

# APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK MENILAI DAMPAK PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP SURPLUS AIR DI DAS CILIWUNG

Nur Febrianti, Parwati Sofan, dan Indah Prasasti  
Peneliti Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN  
E-mail: nfebrianti@lapan.go.id; nfebrianti@gmail.com

## ABSTRAK

Analisis kondisi surplus air berdasarkan parameter dari data penginderaan jauh dan korelasi dengan perubahan penggunaan lahan di DAS Ciliwung. Data yang digunakan untuk memperoleh parameter neraca air hujan dari TRMM periode 3 jam, evapotranspirasi dari MODIS periode data 8 hari, sementara penggunaan lahan perubahan Landsat 7 ETM + antara 2004 dan 2007. Data sekunder adalah sistem tanah dari Departemen Pertanian dan data elevasi tanah serta kemiringan SRTM 30 meter. Metode yang digunakan untuk perhitungan neraca air adalah metode Thornthwaite dan Mather yang telah dimodifikasi. Metode ini cukup representatif untuk digunakan dalam perhitungan neraca air. Dari hasil penelitian terlihat bahwa terjadi perubahan curah hujan dimana pada tahun 2007 curah hujan relatif jauh lebih tinggi dari kejadian hujan 2004 dimana selisih perubahan tertinggi yang terjadi pada periode 033 (02–09 Feb) mencapai lebih dari 200 mm. Perubahan juga terjadi pada kondisi luas daerah tutupan hutan dan sawah tahun 2007 yang telah mengalami penurunan dari tahun 2004,

namun pemukiman terus meningkat sehingga surplus air pada periode 033 tahun 2007 jauh lebih besar dari 2004 yaitu meningkat 50 hingga 100 mm. Disimpulkan, bila tutupan lahan Jakarta hingga saat ini masih sama dengan kondisi 2007 maka curah hujan sesaat namun lebih dari 20 mm sudah dapat menimbulkan genangan di beberapa kawasan.

Kata Kunci: kelebihan air, MODIS, penginderaan jauh, TRMM

## *ABSTRACT*

*This study is about analyzing water surplus conditions based on parameters from remote sensing data and correlation with land cover changes in the Ciliwung watershed. Rainfall was estimated by TRMM 3 hour period, the evapotranspiration was from 8-day MODIS satellite data, and Landsat 7 ETM+ satellite imageries between 2004 and 2007 were used for land use changes analysis. Others data is the soil type map issued by the Ministry of Agriculture and SRTM with the spatial resolution of 30 m. The water balance calculation used the modified Thornthwaite and Mather method. This method is representative enough to be used in the calculation of the water balance. From the research it appears that there is a change of rainfall in 2007 where rainfall is relatively much higher than 2004 rain events where the highest difference in the changes that occurred during the period 033 (February 2 to 9) reaches more than 200 mm. Changes also occurred in the conditions of the area of forest cover and rice fields in 2007 which has declined from 2004, but the settlement continued to increase. So the surplus water in period 033 2007 is much greater than 2004 that is an increase of 50 to 100 mm. Changes in vegetation cover can be lowered value of rainfall becomes runoff, while the condition of land cover changes into a settlement does not occur difference in rainfall with water surpluses occur.*

*Key word: MODIS, remote sensing, TRMM, water surplus*

## 1. PENDAHULUAN

Hujan deras dalam waktu singkat yang terjadi di Jakarta dan sekitarnya sangat sering menyebabkan terbentuknya genangan bahkan banjir di beberapa tempat. Kelebihan air ini dapat dipantau dari informasi neraca air. Neraca air merupakan neraca air yang masuk dan keluar disuatu tempat pada periode tertentu.

