

Pemodelan Penyebaran Kebakaran Hutan dan Lahan di Kabupaten Mempawah Menggunakan Metode *Cellular Automata*

Maria Sofiani^a, Joko Sampurno^{a*}, Apriansyah^b

^aProdi Fisika, FMIPA Universitas Tanjungpura, ^bProdi Ilmu Kelautan FMIPA Universitas Tanjungpura,
Jalan Prof. Dr. Hadari Nawawi, Pontianak, Indonesia
*Email : jokosampurno@physics.untan.ac.id

Abstrak

Metode *cellular automata* telah digunakan untuk memodelkan penyebaran kebakaran hutan dan lahan di Kabupaten Mempawah. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data tutupan lahan Provinsi Kalimantan Barat dari citra satelit tahun 2012 dan peta yang memuat *fire history* tahun 2013 di Kabupaten Mempawah. Tahap pengolahan data dimulai dengan mengelompokkan data vegetasi ke dalam 2 kelompok vegetasi yaitu: vegetasi basah dan vegetasi kering. Peta yang telah disimpan sebelumnya dalam format “.jpg” dipotong ke dalam ukuran 250 x 250 piksel. Pemodelan kebakaran hutan dan lahan dengan metode *cellular automata* menggunakan geometri sel segi empat 2 dimensi. Jenis tetangga sel utama yang digunakan adalah jenis *moore neighborhood* (8 sel tetangga). Gambar hasil pemodelan dan data pembanding kemudian diolah melalui tahap *grayscale* dan *thresholding*, lalu kedua gambar diuji untuk diperoleh nilai koefisien korelasinya. Nilai koefisien korelasi tertinggi dari pengujian gambar hasil pemodelan terhadap 49 koordinat titik api yang berbeda sebesar 0,6850 (korelasi kuat) pada koordinat titik api (100,130). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *cellular automata* dapat digunakan untuk memodelkan penyebaran kebakaran hutan dan lahan di Kabupaten Mempawah dengan baik.

Kata Kunci : *Cellular Automata, Kebakaran Hutan, Grayscale, Thresholding*

1. Latar Belakang

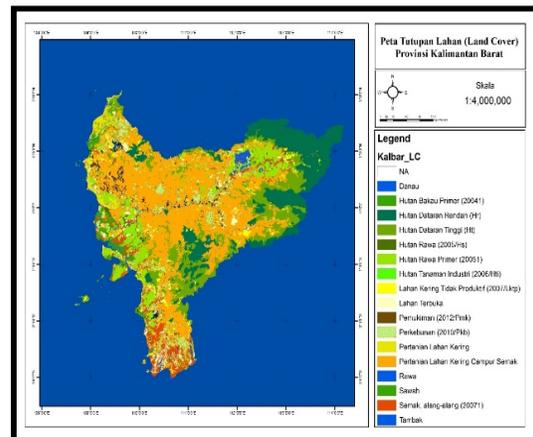
Model dalam sains dan teknik merupakan representasi atau bentuk sederhana dari suatu sistem nyata. Pemodelan membuat fenomena alam yang kompleks dapat disederhanakan sehingga lebih mudah untuk dikaji. Salah satu fenomena alam yang kompleks adalah peristiwa kebakaran hutan. Seiring berkembangnya ilmu dan teknologi, metode-metode komputasi mulai banyak digunakan. Fenomena Kebakaran hutan dan lahan dapat dimodelkan menggunakan sebuah metode komputasi yaitu *cellular automata*[1].

Cellular automata adalah sebuah model yang mampu menjelaskan interaksi dalam ruang dan waktu pada suatu sistem yang kompleks seperti pada sistem fisis, biologis, kimiawi, sosial, dan ekonomi. Keunggulan dari model ini adalah mampu menghasilkan suatu pola sederhana hingga pola yang kompleks dengan prinsip yang sederhana. *Cellular automata* terdiri dari lima elemen dasar yaitu kisi, keadaan, tetangga, variabel waktu, dan aturan transisi [2]. Beberapa penelitian sebelumnya telah berhasil mengaplikasikan metode *cellular automata* untuk memodelkan penyebaran kebakaran hutan. Salah satunya adalah Alexandridis, *et al.* [3] yang menggunakan model *cellular automata* untuk memprediksi kasus kebakaran hutan dengan kasus kebakaran yang melanda Pulau Spetses pada bulan Agustus tahun 1990.

