

**ANALISA SEBARAN TITIK PANAS DAN  
SUHU PERMUKAAN DARATAN SEBAGAI  
PENDUGA TERJADINYA KEBAKARAN HUTAN  
MENGUNAKAN SENSOR SATELIT  
NOAA/AVHRR DAN EOS AQUA-TERRA/MODIS**

**TUGAS AKHIR**

Oleh

**GIATIKA CHRISNAWATI**

**04 05 23 018 3**



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GANJIL 2007/2008**

**ANALISA SEBARAN TITIK PANAS DAN  
SUHU PERMUKAAN DARATAN SEBAGAI  
PENDUGA TERJADINYA KEBAKARAN HUTAN  
MENGUNAKAN SENSOR SATELIT  
NOAA/AVHRR DAN EOS AQUA-TERRA/MODIS**

**TUGAS AKHIR**

Oleh

**GIATIKA CHRISNAWATI**

**04 05 23 018 3**



**TUGAS AKHIR INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI  
SEBAGIAN PERSYARATAN MENJADI  
SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GANJIL 2007/2008**

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul :

**ANALISA SEBARAN TITIK PANAS DAN  
SUHU PERMUKAAN DARATAN SEBAGAI PENDUGA TERJADINYA  
KEBAKARAN HUTAN MENGGUNAKAN SENSOR SATELIT  
NOAA/AVHRR DAN EOS AQUA-TERRA/MODIS**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 14 Desember 2007

Giatika Chrisnawati  
NPM 04 05 23 018 3

## **PENGESAHAN**

Tugas akhir dengan judul :

**ANALISA SEBARAN TITIK PANAS DAN  
SUHU PERMUKAAN DARATAN SEBAGAI PENDUGA TERJADINYA  
KEBAKARAN HUTAN MENGGUNAKAN SENSOR SATELIT  
NOAA/AVHRR DAN EOS AQUA-TERRA/MODIS**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tugas Akhir ini telah diujikan pada sidang ujian tugas akhir pada tanggal 4 Januari 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai tugas akhir pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 7 Januari 2008  
Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Dodi Sudiana, M.Eng  
NIP 131 944 413

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

**Dr. Ir. Dodi Sudiana, M.Eng**

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan baik.

Giatika Chrisnawati  
NPM 04 05 23 018 3  
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Dodi Sudiana, M. Eng

**ANALISA SEBARAN TITIK PANAS DAN  
SUHU PERMUKAAN DARATAN SEBAGAI PENDUGA  
TERJADINYA KEBAKARAN HUTAN MENGGUNAKAN SENSOR  
SATELIT NOAA/AVHRR DAN EOS AQUA-TERRA/MODIS**

**ABSTRAKSI**

Kebakaran hutan atau lahan dapat dideteksi dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh, yaitu dengan melakukan pemantauan jumlah dan sebaran titik panas di suatu wilayah. Jumlah dan sebaran titik panas diperoleh dengan mengolah citra sensor satelit menggunakan algoritma konversi nilai digital data satelit menjadi suhu.

Satelit yang dapat digunakan untuk pemantauan titik panas adalah satelit NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) melalui sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) dan sensor satelit MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectro-Radiometer*) yang dibawa oleh satelit Terra dan Aqua. Penentuan titik panas dihitung menggunakan metode yang dikembangkan oleh LAPAN untuk data MODIS dan Forest Fire Prevention and Control Project, Departemen Kehutanan RI, untuk data NOAA/AVHRR. Sementara suhu permukaan daratan, dihitung menggunakan metode yang dikembangkan oleh MAIA, Meteo Prancis.

Sebaran titik panas dan suhu permukaan daratan disajikan dalam bentuk peta 2-dimensi yang diberi data geografis. Perbandingan antara peta sebaran titik panas dan suhu permukaan daratan juga dibahas dalam penelitian ini.

Kata kunci : Titik panas, Suhu Permukaan Daratan, NOAA/AVHRR, EOS  
TERRA-AQUA/MODIS

Giatika Chrisnawati  
NPM 04 05 23 018 3  
Electrical Engineering Department

Supervisor  
Dr. Ir. Dodi Sudiana, M. Eng

**HOTSPOT AND LAND SURFACE TEMPERATURE ANALYSIS  
USING SATELLITE DATA NOAA/AVHRR AND EOS TERRA-  
AQUA/MODIS AS FOREST FIRE PREDICTION SYSTEM**

**ABSTRACT**

Forest fire or land surface temperature could be analyzed from satellite data using remote sensing technology. The number of hotspot and land surface temperature distribution could be retrieved from the data by converting the digital number into temperature.

In this research, the hotspots are derived from NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*)/AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) and EOS (Earth Observing System) TERRA-AQUA/MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectro-Radiometer*) sensors. For MODIS data, the hotspot is calculated using an algorithm which is developed by LAPAN, and The Forest Fire Prevention and Control Project, Departemen Kehutanan RI, for NOAA/AVHRR data. The Land Surface Temperature (LST) is calculated using the MAIA algorithm which is developed by Meteo France.

The hotspot and LST distribution is mapped into 2-D representation along with geographical information. The comparison of hotspot distribution and land surface temperature map is also investigated.

Kata kunci : Hotspot, Land Surface Temperature (LST), NOAA/AVHRR,  
EOS TERRA-AQUA/MODIS

## DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN	1
1.2 BATASAN MASALAH	2
1.3 SISTEMATIKA PENULISAN	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 KEBAKARAN HUTAN	4
2.1.1 Definisi Kebakaran Hutan	4
2.1.2 Tipe Kebakaran Hutan	5
2.1.3 Faktor Yang Mempengaruhi Kebakaran Hutan	6
2.2 APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK DETEKSI KEBAKARAN HUTAN	10
2.2.1 Penginderaan Jauh	11
2.2.1.1 Sistem Satelit	11
2.2.1.2 Radiasi Elektromagnetik	12
2.2.1.3 Sensor	14
2.2.1.4 Resolusi Sensor	15
2.2.1.5 Karakteristik Citra	16

2.2.2 Titik Panas (Hot Spot)	17
2.2.3 Suhu Permukaan Laut (Land Surface Temperature)	22
2.3 SATELIT UNTUK PEMANTAUAN TITIK PANAS	23
2.3.1 Sensor Satelit AVHRR	23
2.3.2 Sensor Satelit MODIS	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>26</b>
3.1 ALAT DAN BAHAN	26
3.2 TAHAPAN PENELITIAN	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>33</b>
4.1 TITIK PANAS (HOT SPOT)	33
4.1.1 Data Tanggal 22 Agustus 2005	33
4.1.2 Data Tanggal 2 Oktober 2005	36
4.1.3 Titik Panas Dari Data Sensor AVHRR dan MODIS	38
4.2 SUHU PERMUKAAN DARATAN	39
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	<b>42</b>
<b>DAFTAR ACUAN</b>	<b>43</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>45</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Segitiga api	4
<b>Gambar 2.2</b> Komponen dasar penginderaan jauh	11
<b>Gambar 2.3</b> Spektrum elektromagnetik	13
<b>Gambar 2.4</b> Interaksi energi dengan atmosfer	13
<b>Gambar 2.5</b> Interaksi energi dengan permukaan bumi	14
<b>Gambar 2.6</b> Hubungan DN dengan derajat keabuan	17
<b>Gambar 2.7</b> Distribusi titik panas hasil pengolahan dari citra MODIS	21
<b>Gambar 2.8</b> Suhu permukaan darat dari citra AVHRR	23
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Tahapan Penelitian	27
<b>Gambar 3.2</b> Citra AVHRR level 1b	31
<b>Gambar 3.3</b> Cloud masking	32
<b>Gambar 3.4</b> Land masking	32
<b>Gambar 4.1</b> Sebaran Titik Panas Tanggal 22 Agustus 2005 Menggunakan Sensor AVHRR	34
<b>Gambar 4.2</b> Sebaran Titik Panas Tanggal 22 Agustus 2005 Menggunakan Sensor MODIS	34
<b>Gambar 4.3</b> Sebaran Titik Panas Tanggal 22 Agustus 2005 Data Sensor MODIS Yang Dibuat Oleh LAPAN	35
<b>Gambar 4.4</b> Sebaran Titik Panas Dari Data Terra MODIS Pada Tanggal 2 Oktober 2005	37
<b>Gambar 4.5</b> Sebaran Titik Panas Dari Data Aqua MODIS Pada Tanggal 2 Oktober 2005	37
<b>Gambar 4.6</b> Data level 1b Citra AVHRR tanggal 22 Agustus 2005	40
<b>Gambar 4.7</b> Suhu Permukaan Darat dari Citra AVHRR Pada Tanggal 22 Agustus 2005	40
<b>Gambar 4.8</b> Sebaran Titik Panas Tanggal 22 Agustus 2005 Menggunakan Sensor AVHRR	41

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Central wavenumber masing-masing kanal sensor AVHRR	19
<b>Tabel 2.2</b> Algoritma untuk mendapatkan titik panas pada citra MODIS	20
<b>Tabel 2.3</b> Karakteristik Masing-masing Band Citra AVHRR	24
<b>Tabel 2.4</b> Karakteristik Masing-masing Band Citra MODIS	24
<b>Tabel 3.1</b> Daftar Data Citra Satelit Yang digunakan Untuk Penelitian	26
<b>Tabel 4.1</b> Perbandingan Jumlah Titik Panas Yang Terdeteksi Pada Tanggal 22 Agustus 2005	33
<b>Tabel 4.2</b> Jumlah Titik Panas Dari Data Sensor AVHRR Dan MODIS	38

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Kebakaran hutan dan lahan merupakan peristiwa yang dapat terjadi secara alamiah ataupun dipicu oleh kegiatan manusia[1]. Penggunaan api dalam upaya pembukaan hutan dan lahan untuk Hutan Tanaman Industri (HTI), perkebunan, pertanian, pembalakan liar dan lain-lain merupakan penyebab terjadinya kebakaran hutan oleh manusia. Secara alamiah kebakaran diperparah dengan meningkatnya pemanasan global yang seringkali dikaitkan dengan pengaruh iklim El Niño, memberikan kondisi ideal untuk terjadinya kebakaran hutan dan lahan.

Namun apapun faktor pemicunya, kebakaran hutan dan lahan menimbulkan kerugian yang tidak kecil. Dampak dari kebakaran hutan dan lahan sangat dirasakan terutama oleh masyarakat yang menggantungkan hidupnya kepada hutan, satwa liar yang kehilangan habitatnya, sektor transportasi karena terganggunya jadwal penerbangan dan juga masyarakat secara keseluruhan yang terganggu kesehatannya karena polusi asap dari kebakaran.

Kebakaran hutan terbesar pertama terjadi pada tahun 1982, sekitar 3,6 juta hektar hutan di Kalimantan Timur atau setara dengan 56 kali luas Negara Singapura hangus dan kerugian yang ditimbulkan ditaksir mencapai 9 miliar dollar AS. Bencana terburuk yang melanda 25 propinsi kembali terulang pada tahun 1997, kerugian material mencapai sekitar 4,4 juta dollar AS, antara lain meliputi kawasan hutan seluas 630.000 hektar. Di sisi lain, peristiwa ini mengganggu kesehatan 20 juta penduduk, bahkan hampir mengganggu hubungan baik sesama negara ASEAN (Association of Southeast Asian Nations), karena pergerakan kabut asap yang tidak mengenal batas wilayah negara [2].

Dampak yang besar dari kebakaran hutan mendorong berbagai pihak untuk melakukan tindakan pencegahan. Langkah awal yang dapat dilakukan adalah dengan cara memperkirakan wilayah yang memiliki potensi dilanda kebakaran. Dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh pendeteksian wilayah tersebut menjadi lebih cepat sehingga dapat segera dilakukan langkah pencegahan selanjutnya. Peningkatan kesadaran masyarakat, penyesuaian pola cocok tanam serta penegakkan hukum bagi perusahaan atau pengusaha yang melakukan pembakaran merupakan bagian dari upaya pencegahan yang perlu diterapkan. Sebagai upaya pencegahan jangka panjang, perencanaan tata ruang wilayah perlu memperhatikan aspek-aspek keseimbangan alam. Selain itu peningkatan kemampuan instansi atau pihak terkait di dalam pemadaman kebakaran juga diperlukan untuk mengantisipasi kebakaran yang sudah terjadi.

