

Pemantauan Kekeringan Lahan Pertanian Menggunakan Teknologi *Remote Sensing* dan SIG di DAS Brantas Hulu

Monitoring Agricultural Drought Using GIS and Remote Sensing Technologies in Upper Brantas Watershed

R. SHOFIYATI¹, K. HONDA², N.T.S. WIJESEKERA³, DAN WIDAGDO¹

ABSTRAK

Kekeringan telah melanda sebagian wilayah Indonesia hampir secara periodik. Untuk mengantisipasi berbagai kondisi lahan dan tanaman yang disebabkan oleh kekeringan perlu dukungan data dan informasi secara historis. Teknologi *remote sensing* berpotensi untuk mengkaji kondisi lahan dan tanaman secara spasial, mencakup wilayah yang luas, dan dilakukan secara periodik. Penelitian bertujuan untuk memanfaatkan teknologi *remote sensing* untuk memantau dan mengidentifikasi kekeringan pada lahan pertanian di daerah aliran sungai (DAS) Brantas hulu. Bahan yang digunakan adalah citra *National Oceanographic and Atmospheric Administration Advanced Very High Resolution Radiometer* (NOAA AVHRR) data terbersih yang diseleksi setiap satu bulan dari April 1997 sampai November 1998 dan Landsat *Thematic Mapper* (TM) bulan Mei dan Juni 1997. Metode yang digunakan adalah dengan memperhatikan hubungan antara curah hujan dengan fluktuasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Brightness Temperature* (BT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai NDVI di bawah 0,28 diidentifikasi sebagai daerah yang terkena kekeringan. Hubungan antara nilai NDVI dan BT menunjukkan hubungan yang terbalik. Nilai tersebut dapat digunakan untuk mendelineasi areal kekeringan lahan dan tanaman aktual secara spasial. Peta yang dihasilkan dapat digunakan untuk membantu mengantisipasi resiko kekeringan dengan mengubah pola tanam dan teknik usaha tani berdasarkan tingkat kekeringannya.

Kata kunci : Kekeringan lahan pertanian, NOAA AVHRR, Landsat TM, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Brightness Temperature (BT), Remote sensing

ABSTRACT

Droughts disasters occurred in some parts of Indonesian area periodically. To anticipate land and crops caused by drought needs historical data and information. Remote sensing provides the good capability to achieve spatial distributed, wide area coverage and multi-temporal. The study purposes to utilize remote sensing technology for agricultural drought monitoring and assessing in Upper Brantas Watershed. This study had used NOAA AVHRR were achieved from clearest NOAA AVHRR data selected every month from April 1997 to November 1998 and Landsat TM acquired May and June 1997. The method used in this research considers the relationship among rainfall and fluctuation of NDVI and BT. The study shows that an NDVI value of less than 0,28 was recognized as an appropriate threshold for the identification of drought affected area. NDVI and BT have an inverse relationship. The value can be used to delineate the spatially distributed for agricultural drought

monitoring and assessment. Moreover, the map can be used for helping to anticipate the drought risk by changing the cropping pattern and other farming system in drought areas.

Keywords : Agricultural drought, NOAA AVHRR, Landsat TM, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Brightness Temperature (BT), Remote sensing

PENDAHULUAN

Persepsi umum kekeringan adalah merupakan fenomena iklim yang dicirikan oleh rendahnya curah hujan dibandingkan dengan jumlah curah hujan pada periode normal. Bagi ahli iklim, kekeringan lebih ditekankan pada besar dan lamanya curah hujan di bawah normal. Ahli agronomi berpendapat bahwa kekeringan adalah kelembaban tanah berada di bawah titik layu permanen tanaman. Di lain pihak, ahli hidrologi melihat kekeringan sebagai aliran air, tinggi permukaan air, tinggi air tanah, dan danau yang tidak normal. Sedangkan untuk orang yang hidup di perkotaan kekeringan dihubungkan dengan menurunnya cadangan air yang dibutuhkan pada tandon-tandon air (Takeuchi, 1974). Berdasarkan definisi di atas, Wilhite (1993) dan Glantz (1994) mengelompokkan kekeringan dalam empat pendekatan yaitu kekeringan meteorologi, hidrologi, pertanian, dan sosial ekonomi.

Kekeringan melanda sebagian wilayah Indonesia secara periodik (Pasandaran dan Hermanto, 1997). *The World Meteorological Organization* melaporkan bahwa kekeringan juga

¹ Balai Penelitian Tanah, Indonesia.

² Asian Center for Research on Remote Sensing (ACRoRS), Asian Institute of Technology, Thailand.

³ GIS Application Center (GAC), Asian Institute of Technology, Thailand.

terjadi pada tahun 1997 (Puterbaugh, 1997). Berdasarkan data curah hujan, di Indonesia kekeringan terjadi hampir setiap 5 tahun, dan pada tahun-tahun terakhir terjadi pada setiap 3 sampai 4 tahun. Melihat hal tersebut, kekeringan perlu dipantau, diidentifikasi dan diantisipasi akibat yang ditimbulkannya. Salah satu indikator yang baik untuk kekeringan adalah curah hujan, akan tetapi tidak adanya stasiun curah hujan pada daerah yang terpencil menjadi kendala. Dalam situasi semacam ini, teknologi *remote sensing* merupakan salah satu alternatif untuk mengidentifikasi atau memantau kekeringan. Citra *remote sensing* mempunyai keunggulan dalam hal kontinuitas data spasial dan periodik, serta mencakup wilayah yang luas. Salah satu informasi yang bisa diperoleh dari data *remote sensing* adalah indeks vegetasi (NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*). Nilai NDVI mempunyai kaitan yang erat dengan ketersediaan air atau kelembaban, sehingga fluktuasi nilai NDVI memungkinkan untuk digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi daerah yang terkena kekeringan.