Model neraca air cukup banyak, namun yang biasa dikenal terdiri dari tiga model yang dibedakan berdasarkan objeknya, yaitu model neraca air umum, model neraca air lahan, dan model neraca air tanaman (Nasir dan Effendy, 1999). Perhitungan neraca air Doorenbos dan Pruitt (1977), merupakan perhitungan nilai rata-rata curah hujan selama beberapa tahun pengamatan. Curah hujan di permukaan tanah akan ditentukan oleh karakteristik permukaan sifat fisik tanah penutup, tutupan vegetasi dan karakteristik permukaan air di badan air seperti sungai dan cekungan yang menahan air. Akhirnya, sebagai *output* adalah limpasan dan evapotranspirasi.

Evapotranspirasi perlu dibedakan menjadi evapotranspirasi potensial (ET) dan evapotranspirasi aktual (AE). ET lebih dipengaruhi oleh faktor-faktor meteorologi (radiasi panas matahari dan suhu, kelembaban atmosfer, serta angin). Sementara, AE lebih dipengaruhi oleh faktor fisiologi tanaman dan unsur tanah.

Surplus air telah didefinisikan sebagai bagian dari curah hujan yang tidak menguap sehingga berpengaruh terhadap sumber daya air (permukaan dan aliran air tanah). Berdasarkan neraca air tanah (vertikal), gagasan surplus merupakan kontribusi dari semua area dasar hingga sumber daya air secara keseluruhan diproduksi dalam DAS diberikan. Surplus baik infiltrat air untuk mengisi ulang akuifer atau lari ke sungai. Begitu air mulai mengalir, itu tunduk pada kerugian penguapan, menghasilkan penurunan sumber daya air yang tersedia.

## Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Bencana Banjir

Kerugian ini tergantung pada sejumlah faktor, terutama ukuran dan kegersangan wilayah sungai: lebih kecil dan lebih lembab cekungan adalah semakin dekat surplus akan ke sumber daya air yang sebenarnya. Hasil neraca air karena itu merupakan indikator yang cukup baik dari sumber daya air yang dianggap sebagai jumlah dari surplus semua jaringan sungai.

Distribusi waktu dari data yang digunakan untuk model dapat juga menyebabkan penurunan jumlah kelebihan air sebenarnya yang tersedia di permukaan dan air tanah. Ketika curah hujan ditandai dengan beberapa peristiwa tersebar di musim hujan model dibuat secara bulanan tidak dapat mereproduksi surplus yang dikeluarkan dari hujan deras. Di daerah lembab, di mana curah hujan lebih merata, perubahan surplus kurang signifikan.

Hujan di kawasan Puncak, Bogor, dan Depok banyakk memberikan sumbangan air ke wilayah Jakarta, maka perlu diperhatikan kemampuan penyimpanan air di daerah aliran sungai (DAS) Ciliwung tersebut. Perubahan sistem penggunaan lahan di DAS Ciliwung akan sangat mempengaruhi besarnya air yang dilimpaskan.

DAS Ciliwung merupakan DAS yang paling berpengaruh terhadap kondisi sistem hidrologi di wilayah Jakarta. Daerah permukiman di DAS Ciliwung diyakini telah berkembang pesat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk di wilayah Jakarta dan sekitarnya. Adanya ketidakseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air tanah menyebabkan minimnya ketersediaan air pada musim kering dan melimpahnya air bahkan menjadi banjir pada musim hujan.

Oleh karena itu diperlukan suatu sistem yang dapat memberikan informasi kondisi surplus air di wilayah DAS Ciliwung untuk mengantisipasi dampak kerugian yang dapat ditimbulkannya. Sejauh ini penelitian mengenai kondisi neraca air di kawasan DAS Ciliwung menggunakan *remote sensing* belum banyak dilakukan karena kebanyakan pengolahan hanya menggunakan data stasiun. Untuk itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis kondisi neraca air dari data penginderaan jauh, serta kaitannya dengan perubahan lahan di DAS Ciliwung.