## **1.2 TUJUAN**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh peta sebaran titik panas dan suhu permukaan daratan, serta menganalisa peta sebaran titik panas dan suhu permukaan daratan sebagai penduga terjadinya kebakaran hutan di Kalimantan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengambilan keputusan untuk pencegahan dan penanggulangan bencana kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan.

## **1.3 BATASAN MASALAH**

Penelitian ini dilakukan untuk memetakan daerah-daerah yang berpotensi mengalami kebakaran hutan atau lahan di Pulau Kalimantan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Metode yang digunakan adalah pendeteksian titik panas dan pemantauan suhu permukaan daratan. Penelitian dilakukan pada citra yang dihasilkan oleh sensor satelit NOAA/AVHRR dan AQUA-TERRA/MODIS.

### 1.3 SISTEMATIKA PENULISAN

#### BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang penulisan, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan

#### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Memuat penjelasan tentang konsep dan prinsip dasar dari penginderaan jauh, algoritma titik panas (*hot spot*) dan algoritma suhu permukaan daratan (*land surface temperature*) yang diperlukan untuk melakukan penelitian

#### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Memuat uraian tentang bahan dan alat yang digunakan, tahapan dari penelitian yang dilakukan mulai dari data awal hingga diperoleh sebaran titik panas dan suhu permukaan daratan di Kalimantan.

#### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat hasil uji coba dari algoritma titik panas dan algoritma suhu permukaan daratan. Selain itu juga dibahas perbandingan hasil algoritma titik panas pada sensor AVHRR dan MODIS serta keterkaitan antara sebaran titik panas dengan suhu permukaan daratan.

#### BAB V KESIMPULAN

Memuat kesimpulan dari keseluruhan tugas akhir ini

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 KEBAKARAN HUTAN

##### 2.1.1 Definisi Kebakaran Hutan

Kebakaran hutan didefinisikan sebagai pembakaran yang tidak tertahan dan menyebar secara bebas serta mengkonsumsi bahan bakar yang tersedia di hutan, yang antara lain terdiri dari serasah, rumput, cabang kayu yang sudah mati, patahan kayu, batang kayu, tunggak, daun-daunan dan pohon-pohon yang masih hidup [3].

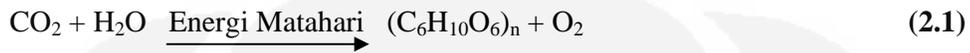
Suatu kebakaran hutan dapat digambarkan sebagai segitiga api yang disebut *The Fire Triangle*. Sisi-sisi segitiga api tersebut adalah bahan bakar, oksigen dan sumber panas (api), yang apabila salah satu atau lebih dari sisi-sisinya tidak ada, maka kebakaran tidak terjadi atau kondisi sisi-sisi tersebut dalam keadaan lemah, maka kecepatan pembakaran semakin menurun, demikian juga dengan intensitas api atau kecepatan terlepasnya energi (panas). Bagan segitiga api dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. *Fire triangle* [4]

Kebakaran hutan merupakan kebalikan dari proses fotosintesis, yang dapat dijelaskan secara reaksi kimia sebagai berikut [5]:

Proses fotosintesis :



Proses Pembakaran :



### 2.1.2 Tipe Kebakaran Hutan

Dilihat dari bahan bakar yang terbakar dan cara penjalaran api, kebakaran hutan dapat digolongkan dalam 3 tipe [5], yaitu :

1. Kebakaran Bawah (*Ground Fire*)

Merupakan kebakaran yang membakar bahan-bahan organik di bawah permukaan tanah yang meliputi bahan organik yang sedang membusuk, humus dan lapisan tanah bagian atas. Penjalaran api lambat tapi terus berlanjut dan tidak menampilkan nyala api, sehingga sulit diketahui. Arah kebakaran ke segala arah sehingga kebakaran bawah berbentuk lingkaran.

2. Kebakaran Permukaan (*Surface Fire*)

Kebakaran jenis ini terjadi di lantai hutan, bahan bakarnya antara lain berupa serasah dan tumbuhan bawah yang ada dilantai hutan. kebakaran ini dapat menjalar pada vegetasi yang lebih tinggi dan penjalarnya dimulai dari permukaan lantai hutan. Penjalaran api berbentuk lonjong atau elips karena mendapat pengaruh angin.

3. Kebakaran Atas (*Crown Fire*)

Kebakaran atas disebut pula kebakaran tajuk. Kebakaran tajuk dapat terjadi karena adanya kebakaran permukaan yang menjalar ke arah tajuk pohon, atau sebaliknya. Biasanya kebakaran jenis ini mempercepat terjadinya kebakaran dan berkembang dari tajuk suatu pohon ke tajuk pohon lainnya.

Ketiga tipe kebakaran tersebut dapat terjadi secara bersamaan. Kebakaran permukaan dapat menjalar menjadi kebakaran tajuk atau sebaliknya, api dari tajuk jatuh ke permukaan tanah dan mengakibatkan kebakaran permukaan dan kebakaran permukaan juga dapat menyebabkan kebakaran bawah.

### 2.1.3 Faktor Yang Mempengaruhi Kebakaran Hutan

#### 1. Jenis Bahan Bakar

Klasifikasi bahan bakar berdasarkan potensinya dalam menimbulkan kebakaran dibagi menjadi beberapa kelompok, yaitu [6]:

- a. Pohon hidup yang menyusun hutan
- b. Semak belukar
- c. Rumput dan tanaman penutup tanah
- d. Serasah dan humus yang tidak terdekomposisi
- e. Dahan mati dan lumut yang terdapat pada pohon hidup
- f. Pohon mati yang masih berdiri
- g. Sisa pembalakan

Sedangkan klasifikasi bahan bakar berdasarkan lokasi bahan bakar tersebut di dalam hutan, sebagai berikut [3]:

- a. Bahan Bakar Bawah (*Ground Fuels*)  
Merupakan bahan bakar serasah (di bawah permukaan tanah), akar pohon, bahan organik yang membusuk, gambut dan batu bara.
- b. Bahan Bakar Permukaan (*Surface Fuels*)  
Merupakan bahan bakar yang berada di lantai hutan, antara lain berupa serasah, log-log sisa tebangan, tunggak pohon dan tumbuhan bawah yang berada di lantai hutan.
- c. Bahan Bakar Atas (*Aerial Fuels*)  
Disebut juga *crown fuels* atau bahan bakar tajuk, yaitu bahan bakar yang berada diantara tajuk tumbuhan bawah sampai tajuk tumbuhan tingkat tinggi. Contohnya antara lain : cabang-cabang pohon, daun pohon dan semak, pohon mati yang masih berdiri.

## 2. Topografi

Ketinggian tempat, letak, lereng dan kondisi permukaan tanah berpengaruh pada penjaralan dan kekerasan kebakaran. Pada daerah yang tidak rata dimana frekuensi dan variasi dari topografi cukup besar, maka penyebaran kebakaran tidak teratur [6]. Pada lereng yang curam, api membakar dan menghabiskan dengan cepat tanaman yang dilaluinya dan api akan menjalar lebih cepat ke arah atas lereng. Sebaliknya api yang menjalar ke bawah lereng akan mati jika melalui daerah lembab yang mempunyai kadar air yang tinggi.

## 3. Iklim Mikro dalam Hutan

Musim kemarau yang panjang menyebabkan berkurangnya kelembaban vegetasi, sehingga pemasukan panas yang rendah pun dapat menyebabkan kebakaran hutan yang hebat. Pemanasan menyebabkan evaporasi, mengeringnya material tanaman, meningkatnya suhu serta terbentuknya gas-gas yang mudah terbakar dan kebakaran akan meningkat secara cepat karena adanya panas yang dilepaskan dari kebakaran serasah [7].

## 4. Waktu Terjadinya Kebakaran Hutan

Pada pagi hari dengan suhu yang relatif rendah ( $18^{\circ}$ - $22^{\circ}$ C), kelembaban relatif tinggi (95-100%), maka tingkat kadar air bahan bakar juga akan relatif tinggi (>40%), sehingga api sukar untuk menjalar bila kebakaran berlangsung. Selain itu pola kebakaran yang terjadi relatif tidak berubah dari bentuk lingkaran, ini karena kecepatan angin relatif stabil atau boleh dikatakan tidak terlalu berpengaruh. Sementara itu pada siang hari dengan suhu udara yang relatif tinggi sekitar  $35^{\circ}$ C, kelembaban relatif 70-80%, kecepatan angin sekitar 60m/menit, dan kadar air bahan bakar yang relatif rendah (<30%), membuat proses pembakaran relatif cepat dengan berubah-ubah arah, intensitas kebakaran yang tinggi membuat bentuk kebakaran menjadi tidak beraturan. Bagi bahan bakar yang

mengandung kadar air cukup tinggi (>30 %), maka relatif memerlukan energi panas yang cukup tinggi guna mencapai temperatur penyalaan [8].

#### 5. Pembalakan Liar (*Illegal logging*)

Pembalakan liar telah menyebabkan hutan terbuka dan terakumulasinya limbah hasil pembalakan yang menjadi sumber bahan bakar. Kebakaran hutan juga bisa terjadi akibat kelalaian dari para pembalak. Sebagai contoh percikan api dari saluran gas buangan/*knalpot chain saw* jatuh mengenai bahan bakar yang berada di lantai hutan.

#### 6. Ladang Berpindah

Peladangan berpindah (*slash and burn system*) telah dilakukan peladang berpindah berabad-abad lalu. Namun, peladang berpindah tradisional mempunyai kearifan ekologi. Mereka menebang hutan pada akhir musim hujan. Daun dan ranting disebar di hutan yang dibuka guna menutupi tanah yang terbuka. Dengan cara ini laju evapotranspirasi hutan turun saat hujan mulai berkurang. Daun-daunan yang menutupi permukaan tanah juga mengurangi penguapan air dari tanah. Dengan berkurangnya laju evapotranspirasi dan penguapan air, kehilangan air dari tanah pada musim kemarau amat dikurangi. Inilah kearifan ekologi tradisional peladang berpindah untuk konservasi air tanah.

Pada akhir musim kemarau, sisa penebangan dibakar. Abu ditebar di tempat yang akan ditanami, menyusul penanaman. Hujan baru sedikit yang turun, intensitasnya pun rendah. Namun, biji dapat tumbuh karena kesuburan tanah cukup tinggi. Saat intensitas hujan naik, tanaman cukup besar sehingga tidak mengalami kerusakan. Perlindungan juga diperoleh dari batang-batang pohon yang diletakkan melintang sejajar kontur tanah membentuk sengkedan. Hutan yang dibuka tidak luas. Mengingat kepadatan penduduk rendah, ladang terpencar di antara bentangan hutan luas [9].

Perladangan berpindah yang dilakukan oleh suku pendatang di beberapa daerah tertentu, dimana mereka tidak memiliki sistem pertanian yang benar-benar memiliki wawasan dan pengetahuan asli terhadap kelanjutan proses perkembangan alam dan lingkungan seperti yang dilakukan oleh suku-suku tradisional. Selain itu juga motivasi mereka jauh berbeda dengan yang dilakukan oleh masyarakat asli. Sebagai contoh masyarakat pendatang mengusahakan suatu lahan pertama sekali selain untuk kebutuhan ekonomi juga ingin menguasai lahan dan pada tahap berikutnya mengelolanya untuk mencari keuntungan sebanyak-banyaknya tanpa memperhatikan sistem yang berkelanjutan.

#### 7. Ragam Konversi Hutan

Konversi hutan untuk HTI (Hutan Tanaman Industri), perkebunan, budidaya pertanian lainnya, pertambangan, pemukiman, tempat usaha, dan sebagainya merupakan salah satu penyebab berkurangnya kemampuan hutan mendaur materi dan menjaga kesuburan tanah. Berkurangnya kemampuan hutan mendaur materi mengakibatkan berkurangnya fungsi hutan sebagai penyangga kehidupan.

