

PENDETEKSI KEBAKARAN HUTAN DENGAN ALGORITMA STRING MATCHING

Andara Livia

Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung
e-mail: if17054@students.if.itb.ac.id

ABSTRAK

Makalah ini membahas mengenai pendeteksi kebakaran hutan dengan menggunakan algoritma string matching. Pendeteksian ini dilakukan dengan menggunakan hasil foto satelit untuk wilayah hutan. Foto satelit tersebut yang kemudian akan digunakan untuk mendeteksi adanya kebakaran di suatu wilayah hutan atau tidak.

Pada bab 1 akan dijelaskan mengenai kebakaran hutan, yaitu definisi kebakaran hutan, penyebab terjadinya kebakaran hutan, dan dampak yang dihasilkan oleh kebakaran hutan. Pada bab 2 akan dibahas mengenai foto hutan yang diambil melalui satelit dan metode pengkonversian foto tersebut ke dalam bentuk *string*. Pada bab 3 akan dijelaskan mengenai algoritma pencocokan *string* (*string matching*), dan jenis-jenis algoritma *string matching*. Kemudian akan dijelaskan sedikit mengenai algoritma *Brute Force*, *pseudocode*, dan kompleksitas algoritmanya. Pada bab 4 akan dijelaskan mengenai pengimplementasian algoritma *string matching* untuk mendeteksi adanya kebakaran pada hutan beserta contoh kasusnya. Dua bab terakhir adalah kesimpulan dari makalah ini dan daftar referensi yang digunakan dalam penyusunan makalah ini.

Kata kunci: *String Matching*, Kebakaran Hutan, Foto Satelit.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara tropis yang dialui oleh garis khatulistiwa dan memiliki kawasan hutan yang sangat luas. Seperti yang tertulis di <http://www.mediaindonesia.com>, Menteri Kehutanan (Menhut) MS Kaban menegaskan bahwa luas kawasan hutan Indonesia saat ini mencapai 138 juta hektare.

Namun sangat disayangkan setiap tahunnya luas hutan di Indonesia selalu berkurang. Bahkan laju pengurangan luas hutan tersebut mencapai 2 juta hektar per tahun. Seperti yang tertulis di <http://www.greenpeace.org/>,

Indonesia memiliki kawasan hutan alam asli (intact ancient forests) terbesar di Asia namun kawasan tersebut mengalami laju kehancuran lebih cepat dari wilayah lain di dunia. Tingginya laju penyusutan wilayah hutan atau deforestasi ini antara lain disebabkan oleh maraknya pembalakan hutan secara tidak sah, perusakan hutan, konversi hutan menjadi lahan perkebunan, dan kebakaran hutan.

Kebakaran yang menjadi salah satu penyebab utama deforestasi terjadi antara lain karena:

1. Sambaran petir pada hutan yang kering karena musim kemarau yang panjang.
2. Aktivitas vulkanis seperti terkena aliran lahar atau awan panas dari letusan gunung berapi.
3. Kebakaran di bawah tanah/ground fire pada daerah tanah gambut yang dapat menyulut kebakaran di atas tanah pada saat musim kemarau.
4. Benturan longsoran batu.
5. Kecerobohan manusia antara lain membuang puntung rokok secara sembarangan dan lupa mematikan api di perkemahan.
6. Untuk membersihkan lahan pertanian/ladang atau membuka lahan pertanian/ladang baru. Hal ini dipicu dengan sistem perladangan tradisional dari penduduk setempat yang berpindah-pindah.
7. Pembukaan hutan oleh para pemegang Hak Pengusahaan Hutan (HPH) untuk industri kayu maupun perkebunan kelapa sawit. Pembukaan hutan oleh pemegang HPH dan perusahaan perkebunan untuk pengembangan tanaman industri dan perkebunan umumnya mencakup areal yang cukup luas. Metoda pembukaan lahan dengan cara tebang habis dan pembakaran merupakan alternatif pembukaan lahan yang paling murah, mudah dan cepat. Namun metoda ini sering berakibat kebakaran tidak hanya terbatas pada areal yang disiapkan untuk pengembangan tanaman industri atau perkebunan, tetapi meluas ke hutan lindung, hutan produksi dan lahan lainnya.