## 2. BAHAN DAN METODOLOGI

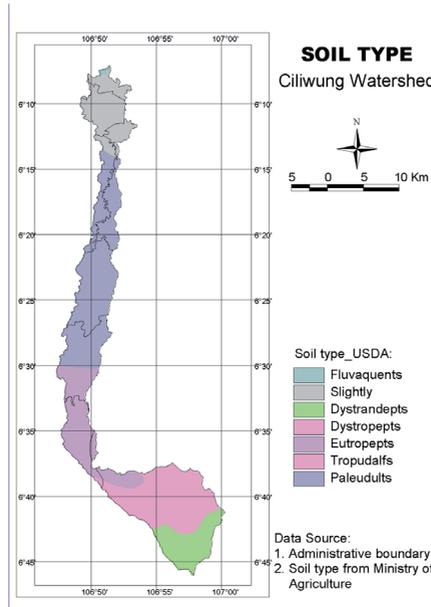
Lokasi penelitian ini adalah DAS Ciliwung ( $6^{\circ} 10' - 6^{\circ} 50'$  LS dan  $106^{\circ} 49' - 107^{\circ} 2'$  BT). Itu melewati Jawa Barat ke Jakarta. DAS Ciliwung merupakan salah satu sungai di wilayah Jakarta. Menurut Departemen Lingkungan (2013), DAS Ciliwung telah menjadi DAS kritis, di mana dari luas 37.472 ha dengan panjang sungai utama 117 km karena hanya memiliki hutan seluas 3.709 ha atau 9.8% dari luas DAS.

Data curah hujan adalah dari satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) 3B42 dengan resolusi temporal 3 jam-an yang memiliki resolusi spasial  $0.25^{\circ}$  ( $\pm 27.75$  km) pada tahun 2004 dan 2007. Data TRMM ini di interpolasi menjadi ukuran 1 km x 1 km, dan di akumulasi menjadi data 8 harian.

Reflektansi dari satelit Terra / Aqua *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) digunakan untuk mengukur suhu permukaan tanah (Ist) dan *Enhanced Vegetation Index* (EVI), yang memiliki resolusi spasial 250 meter dengan jangka waktu 8 setiap hari pada tahun 2004 dan 2007.

Peta jenis tutupan lahan/penggunaan lahan diperoleh dari hasil pengolahan data Landsat ETM+. Data ini memiliki resolusi spasial 30 meter dan resolusi temporal 16 harian, pada tahun 2004 dan 2007. Data sekunder yang digunakan antara lain adalah data jenis tanah (Gambar 1) dari Kementerian Pertanian dan data elevasi tanah dari SRTM dengan resolusi spasial 30 m.

## Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Bencana Banjir

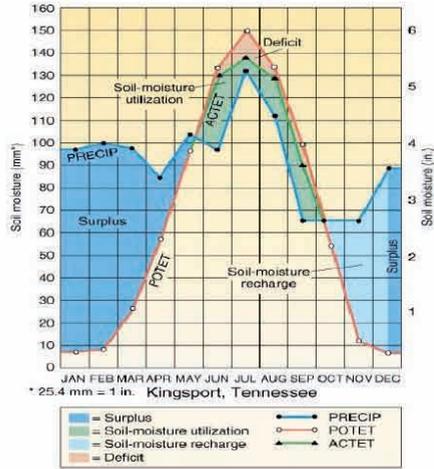


Gambar 1. Jenis tanah di DAS Ciliwung

Metode yang digunakan untuk perhitungan neraca air menggunakan metode Thornthwaite dan Mather yang telah dimodifikasi. Perbandingan plot untuk input presipitasi (PERCIP) dan *output evapotranspirasi potensial* (Potet) menentukan kondisi lingkungan kelembaban tanah. Pola khas musim semi surplus, pemanfaatan kelembaban tanah musim panas, musim panas defisit kecil, musim gugur mengisi ulang kelembaban tanah, dan berakhir kelebihan (Gambar 2).

**Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Menilai Dampak Penggunaan Lahan Terhadap Surplus Air di Das Ciliwung**

● **Sample Water Budget:**  
 Annual average water-balance components. The comparison of plots for precipitation inputs (PERCIP), and potential evapotranspiration outputs (POTET) determines the condition of the soil-moisture environment. A typical pattern of spring surplus, summer soil-moisture utilization, a small summer deficit, autumn soil-moisture recharge, and ending surplus highlights the year.