Beberapa penelitian menggunakan data *remote sensing* telah dilakukan untuk memonitor kekeringan. Thiruvengadachari *et al.* (1991) memonitor kekeringan di India menggunakan 2 minggu data NOAA AVHRR dilengkapi data yang diperoleh dari lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara spasial data *remote sensing* lebih baik dari hasil perhitungan data curah hujan. NOAA AVHRR juga digunakan di Brazil (Liu and Kogan, 1996), dan di Gobi serta Gurun Steepe di Mongolia (Bayarjarga *et al.*, 2000) untuk memonitor kekeringan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa NDVI dan *Land Surface Temperature* (LST) memberikan informasi yang dapat digunakan untuk mendeteksi dan memonitor kekeringan. Prathumchai *et al.* (2000) menunjukkan bahwa NDVI yang diperoleh dari JERS OPS pada musim hujan dan kemarau bisa digunakan untuk mendeteksi kekeringan di Provinsi Lop Buri Barat, Thailand.

Bagaimanapun juga penggunaan data *remote sensing* masih mempunyai persoalan yang penting berkenaan dengan koreksi atmosfer dan keakuratan nilai reflektan akibat dari kondisi atmosfer. Penelitian yang diaplikasikan di DAS Brantas hulu ini bertujuan untuk memantau dan mengidentifikasi kekeringan pada lahan pertanian dengan mengamati hubungan antara kekeringan dengan fluktuasi NDVI dan *Brightness Temperature* (BT) yang diperoleh dari NOAA AVHRR. Informasi distribusi wilayah kekeringan diharapkan dapat digunakan sebagai informasi dini untuk mengantisipasi resiko kekeringan dengan mengubah pola tanam atau usaha tani lainnya berdasarkan tingkat kekeringannya.

BAHAN DAN METODE

Daerah penelitian (DAS Brantas hulu) terletak di Provinsi Jawa Timur, mencakup wilayah Kabupaten/Kotamadya Malang, Blitar, Tulungagung, dan Trenggalek. Hamparan secara geografi terletak pada posisi 7°50' – 8°15' Lintang Selatan, dan 111°31' – 112°55' Bujur Timur.

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian adalah :

- (i) NOAA AVHRR (data bulanan yang terseleksi), mulai April 1997 s/d Maret 1999.
- (ii) Empat *scene* Data Landsat TM, bulan Mei dan Juni 1997 (*path/row* 118/65, 118/66, 119/65, and 119/66).
- (iii) Data curah hujan harian dari 9 stasiun pengamat, mulai tahun 1991 sampai 2000.

Metode

Seleksi data citra satelit

Data citra satelit yang digunakan mempunyai tutupan awan kurang dari 30%. Citra yang terseleksi dari data bulanan selanjutnya digunakan

untuk merepresentasikan NDVI dari bulan bersangkutan. Pada bulan Juli 1997, Maret dan Pebruari 1998, tidak tersedia data citra dengan tutupan awan maksimum yang diperkenankan. Untuk menanggulangi hal tersebut citra untuk bulan Juli 1997, diseleksi dari data minggu keempat bulan Juni 1997. Dari data curah hujan menunjukkan bahwa tahun yang terkena kekeringan adalah tahun 1997. Sedangkan tahun 1998 mempunyai curah hujan normal sehingga tahun tersebut dipertimbangkan sebagai tahun pembanding.

Proses awal data remote sensing

Untuk mengoptimalkan hasil analisis citra satelit perlu dilakukan beberapa proses awal, berupa :

- Koreksi geometri citra dengan menggunakan peta dasar digital skala 1:250.000, (Bakosurtanal, 1988).
- Penggabungan citra dari beberapa *scene* menggunakan pendekatan *Nearest Neighbor* untuk *resampling*. Penggabungan dilakukan untuk citra landsat, didahului proses klasifikasi penutupan lahan.
- Pemotongan citra (*cropping*) untuk data NOAA AVHRR, dan mozaik Landsat TM sesuai dengan batas daerah penelitian.
- Pembuatan komposisi warna dengan menentukan model *composite* citra, yaitu komposisi urutan warna RGB (4, 5, 3) untuk kemudahan interpretasi visual .

Klasifikasi penutup lahan

Penelitian lapangan dilakukan pada bulan Juni 2001 untuk mengetahui kondisi kekeringan dan identifikasi klasifikasi penutupan lahan. Posisi koordinat dari pengamatan lapangan (sebanyak 60 titik pengamatan) selama penelitian digunakan *Global Positioning System* (GPS). Karena Landsat TM mempunyai resolusi spasial lebih baik dari pada NOAA AVHRR, maka citra Landsat TM bulan Mei dan Juni 1997 digunakan sebagai dasar identifikasi untuk klasifikasi penutupan lahan.

Klasifikasi jenis penutupan lahan dibedakan sebagai berikut : hutan, belukar, sawah, pertanian lainnya, perkotaan, dan tutupan awan. Metode klasifikasi yang digunakan adalah *Supervised classification*.

Curah hujan

Perhitungan curah hujan diperoleh dari data harian 9 stasiun yang terletak di dalam dan sekitar lokasi penelitian. Untuk menghitung rata-rata curah hujan secara spasial digunakan pendekatan *Thiessen polygon* (Gambar 1).

Analisis indek vegetasi (NDVI) dan brightness temperature (BT)

Nilai NDVI – nilai ini dianalisis setiap bulan dari 5 macam penutupan lahan (hutan, belukar, sawah, pertanian lainnya, perkampungan). NDVI dihitung dengan menggunakan formulasi (Toseli, 1989) yaitu $NDVI = (Ch2 - Ch1) / (Ch2 + Ch1)$. Pada NOAA AVHRR, Ch1 atau *band 1* adalah *band* merah, sedangkan Ch2 atau *band 2* adalah *band* infra merah.