Pembersihan lahan (*land clearing*) untuk konversi hutan sering dilakukan dengan cara pembakaran karena biaya yang dibutuhkan lebih murah daripada menggunakan alat-alat mekanis. Proses pembakaran tersebut dapat berubah menjadi kebakaran yang tak terkendali.

#### 8. Tumbuhan Mudah Terbakar

Jenis tumbuhan yang menyusun hutan juga dapat meningkatkan potensi terjadinya kebakaran pada hutan tersebut. Ada beberapa jenis tumbuhan yang mempunyai sifat mudah terbakar. Jenis tumbuhan seperti Pinus lebih peka terhadap api karena batangnya mengandung resin.

## 2.2 APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK DETEKSI KEBAKARAN HUTAN

Sistem informasi tentang kemungkinan peluang terjadinya suatu kebakaran yang terdistribusikan dengan baik ke para *stakeholder* terkait hingga di tingkat lapangan merupakan salah satu komponen keberhasilan tindakan pencegahan kebakaran. Secara konvensional sistem informasi ini dilakukan dengan pemantauan langsung di lapangan (lokasi rawan kebakaran), penggunaan peta dan kompas serta penggunaan kentongan di desa-desa sebagai alat untuk menginformasikan kepada warga masyarakat tentang kemungkinan terjadinya kebakaran. Saat ini, dengan bantuan teknologi modern (komputer, alat telekomunikasi, internet, penginderaan jauh) dapat dikembangkan sistem informasi kebakaran berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya kebakaran seperti kondisi bahan bakar, kondisi klimatologi dan perilaku kebakaran.

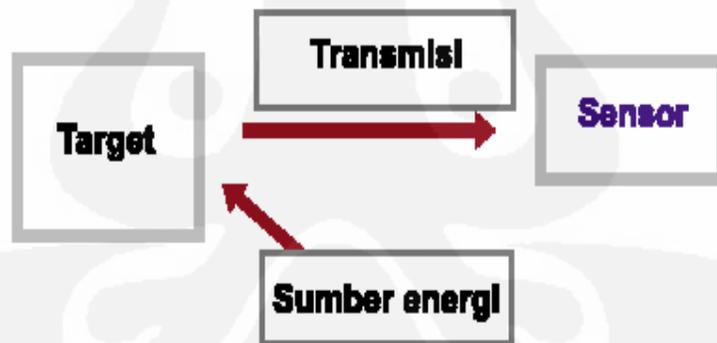
Salah satu metode untuk mengetahui peluang terjadinya kebakaran adalah pemantauan titik panas. Pemantauan titik panas dilakukan dengan teknologi penginderaan jauh menggunakan satelit. Data titik panas dapat dijadikan sebagai salah satu indikator tentang kemungkinan terjadinya kebakaran, sehingga perlu dilakukan analisa, pemantauan dan terkadang perlu dilakukan cek lapangan (*ground truthing*) untuk mengetahui apakah diperlukan tindakan penanggulangan dini khususnya pada saat musim kemarau dimana penyebaran api akan sangat cepat.

Satelit yang dapat digunakan untuk pemantauan titik panas adalah satelit NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) melalui sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) dan sensor satelit MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectro-Radiometer*) yang dibawa oleh satelit Terra dan Aqua

### 2.2.1 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh adalah pengambilan atau pengukuran data atau informasi mengenai sifat dari sebuah fenomena, objek atau benda dengan menggunakan sebuah alat perekam tanpa berhubungan langsung dengan objek atau benda tersebut [10].

Empat komponen dasar dari sistem penginderaan jauh adalah target, sumber energi, alur transmisi dan sensor. Komponen ini bekerja bersama untuk mengukur dan mencatat informasi mengenai target tanpa menyentuh objek tersebut. Sumber energi yang memancarkan energi elektromagnetik pada target mutlak diperlukan. Energi berinteraksi dengan target dan sekaligus berfungsi sebagai media untuk meneruskan informasi dari target kepada sensor. Sensor adalah sebuah alat yang mengumpulkan dan mencatat radiasi elektromagnetik. Setelah dicatat, data akan dikirim ke stasiun penerima dan diproses menjadi format yang siap dipakai, diantaranya berupa citra. Citra ini kemudian diinterpretasikan untuk menyarikan informasi mengenai target [10].



Gambar 2.2 Komponen dasar penginderaan jauh [10].

#### 2.2.1.1 Sistem satelit

Sistem satelit dalam penginderaan jauh tersusun dari penyiam (*scanner*) dengan dilengkapi sensor pada wahana (*platform*) satelit. Sensor tersebut dilengkapi oleh detektor. Untuk lebih jelasnya dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Penyiam merupakan sistem perolehan data secara keseluruhan termasuk sensor dan detektor.
- b. Sensor dipergunakan untuk menangkap energi dan mengubahnya dalam bentuk sinyal dan menyajikannya ke dalam bentuk yang sesuai dengan informasi yang diinginkan.
- c. Detektor merupakan alat pada sistem sensor yang merekam radiasi elektromagnetik.

Sinyal radiasi elektromagnetik yang sampai ke sensor direkam dalam pita magnetik untuk diproses menjadi data visual atau digital yang dapat diolah komputer. Pilihan untuk menyajikan data pada citra satelit akan memberikan kesempatan pada pengguna untuk melakukan pengambilan informasi dengan berbagai cara sesuai dengan kebutuhannya.

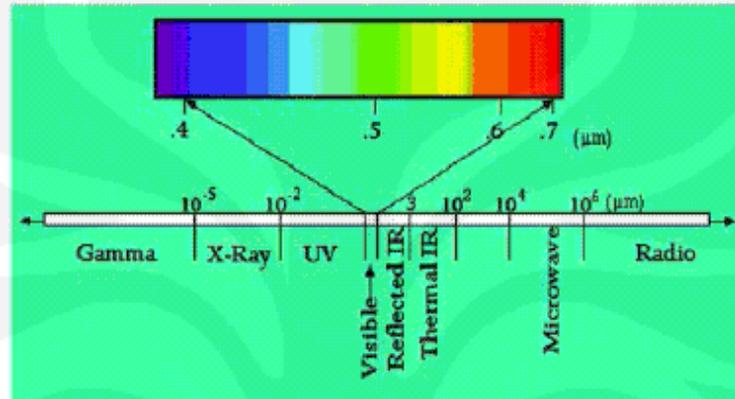
#### *2.2.1.2 Radiasi Elektromagnetik*

Energi elektromagnetik adalah sebuah komponen utama dari kebanyakan sistem penginderaan jauh untuk lingkungan hidup, yaitu sebagai medium untuk pengiriman informasi dari target kepada sensor [10]. Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa karakter yang bisa diukur, yaitu: panjang gelombang (*wavelength*), frekuensi, amplitudo. Frekuensi tergantung dari kecepatan merambatnya gelombang. Karena kecepatan energi elektromagnetik adalah konstan (kecepatan cahaya), panjang gelombang dan frekuensi berbanding terbalik. Semakin panjang suatu gelombang, semakin rendah frekuensinya, dan semakin pendek suatu gelombang semakin tinggi frekuensinya.

Energi elektromagnetik dipancarkan, atau dilepaskan, oleh semua masa di alam semesta pada tingkatan yang berbeda-beda. Semakin tinggi energi yang dipancarkan suatu sumber energi, semakin rendah panjang gelombang dari energi yang dihasilkan, dan semakin tinggi frekuensinya. Perbedaan karakteristik energi gelombang digunakan untuk mengelompokkan energi elektromagnetik.

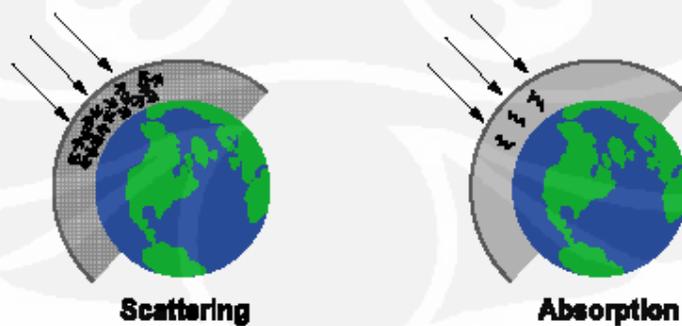
Susunan semua bentuk gelombang elektromagnetik berdasarkan panjang gelombang dan frekuensinya disebut spektrum elektromagnetik [10]. Gambar 2.3

memperlihatkan spektrum elektromagnetik yang disusun berdasarkan panjang gelombang (diukur dalam satuan  $\mu\text{m}$ ) mencakup kisaran energi yang sangat rendah, dengan panjang gelombang tinggi dan frekuensi rendah, seperti gelombang radio sampai ke energi yang sangat tinggi, dengan panjang gelombang rendah dan frekuensi tinggi seperti radiasi X-Ray dan Gamma.

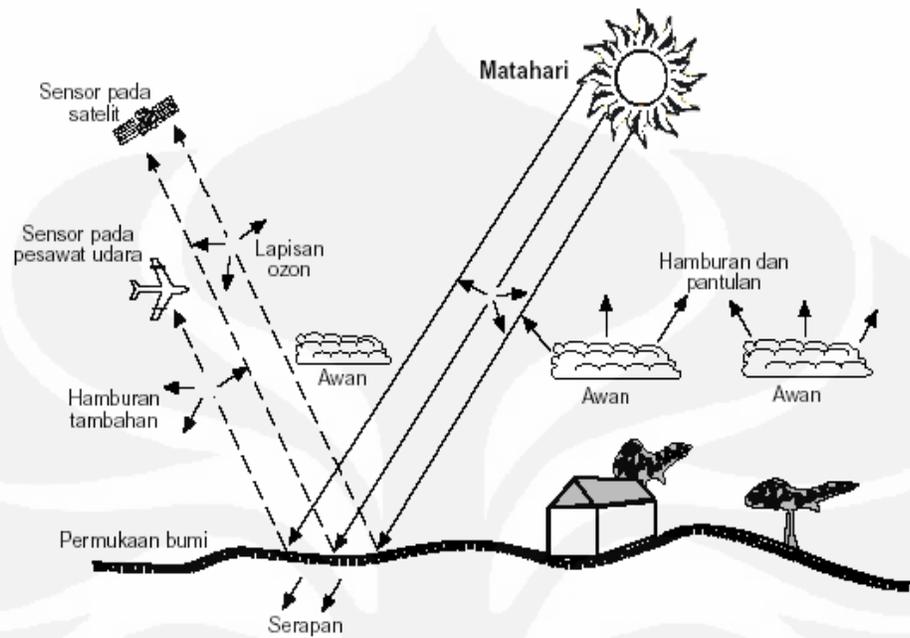


Gambar 2.3. Spektrum elektromagnetik [10]

Gelombang elektromagnetik yang dihasilkan matahari dipancarkan dan masuk ke dalam atmosfer bumi. Interaksi antara radiasi dengan partikel atmosfer bisa berupa penyerapan (*absorption*), penyebaran (*scattering*) atau pemantulan kembali (*reflectance*). Sebagian besar radiasi dengan energi tinggi diserap oleh atmosfer dan tidak pernah mencapai permukaan bumi. Bagian energi yang bisa menembus atmosfer adalah yang *transmitted*. Semua masa dengan suhu lebih tinggi dari 0 Kelvin (-273 C) mengeluarkan radiasi gelombang elektromagnetik.



Gambar 2.4. Interaksi energi dengan atmosfer [10]



Gambar 2.5 Interaksi energi dengan permukaan bumi [11]

### 2.2.1.3 Sensor

Radiometer adalah alat pengukur *level* energi dalam kisaran panjang gelombang tertentu, yang disebut *channel*. Penginderaan jauh multispektral menggunakan sebuah radiometer yang berupa deretan dari banyak sensor, yang masing masing peka terhadap sebuah *channel* atau *band* dari panjang gelombang tertentu. Data spektral yang dihasilkan dari suatu target berada dalam kisaran *level* energi yang ditentukan.

