

## PENENTUAN EVAPOTRANSPIRASI REGIONAL DENGAN DATA LANDSAT TM DAN NOAA AVHRR

M. Rokhis Khomarudin\*) dan Idung Risdiyanto\*\*)

\*) Peneliti Bidang Pemanfaatan Penginderaan Jauh

\*\*\*) Dosen Geofisika dan Meteorologi IPB

### ABSTRACT

The study of potential evapotranspiration with approach with climate data have many discussed in the hidrology book, climatology and also meteorology. Other and the new method expanding by using remote sensing data. Some method for the calculation evapotranspiration with remote sensing data have been developed by some researcher. The Models which have been developed for example is SEBAL model (*Surface Energy Balance Algorithm For Land*) Allen (2000) and Tasumi (2001), Land Surface Temperature (LST) Model developed by Hurtado, et. al. (1994), INRIA Project (2000), and Narasimhan, et. al. (2002), while Qi, et. al. (1997), Ogawa, et al. (1999) and Yang, et. al. (1996) developing empiric model to calculate evapotranspiration. This research use one of the method which have been applied by Narasimhan, et. al. (2002) with concept of energy balance. Result obtained by NOAA AVHRR and LANDSAT TM have been proven can in minimization of data of field to calculate value evapotranspiration either through spasial and also regional. Evapotranspiration represent to accelerate loss irrigate from a body irrigate or the farm opened to be enhanced fastly is loss irrigate from crop or vegetation. Result of description above indicating that evapotranspiration and energy component each landcover have different value. Result of different test in each energy balance component show a marked difference at various landcover (water, soil and vegetation). Each component have different value at the different landcover.

### ABSTRAK

Pembahasan mengenai evapotranspirasi potensial dengan pendekatan unsur-unsur iklim telah banyak dibahas dalam buku-buku hidrologi, klimatologi maupun meteorologi. Metode lain yang berkembang adalah dengan menggunakan data penginderaan jauh. Beberapa metode untuk perhitungan nilai evapotranspirasi dengan data penginderaan jauh telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Model yang telah dikembangkan adalah antara lain model SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm For Land*) (Allen (2000) dan Tasumi (2001), Model Land Surface Temperature (LST) yang dikembangkan oleh Hurtado, et. al. (1994), INRIA Project (2000), dan Narasimhan, et. al. (2002), sedangkan Qi, et. al. (1997), Ogawa, et al. (1999) dan Yang, et. al. (1996) mengembangkan model empirik untuk menghitung nilai evapotranspirasi. Penelitian ini menggunakan salah satu metode yang telah diterapkan oleh Narasimhan, et. al. (2002) dengan konsep keseimbangan energi. Hasil yang diperoleh baik NOAA AVHRR dan LANDSAT TM telah terbukti mampu meminimalkan data lapangan untuk menghitung nilai evapotranspirasi baik secara spasial maupun regional. Evapotranspirasi merupakan laju kehilangan air dari suatu tubuh air atau lahan terbuka ditambahkan dengan laju kehilangan air dari suatu tanaman atau vegetasi. Hasil uraian di atas menunjukkan bahwa nilai evapotranspirasi dan komponen energi pada setiap penutup lahan mempunyai nilai yang berbeda. Hasil uji beda nilai tengah pada setiap komponen neraca energi dan evapotranspirasi menunjukkan perbedaan yang nyata pada berbagai penutup lahan (air, tanah dan vegetasi). Masing-masing komponen memiliki nilai yang berbeda pada penutup lahan yang berbeda.

## 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengetahuan mengenai evapotranspirasi sangat berguna untuk berbagai tujuan penggunaan seperti perhitungan neraca air, keseimbangan energi, pembelajaran klimatologi maupun meteorologi dan estimasi produksi tanaman (Hurtado, 1994). Evapotranspirasi sangat bervariasi menurut ruang dan waktu. Oleh karena itu, maka pemahaman mengenai distribusi ruang dan waktu tentang evapotranspirasi merupakan faktor kunci dalam keberhasilan mengoptimalkan model keseimbangan air dan pengaturan air irigasi pertanian (Yang, 1996).

Air merupakan kebutuhan mutlak suatu tanaman. Kehilangan air yang cukup tinggi pada suatu tahap pertumbuhan tanaman akan menyebabkan pertumbuhan dan produksi tanaman terganggu. Pengaturan air tanaman sesuai kebutuhan tanaman akan dapat mengoptimalkan produksi tanaman. Evapotranspirasi dalam peranannya pertanian biasanya digunakan untuk perhitungan neraca air lahan pertanian dan mengatur pola tanam, sehingga kebutuhan air tanaman tercukupi.

Sebagai unsur yang penting dalam keseimbangan energi dan keseimbangan air, evapotranspirasi perlu diketahui bagaimana proses terjadinya dan apa yang mempengaruhi evapotranspirasi. Pendekatan perhitungan maupun estimasi evapotranspirasi baik potensial maupun aktual telah banyak dilakukan. Penman (1948) telah mengembangkan model untuk estimasi evapotranspirasi potensial dengan menggunakan unsur-unsur iklim seperti suhu udara, radiasi panas matahari, kelembaban, dan kecepatan angin. Thornwaite and Mather (1957) juga telah mengembangkan perhitungan evapotranspirasi dengan menggunakan suhu udara. Jensen (1973) mengklasifikasikan metode-metode perhitungan evapotranspirasi dalam 6 kategori yaitu berdasarkan perhitungan penurunan air tanah, lisimeter, keseimbangan air,

keseimbangan energi, transfer massa dan kombinasinya. Metode perhitungan evapotranspirasi potensial diklasifikasikan dalam 5 kelas, yaitu metode radiasi, metode evaporasi, metode suhu udara, dan kombinasi. Berdasarkan data di atas, maka pembelajaran perhitungan dan estimasi nilai evapotranspirasi sudah dilakukan sejak sekitar 50 tahun yang lalu. Namun dari berbagai model yang ada pendekatan yang sering dilakukan adalah pendekatan keseimbangan energi (Campbell, 1977).

Pembahasan mengenai evapotranspirasi potensial dengan pendekatan unsur-unsur iklim telah banyak dibahas dalam buku-buku hidrologi, klimatologi maupun meteorologi. Metode lain yang berkembang adalah dengan menggunakan data penginderaan jauh. Tasumi (2001) mengatakan bahwa keunggulan menggunakan data penginderaan jauh adalah bagus untuk suatu lahan yang luas, pengukuran yang sedikit dan ketersediaan *historical* data yang baik. Bagus untuk lahan yang luas ini berarti bahwa data penginderaan jauh dapat mencakup suatu lokasi yang luas. Data Landsat TM dapat mencakup 185 x 185 km<sup>2</sup> dalam satu foto, sedangkan data NOAA AVHRR dapat mencakup  $\frac{3}{4}$  luas wilayah Indonesia. Hal ini berarti jika dibandingkan dengan pengukuran manual dengan alat-alat cuaca yang hanya mencakup satu lokasi atau titik, maka data penginderaan jauh lebih efektif untuk suatu luasan yang besar. Penggambaran nilai-nilai evapotranspirasi secara regional maupun spasial akan lebih mudah dilakukan dengan data satelit penginderaan jauh. Namun selain kelebihan tadi, kekurangan data penginderaan jauh adalah dari segi waktu. Data Landsat yang memotret setiap 18 hari sekali membuat data harian tidak lengkap, masalah adanya awan juga mempengaruhi penerimaan data, koreksi atmosfer yang tidak tepat juga akan sangat mempengaruhi data (Tasumi 2001).