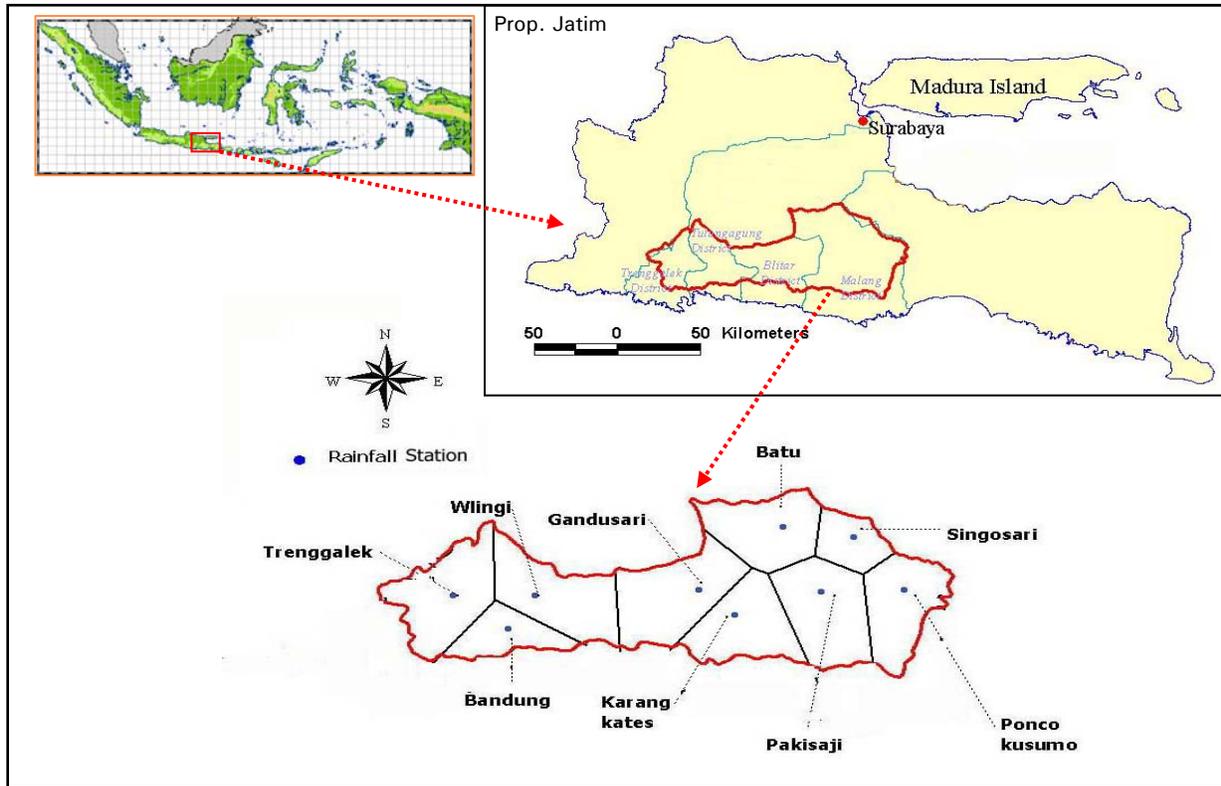
Nilai BT – Nilai ini diperoleh dari nilai citra NOAA AVHRR pada *band 4* dibagi 100, sedang dari Landsat TM (nilai *pixel band 6*) diperoleh dengan proses kalibrasi menggunakan *software* ENVI. Nilai hasil kalibrasi tersebut merupakan nilai BT dalam derajat Kelvin, kemudian untuk menjadikannya derajat Celcius nilai tersebut dikurangi 273. Perhitungan ini didasarkan pada karakteristik jenis citra (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik citra NOAA AVHRR dan Landsat TM

Table 1. Characteristics of NOAA AVHRR and Landsat TM

	NOAA AVHRR	Landsat TM
Cakupan spasial	2.500 km	185 km
Resolusi spasial	1,1 km x 1,1 km	30 m x 30 m
Resolusi temporal	12 jam	16 hari
Resolusi spektral	Visible-thermal IR	Visible-thermal IR
VNIR dan thermal IR	Band 1 = 0,58-0,68	Band 3 = 0,63-0,69
band	Band 2 = 0,725-1,10	Band 4 = 0,75-0,90
	Band 4 = 10,33-11,30	Band 6 = 10,40-12,50

Sumber : Lertlum (1997)



Gambar 1. Stasiun pengamat curah hujan, *thiessen polygons* DAS Brantas hulu

Figure 1. Rainfall gauging station, *thiessen polygons* of upper Brantas watershed

HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi penutupan lahan dan kondisi curah hujan

Distribusi penutupan lahan dan lokasi titik-titik pengamatan lapangan disajikan pada Gambar 2, dan uraian setiap jenis penutupan lahan pada Tabel 2.

Keadaan curah hujan (jumlah, jangka waktu, dan musim) selama 5 tahun terakhir di DAS Brantas hulu disajikan pada Tabel 3, dan variasi sebaran curah hujan bulanan selama 10 tahun disajikan dalam Gambar 3. Berdasarkan data curah hujan, kekeringan terjadi pada tahun 1997 (70 hari hujan), sedangkan tahun 1998 yang mempunyai curah hujan normal (140 hari hujan) dipertimbangkan sebagai pembanding kejadian tahun 1997 untuk analisis kekeringan.