Gambar 1. Kebakaran Hutan di Riau

Adapun dampak yang diakibatkan oleh pembakaran hutan tidaklah sedikit. Salah satu dampak negatif yang sampai menjadi isu global adalah asap dari hasil pembakaran yang telah melintasi batas negara. Sisa pembakaran selain menimbulkan kabut juga mencemari udara dan meningkatkan gas rumah kaca. Sisa pembakaran tersebut menyebarkan emisi gas karbon dioksida ke atmosfer. Sebagai contoh kebakaran hutan di Indonesia pada tahun 1997 menimbulkan emisi sebanyak 2,6 miliar ton karbon dioksida ke atmosfer (sumber majalah Nature 2002). Sebagai perbandingan, total emisi karbon dioksida di seluruh dunia pada tahun tersebut adalah 6 miliar ton. Hal seperti inilah yang membuat Indonesia menempati urutan ketiga negara penghasil emisi gas rumah kaca terbesar di dunia setelah Cina dan Amerika Serikat (sumber <http://www.greenpeace.org/>).

Asap tebal dari kebakaran hutan berdampak negatif karena dapat mengganggu kesehatan masyarakat terutama gangguan saluran pernapasan. Karena asap tersebut dapat meningkatkan jumlah penderita penyakit infeksi saluran pernapasan atas (ISPA) dan kanker paru-paru. Polusi asap ini juga bisa menambah parah penyakit para penderita TBC/asma. Selain itu asap tebal juga mengganggu transportasi khususnya transportasi udara disamping transportasi darat, sungai, danau, dan laut. Asap tebal membuat batas pandang menjadi berkurang. Banyak pelabuhan udara yang ditutup pada saat pagi hari di musim kemarau karena jarak pandang yang terbatas bisa berbahaya bagi penerbangan.

Dampak lainnya adalah kerusakan hutan setelah terjadi kebakaran dan hilangnya margasatwa. Terbunuhnya satwa liar dan musnahnya tanaman dapat terjadi baik karena kebakaran, terjebak asap, maupun rusaknya habitat. Kebakaran juga dapat menyebabkan banyak spesies endemik/khas di suatu daerah turut punah. Selain itu, hutan yang terbakar berat akan sulit dipulihkan, karena struktur tanahnya mengalami kerusakan. Hilangnya

tumbuh-tumbuhan menyebabkan lahan terbuka, sehingga mudah tererosi, dan tidak dapat lagi menahan banjir. Karena itu setelah hutan terbakar, sering muncul bencana banjir pada musim hujan di berbagai daerah yang hutannya terbakar. Tidak adanya pohon yang dapat mengikat air tanah juga mengakibatkan kekeringan di musim kemarau.



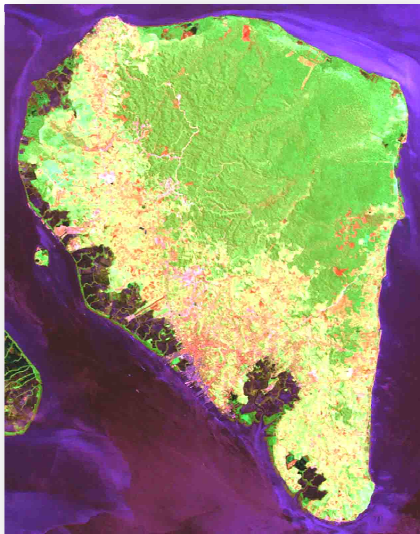
Gambar 2. Sisa pepohonan yang hangus terbakar api akibat kebakaran hutan lahan gambut di Kapuas, Kalimantan Tengah

2. FOTO HUTAN

Dikutip dari detikINET, Jose Achache, direktur dari Group on Earth Observations (GEO) mengatakan bahwa satu-satunya cara untuk mengukur hutan secara efisien adalah dari luar angkasa. Sesuai dengan pernyataan tersebut, penulis menyimpulkan bahwa cara yang paling efektif untuk memantau keadaan hutan adalah juga dari luar angkasa.

