terbangun tahun 2001 adalah 2150,07 ha. Mengalami peningkatan 115,65 ha, menjadi 2265,7 ha pada tahun 2011. Pada tahun 2019 mengalami peningkatan sebesar 181,8 ha menjadi 2447,5 ha. Perubahan yang terjadi selama tahun 2001 sampai tahun 2019 adalah sebesar 297,4 ha.

Tabel 1. Perubahan Lahan Terbangun Kota Pekalongan Tahun 2001 – 2019

Penggunaan Lahan	Luas Penggunaan Lahan (Ha)		Perubahan Lahan 2001 - 2019
	2001	2019	
Kebun Campuran	110.1	75.5	34,6
Lahan Kosong	100.05	123.6	23,55
Lahan Terbangun	2150.07	2438.7	288,63
Pertanian	1580.7	1091.6	489,1
Rawa	0	331.1	331.1
Sungai	86.9	91.7	4,8
Tambak	555.7	422.5	133,2

Sumber : Hasil Penelitian, 2019

Hubungan Variabel Independen yang Digunakan dalam Pemodelan terhadap Perubahan Penutupan/ Penggunaan Lahan Terbangun di Kota Pekalongan tahun 2001-2019.

Sebelum melakukan pemodelan, ditentukan dahulu variabel independen atau faktor pendorong yang ingin dimasukkan ke dalam pemodelan. Variabel yang digunakan adalah jarak ke jalan, jarak ke fasilitas. Jarak ke jalan dan jarak ke fasilitas umum digunakan sebagai faktor pendorong terjadinya perubahan dari faktor fisik yang mempengaruhi perubahan penutupan / penggunaan lahan terbangun.

Dari hasil penelitian variabel jarak ke jalan terlihat bahwa semakin mendekat dengan jalan, maka semakin banyak penutupan lahan yang berubah menjadi lahan terbangun, begitu juga dengan jarak ke fasilitas umum semakin dekat, maka semakin banyak penggunaan lahan yang berubah juga menjadi penggunaan lahan terbangun.

Prediksi Cellular Automata tahun 2031

Proyeksi penutupan/penggunaan lahan terbangun tahun 2031 dilakukan dengan menggunakan model *Cellular Automata (CA)* pada software Quantum GIS.

Hasil proyeksi menggunakan model CA memiliki tiga kunci, yaitu adanya sel (piksel), tetangga (kelas penutupan/ penggunaan lahan) dan dari hubungan sel dan tetangganya bisa dibuat suatu aturan yang bisa mengubah nilai sel itu pada periode waktu berikutnya (matriks transisi perubahan) (Ukoro, 2013).

The screenshot shows the MOLUSCE software interface. It displays two tables: 'Class statistics' and 'Transition matrix'. The 'Class statistics' table shows the change in area (ha) and percentage for three classes from 2001 to 2011. The 'Transition matrix' table shows the probability of transitions between the three classes.

Class statistics						
Class color	2001	2011	Δ	2001 %	2011 %	Δ %
1	2146.69 ha	2315.50 ha	168.81 ha	46.9439357078	50.6355433983	3.69060539048
2	643.88 ha	732.69 ha	90.81 ha	14.0365743651	16.02469453	1.9881201788
3	1784.31 ha	1524.69 ha	-259.62 ha	39.029489927	33.3419894487	-5.67750047836

Transition matrix			
	1	2	3
1	0.990072	0.000437	0.009491
2	0.039138	0.945180	0.015482
3	0.062403	0.070090	0.837507

Gambar 1. Matriks Transisi periode Tahun 2001 – 2019

Keterangan:

- 1 : Lahan Terbangun
- 2 : Lahan Non Terbangun
- 3 : Lahan Pertanian

Dari hasil pemodelan menggunakan Cellular Automata didapatkan perubahan lahan terbangun tahun 2001 – tahun 2011 sebesar 46,94 Ha, perubahan lahan non terbangun sebesar 90,81 Ha, dan perubahan lahan sawah berkurang 259,62 Ha.

Persentase luas perubahan lahan selama kurun waktu 10 tahun dari tahun 2001 sampai 2011 adalah sebesar 3,69% untuk penggunaan lahan terbangun, 1,98% untuk penggunaan lahan non terbangun, serta berkurang untuk lahan pertanian sebesar 5,67%.

Tabel 2. Statistik Perubahan Lahan Terbangun Kota Pekalongan Tahun 2001-2031

Penggunaan Lahan	Luas Penggunaan Lahan (Ha)				Persentase (%)			
	2001	2011	2019	2031	2001	2011	2019	2031
Lahan Terbangun	2150.07	2265,7	2447,5	2565,46	46,9	49,4	53,4	55,9
Lahan Pertanian	1790.85	1530.95	1290.7	1156,51	39	33,4	28,1	25,3
Lahan Non Terbangun	642,6	786,9	845.3	861,53	14,1	17,2	18,5	18,8
Total	4583,5	4583,5	4583,5	4583,5	100	100	100	100

Sumber : Hasil Penelitian, 2019

Hasil proyeksi ini memberikan informasi bahwa Kelas penutupan/ penggunaan lahan yang mengalami penambahan luasan yaitu lahan terbangun dengan luas area 2565,46 Ha (55,9%) dan lahan non terbangun (tambak dan rawa) dengan luas area 861,53 (18,8%), sedangkan kelas penutupan/penggunaan lahan pertanian mengalami pengurangan dengan luas area 1156,51 Ha (25,3%).