Gambar 2. Contoh rata-rata komponen neraca air tahunan (CP Komar, 2012)

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3. Konsep neraca air lahan dirumuskan sebagai berikut (Thornwaite and Mather, 1957):

$Input = Output$ , maka kelebihan air (WS) terjadi saat  $Masuk > Keluar$ .

Kelebihan air, adalah volume air yang akan masuk kepermukaan tanah, maka:

$$WS = (P - Et) - SS, \text{ dan } 0 \text{ jika } (P - Et) < SS \dots\dots\dots (1)$$

Curah hujan (P), adalah curah hujan yang terjadi pada saat itu. Penyimpanan tanah (SS), adalah perubahan volume air yang ditahan oleh tanah yang besarnya tergantung pada (P-Et), *soil storage* 8 harian sebelumnya. Kelembaban tanah (SM) adalah volume air untuk melembabkan tanah yang besarnya tergantung (P-Et). Kondisi penyimpanan tanah dan kelembaban tanah menggunakan data 8 harian sebelumnya.

Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh  
 untuk Mitigasi Bencana Banjir

Informasi spasial evapotranspirasi potensial diduga dengan menggunakan data EVI dan suhu permukaan tanah (Ts). Perubahan suhu udara (dT) diduga menggunakan EVI dan Ts dengan persamaan regresi (Domiri, 2012).

$$dT = -22.79 + 1.6032 \text{ EVI} + 0.8296 \text{ Ts} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:  $dT = T_s - T_u$ ; maka  $T_u = T_s - dT$

$T_u$  : suhu udara;  $T_s$  = Suhu Permukaan

$$RH : \text{Kelembaban udara} = ea/es = 1/(1.21 + 0.0202 \text{ dT} + 0.00191 \text{ dT}^2)..(3)$$

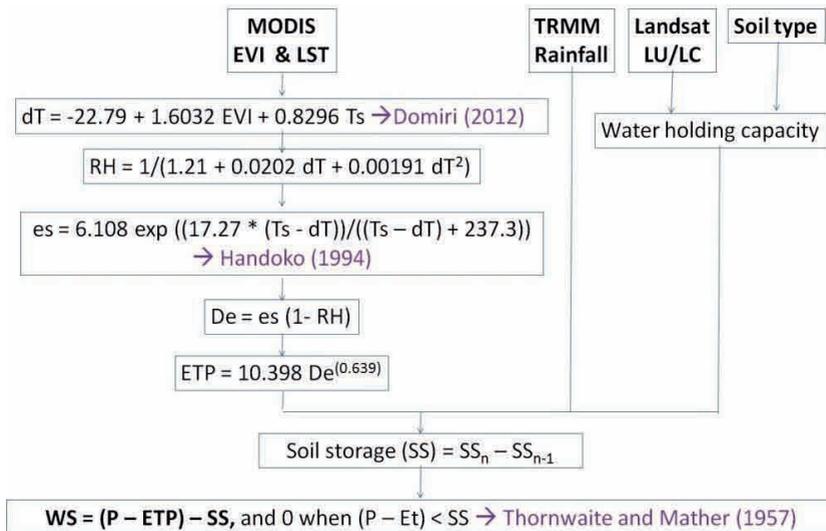
ea : tekanan uap aktual

es : tekanan uap jenuh dapat dihitung dengan formula (Handoko, 1994):

$$es = 6.108 \exp((17.27 * T_u)/(T_u + 237.3)) \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Defisit tekanan uap (De)} = es (1-RH) \dots\dots\dots (5)$$