Radiometer yang dibawa oleh pesawat terbang atau satelit mengamati bumi dan mengukur besarnya radiasi yang dipantulkan atau dipancarkan dari benda-benda yang ada di permukaan bumi dan atmosfer. Karena masing masing jenis permukaan bumi dan tipe partikel pada atmosfer mempunyai karakteristik spektral yang khusus (*spectral signature*) maka data ini bisa dipakai untuk menyediakan informasi mengenai sifat target. Pada permukaan yang rata, hampir semua energi dipantulkan dari permukaan pada suatu arah, sedangkan pada permukaan kasar, energi dipantulkan hampir merata ke semua arah.

Ada dua tipe deteksi yang dilakukan oleh sensor: deteksi pasif dan aktif. Banyak bentuk penginderaan jauh yang menggunakan deteksi pasif, dimana sensor mengukur level energi yang secara alami dipancarkan, dipantulkan, atau dikirimkan oleh target. Sensor ini hanya bisa bekerja apabila terdapat sumber energi yang alami, pada umumnya sumber radiasi adalah matahari, sedangkan pada malam hari atau apabila permukaan bumi tertutup awan, debu, asap dan partikel atmosfer lain, pengambilan data dengan cara deteksi pasif tidak bisa dilakukan dengan baik.

Sedangkan pada deteksi aktif, penginderaan jauh menyediakan sendiri sumber energi untuk menyinari target dan menggunakan sensor untuk mengukur refleksi energi oleh target dengan menghitung sudut refleksi atau waktu yang diperlukan untuk mengembalikan energi. Keuntungan menggunakan deteksi aktif adalah pengukuran bisa dilakukan kapan saja. Akan tetapi sistem aktif ini memerlukan energi yang cukup besar untuk menyinari target.

#### *2.2.1.4 Resolusi sensor*

Rancangan dan penempatan sebuah sensor terutama ditentukan oleh karakteristik khusus dari target yang ingin dipelajari dan informasi yang diinginkan dari target tersebut. Setiap aplikasi penginderaan jauh mempunyai kebutuhan khusus mengenai luas cakupan area, frekuensi pengukuran dan tipe energi yang akan dideteksi. Oleh karena itu, sebuah sensor harus mampu memberikan resolusi spasial, spektral dan temporal yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

##### *a. Resolusi Spasial*

Resolusi spasial menunjukkan level dari detail yang ditangkap oleh sensor. Semakin detail informasi yang ingin didapat semakin tinggi resolusi spasial yang diperlukan. Sebagai contoh, pemetaan penggunaan lahan memerlukan resolusi spasial yang lebih tinggi dari pada sistem pengamatan cuaca berskala besar. Bila sebuah sensor memiliki resolusi spasial 20 m citra yang dihasilkannya ditampilkan dengan resolusi penuh,

maka setiap pixel mewakili luasan 20 x 20 m di lapangan. Semakin tinggi resolusinya, maka semakin kecil area yang dapat dicakupnya

b. Resolusi Spektral

Resolusi spektral merupakan interval panjang gelombang khusus pada spektrum elektromagnetik yang direkam oleh sensor. Semakin sempit lebar interval spektrum elektromagnetik, resolusi spektral akan menjadi semakin tinggi.

c. Resolusi temporal

Menunjukkan interval waktu antar pengukuran. Contoh : citra Landsat TM melewati satu daerah yang sama sebanyak 16 hari sekali, sedang NOAA dapat 2 kali sehari melewati daerah yang sama. Oleh karena itu resolusi temporal NOAA lebih tinggi dari pada Landsat.

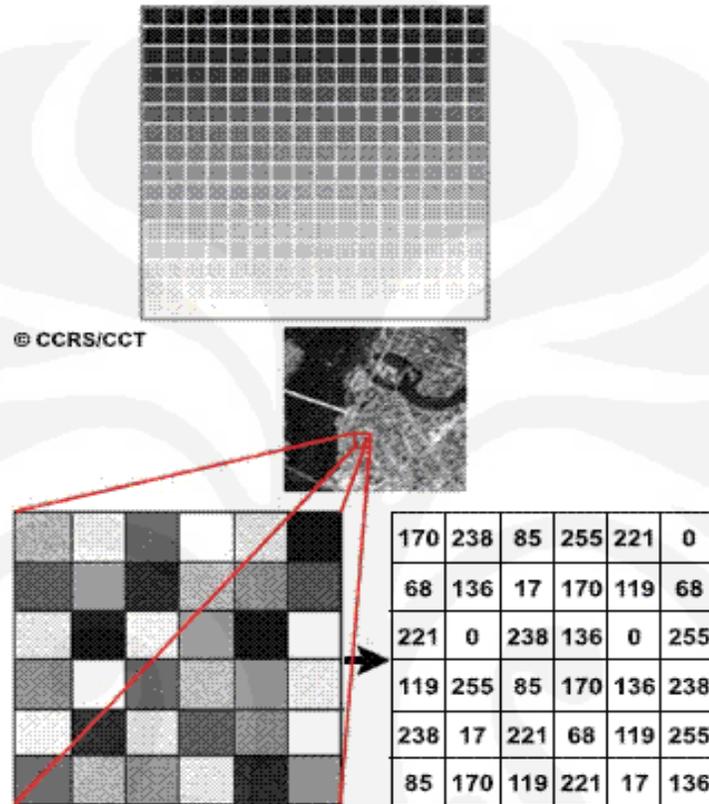
#### 2.2.1.5 Karakteristik Citra

Setelah data dikumpulkan dan dikirimkan ke stasiun penerima, data tersebut harus diproses dan diubah ke dalam format yang bisa diinterpretasi oleh peneliti. Untuk itu data harus diproses, ditajamkan dan dimanipulasi. Teknik-teknik tersebut disebut pengolahan citra [10].

Data citra satelit dikirim ke stasiun penerima dalam bentuk format digital mentah merupakan sekumpulan data numerik. Unit terkecil dari data digital adalah bit, yaitu angka biner, 0 atau 1. Kumpulan dari data sejumlah 8 bit data adalah sebuah unit data yang disebut byte, dengan nilai dari 0 – 255. Dalam hal citra digital nilai level energi dituliskan dalam satuan byte. Kumpulan byte ini dengan struktur tertentu bisa dibaca oleh software dan disebut citra digital 8-bit.

Pixel (*picture element*) adalah titik yang merupakan elemen paling kecil pada citra satelit [10]. Angka numerik (1 byte) dari pixel disebut *digital number* (DN). DN bisa ditampilkan dalam warna kelabu, berkisar antara putih dan hitam (*gray scale*) tergantung level energi yang terdeteksi. Pixel yang disusun dalam order yang benar akan membentuk sebuah citra. Kebanyakan citra satelit yang

belum diproses disimpan dalam bentuk *gray scale* yang merupakan skala warna dari hitam ke putih dengan derajat keabuan yang bervariasi.



Gambar 2.6. Hubungan DN dengan derajat keabuan [10]

Resolusi dari sebuah citra menunjukkan *level* kedetailan yang dimiliki oleh sebuah citra. Resolusi didefinisikan sebagai area dari permukaan bumi yang diwakili oleh sebuah pixel sebagai elemen terkecil dari sebuah citra [10]. Pada satelit pemantau cuaca yang mempunyai resolusi 1 km, masing-masing pixel mewakili rata-rata *brightness* dari sebuah area berukuran 1 x 1 km. Resolusi adalah hal penting yang perlu dipertimbangkan dalam rangka pemilihan citra yang akan digunakan terutama dalam hal aplikasi, waktu, biaya, ketersediaan citra dan fasilitas komputasi.

### 2.2.2 Titik Panas (Hot Spot)

Sebuah titik panas yang berupa satu pixel pada citra satelit dimana suhu kecerahan dari pixel tersebut mengindikasikan adanya kebakaran. Pada awalnya hot spot diidentikkan dengan titik api, namun dalam kenyataannya tidak semua hot spot mengindikasikan adanya titik api. Istilah hot spot lebih tepat bila bersinonim dengan titik panas.

Cara untuk mendeteksi terjadinya kebakaran hutan dan lahan adalah dengan melakukan pengamatan terhadap jumlah dan sebaran titik panas. Jumlah dan sebaran titik panas dapat diperoleh dengan melakukan pengolahan terhadap citra satelit. Pengolahan dilakukan dengan menggunakan suatu algoritma.

Algoritma untuk mendapatkan sebaran titik panas pada suatu citra berbeda-beda sesuai dengan karakteristik dari sensor yang digunakan. Untuk sensor AVHRR sebaran titik panas dapat diperoleh dengan algoritma sebagai berikut [11]:

$$\begin{aligned} T_{b3} &\geq 315^{\circ}\text{K} \text{ (siang hari)} \\ T_{b3} - T_{b4} &\geq 20^{\circ}\text{K} \text{ (siang hari)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$T_{b3} \geq 310^{\circ}\text{K} \text{ (malam hari)} \quad (2.4)$$

Dimana :

$T_{b3}$  dan  $T_{b4}$  adalah suhu kecerahan (*brightness temperature*) kanal 3 dan kanal 4.

Pada siang hari digunakan *contextual algorithm* yang menerapkan ambang batas  $315^{\circ}\text{K}$  untuk suhu kecerahan kanal 3 dan  $20^{\circ}\text{K}$  untuk perbedaan suhu kecerahan kanal 3 dan kanal 4. Sedangkan pada malam hari digunakan *simple algorithm* yang menerapkan ambang batas  $310^{\circ}\text{K}$  untuk suhu kecerahan kanal 3. Suatu daerah terdeteksi sebagai titik panas jika suatu daerah yang dipantau oleh satelit memiliki suhu diatas ambang batas tersebut.

Suhu kecerahan dari kanal 3 dan kanal 4 diperoleh dengan melakukan kalibrasi terhadap nilai radiasi pada kanal tersebut. Algoritma untuk mendapatkan nilai suhu kecerahan kanal 3 dan kanal 4 dari sensor AVHRR adalah :

$$T = \frac{C_2 V}{\text{Log} \left( 1 + \left( \frac{C_1 V^3}{L} \right) \right)} \quad (2.5)$$

Dimana :

- T = Brightness temperature (K)
- $C_1 = 1.1910659 \times 10^{-5} \text{ mW.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{cm}^4$
- $C_2 = 1.438833 \text{ K.cm}$
- V = Central wavenumber ( $\text{cm}^{-1}$ )
- L = Radiance ( $\text{mW.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{cm}^1$ )

Perhitungan nilai radiansi spektral dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_i = (DN_i - \beta_i) / \alpha_i \quad (2.6)$$

Dimana :

- $L_i$  = Radiasi spektral kanal ke i ( $\text{mW.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{cm}^1$ )
- $\alpha_i$  = Nilai gain kanal ke i ( $\text{mW.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{cm}^1.\text{count}^{-1}$ )
- $\beta_i$  = Nilai offset kanal ke i ( $\text{mW.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{cm}^1$ )
- $DN_i$  = Nilai digital kanal ke i (count)

Tabel 2.1 Central wavenumber masing-masing kanal sensor AVHRR [12]

No	Kanal	Central Wavenumber
1	1	15815.3133
2	2	11976.9574
3	3a	6225.8311

4	3b	2670.7832
5	4	927.0246
6	5	839.3771

Sensor MODIS menerapkan algoritma yang berbeda untuk mendapatkan sebaran titik panas dari suatu citra, yaitu [13]:

Tabel 2.2. Algoritma untuk mendapatkan titik panas pada citra MODIS

Siang Hari		Malam Hari	
<i>Contextual Algorithm</i>	<i>Absolute Algorithm</i>	<i>Contextual Algorithm</i>	<i>Absolute Algorithm</i>
$T_4 > T_{4b} + 4 \delta T_{4b}$ atau $T_4 > 320^\circ\text{K}$	$T_4 > 360^\circ\text{K}$	$T_4 > T_{4b} + 4 \delta T_{4b}$ atau $T_4 > 315^\circ\text{K}$	$T_4 > 330^\circ\text{K}$
$\Delta T_{41} > \Delta T_{41b} + 4\delta\Delta T_{41b}$ atau $\Delta T_{41} > 20^\circ\text{K}$		$\Delta T_{41} > \Delta T_{41b} + 4\delta\Delta T_{41b}$ atau $\Delta T_{41} > 10^\circ\text{K}$	