Faktor yang dimasukkan pada pemodelan kebakaran hutan dan lahan di Kabupaten Mempawah ini adalah faktor tipe vegetasi basah dan vegetasi kering. Hasil pemodelan tersebut menghasilkan gambar yang memuat pola bekas kebakaran. Gambar hasil pemodelan tersebut kemudian dikorelasikan dengan gambar data pembanding yang memuat informasi *fire history* di wilayah Kabupaten Mempawah pada tahun 2013.

2. Metodologi

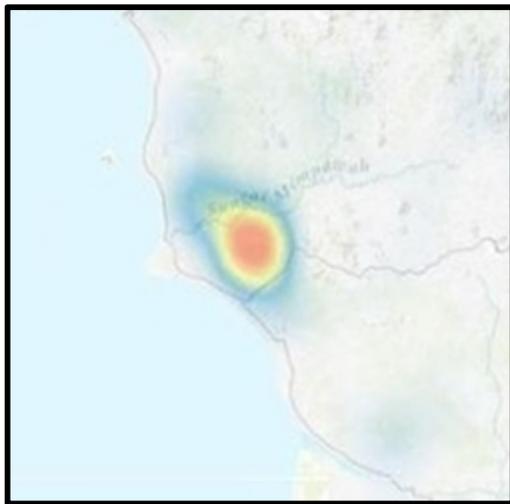
2.1 Data



Gambar 1. Peta tutupan lahan (*land cover*) Provinsi Kalimantan Barat[4]

Data yang digunakan adalah data tutupan lahan (*land cover*) wilayah di sekitar Kabupaten Mempawah Provinsi Kalimantan Barat. Data ini adalah hasil potongan peta tutupan lahan Provinsi Kalimantan Barat yang diperoleh dari citra satelit landsat yang memuat informasi tutupan lahan tahun 2012. Peta tutupan lahan Provinsi Kalimantan Barat yang menunjukkan sebaran vegetasi dengan berbagai jenis vegetasi dapat dilihat pada Gambar 1.

Data yang digunakan sebagai pembanding adalah peta wilayah di sekitar Kabupaten Mempawah yang memuat informasi *fire history* tahun 2013 yang diperoleh dari website resmi *Global Forest Watch*[5]. Data disimpan dalam format ".jpg", seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.



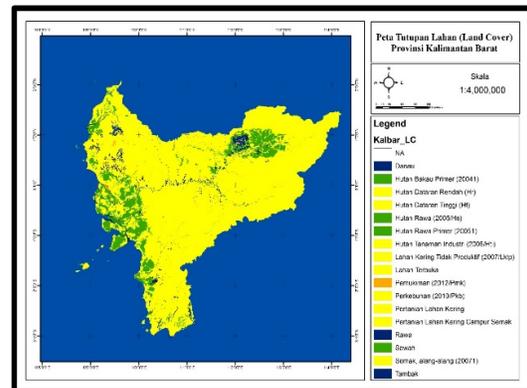
Gambar 2. Peta *fire history* di wilayah sekitar Kabupaten Mempawah, Provinsi Kalimantan Barat[5]

2.2 Pengelompokan Vegetasi Pada Peta Tutupan Lahan

Peta tutupan lahan wilayah Provinsi Kalimantan Barat yang memuat 18 kategori (Gambar 1) dikelompokkan ke dalam empat zona tutupan lahan (Gambar 3 dan Tabel 1). Zona pertama (biru) terdiri dari tutupan lahan yang berupa: danau, rawa, tambak dan laut. Zona kedua (putih) berupa wilayah Na (wilayah yang belum dapat dikategorikan). Zona ketiga (kuning) terdiri atas: semak dan alang-alang, hutan dataran rendah, hutan dataran tinggi, hutan tanaman industri, lahan kering tidak produktif, lahan terbuka, permukiman, perkebunan, pertanian lahan kering, dan pertanian lahan kering campur semak. Zona keempat terdiri dari tutupan lahan yang berupa: hutan rawa, hutan rawa primer dan sawah.