Tabel 2. Penutupan lahan luas cakupan di DAS Brantas hulu

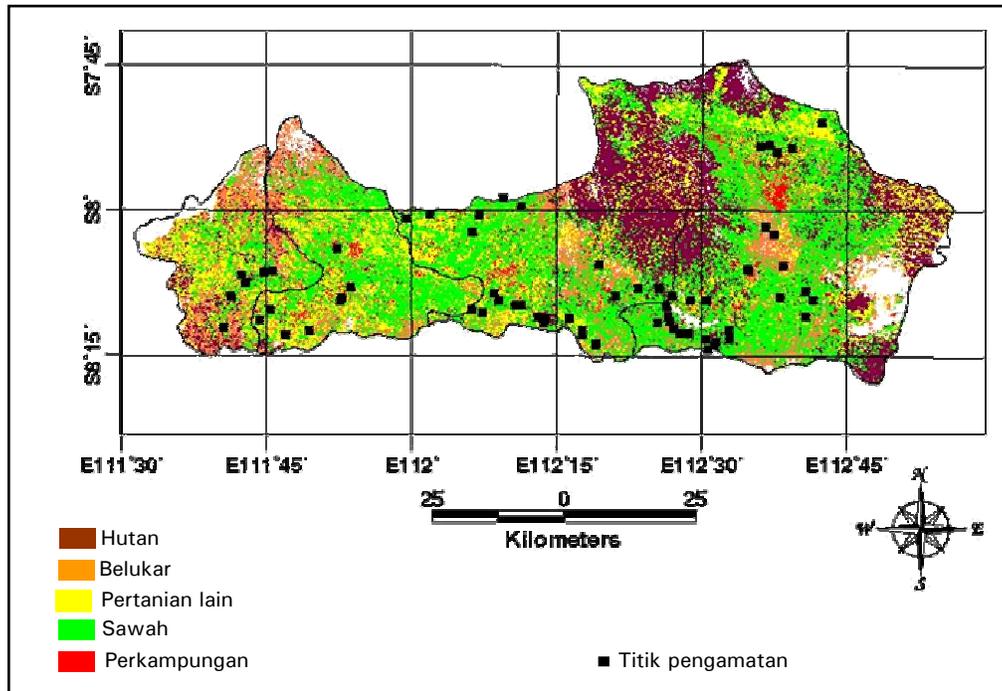
Table 2. Land covers area covering in upper Brantas watershed

Penutupan lahan	Uraian	Cakupan %
1. Hutan	Area dengan tanaman tahunan sebagai vegetasi utama	21,90
2. Belukar	Area semak dan belukar	20,94
3. Pertanian lain	Pertanian lahan kering	34,09
4. Sawah	Sawah irigasi dan non irigasi	16,67
5. Perkampungan	Tempat orang tinggal dan melakukan aktivitasnya	1,75
6. Tdk ada data	Tertutup awan	4,65

Tabel 3. Keadaan curah hujan di DAS Brantas hulu

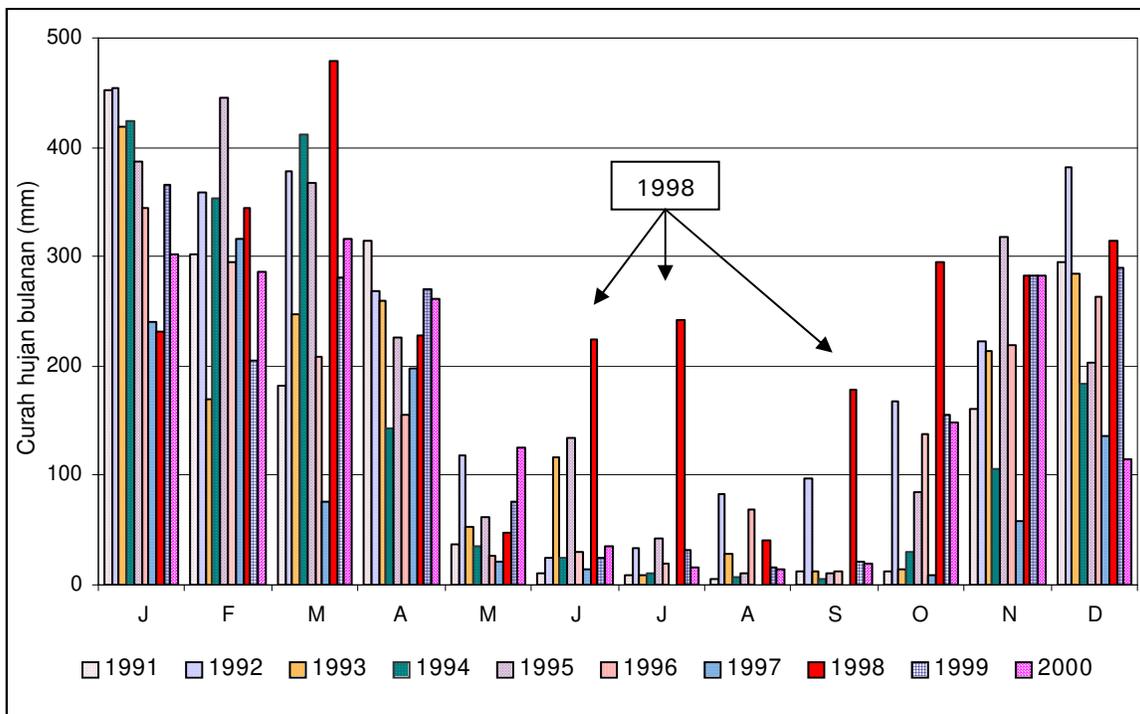
Table 3. Typical behavior of rainfall of upper Brantas watershed

	1995	1996	1997	1998	1999
CH tahunan (mm)	2.294	1.782	1.070	3.010	2.020
Hari hujan (hari)	204	92	70	140	Tdk ada data
Jan-Apr (mm)	1.426	1.004	831	1.282	1.122
Mei-Agt (mm)	249	146	35	555	149
Sept-Des (mm)	619	632	204	1.073	749



Gambar 2. Distribusi spasial penutupan lahan dan titik pengamatan

Figure 2. Spatial distribution of land covers and observation points



Gambar 3. Variasi rata-rata curah hujan bulanan di Brantas hulu

Figure 3. Monthly variation of average rainfall of upper Brantas watershed

Memperhatikan Gambar 3, secara umum variasi rata-rata curah hujan bulanan di daerah penelitian menunjukkan periode bulan kering terjadi pada bulan Mei sampai Oktober, dan periode bulan basah terjadi pada bulan Nopember sampai April. Akan tetapi untuk tahun 1997 yang tergolong kering, kejadiannya adalah sebagai berikut :

- Periode basah terjadi pada bulan Januari sampai April.
- Periode kering I terjadi pada bulan Mei sampai dengan Oktober.
- Periode kering II terjadi pada bulan November sampai Desember.