Dimana :

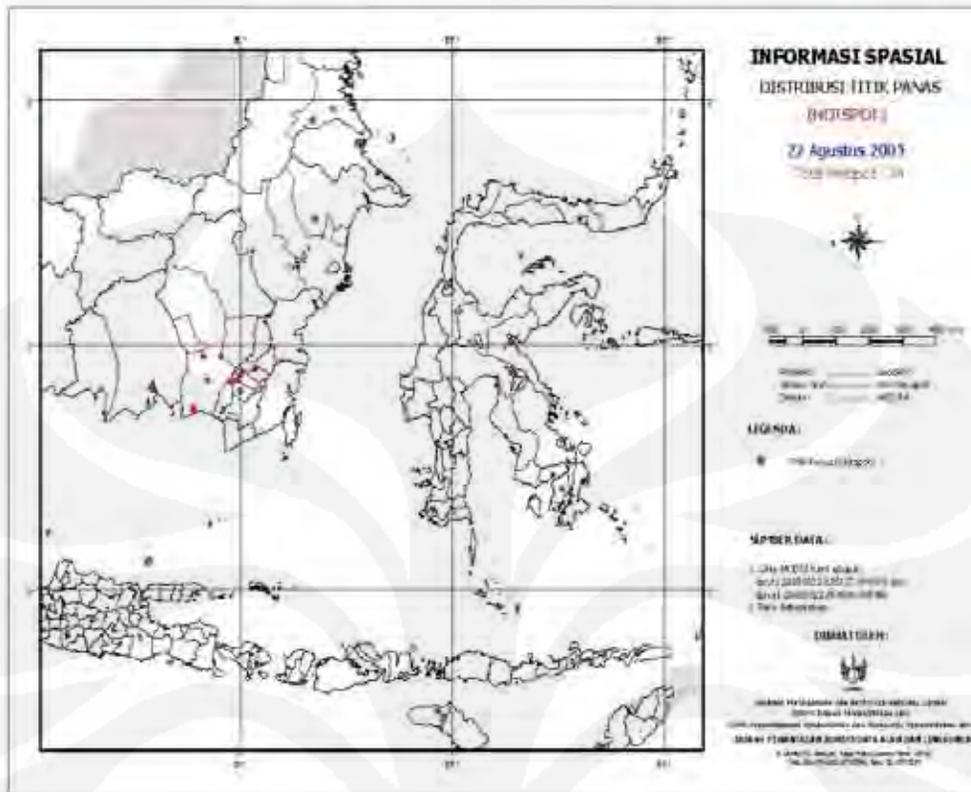
$$\Delta T_{41} = T_4 - T_{11}$$

$T_{4b}$  = Suhu kenampakan latar belakang (*background temperature*) kanal 4  $\mu\text{m}$ , yaitu suhu kenampakan dari pixel-pixel sekitarnya (21 x 21 pixel)

$\delta T_{4b}$  = Standard deviasi suhu kenampakan latar belakang kanal 4  $\mu\text{m}$

$$\Delta T_{41b} = T_{4b} - T_{11b}$$

Jika suatu daerah yang dipantau oleh satelit memiliki suhu diatas ambang batas tersebut, maka areal tersebut terdeteksi sebagai titik panas. Gambar 2.7 adalah contoh peta sebaran titik panas dari sensor MODIS. Titik panas dipetakan berupa titik-titik berwarna merah.



Gambar 2.7. Distribusi titik panas hasil pengolahan dari citra MODIS [14]

Suhu kecerahan dari kanal 21 dan kanal 31 pada citra sensor MODIS didapat dengan algoritma sebagai berikut :

$$T = \frac{C_2/\lambda}{\ln\left(\frac{C_1/\lambda}{(\lambda^5 \cdot B)} + 1\right)} \quad (2.7)$$

Dimana :

T = Brightness temperature (K)

C<sub>1</sub> = Konstanta radiasi pertama  
 $= 2 hc^2 = 1,1910439 \times 10^{-16} \text{ Wm}^{-2}$

C<sub>2</sub> = Konstanta radiasi kedua  
 $= hck^{-1} = 1,4387686 \times 10^{-2} \text{ mK}$

- $B$  = Radiance ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{m}^{-1}$ )
- $\lambda$  = Median panjang gelombang dari kanal (m)
- $h$  = Konstanta Plank (Joule second)
- $c$  = Kecepatan cahaya (m/s)
- $k$  = Konstanta Boltzman (Joule/Kelvin)

Perhitungan nilai radiansi spektral dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$B_i = \alpha_i \times (DN_i - \beta_i) \quad (2.8)$$

Dimana :

- $B_i$  = Radiasi spektral kanal ke i ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{m}^{-1}$ )
- $\alpha_i$  = Nilai gain kanal ke i ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{m}^1.\text{count}^{-1}$ )
- $\beta_i$  = Nilai offset kanal ke i ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{m}^1$ )
- $DN_i$  = Nilai digital kanal ke i (count)

### 2.2.3 Suhu Permukaan Daratan (*Land Surface Temperature*)

Suhu permukaan daratan dapat diketahui dengan algoritma sebagai berikut [15] :

$$LST = T4 + (1.31 + 0.27 \times (T4-T5)) \times (T4-T5) + 1.16 \quad (2.9)$$

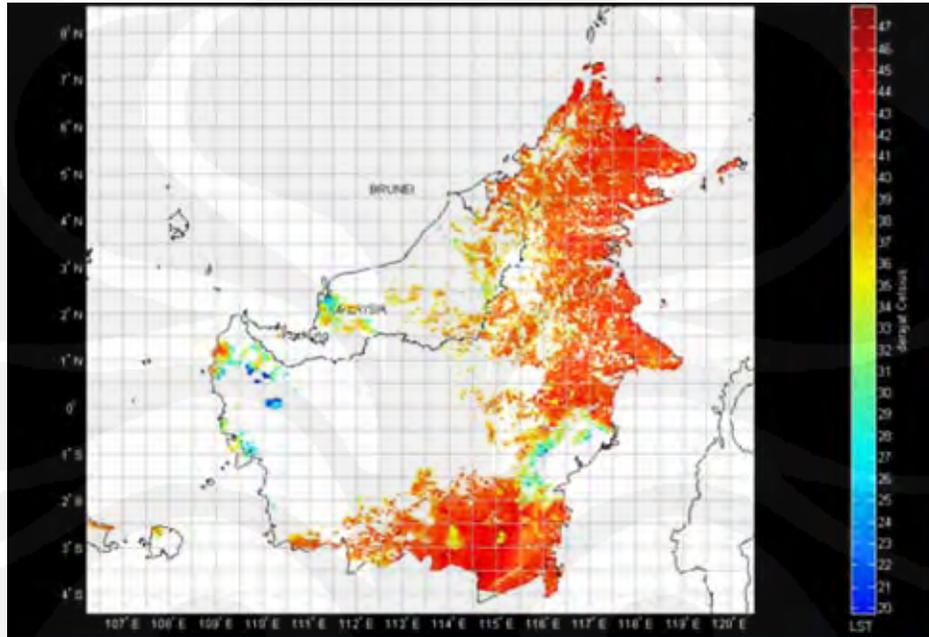
Dimana :

$T_4$  dan  $T_5$  adalah suhu kecerahan (*brightness temperature*) kanal 4 dan kanal 5.

Persamaan 2.9 hanya bisa diterapkan pada citra sensor AVHRR. Dan tidak berlaku untuk daerah gurun pasir.

Suhu permukaan daratan di gambarkan dengan skala warna yang berbeda pada citra. Suhu permukaan daratan dapat dimanfaatkan untuk pemodelan iklim.

Gambar 2.8 merupakan contoh suhu permukaan daratan di Kalimantan dengan menggunakan citra AVHRR.



Gambar 2.8. Suhu permukaan darat dari citra AVHRR

## 2.3 SATELIT UNTUK PEMANTAUAN TITIK PANAS (HOT SPOT)

### 2.3.1 Sensor Satelit AVHRR

AVHRR adalah sensor yang terpasang pada satelit NOAA. AVHRR dikembangkan oleh Lembaga Antariksa Amerika Serikat sejak tahun 1978 untuk pemantauan iklim dan kelautan global. Namun seiring dengan pengembangan teknologi, citra satelit NOAA, mulai diolah untuk mendeteksi adanya anomali panas permukaan bumi untuk mendapatkan titik panas. Sensor AVHRR mampu mendeteksi permukaan bumi dengan resolusi yang tinggi yaitu sebesar  $1,1 \text{ Km}^2$  serta dapat mengirimkan data minimal satu kali dalam sehari. Karakteristik dari masing-masing band citra AVHRR dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Karakteristik masing-masing band citra AVHRR [16]

Band	Bandwidth ( $\mu\text{m}$ )	Kegunaan
1	0.58-0.68	Pemetaan awan siang dan permukaan bumi
2	0.725-1.00	Batas daratan dan lautan
3a	1.58-1.64	Deteksi salju dan es
3b	3.55-3.93	Pemetaan awan malam dan suhu permukaan laut
4	10.30-11.30	Pemetaan awan malam dan suhu permukaan laut
5	11.50-12.50	Suhu permukaan laut

### 2.3.2 Sensor Satelit MODIS

MODIS adalah sistem instrumen sensor yang terpasang pada satelit Terra dan Aqua. Satelit Terra mengorbit dari utara ke selatan melewati garis ekuator pada pagi hari sedangkan satelit Aqua mengorbit dari selatan ke utara melewati ekuator pada sore harinya. MODIS dapat mengamati tempat yang sama di permukaan bumi setiap hari. Pantulan gelombang elektromagnetik yang diterima sensor MODIS sebanyak 36 band (36 panjang gelombang). Satu elemen citranya memiliki resolusi 250 m (band 1-2), 500 m (band 3-7) dan 1000 m (band 8-36). Karakteristik dari masing-masing band dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Karakteristik masing-masing band citra MODIS [17]

Kegunaan	Band	Bandwidth
Batas daratan/awan/aerosol	1	620-670
	2	841-876
Karakteristik daratan/awan/aerosol	3	459-479
	4	545-565
	5	1230-1250
	6	1628-1652
	7	2105-2155
Warna laut/fitoplankton/biokimia	8	405-420
	9	438-448
	10	483-493

	11	526-536
	12	546-556
	13	662-672
	14	673-683
	15	743-753
	16	862-877
Uap air/atmosfir	17	890-920
	18	931-941
	19	915-965
Permukaan/suhu awan	20	3.660-3.840
	21	3.929-3.989
	22	3.929-3.989
	23	4.020-4.080
Suhu awan	24	4.433-4.498
	25	4.482-4.549
Awan sirus/uap air	26	1.360-1.390
	27	6.535-6.895
	28	7.175-7.475
Karakteristik awan	29	8.400-8.700
Ozon	30	9.580-9.880
Lapisan/suhu awan	31	10.780-11-280
	32	11.770-12.270
Ketinggian awan	33	13.185-13.485
	34	13.485-13.785
	35	13.785-14.085
	36	14.085-14.385

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 ALAT DAN BAHAN

Penelitian ini menggunakan data sensor satelit AVHRR dan MODIS. Citra satelit AVHRR dan MODIS yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Daftar citra satelit yang digunakan untuk penelitian