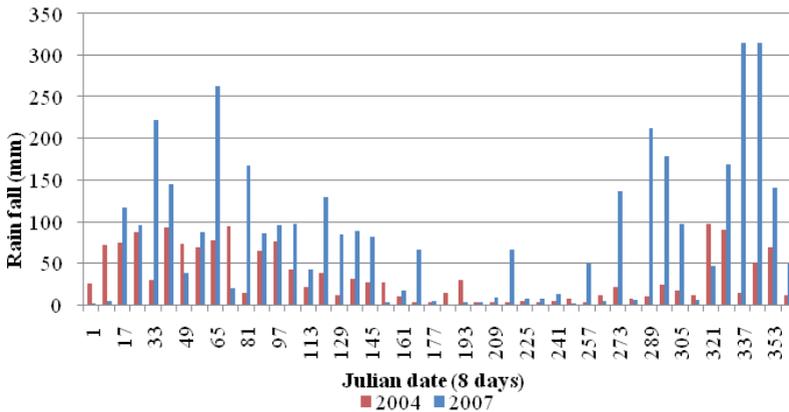
$$Et = 10.398 \text{ De}(0.639) \dots\dots\dots (6)$$



Gambar 3. Diagram alir penelitian

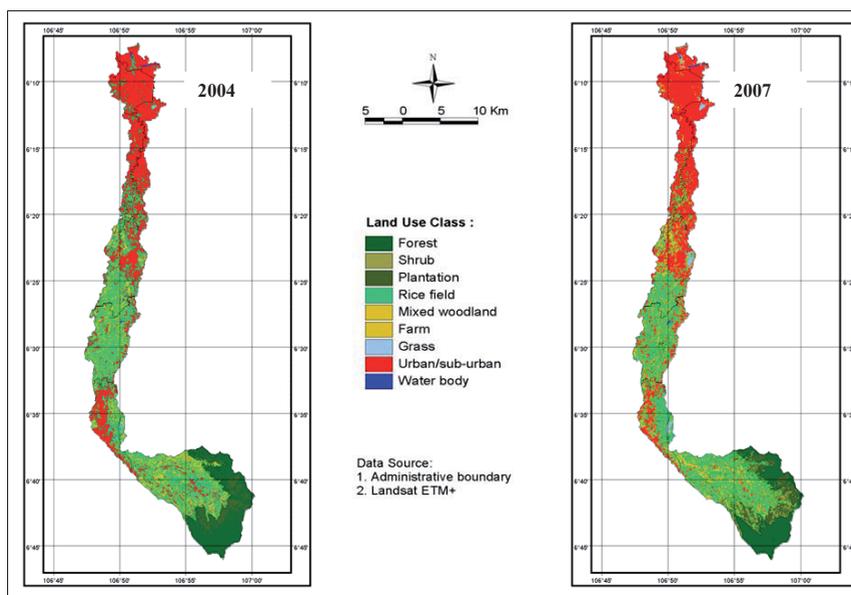
### 3. HASIL DAN ANALISIS

Dari hasil pengolahan diperoleh rata-rata curah hujan (Gambar 4) sepanjang tahun 2004 kisarannya tidak terlalu jauh yaitu 2–96 mm per 8 harian di mana puncak hujan tersebut terjadi di periode 321 (16–23 November 2004). Sementara kondisi curah hujan sepanjang tahun 2007 sangat berfluktuasi dimana maksimum mencapai 315 mm per 8 harian yang terjadi pada periode 337–345 (2–17 Desember 2007). Tingginya curah hujan rata-rata di 2007 berpotensi menghasilkan surplus air yang tinggi terutama pada lahan terbuka dan pemukiman. Dengan demikian, selain curah hujan surplus air juga sangat dipengaruhi oleh kondisi penggunaan tutupan lahan/tanah.