Tabel 1. Tabel Pengelompokan Vegetasi

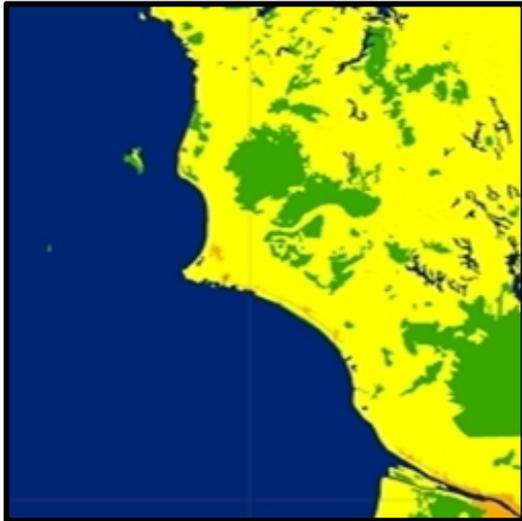
N0	Kategori Awal	Vegetasi	Pemberian Warna
1	Na (belum dapat dikategorikan)	Basah	Putih
2	Danau	Basah	Biru
3	Hutan Bakau Primer	Basah	Hijau
4	Hutan Dataran Rendah	Kering	Kuning
5	Hutan Dataran Tinggi	Kering	Kuning
6	Hutan Rawa	Basah	Hijau
7	Hutan Rawa Primer	Basah	Hijau
8	Hutan Tanaman Industri	Kering	Kuning
9	Lahan Kering Tidak Produktif	Kering	Kuning
10	Lahan Terbuka	Kering	Kuning
11	Permukiman	Kering	Kuning
12	Perkebunan	Kering	Kuning
13	Pertanian Lahan Kering	Kering	Kuning
14	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	Kering	Kuning
15	Rawa	Basah	Biru
16	Sawah	Basah	Hijau
17	Semak dan Alang-alang	Kering	Kuning
18	Tambak	Basah	Biru



Gambar 3. Peta tutupan lahan dalam 4 keadaan (*state*): vegetasi basah (hijau), vegetasi kering (kuning), dataran kosong (putih), lautan atau perairan (biru)

2.3 Cropping

Cropping merupakan suatu proses pemotongan bagian tertentu pada gambar yang diperlukan. Pada tahap ini data masukan, data hasil penelitian dan data pembandingan dipotong dengan ukuran 250 x 250 piksel di sekitar wilayah Kabupaten Mempawah. Data masukan yang dipotong dapat dilihat pada Gambar 4.

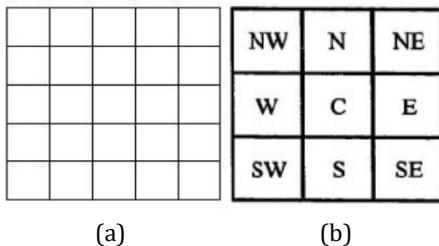


Gambar 4. Hasil *cropping* peta tutupan lahan dengan 4 keadaan (*state*): vegetasi basah (hijau), vegetasi kering (kuning), dataran kosong (putih), lautan atau perairan (biru)

2.4 Penerapan Metode Cellular Automata

a. Kisi dan Tetangga

Bentuk geometri sel segi empat digunakan untuk merepresentasikan hutan dan lahan seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. (a) Geometri sel segi empat 2 dimensi dan (b) *moore neighborhood*

b.Rancangan Cellular Automata Untuk Simulasi Kebakaran Hutan Dan Lahan

Pemodelan kebakaran mencakup 5 keadaan (*state*) awal yaitu :

1. Warna hijau menunjukkan wilayah dengan vegetasi basah.

2. Warna kuning menunjukkan wilayah dengan vegetasi kering.
3. Warna merah menunjukkan wilayah vegetasi yang sedang terbakar.
4. Warna hitam menunjukkan wilayah vegetasi yang sudah habis terbakar.
5. Warna putih menunjukkan wilayah dataran yang tidak punya potensi untuk terbakar (laut dan perairan).