Dari variasi rata-rata curah hujan dapat dikatakan bahwa :

- Periode kering bulan Mei sampai Oktober merupakan periode terkering dibandingkan dengan periode kering bulan November sampai Desember.
- Tahun 1998 merupakan tahun yang tidak mengalami kekeringan, sesuai dengan yang dilaporkan Puterbaugh (1997) dan hasil wawancara selama pengamatan di lapangan.

Hasil analisis citra dikaitkan dengan data curah hujan dan wawancara di lapangan menunjukkan bahwa pada tahun 1997 terjadi kekurangan air dan petani tidak menanam padi. Sedangkan untuk tahun 1998, diidentifikasi sebagai tahun normal ditunjukkan dengan curah hujan yang normal, dan penanaman padi irigasi yang mencukupi.

Kekeringan berdasar indeks vegetasi (NDVI) dan *brightness temperature* (BT)

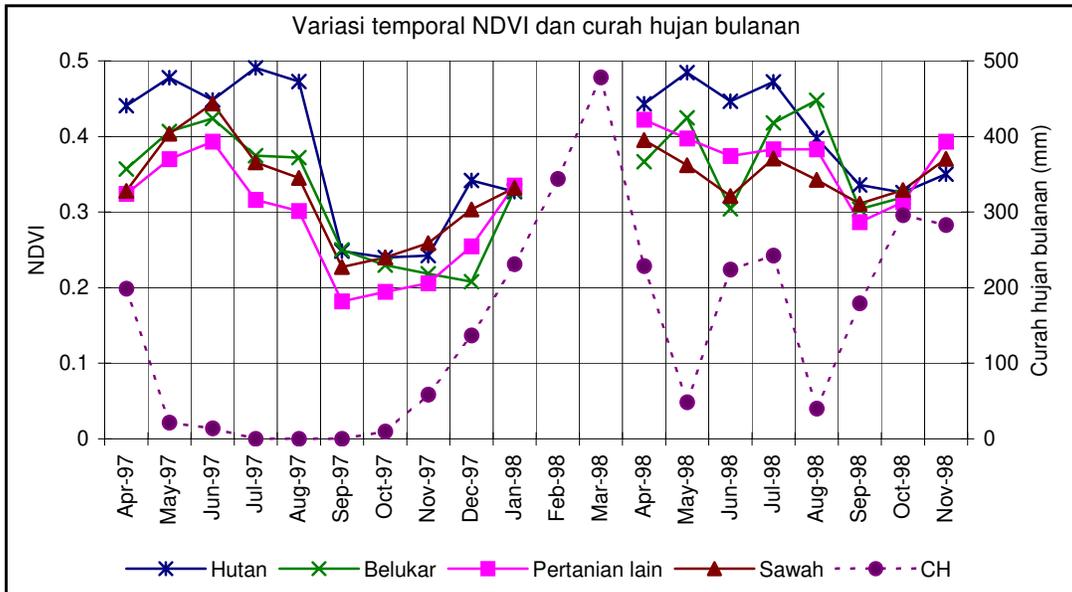
Data NOAA AVHRR dengan tutupan awan yang signifikan telah membatasi resolusi *temporal* analisis. Pengamatan *visual* terhadap keseluruhan data yang tersedia mengidentifikasi bahwa resolusi bulanan dapat diperoleh dengan memilih data citra harian yang terdapat pada bulan bersangkutan. Metode ini berbeda dengan data

composite citra karena data citra yang mempunyai perbedaan kondisi atmosfer akan mengakibatkan kurang akuratnya analisis NDVI.

Perhitungan NDVI setiap jenis penutupan lahan didasarkan pada contoh lokasi (*site*) terpilih. Perhitungan dilakukan dengan merata-rata nilai NDVI setiap *pixel* dari contoh lokasi (Shofiyati, 2000). Duapuluh contoh lokasi dapat diidentifikasi dari setiap penutupan lahan yang terpilih, dan nilai NDVI dari setiap contoh dirata-rata untuk menghitung nilai NDVI penutupan lahannya. Hasil analisis menunjukkan nilai NDVI berkisar antara 0,18 sampai dengan 0,49 selama jangka penelitian. Perbandingan nilai NDVI bulanan penutupan lahan dengan rata-rata spasial curah hujan menunjukkan bahwa nilai NDVI menurun dengan dimulainya musim kering dan meningkat pada musim hujan (Gambar 4). Citra tahun 1998 menunjukkan nilai NDVI berbagai penutupan lahan berfluktuasi tetapi tidak menurun seperti yang terjadi pada tahun 1997. Hal tersebut terjadi karena pada tahun 1998 secara signifikan mempunyai curah hujan yang tinggi.

Gambar 4 juga menunjukkan penurunan nilai NDVI sesuai dengan curah hujan, dan secara umum ada indikasi jeda waktu satu bulan karena pengaruh curah hujan terhadap vegetasi. Walaupun pada bulan September 1997 tidak terjadi hujan, tetapi nilai NDVI meningkat pada bulan Oktober. Hal ini disebabkan karena pada awal bulan Oktober terjadi sedikit hujan, dan terjadi respon tanaman pada bulan Oktober. Secara keseluruhan nilai NDVI menunjukkan adanya keterlambatan respon tanaman selama satu bulan baik terhadap peningkatan maupun penurunan curah hujan.

Pada tahun kekeringan (1997), nilai NDVI sawah sama atau lebih besar dibanding pertanian lain, sedangkan pada tahun normal (1998) terjadi sebaliknya, tanaman pertanian lain mempunyai nilai NDVI lebih besar dibandingkan dengan sawah. Hal ini terjadi karena pada tahun kekeringan, lahan sawah mendapat air irigasi, sementara pertanian lainnya tidak.