Beberapa metode untuk perhitungan nilai evapotranspirasi dengan

data penginderaan jauh telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Model yang telah dikembangkan adalah antara lain model SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm For Land*) (Allen (2000) dan Tasumi (2001), Model Land Surface Temperature (LST) yang dikembangkan oleh Hurtado, et. al. (1994), INRIA Project (2000), dan Narasimhan, et. al. (2001), sedangkan Qi, et. al. (1997), Ogawa, et al. (1999) dan Yang, et. al. (1996) mengembangkan model empirik untuk menghitung nilai evapotranspirasi dengan menggunakan nilai NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), dan dengan unsur-unsur lain yang dapat dibangkitkan dari data penginderaan jauh. Prinsip beberapa model untuk menghitung nilai evapotranspirasi dengan data penginderaan jauh di atas adalah menggunakan konsep keseimbangan energi. Di Indonesia penelitian ini masih jarang dilakukan. Penelitian ini akan berusaha menerapkan suatu metode keseimbangan energi dan data penginderaan jauh LANDSAT TM dan NOAA AVHRR untuk menghitung nilai evapotranspirasi regional di tiga wilayah kabupaten/kota di Surabaya, Gresik dan Sidoarjo.

**1.2 Tujuan**

Tujuan yang diharapkan dalam penelitian ini adalah menerapkan dan mengembangkan suatu model perhitungan evapotranspirasi yang telah diungkapkan oleh Narasimhan, et. al. (2001) dengan pendekatan keseimbangan energi dan data satelit penginderaan jauh LANDSAT TM dan NOAA AVHRR di tiga wilayah kabupaten/kota di Surabaya, Gresik dan Sidoarjo, sehingga dapat diketahui perbedaannya di setiap penutup lahan. Secara rinci tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut

- Menerapkan dan mengembangkan metode yang dapat meminimalkan penggunaan data lapangan untuk perhitungan nilai evapotranspirasi dengan data satelit penginderaan jauh
- Mengetahui nilai evapotranspirasi regional di tiga wilayah kabupaten/

kota di Surabaya, Gresik dan Sidoarjo dan perbedaannya dengan menggunakan data LANDSAT TM dan NOAA AVHRR

- Mengetahui perbedaan nilai komponen neraca energi terutama albedo, *heat flux*, suhu permukaan dan evapotranspirasi pada berbagai penutup lahan.

**2 TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1 Definisi Evapotranspirasi**

Evapotranspirasi adalah kehilangan air di atmosfer dengan melalui dua proses, yaitu evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah kehilangan air dari tubuh air yang terbuka, seperti danau, waduk, lahan basah, lahan terbuka, dan salju. Transpirasi adalah kehilangan air dari suatu tanaman yang hidup. Beberapa faktor yang menyebabkan tinggi rendahnya nilai evapotranspirasi adalah karakteristik fisik dari air, tanah, salju dan permukaan tanaman. Faktor yang lebih penting adalah termasuk radiasi netto, permukaan air, kecepatan angin, kerapatan vegetasi, kelembaban tanah, kedalaman akar, kemampuan *reflektansi* permukaan tanah dan pengaruh musim (Hanson, 1991). Berdasarkan definisi di atas, nilai evapotranspirasi akan berbeda menurut tempat dan waktu.

**2.2 Evapotranspirasi dan Keseimbangan Energi**

Pada dasarnya menurut Campbell (1977) walaupun dalam menaksir nilai evapotranspirasi dengan menggunakan pendekatan-pendekatan yang berbeda. Hal yang penting adalah bahwa evapotranspirasi merupakan bagian dari keseimbangan energi. Neraca energi untuk tanaman, tanah dan permukaan air dirumuskan sebagai berikut.

$R_n - G - H - \lambda E = 0$  ..... (2-1)

Keterangan:

$R_n$  = Radiasi Netto ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ )

$G$  = Penyimpanan Kalor oleh tanah dan air ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ )

$H$  = Kehilangan Kalor terasa ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ )

$\lambda E$  = Komponen evapotranspirasi ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ )

Nilai G dipengaruhi oleh suhu permukaan dan suhu di dalam kedalaman tanah tertentu dan juga oleh konduktivitas thermal yang banyak dipengaruhi oleh komponen dalam tanah, misalnya kadar air, jenis dan struktur tanah. Nilai H dipengaruhi juga oleh suhu permukaan dan suhu lingkungannya yaitu suhu udara. Dalam hubungannya dengan pengangkutan eddy nilai H dan E sangat dipengaruhi oleh kejadian tersebut. Perhitungan di atas tidak semudah seperti yang dituliskan, karena setiap komponen dalam persamaan neraca energi terdiri dari komponen-komponen yang kompleks seperti adanya hambatan/resistensi aerodinamik di lingkungan. Dalam langkah selanjutnya Campbell (1977) menerangkan konsep *bower ratio* untuk menyederhanakan perhitungan. Nilai *bower ratio* ( $\beta$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} = \frac{\rho CP(T_1 - T_2) r_v}{\lambda(\rho v_1 - \rho v_2) r_H} \dots\dots\dots (2-2)$$

Persamaan untuk menghitung evapotranspirasi menjadi,

$$\lambda E = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan:

- $\rho CP$  = Kapasitas kalor volumetrik udara (1200 J m<sup>-3</sup> K<sup>-1</sup>)
- $T_1 - T_2$  = Perbedaan suhu udara dengan lingkungannya
- $\rho v_1 - \rho v_2$  = Perbedaan kerapatan uap
- $r_v$  = hambatan pengangkutan uap
- $r_H$  = hambatan pengangkutan kalor yang dirasakan

Pada perhitungan nilai evapotranspirasi potensial dianggap bahwa  $r_v = r_H$ .