Saat ini Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Indonesia menggunakan satelit National Oceanic Atmospheric and Administration (NOAA) untuk mendapatkan pencitraan permukaan bumi. Teknologi digital dari citra satelit menggunakan beberapa band dari spektrum cahaya. Sensor satelit akan mendeteksi dan memproses berbagai jenis cahaya kedalam gambar fokus. Kemudian gambar tersebut akan dikirimkan ke komputer untuk direkam agar dapat digunakan.

Contoh hasil pencitraan satelit adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Foto pulau Tarakan yang diambil melalui satelit

Untuk dapat memantau keadaan hutan-hutan yang ada di Indonesia, BMKG harus memiliki foto keadaan awal setiap hutan. Kemudian satelit akan mengambil foto hutan-hutan tersebut secara periodik untuk dibandingkan dengan foto keadaan awal. Foto-foto tersebut kemudian akan dibandingkan dengan menggunakan algoritma pencocokan string. Untuk itu terlebih dahulu foto-foto tersebut harus dikonversi ke dalam bentuk string agar dapat dibandingkan.

Pengkonversian dilakukan dengan mengubah warna pada foto menjadi angka-angka. Contoh perubahan warna menjadi kode angka dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

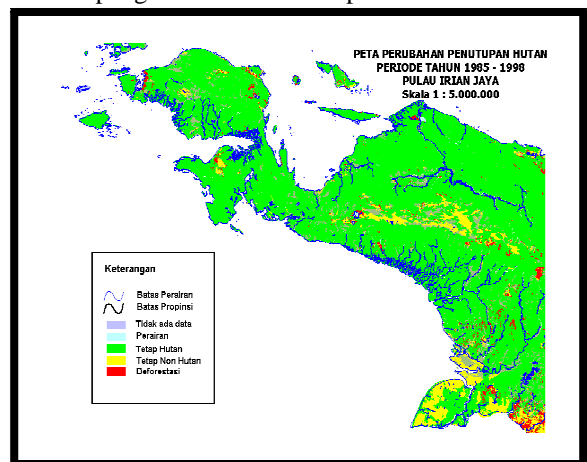
Tabel 1. Konversi Kode Warna ke Kode Angka

Kode Warna	Kode Angka
FFFFFF	0
999999	1
666666	1
333333	1
000000	1
FF0000	2
FF0033	2
990000	2
CC0000	2
FF3300	3
FF6600	3
FF9900	3
FFCC00	3
99FF00	4
66FF00	4
33FF00	4

00CC00	4
0000FF	5
0000CC	5
000099	5
000066	5
CC3333	6
330000	6
660000	6
993333	6

Karena tabel di atas hanya berupa contoh, maka tidak semua kode warna dituliskan ke dalam tabel. Dari tabel di atas terdapat beberapa kode warna yang dikonversi menjadi kode angka yang sama. Hal ini dilakukan untuk menyederhanakan. Sebagai contoh, warna merah tua hingga merah muda memiliki kode yang sama, yaitu 2, warna abu-abu hingga hitam memiliki kode 1, warna kuning hingga jingga memiliki kode 3, warna hijau muda hingga hijau tua memiliki kode 4, warna biru muda hingga biru tua memiliki kode 5, dan warna coklat muda hingga coklat tua memiliki kode 6.

Contoh pengkonversian foto dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4. Contoh foto keadaan awal hutan yang akan dikonversi

Dari gambar di atas akan diperoleh *string*:

```
000000555444444444440000444444444444000000000000
0000000550000000444444444444000044444444444400000000
000005000000004444444444440044444444444400000000
0000000000054044444444444440044444444444400000000
0000000444444024444444444440044444444444440000000
000000044444424444444444440000033444444444444400
000500550444444545455443234000050505444444444000
00000550004444455545444334400055444444444440000
0044440000000005444545454400000044444444444400
00000000000000000004444444433444234454444444444
0000000000000000000000433344442244544444444444
00000000000000000000003333334444433445444444444
0000000000000000000000033334444400002323344666
```

Setelah *string* didapatkan, maka *string* tersebut akan disimpan sebagai *string* keadaan awal.