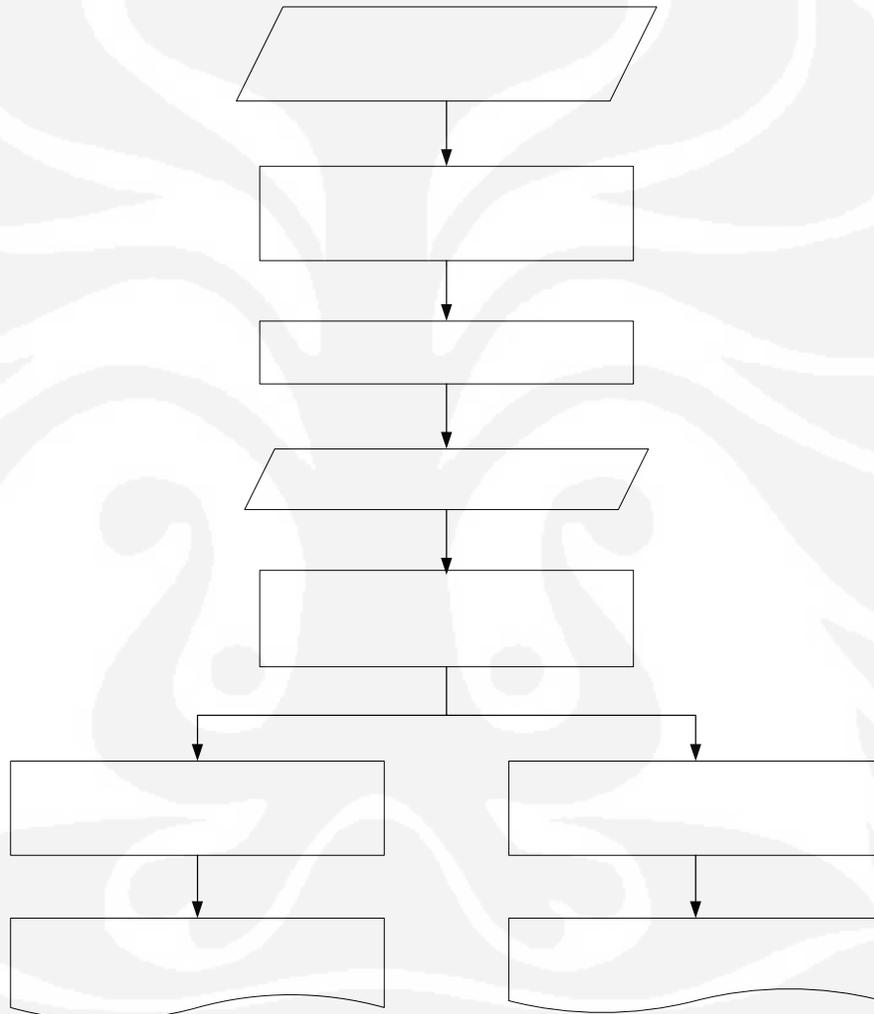
AVHRR	MODIS
<b>Tanggal</b>	
28-07-2005	28-07-2005
22-08-2005	22-08-2005
20-09-2005	20-09-2005
21-09-2005	21-09-2005
25-09-2005	25-09-2005
02-10-2005	02-10-2005
07-10-2005	07-10-2005
11-10-2005	11-10-2005
11-01-2006	11-01-2006
30-03-2007	30-03-2007

Masing-masing data mempunyai format data level 1B. Citra satelit AVHRR diperoleh dari NASA (National Aeronautics and Space Administration) melalui *website* (<http://www.class.noaa.gov/saa/product>) sedangkan citra satelit MODIS diperoleh dari Pusat Data Penginderaan Jauh LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional).

Peralatan yang digunakan adalah seperangkat komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak MATLAB R2006b dan Coastwatch Data Analysis Tool.

### 3.2 TAHAPAN PENELITIAN

Diagram alir dari tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir tahapan penelitian

## 1. Citra AVHRR dan MODIS

Data yang diterima dari sensor satelit harus melalui beberapa tahapan pemrosesan awal hingga didapatkan data level 1B yang telah siap untuk diolah. Tahapan pemrosesan dari data level 0 hingga data level 1B adalah sebagai berikut :

### a. Data Level 0

Data masih berupa data keluaran dari sensor satelit yang belum terproses. Data tersebut masih mempunyai resolusi penuh, yaitu resolusi analog.

### b. Data Level 1A

Data sudah berupa data digital dan sudah terintegrasi beberapa informasi seperti referensi waktu, koefisien kalibrasi dan informasi geometris.

### c. Data Level 1B

Data sudah berupa data digital dan sudah dilengkapi beberapa file yang berupa data lokasi geometris, koefisien untuk kalibrasi.

Data level 1B dari citra AVHRR dan MODIS merupakan data satelit yang sudah berformat *computer-friendly*. Dengan kata lain, data tersebut sudah siap untuk diolah menggunakan berbagai macam algoritma sehingga menghasilkan informasi yang diinginkan. Data level 1B untuk MODIS mempunyai format file dengan ekstensi ".hdf". Sedangkan data level 1B dari AVHRR mempunyai format file dengan ekstensi ".WI". Format data AVHRR harus dirubah ke format ".hdf" agar dapat diolah menggunakan software MATLAB. Pengubahan data dari format WI menjadi hdf dilakukan menggunakan software Coastwatch Data Analysis Tool.

## 2. Pemotongan Citra

Pemotongan citra (cropping) merupakan salah satu tahap pra pengolahan citra yang dilakukan untuk membatasi citra sesuai dengan daerah penelitian, yaitu : Kalimantan. Koordinat geografis pulau tersebut adalah antara  $9.33^{\circ}$  LU ;  $106.67^{\circ}$  BT hingga  $4.76^{\circ}$  LS ;  $120,67^{\circ}$  BT.

### 3. Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik dilakukan untuk memperbaiki kesalahan geometrik pada citra penginderaan jauh yang terjadi pada saat proses perekaman. Kesalahan tersebut terjadi akibat pengaruh dari rotasi bumi yang menyebabkan citra berbentuk miring dan juga disebabkan oleh bentuk permukaan bumi yang tidak rata melainkan berbentuk kurva yang melengkung. Proses koreksi geometrik akan menghasilkan citra yang sesuai dengan koordinat peta dunia yang sesungguhnya.

Koreksi geometrik merupakan proses memposisikan citra sehingga cocok dengan koordinat peta dunia yang sesungguhnya. Pada penelitian ini, koreksi geometrik dilakukan dengan cara merekonstruksi kembali *geolocation data* dari citra yang akan diolah. Hal-hal yang perlu diketahui untuk melakukan rekonstruksi adalah :

- a. Jarak antara garis lintang adalah 111.2 km.
- b. Jarak antara garis bujur adalah  $111.2 \text{ km} \times \cos \phi$
- c.  $\phi$  adalah sudut sebesar 34,86 derajat
- d. Ukuran terkecil piksel suatu citra satelit yang memiliki resolusi spasial sebesar 1 km adalah luasan  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$

Dengan mengetahui jarak antara garis lintang dan jarak antara garis bujur, maka sebuah grid bisa direkonstruksi berdasarkan nilai maksimum garis lintang dan garis bujur yang diperoleh dari *geolocation data*. Setiap piksel akan memiliki tinggi

$$\left(111.2 \frac{\text{km}}{\text{deg}}\right)^{-1} \cdot 1 \frac{\text{km}}{\text{pixel}} = 0.0089928 \frac{\text{deg}}{\text{pixel}} \quad (3.1)$$

dan lebar

$$\left(111.2 \frac{\text{km}}{\text{deg}}\right)^{-1} \cdot 1 \frac{\text{km}}{\text{pixel}} \cos \phi = 0.010959 \frac{\text{deg}}{\text{pixel}} \quad (3.2)$$

Nilai tersebut tidak sama untuk setiap titik dipermukaan bumi, tetapi tingkat akurasi cukup baik untuk digunakan pada penelitian ini.

4. Pendeteksian titik panas (hotspot) dan Suhu Permukaan Daratan (*Land Surface Temperature*)

Algoritma untuk mendeteksi adanya titik panas tidak dapat langsung diterapkan terhadap nilai radiasi. Nilai radiasi harus dirubah terlebih dahulu menjadi suhu kecerahan (*brightness temperature*). Suhu kecerahan adalah suhu yang dipancarkan setiap objek terhadap radiasi yang diterimanya. Untuk merubah nilai radiasi menjadi suhu kecerahan dengan menggunakan *invers* dari *Plank's function*, yaitu :

$$T = \frac{C_2/\lambda}{\ln\left(\frac{C_1}{\lambda^5 \cdot B} + 1\right)} \quad (3.3)$$

untuk sensor MODIS. Sedangkan sensor AVHRR menggunakan :

$$T = \frac{C_2V}{\text{Log}\left(1 + \left(\frac{C_1V^3}{R}\right)\right)} \quad (3.4)$$

Setelah diperoleh suhu kecerahan dari setiap kanal, berupa suhu kecerahan kanal 3 dan kanal 4 untuk sensor AVHRR dan suhu kecerahan kanal 21 dan 31 untuk sensor MODIS, maka langkah selanjutnya adalah *land masking* dan *cloud detection*.

*Land masking* untuk sensor MODIS sudah tersedia pada *geolocation data*, sedangkan untuk *cloud detection* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{band10} &> 0.95 \times \max(\text{band10}) \\ \text{band11} &> 0.95 \times \max(\text{band11}) \\ \text{band12} &> 0.95 \times \max(\text{band12}) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Dengan ketentuan tidak ada titik panas pada pixel yang telah dideteksi sebagai awan.

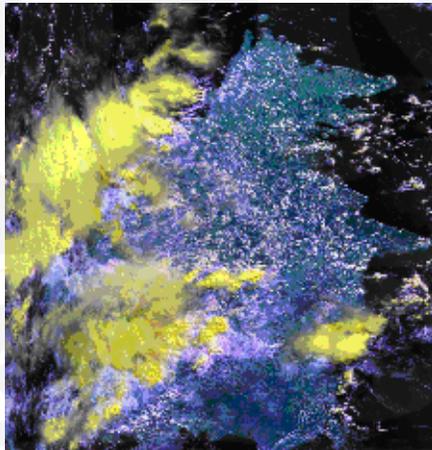
*Land masking* untuk sensor AVHRR menggunakan algoritma NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) sebagai berikut :

$$NDVI = \frac{Kanal\ 2 - Kanal\ 1}{Kanal\ 2 + Kanal\ 1} \quad (3.6)$$

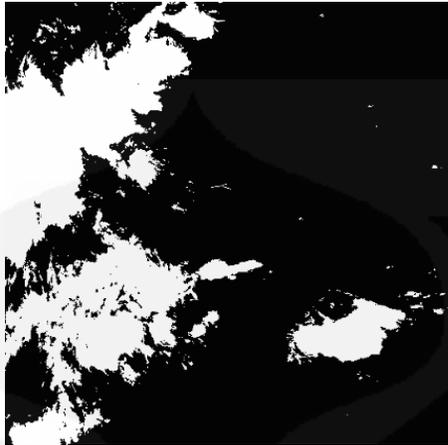
$$NDVI > 0.1 \quad (3.7)$$

Suatu pixel akan dideteksi sebagai daratan jika memiliki nilai NDVI lebih besar dari 0.1. sedangkan *cloud masking* sudah tersedia pada *geolocation data*.

Hasil dari proses *cloud masking* pada citra AVHRR dapat dilihat pada Gambar 3.3. Sedangkan hasil dari proses *land masking* pada citra AVHRR dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.2. Citra AVHRR level 1b



Gambar 3.3. Cloud masking



Gambar 3.4. Land masking

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 TITIK PANAS (HOT SPOT)**

Hasil pengolahan citra terhadap citra dari sensor AVHRR dan MODIS dengan menggunakan suatu program yang dibuat dengan perangkat lunak MATLAB berupa peta sebaran titik panas. Algoritma yang digunakan berupa rumus yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

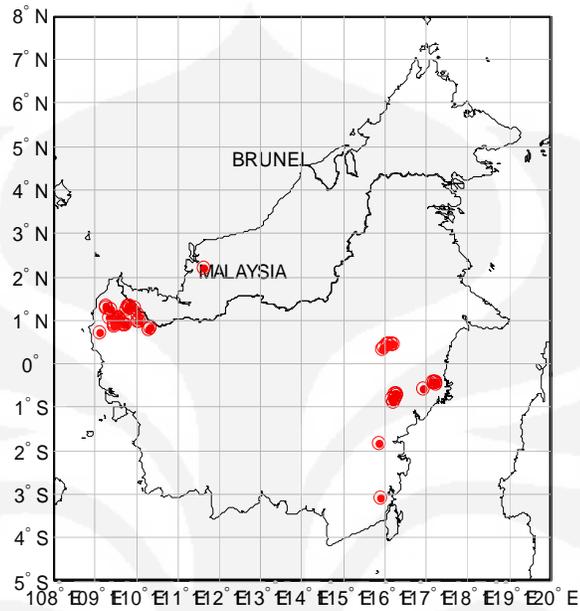
##### **4.1.1 Data Tanggal 22 Agustus 2005**

Perbandingan jumlah titik panas yang terdeteksi pada tanggal 22 Agustus 2005 dengan menggunakan sensor AVHRR dan MODIS dapat dilihat pada Tabel 4.1.