### 2.3 Evapotranspirasi dan Penginderaan Jauh

Terkait dengan perhitungan nilai evapotranspirasi dengan data penginderaan jauh terdapat beberapa model yang telah dikembangkan di beberapa negara di luar Indonesia. Di Indonesia, pengembangan model ini masih belum banyak dilakukan, hanya beberapa saja

yang telah menggunakan data penginderaan jauh untuk nilai evapotranspirasi dengan pendekatan Penman maupun Thorwaite-Mather. Pengembangan model dengan menggunakan konsep keseimbangan energi untuk menghitung nilai evapotranspirasi adalah Narasimhan, *et al.* (2002). Konsep perhitungan nilai evapotranspirasi tersebut dijelaskan sebagai berikut.

$$ETP = \frac{R_n - H}{\lambda} \dots\dots\dots (2-4)$$

Keterangan:

- G = diabaikan
- ETP = Evapotranspiration (mm hari<sup>-1</sup>)
- $\lambda$  = Panas laten untuk penguapan (2.45 MJ Kg<sup>-1</sup>)
- H = Sensible Heat Flux (MJ m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup>)

Perhitungan nilai radiasi netto adalah sebagai berikut :

$$R_n = (1 - \alpha) R_s + \varepsilon R_l - \varepsilon \sigma (T_s + 273.16)^4 \dots\dots\dots (2-5)$$

Keterangan:

- $R_n$  = Radiasi Netto (MJ m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup>)
- $R_s$  = Radiasi gelombang pendek yang datang (MJ m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup>) (FAO, 1998)
- $R_l$  = Radiasi gelombang panjang yang datang (MJ m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup>) (Swinbank, 1963)
- $\alpha$  = Albedo Permukaan (NOAA AVHRR)
- $T_s$  = Suhu Permukaan (°C) (NOAA AVHRR)
- $\varepsilon$  = emisivitas (0.95)
- $\sigma$  = tetapan Stefan Boltzman (4.90 X 10<sup>-9</sup> MJ m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup> K<sup>-4</sup>)

Perhitungan nilai *heat flux* (H) mengikuti persamaan sebagai berikut.

$$H = \gamma \frac{900}{T_a + 273} \lambda U_2 (T_s - T_a) \dots\dots\dots (2-6)$$

Keterangan:

- $\gamma$  = Tetapan Psikrometrik ( kPa °C<sup>-1</sup>)
- $\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P$
- $P = 101.3 (293 - 0.0065z) / 293$  5.26
- P = Tekanan Atmosfer (k Pa)
- z = Ketinggian tempat (m)
- $U_2$  = Kecepatan angin pada ketinggian 2 meter (2 m s<sup>-1</sup>)
- $T_s$  = Suhu Permukaan (NOAA AVHRR) (° C)

Ta = Suhu Udara (persamaan empiris dengan NOAA AVHRR) (°C)

Hasil perhitungan komponen-komponen neraca energi yang diturunkan dengan data NOAA AVHRR dan metode ini sudah memberikan gambaran yang baik dan dapat menerangkan kondisi hasil pengukuran lapangan. Perhitungan nilai evapotranspirasi dengan metode Narasimhan, *et al.* (2002) memiliki beberapa kelemahan karena belum dapat menerangkan nilai evapotranspirasi hasil pengukuran lapangan. Kelemahan tersebut, adalah

- Semua parameter yang digunakan untuk menghitung nilai evapotranspirasi dengan metode Penman-Monteith belum dapat diturunkan dari data NOAA AVHRR
- Kecepatan angin yang konstan yang digunakan dalam metode ini tidak sama dengan hasil pengukuran dari stasiun klimatologi
- Nilai yang diperoleh dari stasiun klimatologi adalah dalam satu lokasi titik, sedangkan evapotranspirasi dari NOAA AVHRR memiliki suatu luasan 1 km x 1 km

### 3 BAHAN DAN METODE

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Januari-Maret 2004 di Bidang Peman-tauan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (PSDAL), Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) dengan mengambil studi kasus di tiga wilayah kabupaten/kota Surabaya, Gresik dan Sidoarjo.

#### 3.2 Bahan dan Alat

Dalam penelitian ini dibutuhkan beberapa data dan peralatan pengolahan data sebagai berikut.

- Data Landsat TM dan NOAA AVHRR pada tanggal 28 Agustus 2002.
- Data lapangan suhu udara rata-rata, suhu maksimum, dan suhu minimum tanggal 28 Agustus 2002 di Surabaya dan sekitarnya untuk perhitungan

Energi gelombang panjang yang masuk dan keluar di permukaan.

- Data DEM ketinggian Surabaya, Gresik dan Sidoarjo yang digitasi dari peta rupa bumi skala 1 : 25.000.
- Peta rupa bumi skala 1 : 25.000.
- Seperangkat komputer dengan software pengolah data LANDSAT TM dan NOAA AVHRR yang terdiri dari Software ER MAPPER 5.5 dan Arcview 3.2.

#### 3.3 Metode

Secara umum penelitian ini adalah menerapkan metode yang dilakukan oleh Narasimhan, *et al.* (2001) dengan beberapa modifikasi perhitungan, karena perlu disesuaikan dengan wilayah kajian yang berbeda dengan wilayah yang digunakan oleh Narasimhan, *et al.* (2001). Perhitungan nilai evapotranspirasi di-rumuskan sebagai berikut. Pengem-bangan metode akan dilakukan lebih lanjut.

$$ETP = \frac{R_n - G - H}{\lambda} \dots\dots\dots (3-1)$$

Keterangan,

- ETP = Evapotranspirasi (mm d<sup>-1</sup>)
- R<sub>n</sub> = Radiasi Netto permukaan (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)
- λ = Panas laten untuk penguapan pada suhu 20 °C (2.45 MJ Kg<sup>-1</sup>)
- H = Heat Flux (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)
- G = Soil Heat Flux (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)
- G = 0.1 R<sub>n</sub> (FAO, 1998)

Nilai G dalam perhitungan Narasimhan diabaikan, namun karena pentingnya nilai tersebut untuk per-hitungan nilai evapotranspirasi digunakan nilai G. FAO (1998) memperkirakan bahwa nilai G = 0.1 R<sub>n</sub>.

Perhitungan nilai radiasi netto adalah sebagai berikut.

$$R_n = R_{sin} + R_{lin} - R_{sout} - R_{lout}$$

$$R_n = (1 - \alpha) R_{sin} + R_{lin} - R_{lout} \dots\dots\dots (3-2)$$

Keterangan:

- R<sub>n</sub> = Radiasi Netto (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)
- R<sub>sin</sub> = Radiasi gelombang pendek yang datang (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) (FAO, 1998)

- $R_{lin}$  = Radiasi gelombang panjang yang datang ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ ) (Swinbank, 1963)
- $R_{sout}$  = Radiasi gelombang pendek yang dipantulkan (keluar) ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ ),  
 $R_{sout} = \alpha R_{sin}$
- $R_{lout}$  = Radiasi gelombang panjang yang datang ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ ) (FAO, 1998)
- $\alpha$  = Albedo Permukaan (NOAA AVHRR dan LANDSAT TM)
- $\epsilon$  = emisivitas (0.95)
- $\sigma$  = tetapan Stefan Boltzman ( $4.90 \times 10^{-9}\ MJ\ m^{-2}\ d^{-1}\ K^{-4}$ )