3. ALGORITMA PENCOCOKAN STRING (STRING MATCHING)

Pencarian di dalam teks disebut juga pencocokan string (string matching atau pattern matching). Jika diberikan:

1. Teks (text), yaitu (long) string yang panjangnya n karakter
2. Pattern, yaitu string dengan panjang m karakter ($m < n$)

maka algoritma pencarian string mencari semua kemunculan pattern di teks.

Pencocokan string merupakan permasalahan paling sederhana dari semua permasalahan string lainnya, dan dianggap sebagai bagian dari pemrosesan data, pengkompresian data, analisis leksikal, dan temu balik informasi. Teknik untuk menyelesaikan permasalahan pencocokan string biasanya akan menghasilkan implikasi langsung ke aplikasi string lainnya. Aplikasi dari masalah pencocokan *string* antara lain pencarian suatu kata di dalam dokumen, seperti menu *Find* pada *Microsoft Word*.

Algoritma-algoritma pencocokan string dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian menurut arah pencariannya. Tiga kategori itu adalah :

- Dari arah yang paling alami, dari kiri ke kanan, yang merupakan arah untuk membaca, algoritma yang termasuk kategori ini adalah:
 1. Algoritma Brute Force
 2. Algoritma dari Morris dan Pratt, yang kemudian dikembangkan oleh Knuth, Morris, dan Pratt
- Dari kanan ke kiri, arah yang biasanya menghasilkan hasil terbaik secara praktikal, contohnya adalah:
 1. Algoritma dari Boyer dan Moore, yang kemudian banyak dikembangkan, menjadi Algoritma turbo Boyer-Moore, Algoritma tuned Boyer-Moore, dan Algoritma Zhu-Takaoka;
- Dan kategori terakhir, dari arah yang ditentukan secara spesifik oleh algoritma tersebut, arah ini menghasilkan hasil terbaik secara teoritis, algoritma yang termasuk kategori ini adalah:
 1. Algoritma Colussi
 2. Algoritma Crochemore-Perrin

3.1 Algoritma Brute Force

Algoritma brute force merupakan algoritma pencocokan string yang ditulis tanpa memikirkan peningkatan performa. Algoritma ini sangat jarang dipakai dalam praktek, namun berguna dalam studi perbandingan dan studi-studi lainnya.

Secara sistematis, langkah-langkah yang dilakukan algoritma brute force pada saat mencocokkan string adalah:

1. Algoritma brute force mulai mencocokkan pattern pada awal teks.
2. Dari kiri ke kanan, algoritma ini akan mencocokkan karakter per karakter pattern dengan karakter di teks yang bersesuaian, sampai salah satu kondisi berikut dipenuhi:
 1. Karakter di pattern dan di teks yang dibandingkan tidak cocok (mismatch).
 2. Semua karakter di pattern cocok. Kemudian algoritma akan memberitahukan penemuan di posisi ini.
3. Algoritma kemudian terus menggeser pattern sebesar satu ke kanan, dan mengulangi langkah ke-2 sampai pattern berada di ujung teks.

Pseudocode algoritma *Brute Force* ini adalah sebagai berikut:

```
procedure BruteForceSearch(  
    input m, n : integer,  
    input P : array[0..n-1] of char,  
    input T : array[0..m-1] of char,  
    output ketemu:array[0..m-1] of boolean  
)  
  
Deklarasi:  
    i, j: integer  
  
Algoritma:  
    for (i:=0 to m-n) do  
        j:=0  
        while(j<n and T[i+j]=P[j]) do  
            j:=j+1  
        endwhile  
        if(j >= n) then  
            ketemu[i]:=true;  
        endif  
    endfor
```

Kompleksitas algoritma pencocokan string dihitung dari jumlah operasi perbandingan yang dilakukan. Pada algoritma Brute Force, kompleksitas kasus terbaik adalah $O(n)$.