Perubahan yang terjadi pada lahan non terbangun sangat berkaitan erat dengan kondisi wilayah pesisir. Faktor peningkatan air laut yang menyebabkan banyak penggunaan lahan terbangun dan lahan persawahan yang mengalami penyusutan menjadi daerah rawa dan beberapa menjadi daerah tambak. Hal ini terjadi di daerah Kecamatan Pekalongan utara bagian barat.

Pembahasan

Perubahan Lahan Terbangun Tahun 2001, 2011, 2019

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa luas perubahan lahan terbangun paling tinggi terjadi di Kecamatan Pekalongan Barat yaitu sebesar 82 Ha. Hasil ini sesuai dengan kenyataan dilapangan yang banyak dijumpai di beberapa daerah di Pekalongan Barat, lahan pertanian yaitu berupa sawah beralih fungsi menjadi permukiman, sawah berubah menjadi pertokoan dan pusat perbelanjaan. Kecamatan Pekalongan Barat menjadi kecamatan paling barat dan bersebelahan dengan Kabupaten Pekalongan. Layanan fasilitas umum seperti sekolah banyak dibangun di daerah Pekalongan Barat.

Prediksi Cellular Automata Tahun 2031

Berdasarkan hasil penelitian yang ada diatas, lahan terbangun di Kota Pekalongan menggunakan perangkat lunak *open source* yaitu dari Quantum GIS dan menggunakan metode *Cellular Automata* dapat diterapkan.

Hasil pemodelan menghasilkan peta proyeksi penutupan / penggunaan lahan terbangun yang bisa dilihat pada gambar 4.5. Peta proyeksi ini divalidasi berdasarkan peta penggunaan lahan terbangun tahun 2019. Validasi dilakukan untuk melihat kesesuaian peta proyeksi dengan peta penggunaan lahan terbangun tahun 2019.

Nilai kappa atau kesesuaian (kemiripan) antara 0 - 1.00. Menurut Altman dalam Murthi (2011) nilai kappa 0,81 – 1,00 menunjukkan kesepakatan yang sangat baik, nilai kappa 0,61 – 0,80 adalah baik, nilai kappa 0,41 – 0,60 adalah sedang, 0,21 – 0,40 adalah kurang dari sedang, dan nilai kappa <0,21 dikatakan buruk. Nilai kappa untuk Artificial Neural Network (ANN) dari hasil penelitian adalah 0,90. Nilai ini menunjukkan bahwa prediksi penggunaan lahan terbangun tahun 2019 sangat baik terhadap penggunaan lahan terbangun tahun 2019 hasil inpretasi / eksiting.

Keterkaitan Prediksi Penggunaan Lahan Terbangun dengan Pola Ruang Kota Pekalongan

Pola ruang wilayah Kota pekalongan merupakan gambaran pemanfaatan ruang wilayah kabupaten/ kota yang berfungsi

lindung maupun budidaya yang belum ditetapkan di rencana tata ruang wilayah (RTRW). Untuk itu semua pembangunan di suatu wilayah harus mengacu pada Pola Ruang yang sudah ditetapkan dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW).

Berdasarkan hasil analisis prediksi penggunaan lahan terbangun tahun 2031, Kecamatan Pekalongan Barat menjadi prioritas arah perkembangan penggunaan lahan terbangun. Arah perkembangan penggunaan lahan terbangun mengacu pada pola ruang dalam Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Pekalongan. Perkembangan permukiman yang terjadi di Kota Pekalongan banyak yang sudah sesuai dengan RTRW yang sudah dibuat. Perkembangan permukiman tersebut terjadi di hampir seluruh kelurahan di Kota Pekalongan Kecuali di Kecamatan Pekalongan Utara. Hal itu terjadi karena adanya bencana Air Rob yang sering terjadi di kota Pekalongan khususnya di Kecamatan Pekalongan Utara sehingga banyak lahan tambak serta pertanian yang menjadi daerah rawa, serta lahan permukiman banyak yang ditinggalkan oleh penghuninya karena akses jalan ke permukiman sudah terendam air rob, selama berbulan-bulan.

Perkembangan kawasan permukiman di Kota Pekalongan sebagian besar terjadi karena pembangunan perumahan oleh pengembang (developer). Wilayah Kota Pekalongan sangat strategis karena berada di jalur pantura serta Kota Pekalongan merupakan daerah berkembang sehingga menarik minat pengembang (*developer*) untuk mendirikan perumahannya.