Representasi matematis dari metode *cellular automata* memenuhi persamaan (1) [2]:

$$S_{x_{i,j}}^{t+1} = f (S_{\Omega_{x_{i,j}}}^t) \quad (1)$$

Dimana $S_{x_{i,j}}^{t+1}$ menyatakan keadaan sel pada waktu (t+1), $S_{\Omega_{x_{i,j}}}^t$ merupakan keadaan sel-sel $\Omega_{x_{i,j}}$ (semua sel tetangga) pada waktu t dan f adalah fungsi yang menunjukkan aturan transisi.

Jadi, ketika proses kebakaran terjadi, perubahan keadaan (*state*) awal menjadi:

- Wilayah yang pada kondisi awal adalah wilayah vegetasi kering akan langsung beralih ke keadaan (*state*) terbakar. Wilayah ini mengalami keadaan dari *state* 2 ke *state* 3, lalu ke *state* 4.
- Wilayah yang pada kondisi awalnya merupakan wilayah vegetasi basah, jika berada dekat dengan sumber panas api, panas api akan mengakibatkan wilayah berubah menjadi vegetasi kering, lalu akhirnya terbakar. Wilayah ini mengalami perubahan dari *state* 1 ke *state* 2 lalu ke *state* 3 dan berakhir ke *state* 4.

Aturan transisi khusus yang diterapkan pada kasus kebakaran hutan dan lahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

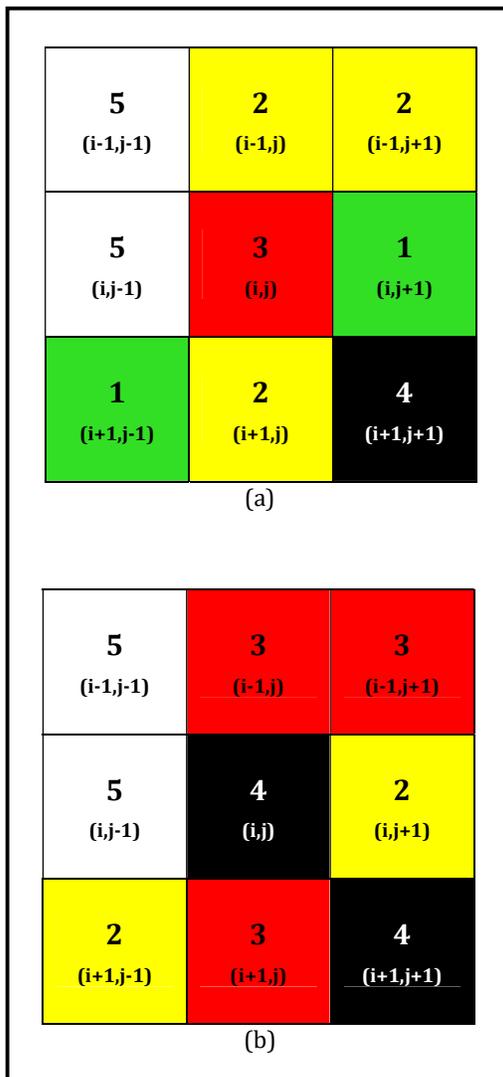
- IF sel pada waktu t keadaannya kering & sel tetangganya terbakar,
- THEN sel pada waktu (t+1) menjadi terbakar;
- IF sel pada waktu t keadaannya basah & sel tetangga terbakar,
- THEN sel pada waktu (t+1) menjadi berkeadaan kering;
- IF sel pada waktu t terbakar,
- THEN sel pada waktu (t+1) menjadi wilayah yang sudah habis terbakar;
- IF sel pada waktu t keadaannya tidak mungkin terbakar,
- THEN sel pada waktu (t+1) tidak mungkin terbakar.