Perhitungan nilai *heat flux* (H) mengikuti persamaan sebagai berikut.

$$H = \gamma \frac{900}{T_a + 273} \lambda U_2 (T_s - T_a) \dots \dots \dots (3-3)$$

Keterangan:

- $\gamma$  = Tetapan Psikrometrik ( $kPa\ ^\circ C^{-1}$ )  
 $\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P$
- $P = 101.3 (293 - 0.0065z) / 293)^{5.26}$
- $P$  = Tekanan Atmosfer ( $kPa$ )
- $z$  = Ketinggian tempat (m)
- $U_2$  = Kecepatan angin pada ketinggian 2 meter ( $2\ m\ s^{-1}$ )
- $T_s$  = Suhu Permukaan (NOAA AVHRR dan LANDSAT TM) ( $^\circ C$ )
- $T_a$  = Suhu Udara (stasiun klimatologi) ( $^\circ C$ )

Secara umum, gambaran metode pelaksanaan penelitian tersaji dalam Gambar 3-1.

#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

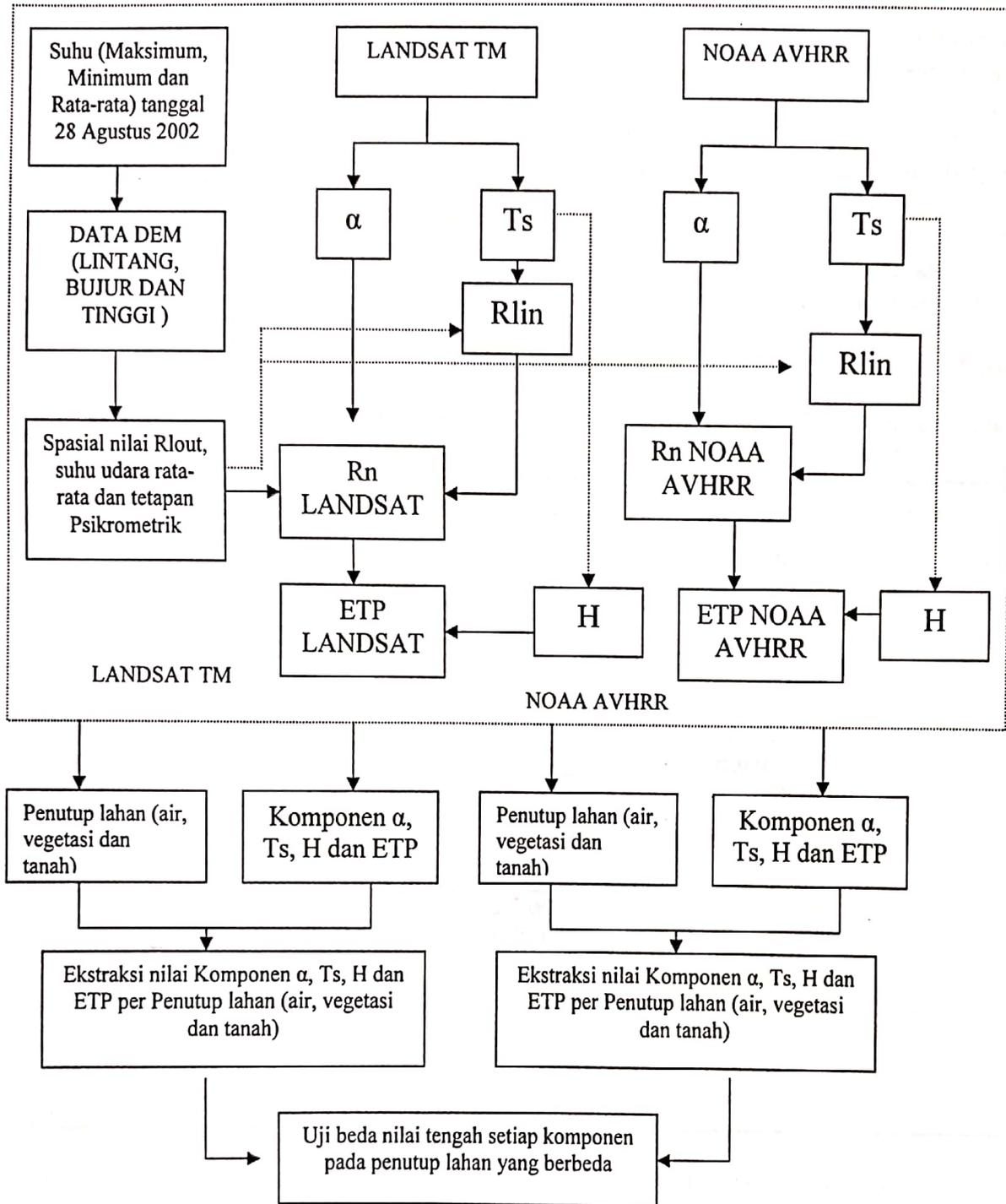
Penelitian ini menghasilkan nilai evapotranspirasi secara regional, ekstraksi nilai-nilai komponen neraca energi

seperti radiasi netto, albedo, transfer panas (*heat flux*), dan suhu permukaan daratan (*land surface temperature*) pada dua data satelit NOAA AVHRR dan LANDSAT TM. Kajian ini juga menghasilkan ekstraksi nilai-nilai evapotranspirasi dan komponen neraca energi pada setiap penutup lahan (air, vegetasi dan tanah) dan dengan menggunakan uji beda nilai tengah dapat diketahui tingkat perbedaan dari nilai tersebut pada setiap penggunaan lahan. Pengetahuan mengenai perbedaan nilai evapotranspirasi dan komponen neraca energi dapat membantu dalam menganalisis perubahan penutup lahan terutama di wilayah perkotaan.

#### 4.1 Data NOAA AVHRR

Hasil ekstraksi nilai komponen neraca energi dan evapotranspirasi dengan menggunakan data NOAA AVHRR tersaji dalam Tabel 4-1. Nilai ini diperoleh dari ekstraksi piksel yang berada pada setiap penutup lahan terbagi menjadi 3 kelas, yaitu air, vegetasi dan tanah. Penutup lahan air mewakili komponen penggunaan lahan sawah fase air, sungai, waduk, dan tambak. Komponen vegetasi mewakili sawah fase vegetatif, taman kota dan hutan. Komponen tanah mewakili penggunaan lahan perkotaan/pemukiman, lahan kosong dan sawah fase bera.

Hasil ekstraksi ini didasarkan pada piksel-piksel yang dominan mewakili obyek air, vegetasi maupun tanah. Hal ini disebabkan karena untuk mengekstraksi obyek yang lebih jelas tidak dapat diperoleh dari NOAA-AVHRR.