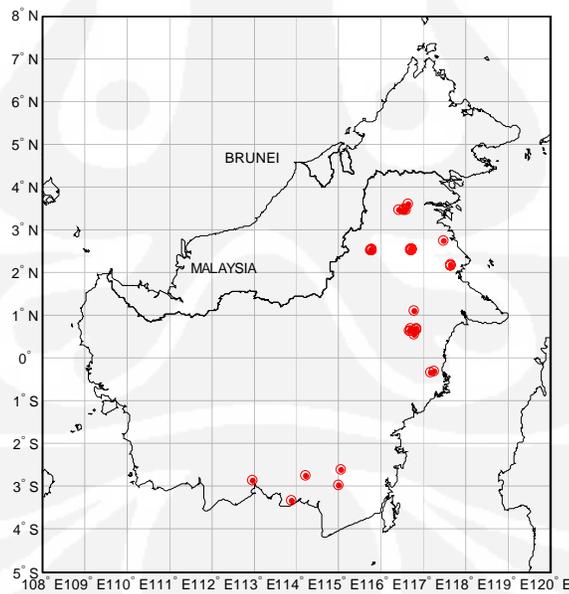
Tabel 4.1 Perbandingan jumlah titik panas yang terdeteksi pada tanggal 22 Agustus 2007

Sumber Data	Jumlah Titik Panas
AVHRR	69
MODIS	35
MODIS (LAPAN)	34

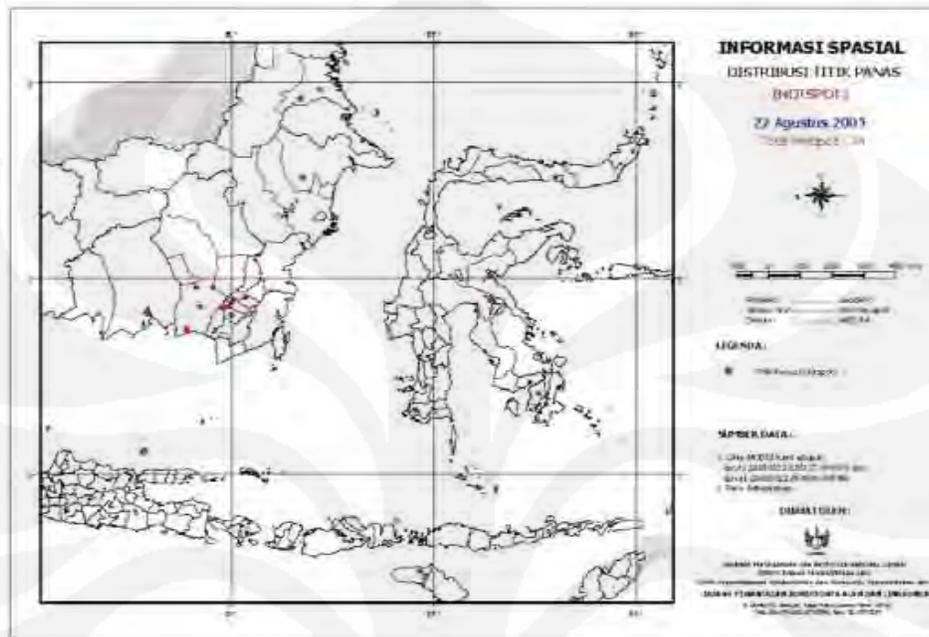
Peta sebaran titik panas pada tanggal 22 Agustus 2005 dengan sensor AVHRR dapat dilihat pada Gambar 4.1. Sedangkan peta sebaran titik panas dengan menggunakan sensor MODIS dapat dilihat pada Gambar 4.2. Peta sebaran titik panas dengan menggunakan sensor AVHRR dan MODIS tersebut dapat dilihat perbandingannya dengan peta sebaran titik panas dengan sensor MODIS yang telah diolah oleh LAPAN (Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional) pada Gambar 4.3.



Gambar 4.1. Sebaran titik panas pada tanggal 22 Agustus 2005 menggunakan data sensor AVHRR



Gambar 4.2. Sebaran titik panas pada tanggal 22 Agustus 2005 menggunakan data sensor MODIS



Gambar 4.3. Sebaran titik panas pada tanggal 22 Agustus 2005 menggunakan data sensor MODIS yang dibuat oleh LAPAN

Dari Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3 dan Tabel 4.1 terlihat bahwa untuk data pada tanggal yang sama terjadi perbedaan baik dari jumlah titik panas yang terdeteksi maupun lokasi sebaran dari titik panas tersebut.

Hal tersebut bisa terjadi karena setiap sensor menerapkan ambang batas yang berbeda dalam mendeteksi titik panas. Sensor AVHRR memiliki ambang batas  $315^{\circ}\text{K}$  pada siang hari dan  $310^{\circ}\text{K}$  pada malam hari. Sedangkan sensor MODIS memiliki ambang batas  $320^{\circ}\text{K}$  pada siang hari dan  $315^{\circ}\text{K}$  pada malam harinya. Sehingga secara teori, jumlah titik panas dari data sensor AVHRR cenderung lebih banyak dari jumlah titik panas dari data sensor MODIS.

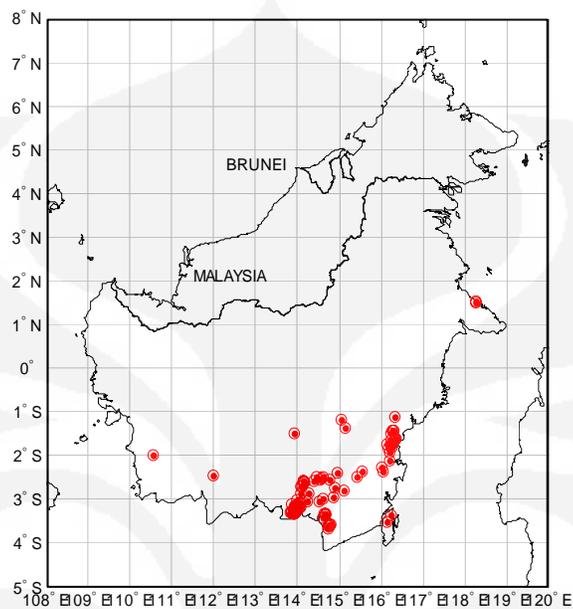
Dari Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 terlihat bahwa lokasi sebaran beberapa titik panas pada hasil pengolahan data sesuai dengan lokasi sebaran titik panas pada peta yang dibuat oleh LAPAN.

#### **4.1.2 Data Tanggal 2 Oktober 2005**

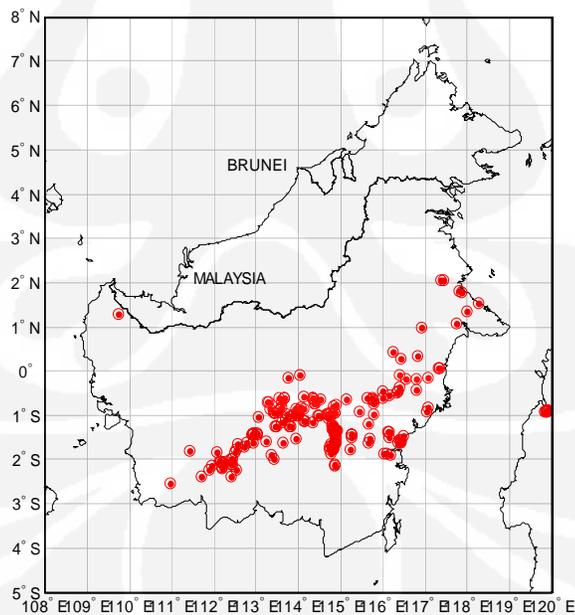
Gambar 4.4 dan gambar 4.5 adalah gambar peta sebaran titik panas hasil dari olahan data sensor MODIS pada tanggal yang sama, yaitu : tanggal 2 Oktober 2005. Gambar 4.4 adalah hasil dari proses pendeteksian titik panas terhadap data sensor MODIS yang dibawa oleh satelit Terra. Sedangkan gambar 4.5 adalah hasil dari proses pendeteksian titik panas terhadap data sensor modis yang dibawa oleh satelit Aqua.

Jumlah titik panas pada gambar 4.5 lebih banyak dari pada jumlah titik panas pada gambar 4.4, yaitu sebanyak 240 titik panas. Sedangkan pada gambar 4.4 terdeteksi 113 titik panas. Hal tersebut bisa terjadi karena perbedaan waktu perekaman data oleh satelit Terra dan Aqua. Data dari satelit Terra terekam pada jam 09:56, sedangkan data dari satelit Aqua terekam pada jam 12:48. Pada pagi hari tingkat kelembaban relatif tinggi, maka kadar air bahan bakar juga relatif tinggi, sehingga api sulit untuk menjalar jika kebakaran berlangsung. Sementara itu pada siang hari dengan suhu udara yang relatif tinggi dan kadar air bahan bakar yang relatif rendah, sehingga peluang untuk terjadinya kebakaran menjadi tinggi dan jika kebakaran terjadi, maka proses pembakaran menjadi relatif cepat.

Dari kedua gambar tersebut dapat diketahui bahwa waktu perekaman data oleh satelit sangat mempengaruhi jumlah sebaran titik panas yang terdeteksi. Titik panas yang terdeteksi pada setiap pengukuran dapat dicurigai sebagai kebakaran hutan atau lahan, namun tetap diperlukan analisa lanjutan atau pengecekan langsung di lapangan untuk memastikannya.



Gambar 4.4. Sebaran titik panas dari data Terra-MODIS pada tanggal 2 Oktober 2005



Gambar 4.5. Sebaran titik panas dari data Aqua-MODIS pada tanggal 2 Oktober 2005

#### 4.1.3 Titik Panas dari Data Sensor AVHRR dan MODIS

Menggunakan data sensor AVHRR dan MODIS pada waktu yang lain diperoleh jumlah titik panas yang bervariasi. Jumlah sebaran titik panas dari beberapa data sensor AVHRR dan MODIS dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Jumlah Titik Panas dari Data Sensor AVHRR dan MODIS

AVHRR		MODIS	
Tanggal	Jumlah Titik Panas	Tanggal	Jumlah Titik panas
28-07-2005	tidak terdeteksi	28-07-2005	35
22-08-2005	69	22-08-2005	35
20-09-2005	61	20-09-2005	tidak ada data
21-09-2005	tidak terdeteksi	21-09-2005	10
25-09-2005	136	25-09-2005	143
02-10-2005	1	02-10-2005	113
07-10-2005	20	07-10-2005	68
11-10-2005	10	11-10-2005	99
11-01-2006	4	11-01-2006	tidak terdeteksi
30-03-2007	13	30-03-2007	1

Kelompok titik panas atau titik-titik panas dalam jumlah besar dan berlangsung secara terus menerus adalah indikator penting untuk kebakaran. Tidak terdeteksinya titik panas pada suatu citra bukan berarti tidak ada daerah yang berpotensi terjadi kebakaran hutan, karena bisa saja di daerah tersebut tertutup awan. Sensor AVHRR dan MODIS tidak dapat menembus awan. Mengingat informasi mengenai kanal yang digunakan hanyalah kanal infra merah, titik panas tidak bisa diperoleh dari daerah yang tertutup awan.