Kasus terbaik terjadi yaitu jika karakter pertama pattern P tidak pernah sama dengan karakter teks T yang dicocokkan (kecuali pada pencocokan yang terakhir). Pada kasus ini, jumlah perbandingan yang dilakukan paling banyak n kali.

Kasus terburuk membutuhkan $m(n - m + 1)$ perbandingan, yang mana kompleksitasnya adalah $O(mn)$.

4. IMPLEMENTASI ALGORITMA PENCOCOKAN STRING PADA PENDETEKSI KEBAKARAN HUTAN

Untuk dapat mendeteksi apakah terjadi kebakaran hutan atau tidak, maka foto yang diambil secara periodik dari satelit harus diubah ke dalam bentuk *string*. *String* dari foto tersebut dianggap sebagai *pattern*. *Pattern* tersebut

kemudian dibandingkan dengan *string* keadaan awal (*string* yang didapatkan dari foto keadaan awal hutan). *String* keadaan awal tersebut dianggap sebagai teks. Jika terdapat perbedaan antara teks dan *pattern*, maka dapat disimpulkan telah terjadi sesuatu terhadap hutan tersebut. Untuk membandingkan teks dan *pattern* maka digunakanlah algoritma pencocokan string.

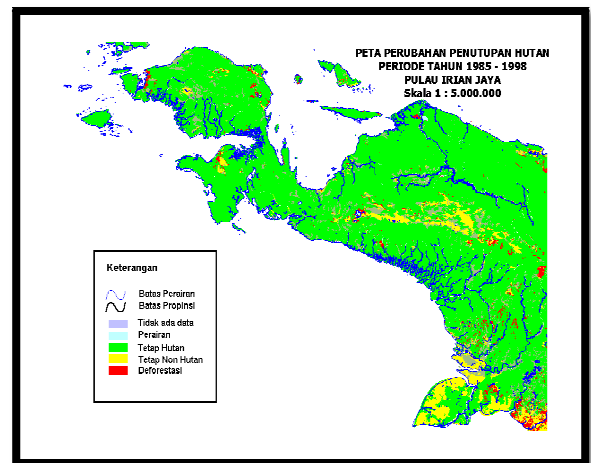
Karena perbandingan dilakukan untuk seluruh karakter pada teks maka algoritma pencocokan *string* yang digunakan cukup algoritma *Brute Force* saja. Namun untuk kasus pendeteksian kebakaran hutan ini, algoritma *Brute Force* yang digunakan sedikit berbeda.

Terdapat beberapa perbedaan antara algoritma pencocokan *string* untuk mendeteksi adanya kebakaran dengan algoritma *Brute Force* pada umumnya. Pertama adalah penanganan program jika ditemukan karakter pada *pattern* yang berbeda dengan karakter pada teks. Jika suatu hutan terbakar, maka dari foto satelit akan terlihat bahwa permukaan yang terbakar akan berwarna merah (karena api) atau berwarna abu-abu hingga hitam (karena asap). Oleh karena itu, jika dibandingkan, maka *pattern* dan teks akan berbeda. Pada implementasinya, jika program menemukan perbedaan tersebut, dan setelah diidentifikasi, ternyata titik yang berbeda tersebut bernilai 1 (abu-abu atau hitam) atau 2 (merah), maka program akan memberitahukan bahwa telah terjadi kebakaran pada titik yang memiliki warna yang berbeda tersebut. Selanjutnya BMKG dapat memberikan kabar bahwa telah ditemukan titik api secepatnya.

Perbedaan kedua terletak pada penanganan setelah ditemukannya karakter yang berbeda antara *pattern* dan teks. Pada algoritma *Brute Force*, setelah ditemukan karakter yang berbeda, jika teks belum habis maka *pattern* akan digeser satu karakter ke kanan dan akan dilakukan kembali langkah-langkah pencocokan *string*. Namun pada algoritma pendeteksian kebakaran hutan ini, jika ditemukan adanya perbedaan, maka akan dicatat titik yang memiliki karakter yang berbeda tersebut, kemudian akan dilakukan pemeriksaan untuk karakter berikutnya tanpa perlu menggeser *pattern*. Langkah ini akan terus dilakukan hingga seluruh karakter pada *pattern* telah diperiksa. Hal ini dilakukan agar jika terjadi dua buah kebakaran pada titik yang berbeda pada waktu yang sama, pendeteksian dapat dilakukan secepatnya dan penanganan pun dapat dilakukan secepatnya.