Gambar 3-1: Bagan Alir Metode pelaksanaan penelitian

Tabel 4-1: NILAI KOMPONEN NERACA ENERGI DAN EVAPOTRANSPIRASI DI SETIAP PENUTUP LAHAN DARI NOAA-AVHRR

Penutup Lahan	Rn (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	H (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	Ts (K)	Albedo	ETP (mm)
Vegetasi	17.324 ± 0.361	3.973 ± 0.568	304.546 ± 0.587	0.347 ± 0.011	4.742 ± 0.156
Tanah	17.895 ± 0.937	4.660 ± 1.090	305.230 ± 1.120	0.338 ± 0.037	4.673 ± 0.407
Air	19.790 ± 1.011	3.569 ± 0.549	304.140 ± 0.564	0.227 ± 0.047	5.803 ± 0.427

Berdasarkan hasil di atas terlihat bahwa nilai komponen neraca energi dan evapotranspirasi pada setiap penutup lahan dominan memiliki perbedaan. Terlihat bahwa pada komponen H dan Ts pada penutup lahan tanah memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan penutup lahan vegetasi dan air, sedangkan ETP pada penutup lahan tanah memiliki nilai terendah dibandingkan dengan penutup lahan vegetasi dan air. Nilai H dan Ts berbanding terbalik dengan ETP.

Perbedaan nilai pada setiap komponen di penutup lahan vegetasi dan air tidak begitu berbeda. Namun perbedaan ini perlu diuji secara statistik untuk mengetahui perbedaan nilai setiap komponen pada berbagai penutup lahan. Hasil pengujian perbedaan nilai tengah setiap komponen pada berbagai penutup lahan diperlihatkan dalam Tabel 4-2. Hasil secara lengkap dapat dilihat dalam lampiran.

Tabel 4-2: HASIL UJI BEDA NILAI TENGAH SETIAP KOMPONEN NERACA ENERGI DAN EVAPOTRANSPIRASI DI SETIAP PENUTUP LAHAN (NOAA AVHRR)

Komponen	Statistik	Air vs Veg	Air vs Tanah	Tanah Vs veg
Rn	Tvalue	37.47	28.40	-15.74
	Pvalue	0.000	0.000	0.000
	Difference	2.4690	1.8979	0.5711
	Conclusion	Nyata	Nyata	Nyata
H	Tvalue	-7.97	-23.87	13.81
	Pvalue	0.000	0.000	0.000
	Difference	-0.4042	-1.0872	0.6829
	Conclusion	Nyata	Nyata	Nyata
Ts	Tvalue	-7.72	-23.31	13.46
	Pvalue	0.000	0.000	0.000
	Difference	-0.4038	-1.0908	0.6870
	Conclusion	Nyata	Nyata	Nyata
Albedo	Tvalue	-36.72	-40.97	-6.81
	Pvalue	0.000	0.000	0.000
	Difference	-0.11172	-0.1204	-0.00873
	Conclusion	Nyata	Nyata	Nyata
ETP	Tvalue	37.09	38.92	-4.41
	Pvalue	0.000	0.000	0.000
	Difference	1.0604	1.1302	-0.0698
	Conclusion	Nyata	Nyata	Nyata

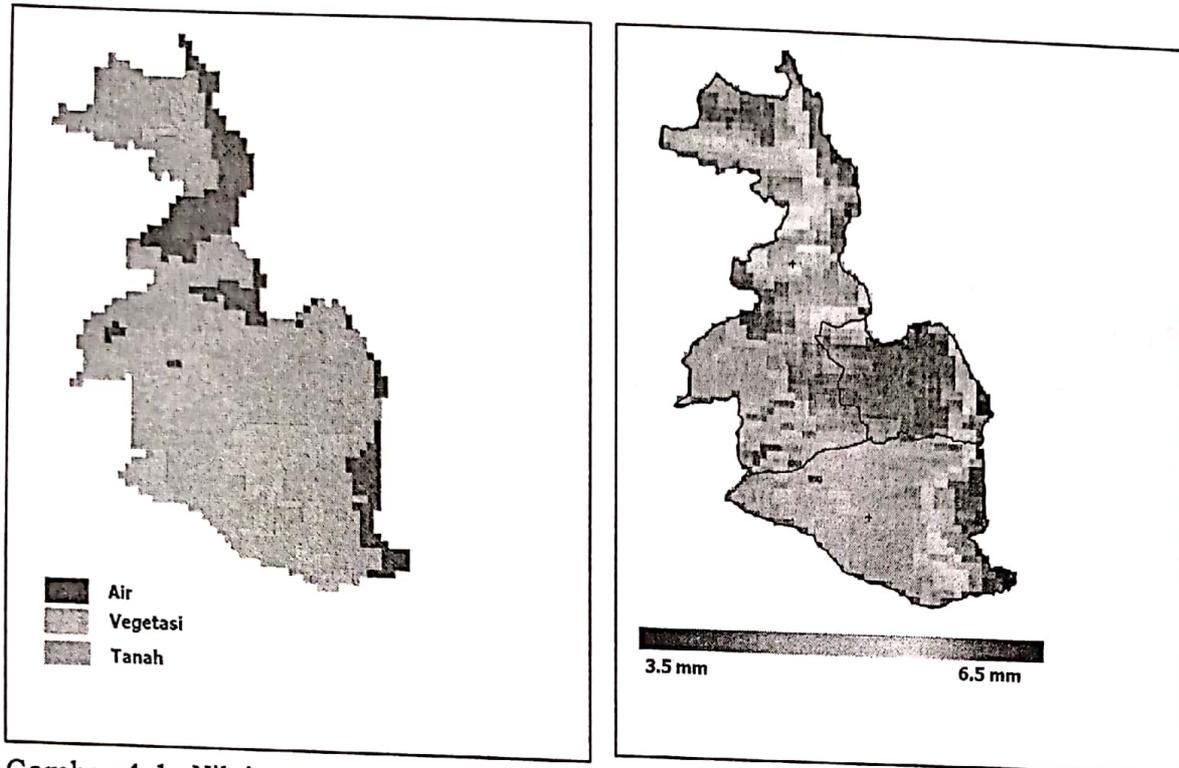
Hasil uji beda di atas menunjukkan bahwa nilai setiap komponen pada berbagai penutup lahan berbeda secara nyata, walaupun perbedaannya tidak besar. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan penutup lahan secara signifikan merubah nilai-nilai pada setiap komponen neraca energi dan evapotranspirasi. Perbedaan ini akan digunakan sebagai analisis perubahan penutup lahan pada tahapan selanjutnya terutama pada perubahan area per-kotaan.