Misal, terdapat suatu perkumpulan sel dengan kondisi awal seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Pada saat (t+1), maka untuk arah perambatan selanjutnya semua sel yang bernilai

< 4 nilainya ditambah 1 sehingga keadaannya menjadi:

- $(i-1,j-1) \rightarrow 5$
- $(i-1,j) \rightarrow 2 < 4 \rightarrow 2 + 1 = 3$
- $(i-1,j+1) \rightarrow 2 < 4 \rightarrow 2 + 1 = 3$
- $(i,j-1) \rightarrow 5$
- $(i,j) \rightarrow 3 < 4 \rightarrow 3 + 1 = 4$
- $(i,j+1) \rightarrow 1 < 4 \rightarrow 1 + 1 = 2$
- $(i+1,j-1) \rightarrow 1 < 4 \rightarrow 1 + 1 = 2$
- $(i+1,j) \rightarrow 2 < 4 \rightarrow 2 + 1 = 3$
- $(i+1,j+1) \rightarrow 4$

Sel yang berada pada koordinat $(i-1,j)$, $(i-1,j+1)$ dan $(i+1,j)$ pada saat $(t+1)$ adalah sel yang sedang terbakar, sedangkan untuk *center* sel pada saat t yaitu sel yang berada pada koordinat (i,j) berubah menjadi keadaan telah terbakar. Kondisi Gambar 6(a) pada saat $(t+1)$ menjadi Gambar 6(b).



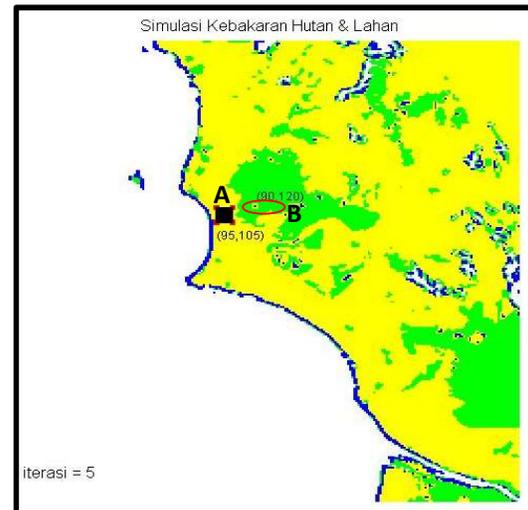
Gambar 6.(a) Perkumpulan sel pada saat t dan (b) perkumpulan sel pada saat $(t+1)$

3. Hasil dan Pembahasan

Program pemodelan yang dibuat dalam penelitian ini, mengolah nilai ambang pada matriks nilai warna hijau (*green channel*) dari data citra masukan yang berformat ".jpg" dengan nilai citra berada antara 0 sampai dengan 255. Wilayah dengan nilai warna hijau yang berkisar antara 128 sampai dengan 192 dikelompokkan sebagai "vegetasi basah" dan yang bernilai di atas 192 sebagai "vegetasi kering". Sementara yang bernilai antara 0 sampai dengan 64 sebagai wilayah yang tidak akan terbakar dan yang bernilai antara 64 sampai dengan 128 sebagai wilayah lautan atau perairan yang juga tidak berpotensi untuk terbakar.