Gambar 4. Variasi temporal dari nilai NDVI dan curah hujan
Figure 4. Temporal variation of NDVI and rainfall

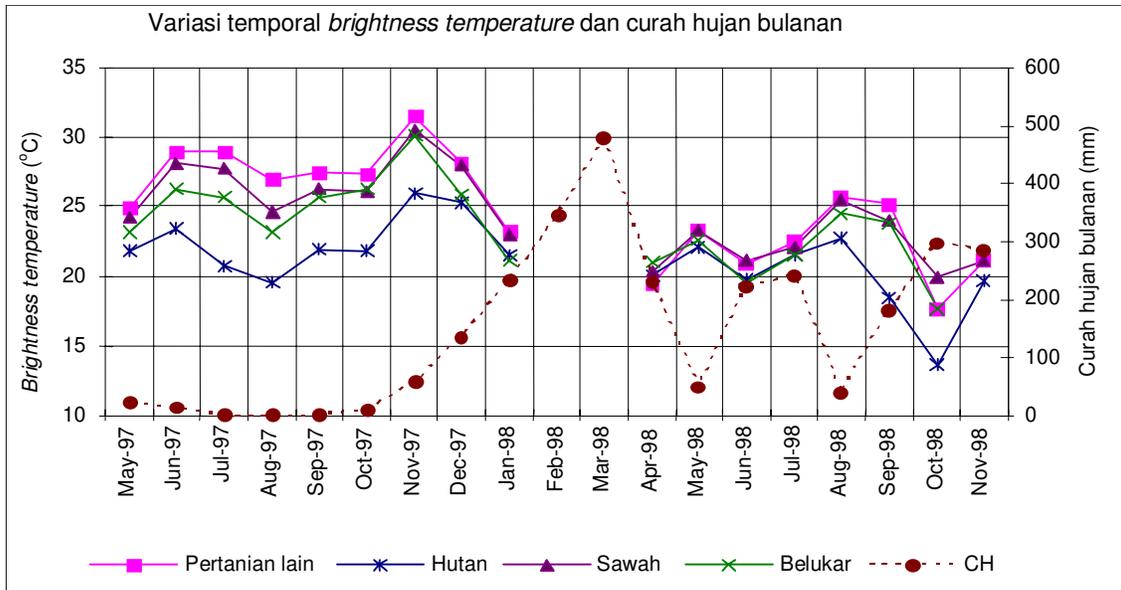
Nilai NDVI pada tahun 1998 menunjukkan fluktuasi antara 0,28 sampai dengan 0,48, sedangkan pada tahun 1997 berfluktuasi antara 0,18 sampai dengan 0,49. Nilai NDVI hutan dan sawah pada tahun kekeringan menurun sampai dengan nilai 0,24, tanaman pertanian lain menurun sampai nilai 0,18, sementara semak dan belukar mempunyai nilai minimum 0,21. Pada tahun normal, hutan, belukar, sawah, dan pertanian lain, menunjukkan nilai minimum NDVI yang lebih tinggi berturut-turut 0,33; 0,31; 0,29; dan 0,30.

Variasi temporal nilai NDVI pada tahun 1997 menunjukkan penurunan dan berikutnya meningkat sesuai dengan meningkatnya curah hujan. Keteraturan tersebut tidak nampak pada tahun 1998 dikarenakan adanya ketidak teraturan hujan pada bulan Juni, Juli, dan September (Gambar 3). Penutupan lahan belukar menunjukkan respon yang cepat terhadap peningkatan nilai NDVI pada bulan-bulan tersebut dibandingkan dengan pertanian lain. Hal tersebut tidak terjadi pada tahun 1997, karena penutupan lahan belukar tidak terpengaruh oleh adanya hujan pada bulan Oktober yang diakibatkan oleh rendahnya nilai kelembaban tanah karena kekeringan.

Nilai NDVI hutan dan pertanian lain merupakan indikasi yang terbaik untuk respon vegetasi rata-rata tahunan. Fluktuasi musim kering nampak pada tanaman hutan dan pertanian lain yang tidak disuplai air irigasi. Pada sawah beririgasi pengaruh fluktuasi yang nyata disebabkan oleh peningkatan fase pertumbuhan (tanaman yang sudah matang). Keragaman respon tanaman akan kekeringan sangat dipengaruhi oleh irigasi dan kondisi kelembaban tanah.

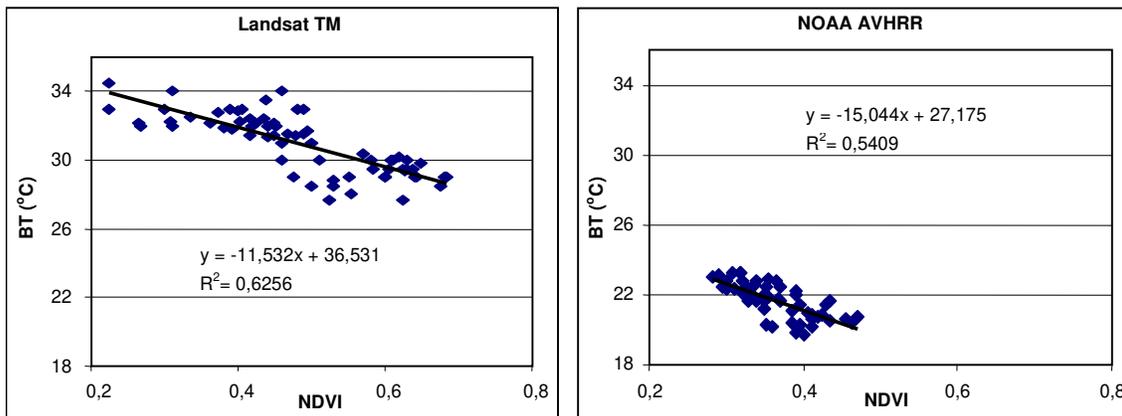
Analisis *multi temporal* dari BT menunjukkan sepanjang periode kering tahun 1997 mempunyai nilai lebih tinggi dari tahun 1998 (Gambar 5).