SIMPULAN

Perubahan Lahan Terbangun di Kota Pekalongan mengalami peningkatan luas, Luas lahan terbangun tahun 2001 adalah 2150,07 ha. Mengalami peningkatan 115,65 ha, menjadi 2265,7 ha pada tahun 2011. Pada tahun 2019 mengalami peningkatan sebesar 181,8 ha menjadi 2447,5 ha. Perubahan yang terjadi selama tahun 2001 sampai tahun 2019 adalah sebesar 297,4 ha.

Prediksi perubahan lahan terbangun bisa diterapkan di wilayah Kota Pekalongan dengan menggunakan faktor pendukung seperti faktor jarak jalan, faktor fasilitas umum yang ada. Prediksi lahan terbangun Kota Pekalongan mengalami pertumbuhan, yaitu terlihat perubahan dari lahan pertanian menjadi lahan terbangun.

Hasil uji akurasi nilai kappa atau kesesuaian (kemiripan) antara 0 - 1.00. Menurut Altman dalam Murthi (2011) nilai kappa 0,81 – 1,00 menunjukkan kesepakatan yang sangat baik, nilai kappa 0,61 – 0,80 adalah baik, nilai kappa 0,41 – 0,60 adalah sedang, 0,21 – 0,40 adalah kurang dari sedang, dan nilai kappa <0,21 dikatakan buruk. Nilai kappa untuk Artificial Neural Network (ANN) dari hasil penelitian adalah 0,90. Nilai ini menunjukkan bahwa prediksi penggunaan lahan terbangun tahun 2019 sangat baik terhadap penggunaan lahan terbangun tahun 2019 hasil inpretasi / eksiting.

SARAN

Lahan terbangun merupakan penutup lahan yang keberadaanya bisa merusak fungsi lahan lainnya, namun juga tidak bisa dihindari dalam perkembangan dan perubahan setiap tahunnya. Perubahan lahan terbangun ini harus ada batasan, sehingga perubahan lahan terbangun bisa di kendalikan, dengan bantuan masyarakat dan pantauan dari pemerintah dan stakeholder terkait.

Masyarakat juga perlu untuk lebih mematuhi peraturan yang dibuat pemerintah, agar pembangunan yang sesuai dengan perencanaan dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkaf, M. dkk. 2014. Model Spasial Perubahan Lahan terbangun di Taman Nasional Gunung Merbabu dan Daerah Penyangga. *Jurnal Majalah Ilmiah Globe*, Vol. 16 No. 1, 43 – 50
- Almeida, C. M., Monteiro, et al. 2005. GIS and Remote Sensing as Tools for The Simulation of Urban Land-use Change. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 26 No. 4

- Badan Standarisasi Nasional. 2010. Klasifikasi Penutup Lahan SNI No 7645. Diakses tanggal 01 April 2019 dari *www.bsn.go.id*
- Danoedoro, Projo. 2012. *Pengantar Penginderaan jauh Digital*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Dwinanto, Andreas A. P. 2016. Model Perubahan dan Arahan Lahan terbangun di Kabupaten Brebes dan Cilacap untuk Mendukung Ketersediaan Beras Provinsi Jawa Tengah. *Tesis*. Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Falahatkar, S. dkk. 2011. Integrasi Data Penginderaan Jauh dan Sig Untuk Prediksi Peta Penutup Lahan. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, Vol. 1 No. 4
- Hasan, M. Fuad. 2015. Sebaran Spasial Lahan Kritis Untuk Prioritas Rehabilitasi Berbasis Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh di Das Juwana Hulu. *Skripsi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- Ibrahim W.Y.W, Ludin, Ahmad N.M. 2014. Spatiotemporal Land Use Change Analysis Using Open Source GIS and Web Based Application. *International Conference on Urban and Regional Planning*. Artikel. Johor Baru: University Teknologi Malaysia
- Ukoro, A. I. 2013. *Membangun Model Sawah Lestari Dan Model Prediksi Perubahannya Menggunakan Cellular Automata Di Kabupaten Klaten Provinsi Jawa Tengah*. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Wijaya, N. 2015. Deteksi Perubahan Lahan terbangun Dengan Citra Landsat Dan Sistem Informasi Geografis [Studi Kasus Di Wilayah Metropolitan Bandung, Indonesia]. *Journal of Geomatics and Geoplaning*, Vol. 2 No. 2, 82–92
- Wijaya, Muhammad Sufwandika. Susilo, Bowo. 2013. Integrasi Model Spasial Cellular Automata dan Regresi Logistik Biner untuk Pemodelan Dinamika Perkembangan Lahan terbangun (Studi Kasus Kota Salatiga). *Jurnal Bumi Indonesia*, Volume 2, No 1, Tahun 2013.
- Wijaya, Muhammd Sufwandika. Umam, Nuril. 2015. Pemodelan Spasial Perkembangan Fisik Perkotaan Yogyakarta menggunakan Model Cellular Automata dan Regresi Logistik Biner. *Majalah Ilmiah Globe*, Volume 17, No 2 tahun 2015.