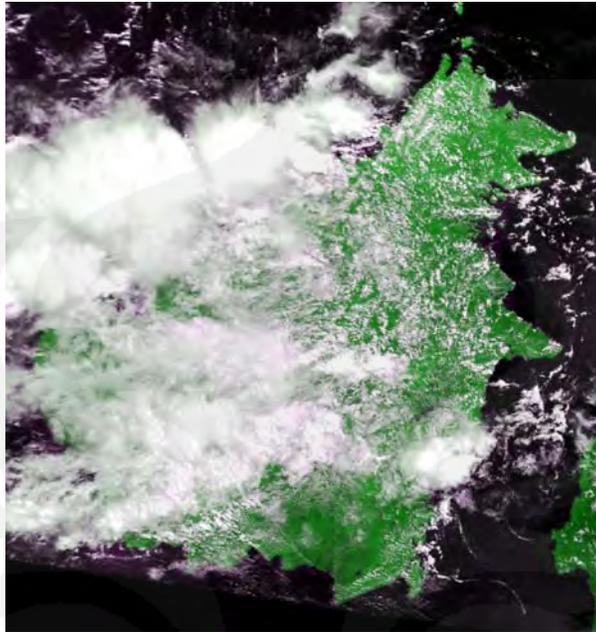
Sebuah titik panas dapat mencerminkan sebuah areal yang mungkin terbakar sebagian atau seluruhnya, jadi tidak menunjukkan secara pasti seberapa luas areal yang terbakar. Jumlah titik panas sangat bervariasi dari satu pengukuran ke pengukuran selanjutnya.

Data satelit memang mampu meliputi suatu kawasan yang sangat luas, namun jika ditemukan titik panas, tidak seluruhnya merupakan kebakaran yang sebenarnya di lapangan. Analisa lanjutan sangat diperlukan untuk mengidentifikasi apakah titik panas yang terdeteksi merupakan kebakaran atau pembakaran. Analisa lanjutan dapat dilakukan dengan melakukan overlay antara peta sebaran titik panas dengan peta penggunaan lahan dengan sistem informasi geografis. Biasanya titik panas yang berada di daerah pemukiman hanya merupakan pembakaran untuk penyiapan ladang. Namun bila titik panas berada di wilayah HTI atau perkebunan, maka kemungkinan besar merupakan kebakaran yang sebenarnya (jika berasumsi, perusahaan tidak melakukan pembakaran).

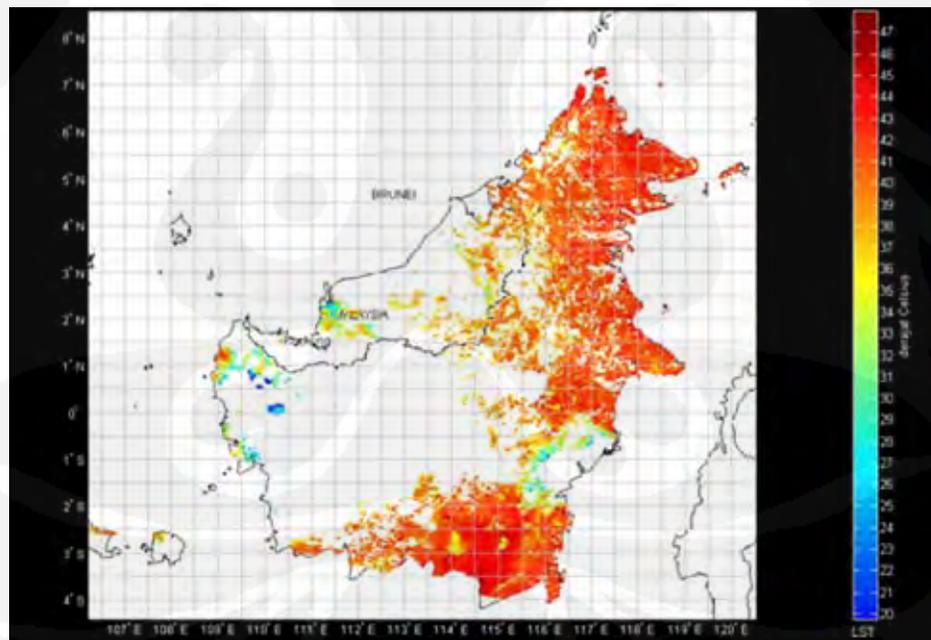
#### **4.2 SUHU PERMUKAAN DARATAN (LAND SURFACE TEMPERATURE)**

Suatu peta suhu permukaan daratan memberikan gambaran tentang suhu permukaan di suatu daerah tertentu. Gambar 4.7 adalah peta yang menggambarkan suhu permukaan daratan di Pulau Kalimantan pada tanggal 22 Agustus 2005. Gambar 4.7 merupakan hasil pengolahan dari citra AVHRR.

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa suhu permukaan pada saat itu cukup tinggi lebih dari 40<sup>0</sup>C. Daerah yang tidak berwarna merupakan daerah yang tertutup awan, sehingga tidak dapat dilakukan pengamatan pada daerah tersebut. Daerah tutupan awan dapat dilihat pada Gambar 4.6 yang merupakan data level 1b citra AVHRR pada tanggal 22 Agustus 2005.

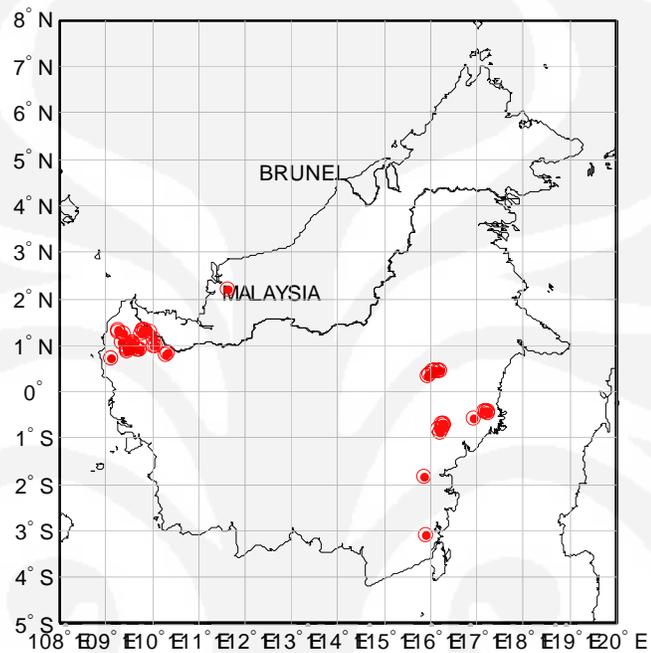


Gambar 4.6. Data level 1b Citra AVHRR tanggal 22 Agustus 2005



Gambar 4.7 Suhu permukaan darat dari citra AVHRR tanggal 22 Agustus 2005

Gambar 4.8 adalah gambar sebaran titik panas pada tanggal yang sama, yaitu 22 Agustus 2005. Dibandingkan dengan Gambar 4.7 maka terlihat bahwa titik panas tersebar di daerah yang nilai suhu permukaannya juga tinggi.



Gambar 4.8. Sebaran titik panas pada tanggal 22 Agustus 2005 menggunakan data sensor AVHRR

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

Pengamatan yang telah dilakukan pada sebaran titik panas dan suhu permukaan daratan dengan menggunakan sensor satelit AVHRR dan MODIS memberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Sensor AVHRR memiliki ambang batas pendeteksian titik panas yang lebih rendah dibandingkan dengan sensor MODIS, sehingga titik panas yang dideteksi oleh sensor AVHRR lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan sensor MODIS.
2. Tingkat akurasi tidak ditentukan berdasarkan banyaknya titik panas yang terdeteksi melainkan berdasarkan kesesuaian antara lokasi titik panas dengan lokasi kebakaran yang sebenarnya.
3. Penentuan tingkat akurasi dari sensor AVHRR dan sensor MODIS dalam mendeteksi titik panas dilakukan dengan pengecekan langsung di lapangan atau membandingkannya dengan data satelit yang memiliki resolusi spasial lebih tinggi.
4. Jumlah titik panas berubah-ubah dari satu pengukuran ke pengukuran selanjutnya tergantung dari waktu pengukuran dan cuaca pada saat pengukuran. Daerah yang tertutup awan tidak dapat dianalisa titik panasnya.
5. Diperlukan analisa lanjutan untuk mengidentifikasi apakah titik panas merupakan tempat terjadinya kebakaran yang sebenarnya.
6. Titik panas tersebar pada wilayah yang memiliki suhu permukaan daratan yang tinggi.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Erna (2003). *Model Prediksi Dampak El-Nino/La-Nina untuk Mitigasi Bencana Kebakaran Hutan*. Diakses 12 April 2007.  
<http://www.lapans.com/inovs/>
- [2] “Kebakaran Hutan Menghantui”. *Kompas*, Sabtu 22 Januari 2000.
- [3] Brown, A. A and K. P. Davis., *Forest Fire Control and Use* (USA : Mc Graw Hill Book Company, Inc., 1973).
- [4] “Fire Triangle”. Diakses 20 Desember 2007  
<http://www.state.sc.us>
- [5] Davis, K. P., *Forest Fire Control and Use* (New York : Mc Graw Hill Book Company, Inc., 1959)
- [6] Hawley, R.C and P.W.stickel., *Forest Protection* (New York : John Willey and Sons, Inc., 1948)
- [7] Nao, T.V., *Forest Fire Prevention and Control* (United Nation Economic Comission for Europe : Martinus Nijhoff Dr. W. Junk Publisher., 1982)
- [8] Saharjo, B. H. (1999). *Perilaku Api*. Report Basic Training For Forest Fire Management Trainers. Addendum to ITTO Project PD. 12/93 Rev. 3(F) Integrated Forest Fire Management in Indonesia-Phase I National Guidelines on The Protection of Against Fire. Volume II Course Materials and Field Work Guidelines. ITTO.PHPA.IPB. Bogor.
- [9] “Asap dan Pseudo Protokol Kyoto”. *Kompas*, 12 Oktober 2006. Diakses 20 Agustus 2007  
<http://www.kompas.com/kompas-cetak/0610/12/opini/3021438.htm>
- [10] Puntodewo, A dan Tarigan, J., (2003) *Sistem Informasi Geografis Untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam*. (Bogor : CIFOR).

[11] Ivan P. Anderson, Ifran D. Imanda and Muhndandar (1999). *Vegetation Fires in Indonesia : The Interpretation of NOAA Derived Hot spot Data*. Diakses 5 Desember 2007, dari Forest Fire Prevention and Control Project.

<http://www.dephut.go.id/>

[12] *NOAA KLM User's Guide*. Diakses 12 November 2007.

<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/>

[13] *Laporan Pemantauan Bencana Alam (Kebakaran Hutan/Lahan) Bulan Agustus 2007*. Diakses 30 Oktober 2007 dari Pusat Pengembangan dan Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional (LAPAN).

[http://www.pirba.ristek.go.id/str/perpus/LaporanBencanaAlam\\_Kebakaran\\_Hutan\\_Lahan\\_Agustus2007.pdf](http://www.pirba.ristek.go.id/str/perpus/LaporanBencanaAlam_Kebakaran_Hutan_Lahan_Agustus2007.pdf)

[14] *Distribusi Titik Panas*. Diakses 12 November 2007.

<http://lapanrs.com/SMBA/smba.php?hal=3&kat=hs&per=bl&drh=kal>

[15] Lavanant L (2002). *Maia Avhrr Cloud Mask And Classification*. Diakses 10 Oktober 2007 dari Météo-France

<http://www>

[16] *Advanced Very High Resolution Radiometer – AVHRR*. Diakses 30 Oktober 2007.

<http://www.noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>

[17] MODIS Specifications

<http://www.modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>

## DAFTAR PUSTAKA

Campbell, James B., *Introduction to Remote Sensing* (New York : The Guilford press new york., 1996)

Lillesand, T.M. and R.W. Keifer, *Remote Sensing and Image Interpretation* (New York : John Wiley and Sons, 1979)

Sutanto, *Penginderaan Jauh* (Yogyakarta : Gajah Mada University Press, 1987)

Giglio, Louis and Descloitres, J (2003). "An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS". *Journal Remote sensing of enviroment*, 87, 273-282. Diakses 7 November 2007 dari Sciencedirect.  
<http://www.sciencedirect.com/science/journal/>