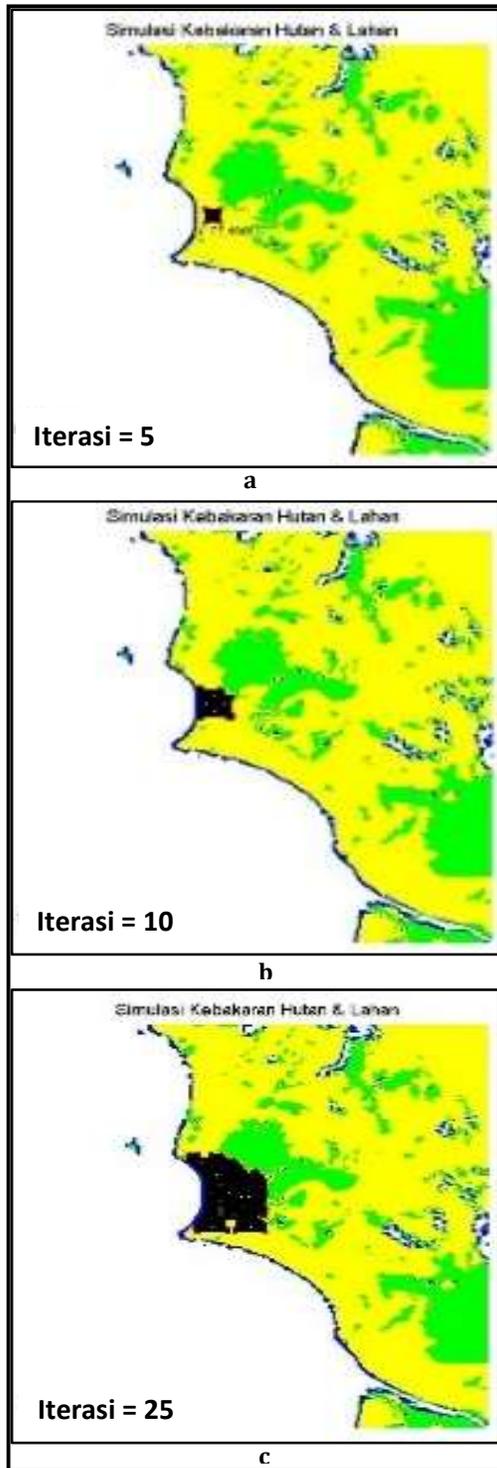
Tiga pemodelan dilakukan pada penelitian ini yaitu: pemodelan untuk melihat pengaruh vegetasi, pemodelan untuk melihat penyebaran api dan dampaknya terhadap vegetasi, serta pemodelan pada 49 titik api untuk mencari nilai koefisien korelasi tertinggi yang paling mendekati data validasi.

Gambar 7 menunjukkan sebaran api pada iterasi ke-5 dengan dua titik api. Masing- masing di wilayah dengan vegetasi basah (hijau) dan di wilayah vegetasi kering (kuning).



Gambar 7. Hasil simulasi kebakaran hutan yang berasal dari 2 titik api (tutupan lahan kering (A-95,105) dan basah (B-90,120) pada iterasi ke-5)

Gambar 8 memperlihatkan pergerakan titik api pada satu titik dimana titik api bermula pada wilayah vegetasi kering (kuning). Api kemudian menyebar mendekati vegetasi basah (hijau) yang berubah menjadi wilayah berpotensi terbakar dan akhirnya terbakar.



Gambar 8. Hasil simulasi kebakaran pada (a) iterasi ke-5 (b) iterasi ke-10 (c) iterasi ke-25

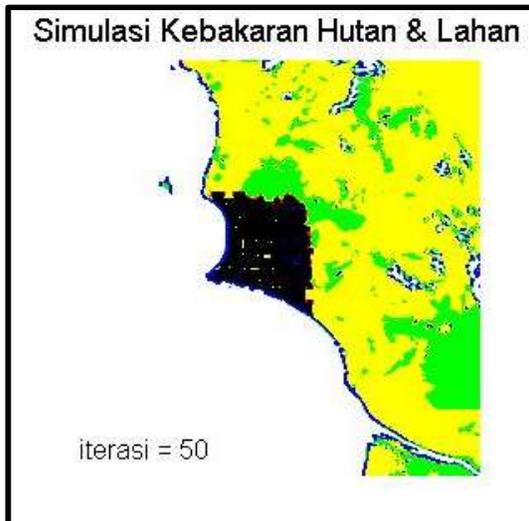
Pemodelan sebanyak 49 kali dilakukan dengan memvariasikan titik koordinat sumber api yang berbeda untuk menemukan pola sisa kebakaran yang paling mirip dengan data

pembanding yang diperoleh dari *Global Forest Watch*[5]. Keempat puluh sembilan gambar pola sisa kebakaran kemudian dikorelasikan dengan data pembanding. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Koefisien Korelasi Pada 49 Koordinat Awal Titik Api dan Pada Iterasi ke-50