Analisis BT dapat menggambarkan pola temperatur suatu obyek di permukaan bumi. Pada analisis ini terdapat sedikit perbedaan pada penutup lahan hutan, dimana sepanjang tahun kering menunjukkan temperatur yang lebih rendah daripada penutupan lahan lain, sedangkan pada tahun normal nilai BT hampir sama kecuali pada periode kering. Nilai temperatur pada penutupan lahan hutan pada periode kering tahun 1997 berkisar antara 19 – 26°C dan pada periode normal tahun 1998 berkisar antara 14 – 23°C. Nilai temperatur penutup lahan lainnya selama periode



Gambar 5. Variasi temporal dari nilai BT dan curah hujan

Figure 5. Temporal variation of BT and rainfall



Gambar 6. Hubungan antara NDVI dan BT

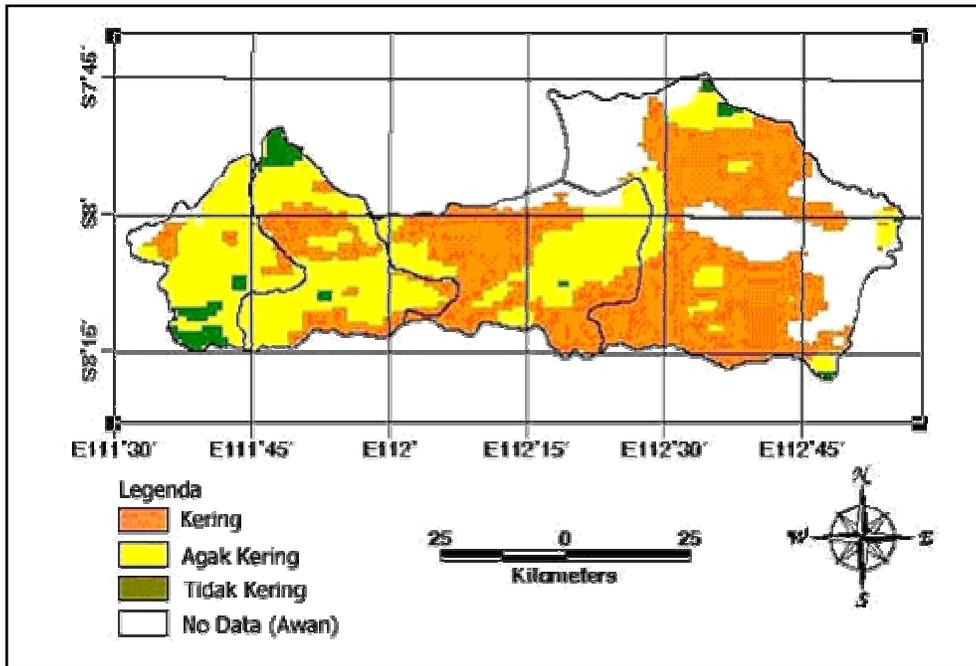
Figure 6. Relationship between NDVI and BT

kering tahun 1997 berkisar antara 23 – 30°C dan selama periode normal tahun 1998 berkisar antara 18 – 25°C. Sebaliknya selama periode basah, nilai BT semua jenis penutup lahan (hutan, belukar, sawah, dan pertanian lain) hampir sama.

Hubungan NDVI dengan BT

Nilai BT diperoleh dari *band 4* (10,3 - 11,3 micrometers) untuk citra NOAA AVHRR dan *band 6* (10,40 – 12,50 micrometer) bila menggunakan

Landsat TM. Secara umum, variasi temporal nilai NDVI mempunyai hubungan terbalik dengan BT. Penurunan nilai NDVI, akan diikuti oleh peningkatan nilai BT (Gambar 6). Hal ini berarti daerah dengan NDVI tinggi yang menunjukkan kondisi vegetasi yang hijau mempunyai temperatur lebih rendah yang ditunjukkan dengan nilai BT yang rendah. Demikian juga sebaliknya, daerah yang kering (tanpa vegetasi/bera) mempunyai nilai NDVI rendah dan nilai BT tinggi. Rendahnya nilai BT bisa digunakan untuk mengidentifikasi apakah dikarena-



Gambar 7. Distribusi spasial kekeringan secara spasial berdasarkan nilai NDVI
Figure 7. Spatial distribution of drought according to NDVI value

kan kondisi vegetasi atau disebabkan oleh adanya kabut atau awan. Nilai NDVI yang rendah diikuti dengan nilai BT yang rendah menunjukkan daerah tersebut tertutup/ terpengaruh awan atau kabut.

Hasil analisis NDVI pada bulan September dan Oktober 1997 (Gambar 4) terlihat sangat rendah yaitu 0,25; 0,25; 0,22; dan 0,18 berturut-turut untuk penutupan lahan hutan, belukar, sawah, dan pertanian lain. Sebaliknya nilai BT menunjukkan nilai yang cukup tinggi untuk penutupan lahan hutan, belukar, sawah, dan pertanian lainnya secara berturut-turut adalah 19°, 23°, 25°, dan 27°C. Dari data tersebut menunjukkan bahwa rendahnya nilai NDVI disebabkan oleh kondisi vegetasi akibat kekeringan.

Distribusi areal kekeringan

Nilai NDVI yang mempunyai keterkaitan dengan curah hujan bisa digunakan sebagai indikator untuk mengekspresikan sebaran spasial kekeringan. Namun demikian, faktor kelembaban lahan yang berkaitan dengan respon dari setiap penutupan lahan juga berpengaruh terhadap nilai NDVI.

Dari hasil analisis NOAA AVHRR menunjukkan bahwa nilai NDVI tidak turun di bawah 0,28 pada beberapa penutupan lahan selama tahun 1998, sedangkan pada tahun 1997 NDVI turun hingga 0,18. Dengan mempelajari data tersebut, kisaran nilai NDVI 0,28 dapat dipertimbangkan untuk mengidentifikasi daerah yang mengalami kekeringan.