Gambar 4. Rata-rata curah hujan DAS Citarum pada 2004 dan 2007

## Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Bencana Banjir



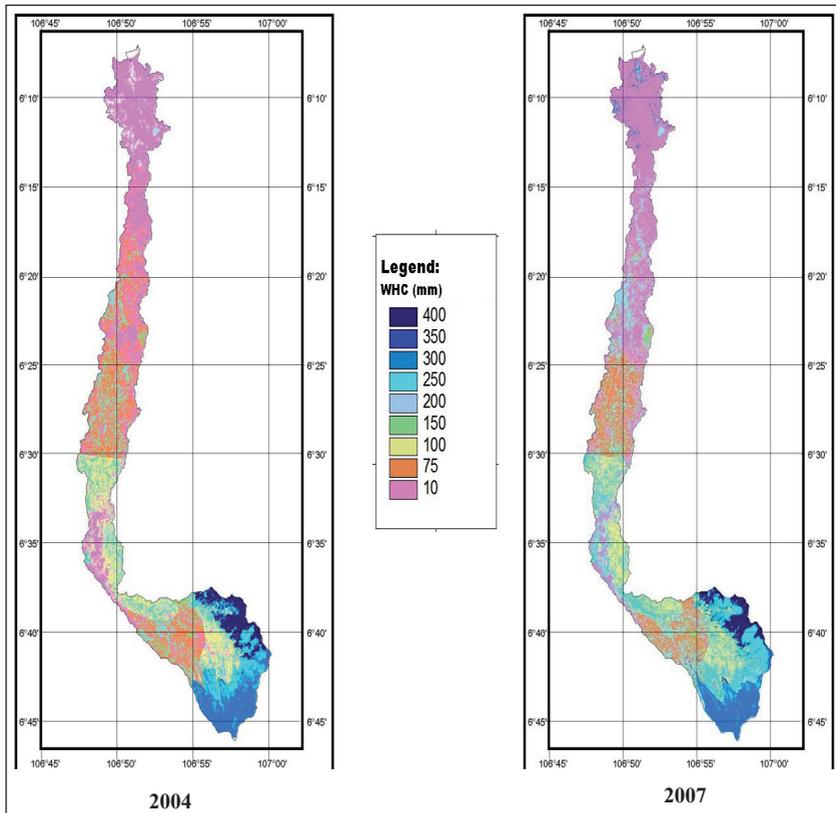
Gambar 5. Penggunaan lahan di DAS Ciliwung pada tahun 2004 dan 2007

Kondisi tutupan lahan DAS Ciliwung dapat dilihat pada Gambar 5. Tutupan hutan hanya terdapat di wilayah hulu DAS Ciliwung yang mengalami penurunan pada 2007 dari kondisi tahun 2004. Kondisi tersebut berbanding terbalik dengan daerah perkotaan (tutupan pemukiman) di mana pada tahun 2007 mengalami peningkatan dari kondisi tahun 2004. Pertumbuhan daerah perkotaan yang paling menonjol terjadi di hilir DAS Ciliwung meskipun pertumbuhan di tengah Ciliwung juga cukup cepat.

Pengurangan penggunaan lahan hutan dan sawah, sedangkan penambahan terjadi pada penggunaan lahan sebagai pemukiman dan perkebunan. Kawasan hutan telah menurun dan lahan berubah menjadi daerah pemukiman ini adalah berita buruk karena akan membuat lebih banyak curah hujan berubah menjadi kelebihan air dan memiliki potensi untuk limpasan dan akhirnya banjir.

Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Menilai Dampak Penggunaan Lahan Terhadap Surplus Air di Das Ciliwung

Curah hujan, tutupan lahan, dan jenis tanah akan membantu menentukan kondisi kapasitas menahan air di dalam tanah. Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki kapasitas menahan air besar lebih dari 300 mm hanya di hulu Ciliwung. Secara umum, daerah perumahan memiliki kemampuan menyerap air sangat kecil yang kurang dari 10 mm. Hal ini dikarenakan permukaan tanah memiliki banyak tertutup semen dan aspal sehingga tidak ada yang dapat menyerap air.