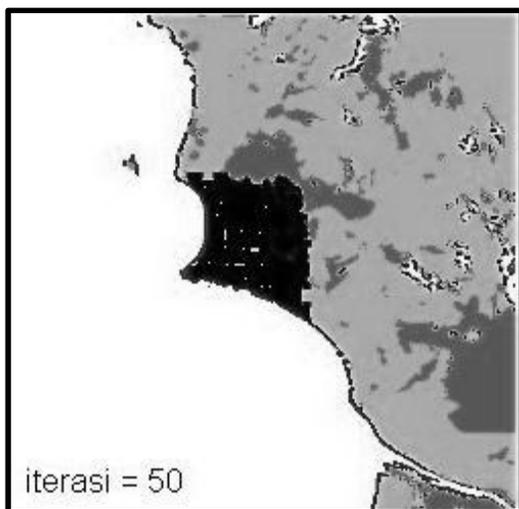
NO	Koordinat Lokal Sumber Api	Nilai Koefisien Korelasi
1	100,100	0,5614
2	105,100	0,6023
3	110,100	0,6180
4	115,100	0,6175
5	120,100	0,5968
6	125,100	0,6603
7	130,100	0,6850
8	100,105	0,5613
9	105,105	0,5660
10	110,105	0,5884
11	115,105	0,5936
12	120,105	0,6223
13	125,105	0,6486
14	130,105	0,6472
15	100,110	0,5215
16	105,110	0,5360
17	110,110	0,5489
18	115,110	0,5505
19	120,110	0,5947
20	125,110	0,6044
21	130,110	0,6276
22	100,115	0,5170
23	105,115	0,5101
24	110,115	0,5175
25	115,115	0,5444
26	120,115	0,4657
27	125,115	0,5778
28	130,115	0,5688
29	100,120	0,4916
30	105,120	0,5128
31	110,120	0,4945
32	115,120	0,5178
33	120,120	0,5258
34	125,120	0,5433
35	130,120	0,5442
36	100,125	0,4737
37	105,125	0,4787
38	110,125	0,5024
39	115,125	0,5113
40	120,125	0,5099
41	125,125	0,5285
42	130,125	0,5195
43	100,130	0,4604
44	105,130	0,4545
45	110,130	0,4810
46	115,130	0,4756
47	120,130	0,5023
48	125,130	0,4883
49	130,130	0,4940

Dari Tabel 2 diperoleh hasil korelasi terbaik adalah api yang berasal dari koordinat (130,100). Hasil simulasi pada skema ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil simulasi pada iterasi ke-50 dengan koordinat awal titik api (130,100)

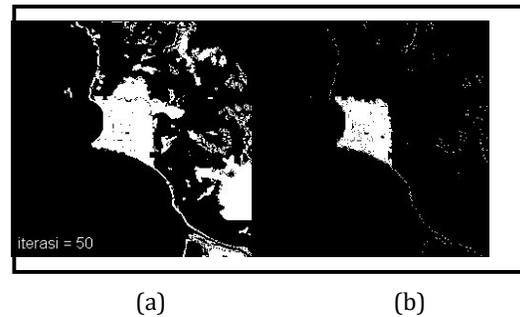
Gambar 9 pada tahap pengujian, sebelumnya dipotong dan diubah menjadi gambar dengan format *grayscale* 8 bit menggunakan *software imagej*[6] dan menghasilkan gambar dengan citra keabu-abuan seperti yang terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil *grayscale* dengan format 8 bit

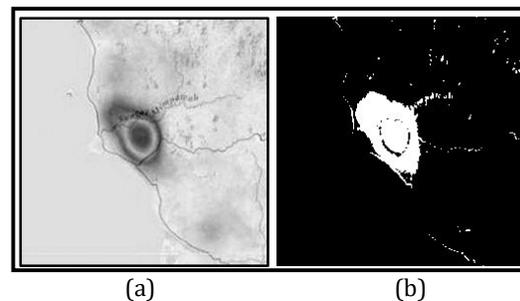
Gambar 10 kemudian di-*threshold* dengan metode *thresholding* otsu [7], sehingga

menghasilkan gambar dengan nilai biner (hitam-putih) di mana pola bekas kebakaran menjadi berwarna putih. Nilai *lower level* untuk *thresholding* juga diubah menjadi 22 dengan tujuan untuk mendekati gambar pembandingan (validasi) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 11.