Secara regional dan spasial nilai evapotranspirasi dengan data satelit NOAA AVHRR dapat dijelaskan pada

Gambar 4-1. Hasil perhitungan evapotranspirasi dari nilai-nilai komponen neraca energi dengan data satelit NOAA AVHRR terlihat bahwa nilai evapotranspirasi di permukaan air lebih tinggi dibandingkan dengan permukaan tanah maupun vegetasi. Secara umum karena radiasi netto yang diterima permukaan air lebih besar dan nilai transfer panas (H) lebih rendah, maka memungkinkan nilai evapotranspirasi di permukaan air lebih tinggi dibandingkan dengan permukaan tanah maupun vegetasi, sedangkan evapotranspirasi vegetasi lebih tinggi dibandingkan dengan evapotranspirasi

pada permukaan tanah (*urban*, lahan terbuka). Secara umum informasi spasial regional evapotranspirasi tergambarkan dalam Gambar 4-2. Nilai evapotranspirasi yang rendah pada permukaan tanah

mengindikasikan bahwa perubahan vegetasi menjadi tanah di wilayah perkotaan akan menurunkan nilai evapotranspirasi.



Gambar 4-1: Nilai evapotranspirasi regional (kanan) dan penutup lahan (kiri) dari data NOAA-AVHRR tanggal 28 Agustus 2002

#### 4.2 Data LANDSAT TM

Hasil ekstraksi nilai komponen neraca energi dan evapotranspirasi juga diperoleh dengan menggunakan data LANDSAT TM yang memiliki resolusi spasial lebih tinggi disajikan pada Tabel 4-3. Nilai ini diperoleh dari ekstraksi piksel yang diambil dari pengambilan

contoh penutup lahan yang dalam hal ini masih sama dengan data NOAA AVHRR hanya dibagi menjadi 3 kelas, yaitu air, vegetasi, dan tanah. Pengambilan contoh penutup lahan tersebut untuk memudahkan ekstraksi nilai-nilai komponen neraca energi dan evapotranspirasi.

Tabel 4-3: NILAI KOMPONEN NERACA ENERGI DAN EVAPOTRANSPIRASI DI SETIAP PENUTUP LAHAN

Penutup Lahan	Rn (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	H (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	Ts (K)	Albedo	ETP (mm)
Vegetasi	19.110 ± 0.142	-1.715 ± 0.302	298.587 ± 0.372	0.134 ± 0.004	7.717 ± 0.089
Tanah	21.209 ± 0.461	4.478 ± 0.689	305.059 ± 0.668	0.184 ± 0.007	5.961 ± 0.132
Air	18.571 ± 0.481	-2.082 ± 0.712	298.378 ± 0.756	0.150 ± 0.010	7.669 ± 0.148

Seperti halnya dengan data NOAA AVHRR terlihat pada penutup lahan

tanah untuk komponen Rn, H, Ts dan Albedo memiliki nilai yang lebih tinggi

dibandingkan dengan nilai pada penutup lahan air dan vegetasi, namun untuk ETP hal ini berlaku kebalikannya. Perbedaan nilai pada setiap komponen di penutup lahan vegetasi dan air tidak begitu berbeda. Namun perbedaan ini perlu diuji secara statistik untuk mengetahui perbedaan nilai setiap komponen pada berbagai penutup lahan. Hasil pengujian perbedaan nilai tengah setiap komponen pada berbagai penutup lahan diperlihatkan pada Tabel 4-2. Secara lengkap dapat dilihat dalam lampiran.

Berbeda dengan data NOAA AVHRR nilai komponen H pada data satelit LANDSAT TM memiliki nilai negatif, hal ini disebabkan oleh penerimaan data satelit pada jam yang berbeda. Walaupun pada tanggal yang sama yaitu tanggal 28 Agustus 2002, namun jam akuisisi data NOAA AVHRR lebih siang dibandingkan dengan data LANDSAT TM. Ketidiliran informasi juga berpengaruh terhadap hal ini, dengan resolusi 1 km x 1 km percampuran obyek pada NOAA AVHRR akan lebih besar.

Tabel 4-4: HASIL UJI BEDA NILAI TENGAH SETIAP KOMPONEN NERACA ENERGI DAN EVAPOTRANSPIRASI DI SETIAP PENUTUP LAHAN (LANDSAT TM)

Komponen	Statistik	Air vs Veg	Air vs Tanah	Tanah Vs veg
Rn	Tvalue	-23.35	-104.29	-145.38
	Pvalue	0.000	0.000	0.000
	Difference	-0.5385	-2.6377	2.0992
	Conclusion	Nyata	Nyata	Nyata
H	Tvalue	-10.23	-174.67	256.96
	Pvalue	0.000	0.000	0.000
	Difference	-0.3666	-6.5591	6.1625
	Conclusion	Nyata	Nyata	Nyata
Ts	Tvalue	-2.70	-87.80	123.94
	Pvalue	0.008	0.000	0.000
	Difference	-0.2065	-6.6807	6.4743
	Conclusion	Nyata	Nyata	Nyata
Albedo	Tvalue	31.84	-67.45	167.34
	Pvalue	0.000	0.000	0.000
	Difference	0.016484	-0.034135	0.050616
	Conclusion	Nyata	Nyata	Nyata
ETP	Tvalue	-5.95	223.16	-306.06
	Pvalue	0.000	0.000	0.000
	Difference	-0.04815	1.70754	
	Conclusion	Nyata	Nyata	Nyata