Gambar 6. Kapasitas menahan air di DAS Ciliwung pada tahun 2004 dan 2007

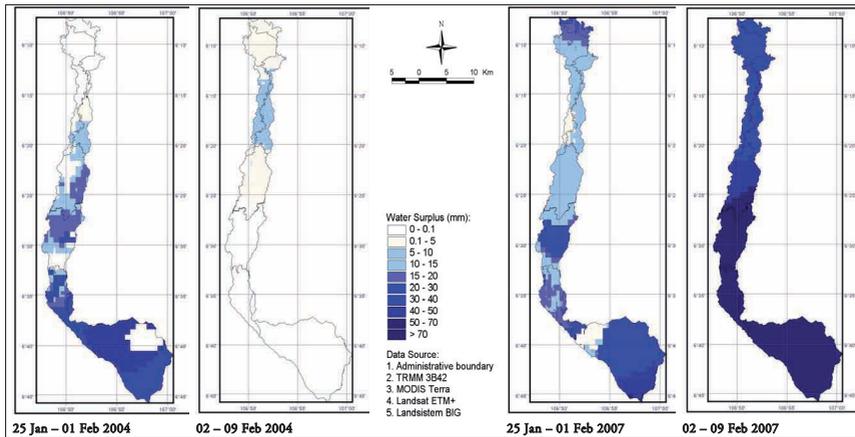
## Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Bencana Banjir

Dari hasil analisis diketahui bahwa terjadi penurunan kemampuan menahan air 50 hingga 300 mm, di mana penurunan terbesar terjadi di kawasan hutan (hulu DAS Ciliwung). Hal ini disebabkan perubahan tutupan lahan hutan menjadi semak belukar dan perkebunan. Selain terjadi penurunan, ternyata terjadi juga peningkatan simpanan air tanah berkisar antara 10 hingga lebih dari 275 mm. Peningkatan tertinggi terjadi dari tutupan lahan terbuka yang berubah menjadi semak belukar. Namun, perubahan terbanyak terjadi pada kelas tutupan lahan terbuka yang berubah menjadi kebun campur.

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa surplus air pada tahun 2004 masih dalam kondisi normal tidak seperti yang terjadi pada tahun 2007. Surplus air pada periode 25 Januari–1 Februari 2007 bagian Ciliwung hulu, tengah, dan hilir Ciliwung sudah cukup tinggi mencapai lebih dari 20 mm/8 hari. Kondisi ini diperburuk oleh hujan lebat pada periode berikutnya sehingga air surplus periode 2–9 Februari 2007 mencapai lebih dari 40 mm/8 hari karena itu selama periode ini, Jakarta mengalami banjir besar (1–3 Februari 2007).

Dari hasil penelitian terlihat bahwa terjadi perubahan curah hujan dimana pada tahun 2007 curah hujan relatif jauh lebih tinggi dari kejadian hujan 2004 dimana selisih perubahan tertinggi yang terjadi pada periode 033 (2–9 Feb) mencapai lebih dari 127 mm/jam. Perubahan juga terjadi pada kondisi luas daerah tutupan hutan dan sawah tahun 2007 yang telah mengalami penurunan dari tahun 2004, namun pemukiman terus meningkat sehingga surplus air pada periode 033 tahun 2007 jauh lebih besar dari 2004 yaitu meningkat 50 hingga 100 mm.

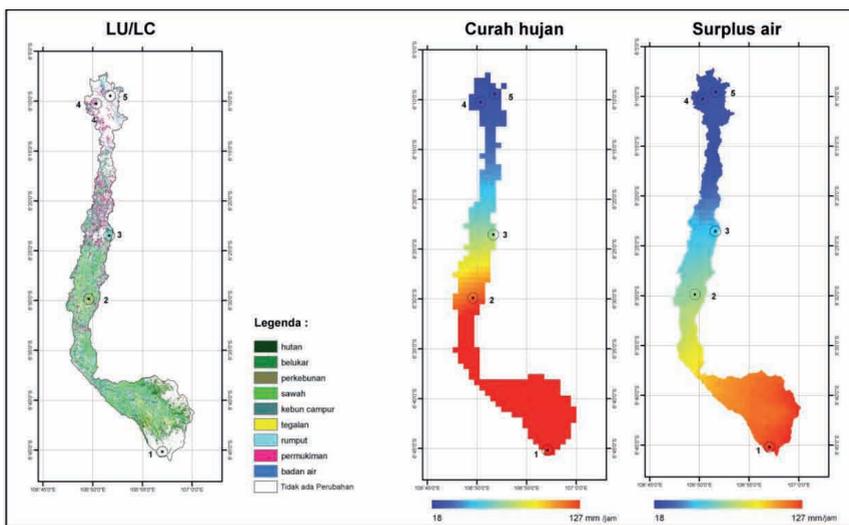
## Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Menilai Dampak Penggunaan Lahan Terhadap Surplus Air di Das Ciliwung