Berikut ini adalah contoh kasus pendeteksian kebakaran hutan dengan algoritma pencocokan *string*.

Terdapat sebuah foto keadaan awal hutan di pulau Irian, sebagai berikut:

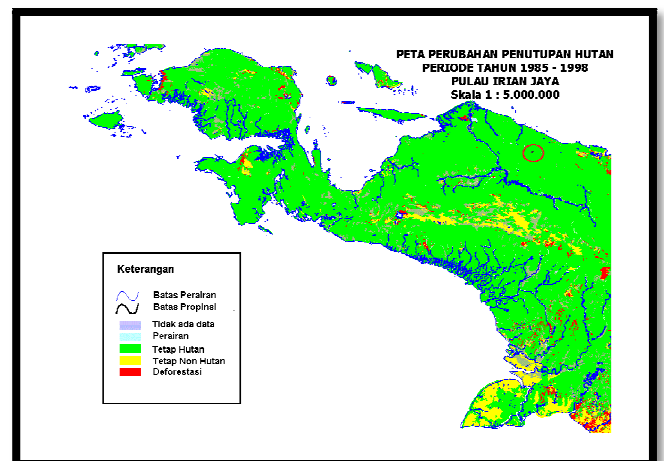


Gambar 5 Foto satelit keadaan awal hutan Irian

Setelah dikonversi ke dalam kode angka, diperoleh string berikut ini:

```
000000554444444444440000444444444444440000000000
00000005500000004444444444440000444444444444000000
0000050000000044444444444400444444444444000000
00000000000540444444444444000444444444444000000
00000004444440244444444444004444444444440000
000000044444424444444444400000334444444444400
0005005504444445454554432340000505054444444000
0000055000444445554544433440005544444444440000
00044400000000054445454440000004444444444400
0000000000000000000444444433444234455444444444
00000000000000000000000043334444224454444444444
000000000000000000000000033333444443344544444444
000000000000000000000000033334444400002323344666
```

Setelah beberapa periode, didapatkan foto keadaan terakhir dari hutan yang ada di pulau Irian, yaitu sebagai berikut:



Gambar 6 Foto satelit keadaan hutan Irian yang mengalami kebakaran

Hasil konversi gambar di atas adalah sebagai berikut:
0000005544444444440000444444444444440000000000
0000005500000004444444400004444444444440000000
0000050000000444444444444004444444441444000000
0000000000540444444444440004444444444000000
00000044444402444444444444004444444444440000
0000000444442444444444440000033444444444400
000500550444444545455443234000050504444444400
000005500044444555454443344000554444444440000
0004440000000054454545440000004444444444400
00000000000000000444444433444234455444444444
0000000000000000000000004333444422445444444444
0000000000000000000000033333444443344544444444
000000000000000000000003333444440002323344666

Perbedaan yang terjadi ditandai oleh lingkaran merah pada gambar, dan angka berwarna merah pada hasil konversi. Titik yang berbeda tersebut bernilai 4 pada teks, dan bernilai 1 pada pattern. Dengan kata lain titik tersebut mengalami perubahan warna dari hijau menjadi hitam. Dapat disimpulkan bahwa telah terjadi kebakaran di titik tersebut sehingga menimbulkan asap berwarna hitam. Kemudian setelah dideteksi, ternyata ditemukan titik api pada titik berindeks [36,2]. Setelah dikonversi, ternyata titik tersebut berada pada 2,5° LS dan 134° BT. Program kemudian akan mengeluarkan pemberitahuan bahwa telah terjadi kebakaran di wilayah tersebut. Pemberitahuan mungkin bisa dalam bentuk alarm.