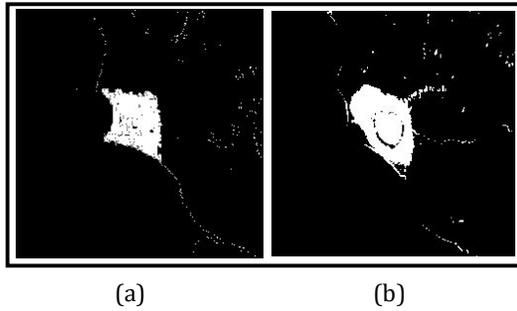
Gambar 11. Hasil *thresholding* (a) sebelum nilai *lower level* diubah (b) dengan nilai *lower level* diubah menjadi 22

Data pembandingan berupa peta wilayah di sekitar Kabupaten Mempawah yang memuat *fire history* dan disimpan dalam format ".jpg", serta dipotong dalam ukuran 250 x 250 piksel juga melalui tahap *grayscale* 8 bit dan tahap *thresholding*. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12.(a) Hasil *grayscale* data pembandingan (b) hasil *thresholding* data pembandingan

Pengujian dilakukan pada Gambar 11 (b) dan 12 (b) kemudian dikorelasikan. Dari hasil uji validitas, diperoleh nilai koefisien korelasi yang paling tinggi adalah pada koordinat titik api 130,100 yaitu sebesar 0,6850. Nilai koefisien korelasi yang diperoleh menunjukkan interpretasi korelasi kuat. Hasil gambar korelasi dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil korelasi (a) data hasil pemodelan dengan (b) data pembandingan

4. Kesimpulan

Metode *cellular automata* telah berhasil diaplikasikan untuk memodelkan kebakaran hutan dan lahan di Kabupaten Mempawah. Penyebaran api pasti terjadi pada wilayah dengan vegetasi kering namun tidak terjadi pada titik api yang bermula di vegetasi basah. Wilayah dengan vegetasi basah dapat menjadi berpotensi terbakar dan akhirnya terbakar jika di sekitar wilayah vegetasi basah terjadi penyebaran api. Panas api membuat wilayah dengan vegetasi basah berubah menjadi wilayah yang berpotensi untuk terbakar. Dari hasil uji validitas terhadap 49 varian koordinat diperoleh koefisien korelasi tertinggi sebesar 0,6850 pada koordinat titik api (130,100).

Daftar Pustaka

- [1] Karafyllidis I, Thanailakis A. A model for predicting forest fire spreading using cellular automata. *Ecological Modelling* 99. 1997; p. 87-97.
- [2] Srigutomo W. *Kapita Selektta Fisika Sistem Kompleks Bandung*: ITB ; 2002.
- [3] Alexandridis A, Vakalis D, Siettos IC. A Cellular Automata Model For Forest Fire Spread Prediction: The Case of The Wildfire That Swept Through Spetses Island in 1990. *Applied Mathematics and Computation*. 2008 Oktober; 204(1): p. 191-201.
- [4] United States Geological Survey. USGS. [Online].; 2004-2012 [cited 2017 April 3. Available from: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- [5] Global Forest Watch. [Online].; 2003 [cited 2017 Mei 30. Available from: <http://fires.globalforestwatch.org/map/#activeFires%2Cnoaa18Fires%2CfireHistory%2CfireStories&activeBasemap=topo&x=111&y=0&z=8>.
- [6] Schneider CA, Rashband WS, Eliceiri KW. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods*. 2012; 9: p. 671-675
- [7] Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. 1979; 9.