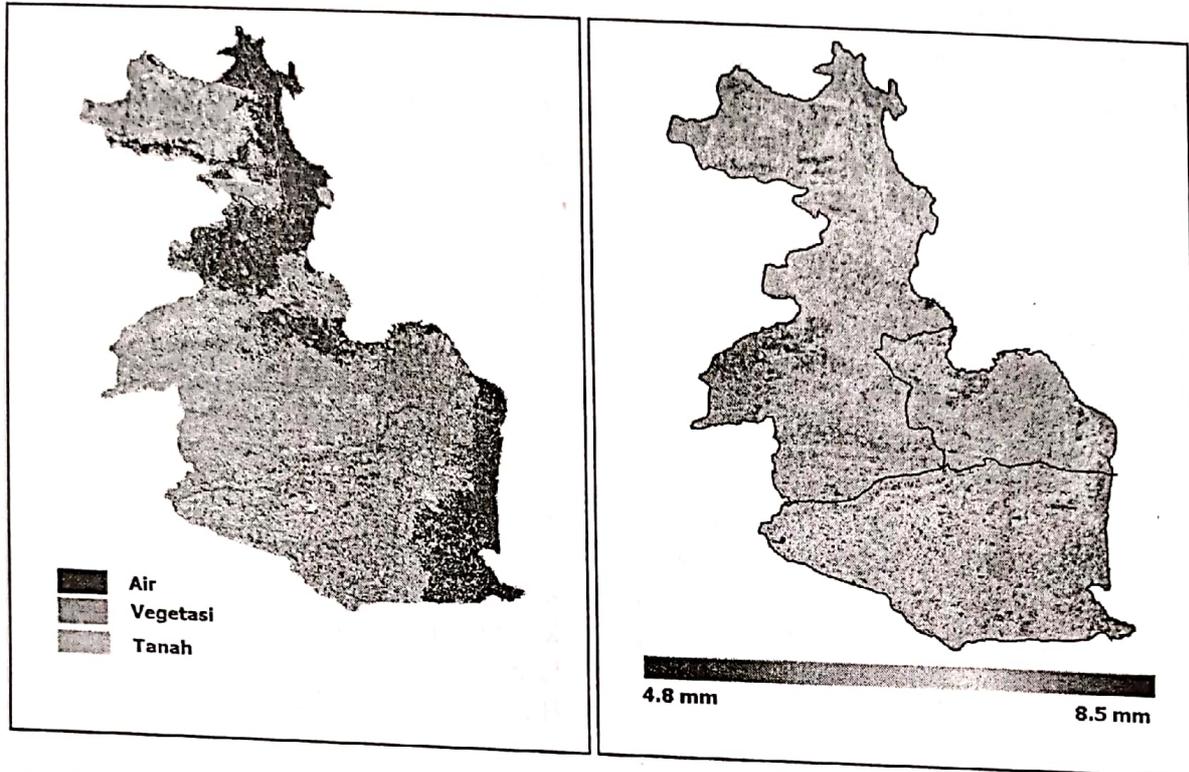
Seperti halnya data NOAA AVHRR hasil uji beda nilai tengah dengan menggunakan data LANDSAT TM menunjukkan bahwa nilai setiap komponen pada berbagai penutup lahan berbeda secara nyata, walaupun perbedaannya tidak besar. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan penutup lahan secara signifikan merubah nilai pada setiap komponen neraca energi dan evapotranspirasi. Perbedaan ini akan digunakan sebagai analisis perubahan penutup lahan pada tahapan selanjutnya

terutama pada perubahan areal perkotaan

Secara regional dan spasial nilai komponen neraca energi dan evapotranspirasi dengan data satelit LANDSAT TM dapat dijelaskan pada Gambar 4-2. Hasil perhitungan evapotranspirasi dari komponen neraca energi dengan data satelit LANDSAT terlihat bahwa nilai evapotranspirasi di permukaan air lebih tinggi dibandingkan dengan pada permukaan tanah maupun vegetasi. Hal ini menunjukkan pola yang sama dengan

data NOAA AVHRR. Secara umum karena radiasi netto yang diterima permukaan air walaupun nilainya lebih kecil dan nilai transfer panas (H) sangat lebih (*nilai minus*), maka memungkinkan nilai evapotranspirasi di permukaan air lebih tinggi dibandingkan dengan permukaan tanah maupun vegetasi. Evapotranspirasi vegetasi lebih tinggi dibandingkan dengan evapotranspirasi

pada permukaan tanah (*urban*, lahan terbuka). Secara umum informasi spasial regional evapotranspirasi tergambar dalam Gambar 4-2. Nilai evapotranspirasi yang rendah pada permukaan tanah mengindikasikan bahwa perubahan vegetasi menjadi tanah di wilayah perkotaan akan menurunkan nilai evapotranspirasi.



Gambar 4-2: Nilai evapotranspirasi regional (kanan) dan penutup lahan (kiri) dari data LANDSAT-TM

### 4.3 Analisis Perubahan Penutup Lahan

Untuk menganalisa perubahan diperlukan nilai komponen neraca energi dan evapotranspirasi pada penutup lahan vegetasi dan tanah. Hasil pengujian beda nilai tengah menunjukkan bahwa

pada setiap komponen menunjukkan perbedaan yang nyata pada penutup lahan yang berbeda. Tabel 4-5 berikut adalah hasil analisa perubahan nilai tengah pada penutup lahan vegetasi menjadi tanah (*urban*, lahan terbuka).

Tabel 4-5: PERUBAHAN NILAI SETIAP KOMPONEN PADA VEGETASI MENJADI TANAH

Penutup Lahan	Rn (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	H (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	Ts (K)	Albedo	ETP (mm)
Vegetasi	17.324	3.973	304.55	0.347	4.742
Tanah	17.895	4.66	305.23	0.338	4.673
Perubahan	0.57	0.69	0.68	-0.01	-0.07
% Perubahan	3.19	14.74	0.22	-2.66	-1.48

Sumber : NOAA-AVHRR

Penutup Lahan	Rn (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	H (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	Ts (K)	Albedo	ETP (mm)
Vegetasi	19.11	-1.715	298.59	0.134	7.717
Tanah	21.209	4.478	305.06	0.184	5.961
Perubahan	2.10	6.19	6.47	0.05	-1.76
% Perubahan	9.90	138.30	2.12	27.17	-29.46

Sumber: LANDSAT

Pada setiap komponen baik dengan menggunakan data NOAA AVHRR dan data LANDSAT TM menunjukkan perbedaan. Kecuali nilai albedo, dengan menggunakan data NOAA AVHRR maupun LANDSAT TM menunjukkan perubahan yang sama dalam arti bahwa kalau pada data NOAA AVHRR meningkat, data LANDSAT TM menurun, demikian juga sebaliknya.

Pada data NOAA AVHRR komponen yang nilainya meningkat jika penutup lahan berubah dari vegetasi menjadi tanah adalah komponen Rn, H dan Ts, sedangkan albedo dan evapotranspirasi nilainya menurun. Pada data LANDSAT TM komponen yang nilainya meningkat jika penutup lahan berubah dari vegetasi menjadi tanah adalah Rn, H, Ts dan Albedo, sedangkan nilai evapotranspirasi menurun.

Perubahan nilai yang cukup besar adalah nilai *heat flux* (H) dengan perubahan 14.74 % pada data NOAA AVHRR dan 138.3 % pada data LANDSAT TM. Perubahan yang cukup besar juga pada data LANDSAT TM adalah nilai albedo dan evapotranspirasi yaitu meningkat 27.17 % pada nilai albedo dan menurun 29.46 % untuk nilai evapotranspirasi. Secara teori hal ini dapat dibenarkan karena nilai albedo akan meningkat cukup besar jika suatu lahan bervegetasi berubah menjadi lahan terbuka dan demikian juga dengan nilai evapotranspirasi akan menurun dengan perubahan tersebut.

Perbedaan yang cukup kecil pada data NOAA AVHRR untuk nilai evapotranspirasi, disebabkan karena resolusi data NOAA yang lebih besar, sehingga percampuran nilai obyek yang dianggap dalam satu piksel meliputi luasan 1 km x 1 km sedangkan data LANDSAT hanya

30 m x 30m lebih detail, sehingga penggambaran obyek lebih detail dan keterpisahannya lebih mampu dijelaskan oleh data LANDSAT TM.