Jika nilai NDVI terendah sebagai indikasi daerah kekeringan, maka nilai NDVI pada bulan September 1997 (bulan terkering) dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang terpengaruh kekeringan. Dengan membandingkan nilai NDVI pada semua jenis penutupan lahan tahun 1997, nilai NDVI kurang dari 0,24 diklasifikasikan sebagai daerah kering. Nilai ini diambil dari nilai NDVI penutupan hutan yang merupakan daerah yang relatif kurang terpengaruh terhadap kekeringan. Daerah dengan nilai NDVI lebih besar daripada 0,28 dipertimbangkan sebagai daerah yang tidak terpengaruh kekeringan, dan nilai diantaranya (0,24 – 0,28) sebagai daerah agak kering. Distribusi spasial tingkat kekeringan di DAS Brantas hulu disajikan pada Gambar 7 dan luasannya pada Tabel 4.

Tabel 4. Tingkat kekeringan dan luasannya di DAS Brantas hulu (tahun 1997)*Table 4. Drought severity and their area in upper Brantas watershed (year 1997)*

Kabupaten	Luas km ²	Area			
		Tidak kering	Agak kering	Kering	Berawan
		%			
Malang	2.550	0,9	9,8	54,6	34,6
Blitar	1.234	0,2	39,0	54,1	6,7
Tulungagung	937	5,3	62,6	32,0	0
Trenggalek	626	11,8	77,8	10,4	0

KESIMPULAN DAN SARAN

1. *Normalized Differenced Vegetation Index (NDVI)* dan *Brightness Temperature (BT)* dapat digunakan sebagai indikator untuk identifikasi kekeringan secara spasial.
2. Dengan menggunakan perbandingan nilai NDVI dari tahun yang mengalami kekeringan (1997) dengan tahun yang tidak mengalami kekeringan (1998) menunjukkan nilai NDVI 0,28 data NOAA AVHRR mengindikasikan kekeringan yang terjadi pada tahun 1997.
3. Setiap kelas penutupan lahan memiliki karakter nilai NDVI dan BT yang berbeda pada setiap kondisi kekeringan. Penutupan lahan hutan mempunyai nilai NDVI 0,25 – 0,49, dan nilai BT 14 – 26°C, sedangkan pertanian lain mempunyai nilai NDVI 0,18 – 0,42 dan BT 18 – 30°C.
4. Terdapat hubungan terbalik antara nilai NDVI dan BT dengan $R^2 = 0,54$ untuk NOAA AVHRR, dan $R^2 = 0,63$ untuk Landsat TM.
5. Kendala tutupan awan pada citra optik (NOAA AVHRR & Landsat TM) dapat diatasi dengan penggunaan citra satelit lainnya, seperti citra radar sebagai informasi komplemen.

DAFTAR PUSTAKA

- Bayarjarga, Y., Adyasuren, Ts., and Munkhtuya, Sh. 2000.** Drought and Vegetation Monitoring in the Arid and Semi-Arid Regions of the Mongolia using *Remote sensing* and Ground Data. GIS Development. http://www.gis.development.net/aars/acrs/2000/ts8/hami_0004.shtml, Last retrieval 6 February 2002.
- Glantz, M.H. 1994.** Drought Follows the Plow: Cultivating Marginal Areas. Cambridge University Press. Cambridge.
- Lertlum, S. 1997.** Vegetation Classification Methodology from Multi-resolution Satellite Data Using a Combination of Optical and Thermal Bands. Dissertation of Doctor of Technical Science (Unpublished), AIT, Bangkok.
- Liu, W.T. and Kogan, F.N. 1996.** Monitoring Regional Drought Using the Vegetation Condition Index. *International Journal Remote Sensing* 17: 2761-2782.
- Pasandaran, E. and Hermanto. 1997.** Pengelolaan Sistem Irigasi Hemat Air untuk Mempertahankan Swasembada Beras. *In* Kurnia, G. (Ed): Hemat Air Irigasi. Kebijakan, Teknik, Pengelolaan, dan Sosial Budaya. Pusat Dinamika Pembangunan. Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Prathumchai, K., Honda, K., and Nualchawee, K. 2000.** Drought Risk Evaluation Using Remote Sensing and GIS A Case Study in Lop Buri Province, Thailand. *Proceedings of The 21st Asian Conference on Remote Sensing* Volume 1. Taipei.
- Puterbaugh, T. 1997.** World Agricultural Production. Foreign Agricultural Service (FAS) USDA. <http://www.fas.usda.gov/WAP/circular/1997/>, Last retrieval 29 October 2000.
- Shofiyati, R. 2000.** Agricultural Drought Monitoring and Assessment Using Remote Sensing and GIS: An Application for Upper Brantas Watershed, Indonesia. Thesis submitted in

partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (Unpublished), Asian Institute of Technology, Bangkok.

Takeuchi, K. 1974. Regional Water Exchange for Drought Alleviation. Hydrology Papers. Colorado State University. Fort Collin.

Toselli, F. 1989. Applications of Remote Sensing to Agrometeorology. Proceedings of a Course held at the Joint Research Centre of the Commission of the European Communities in the Framework of the ISPRA-Courses, Ispra, Verese.

Thiruvengadachari, S., Jeyseelan, A.T., Harikishan, J., and Krishna Rao, P.V. 1991. Satellite Surveillance of Agricultural Drought Conditions in India - How Useful is Vegetation Index for Drought Monitoring? In Applications of Remote Sensing in Asia and Oceania-Environmental Change Monitoring. Edited by S. Murai. Asian Association on Remote Sensing. Tokyo.

Wilhite, D.A. 1993. Enigma of Drought. *In* Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies, edited by Wilhite, D.A. Kluwer Academic Publishers. London.