Untuk penerapan lebih jauh, program ini dapat digunakan untuk mendeteksi terjadinya banjir, tanah longsor, maupun penebangan liar di hutan. Program ini masih terbatas untuk area hutan karena perubahan warna permukaan hutan tergolong statis, dibandingkan dengan warna permukaan pada daerah pemukiman maupun daerah industri yang selalu berubah-ubah setiap waktunya.

Program ini diharapkan dapat membantu pemadam kebakaran untuk mendeteksi adanya titik api yang dapat mengakibatkan kebakaran hutan, dan menentukan lokasi titik api tersebut sedini mungkin sehingga kebakaran hutan dapat ditangani dengan lebih mudah. Tentu saja manfaat dari program ini baru akan terasa jika diimbangi dengan ketangkasan penggunanya, dan orang-orang yang terkait, dalam bertindak dan mengambil keputusan setelah ditemukannya titik api yang akan mengakibatkan kebakaran pada hutan.

Untuk menyimulasikan program pendeteksi kebakaran hutan ini, penulis telah membuat sebuah program sederhana yang dapat diunduh di alamat <http://students.if.itb.ac.id/~if17054/STIGMA/StringMatchingFireDetect.zip>.

5. KESIMPULAN

Algoritma pencocokan string (string matching) dapat diaplikasikan untuk mendeteksi adanya kebakaran hutan

melalui foto satelit. Pendeteksian dilakukan dengan membandingkan foto keadaan awal suatu hutan dengan foto yang diambil kemudian secara periodik. Jika ditemukan adanya perbedaan pada suatu titik, maka akan diperiksa perbedaan warna yang terjadi pada titik tersebut. Jika titik tersebut berubah warna menjadi abu-abu, hitam, atau merah, maka dapat diambil kesimpulan bahwa telah terjadi kebakaran pada titik tersebut. Setelah itu program akan mendeteksi letak titik terjadinya kebakaran tersebut, misalkan di wilayah X. setelah terdeteksi, program akan mengeluarkan pemberitahuan bahwa telah terjadi kebakaran pada wilayah X tersebut.

Diharapkan aplikasi ini dapat membantu pemadam kebakaran agar dapat bertindak lebih cepat dalam menangani kebakaran hutan.

REFERENSI

- [1] Munir, Ir. Rinaldi, 2009, *Diktat Kuliah IF3051 Strategi Algoritma*, Bandung.
- [2] <http://world.mongabay.com/indonesian/pemerintah.html>
- [3] <http://www.greenpeace.org/seasia/id/press>
- [4] <http://ffpmp2.hp.infoseek.co.jp/initial indo.htm>
- [5] <http://www.antara.co.id/view/?i=1211464062&c=WBM&s=>
- [6] http://www.kalteng.go.id/viewarticle.asp?article_id=971
- [7] <http://www.dephut.go.id/INFORMASI/INTAG/Peta%20Tematik/DEFOREST.HTM>
- [8] <http://www.liputan-kota.com/2008/08/kebakaran-hutan-di-riau-bmg-deteksi.html>
- [9] <http://www.bakosurtanal.go.id/?m=93>
- [10] <http://www.mediaindonesia.com/read/2009/04/30/72261/126/101/35-Titik-Api-di-Enam-Provinsi-Mulai-Membakar-Hutan>
- [11] <http://www.kabarindonesia.com/foto.php?jd=Lomba+Foto+YPHL%3A+Kebakaran+Hutan&pil=20081023163151>
- [12] <http://www.searchgrid.org/index.php?lang=id&cat=3f8&month=2009-07&id=2685>
- [13] <http://nasional.vivanews.com/news/read/21286-luas-hutan-indonesia-semakin-berkurang>
- [14] <http://www.anneahira.com/indonesia/pembagian-daerah.htm>
- [15] <http://the-light.com/colclick.html>
- [16] http://id.wikipedia.org/wiki/Kebakaran_liar
- [17] http://id.wikipedia.org/wiki/Algoritma_pencarian_string