## 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Data satelit, baik NOAA AVHRR dan LANDSAT TM telah terbukti mampu dalam meminimalkan data lapangan untuk menghitung nilai evapotranspirasi baik secara spasial maupun regional. Evapotranspirasi merupakan laju kehilangan air dari suatu tubuh air atau lahan terbuka ditambahkan dengan laju kehilangan air dari suatu tanaman atau vegetasi. Hasil uraian di atas menunjukkan bahwa nilai evapotranspirasi dan komponen energi pada setiap penutup lahan mempunyai nilai yang berbeda. Hasil uji beda nilai tengah pada setiap komponen neraca energi dan evapotranspirasi menunjukkan perbedaan yang nyata pada berbagai penutup lahan (air, tanah dan vegetasi). Masing-masing komponen memiliki nilai yang berbeda pada penutup lahan yang berbeda.

Perbedaan nilai ini mengungkapkan bahwa perubahan penutup lahan akan merubah nilai komponen neraca energi dan evapotranspirasi. Pada data NOAA AVHRR komponen yang nilainya meningkat jika penutup lahan berubah dari vegetasi menjadi tanah adalah komponen Rn, H dan Ts, sedangkan albedo dan evapotranspirasi nilainya menurun. Pada data LANDSAT TM komponen yang nilainya meningkat jika penutup lahan berubah dari vegetasi menjadi tanah adalah Rn, H, Ts dan Albedo, sedangkan nilai evapotranspirasi menurun.

Perubahan nilai yang cukup besar adalah nilai *heat flux* (H) dengan perubahan 14.74 % pada data NOAA

AVHRR dan 138.3 % pada data LANDSAT TM. Perubahan yang cukup besar juga pada data LANDSAT TM adalah nilai albedo dan evapotranspirasi yaitu meningkat 27.17 % pada nilai albedo dan menurun 29.46 % untuk nilai evapotranspirasi.

## 5.2 Saran

Penelitian ini belum dilakukan validasi data lapangan, sehingga belum dapat diketahui seberapa jauh tingkat akurasi data satelit jika dibandingkan dengan data lapangan yang menunjukkan kondisi sebenarnya. Hasil validasi yang dilakukan oleh Narasimhan, et. al. (2001) menunjukkan bahwa untuk nilai radiasi netto, dan suhu permukaan memiliki korelasi yang cukup tinggi, namun untuk nilai evapotranspirasi menunjukkan korelasi yang rendah. Validasi lapangan, untuk menguji data satelit akan mengalami kesulitan terutama untuk data NOAA AVHRR yang memiliki resolusi spasial 1 km x 1 km. Pada NOAA luas wilayah 1 km x 1 km tergambar hanya satu nilai, sedangkan pengukuran lapangan hanya menggambarkan satu titik. Titik contoh pengukuran lapangan harus lebih banyak hanya untuk memvalidasi 1 piksel pada data NOAA AVHRR, kecuali pada suatu wilayah yang relatif seragam dalam luasan tersebut.

## DAFTAR RUJUKAN

Allen, R.G., Morse, A., Tasumi, M., Bastiaansen, W., Kramber, W., and Anderson, H. 2001. Evapotranspiration from Landsat (SEBAL) for Water Right Management and Compliance with Multi-State water Compacts. University of Idaho Kimberly, ID 83341.

Allen, R. G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 1998

Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta

Campbells, G.S. 1977. *An Introduction to Environment Biophysics*. Springer Verlag, New York.

Goodrich, D.C. 1997. *Seasonal Estimates of Riparian Evapotranspiration (Consumptive Water Use) with Remote Sensing and Insitu Measurement*. Southwest Watershed Research Center. Tucson, Arizona. USA.

Harsanugraha, W. K. 1989. *Proses Pengolahan Data AVHRR menggunakan Program Apollo*. Pusfatja LAPAN. Jakarta

Hurtado, E., Caselles, V. and Artigao, M.M. 1994. *Estimating maize evapotranspiration from NOAA-AVHRR thermal data in the Albacete area, Spain*. Int.J. Remote Sensing (15)2023-2037.

Hurtado, E., Caselles, V. and Artigao, M.M. 1994. *Mapping actual evapotranspiration by combining landsat TM and NOAA AVHRR images in the Barrax (Albacete) region, Spain*. Societé française de photogrammétrie et télédetection(137) 47-49.

INRIA. 2000. *IWRMS (Integrated Water Resources Management System) Final Report of INRIA Group*. Join with INRIA and IWRMS. France.

Jackson, R. D. ., R. J. Reginato, and S. B. Idso. 1977. *Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements*. Wat. Resources. Res., 13 pp. 651-656, 1977

Jensen, M.E. 1973. *Consumptive Use of Water and Irrigation Water Requirement*. Published by American Society of Civil Engineer 345 Easth 47 th Street. New York, N.Y.

Landsat Glossary Handbook. NASA.

Lillesand, T.M. dan Kiefer, R.W. 1993. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra (Terjemahan, cetakan kedua)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Narasimhan, B and Srinivasan, R. 2002. *Determination of Regional Scale*

- Evapotranspiration of Texas from NOAA-AVHRR Satellite. Final Report Submitted to Texas Water Resources Institute. March, 5, 2002. Texas. USA.*
- Ogawa, S., Murakami, T., Ishitsuka, N. and Saito, G. 1999. *Evapotranspiration estimation From Fine Resolution NDVI. National Institute of Agro-Environmental Science. Ibaraki - JAPAN.*
- Price, J.C. 1984. *Land surface temperature measurements from the split-window channels of the NOAA-7 AVHRR . Journal of Geophysical Research, 89, 1984.*
- Qi, J. 1997. *Estimation of Evapotranspiration Over San Pedro Riparian Area with Remote Sensing and Insitu Measurement. USDA-ARS Water Conservation Laboratory, Phoenix. Arizona. USA.*
- Thornwaite and Mather, 1957. *Instruction and Tables for Computing Potensial Evapotranspiration and Water Balance. Conterton, New Jersey.*
- Tasumi, 2002. *Evapotranspiration Estimation From Satellite Imagery. Department of Agriculture Engineering. University of Idaho. USA.*
- Wei, Yongfen and Sado, K. 1994. *Estimation of Areal Evapotranspiration Using Landsat TM Data Alone. Asean Conference of Remote Sensing Proceeding. Poster Session. November 17-23. 1994. Sri Lanka.*
- Wiradisastra, US. 1996. *Dasar-dasar Penginderaan Jauh. Bahan Kuliah Pelatihan Metodologi Deliniasi Zona Agro-ekologi. Proyek Pembinaan Kelembagaan Litbang Penelitian Pertanian Bekerjasama Dengan Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor*
- Yang, Xihua., Zhou, Q., and Melville, M.D. 1996. *Estimation Local Sugarcane Evapotranspiration Using Landsat TM Imagery. Proceeding of 8<sup>th</sup> Australian Remote Sensing Conference. Vol. 2. Pp 262-269. Canberra. Australia.*