Gambar 7. Surplus air di DAS Ciliwung

Kondisi terakhir dari perubahan (Gambar 8 dan Tabel 1) terlihat bahwa LU/LC (2007) berupa hutan, rumput, dan tegalan (vegetasi) walaupun perubahan curah hujan yang terjadi cukup besar namun tetap dapat menghasilkan surplus air yang lebih kecil dari curah hujannya. Sementara untuk LU/LC berupa pemukiman surplus air yang terjadi hampir sama besar dengan curah hujannya. Dengan kata lain di lokasi pemukiman hampir seluruh curah hujan yang terjadi akan menjadi surplus.

Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh  
 untuk Mitigasi Bencana Banjir



Gambar 8. Perubahan pada periode 033 (2–9 Feb) kondisi 2007 dari kondisi 2004

Tabel 1. Perubahan tutupan lahan, curah hujan, dan perubahan surplus air pada periode 033 (2–9 Feb) kondisi 2007 dari kondisi 2004

LU/ LC	Curah hujan	Surplus air
Tetap Hutan	127	113
Menjadi Rumput	127	85
Menjadi Tegalan	116	65
Menjadi Pemukiman	22	22
Tetap Pemukiman	22	22

Selain itu dari penelitian ini terlihat bahwa banjir yang terjadi di Jakarta tidak benar secara keseluruhan akibat hujan di Bogor karena penelitian ini masih belum memasukkan unsur aliran permukaan sehingga banjir yang terjadi akibat dari curah hujan dan tutupan lahan di wilayah tersebut saja.

## 4. KESIMPULAN

Surplus air (kelebihan air) pada suatu daerah sangat dipengaruhi oleh kondisi curah hujan dan tutupan lahan di suatu daerah. Dari hasil penelitian terlihat bahwa terjadi perubahan curah hujan dimana pada tahun 2007 curah hujan relatif jauh lebih tinggi dari kejadian hujan 2004 dimana selisih perubahan tertinggi yang terjadi pada periode 033 (2–9 Feb) mencapai lebih dari 127 mm/jam. Perubahan juga terjadi pada kondisi luas daerah tutupan hutan dan sawah tahun 2007 yang telah mengalami penurunan dari tahun 2004, namun pemukiman terus meningkat sehingga surplus air pada periode 033 tahun 2007 jauh lebih besar dari 2004 yaitu meningkat 50 hingga 100 mm. Tutupan lahan yang berubah menjadi vegetasi masih akan dapat menurunkan nilai surplus air dari curah hujan yang terjadi, sedangkan pada tutupan pemukiman hampir seluruh curah hujan menjadi surplus air.

## Saran

Penelitian ini akan lebih baik bila dilakukan perhitungan periode curah hujan harian karena periode curah hujan 8 harian terlalu panjang sehingga tidak terlalu akurat. Selain itu model ini hanya menduga surplus air yang berpotensi menjadi limpasan akibat kelebihan curah hujan tanpa ada proses aliran permukaan.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh–LAPAN. Paper ini merupakan bagian penelitian *inhouse* yang didanai oleh DIPA Pusfatja tahun anggaran 2013.

## DAFTAR PUSTAKA

Domiri, D. D. 2012. Model Spasial Kerentanan Produksi Beras Menggunakan Teknologi Inderaja dan SIG, Studi Kasus di Kabupaten Indramayu, Jawa Barat [Disertasi] IPB.

**Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh  
untuk Mitigasi Bencana Banjir**

- Doorenbos J. and Pruitt WO. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements, FAO irrigation and drainage paper, No. 24, Food and Agriculture Organization, Rome, Italia.
- Handoko. 1995. *Klimatologi Dasar*. Jakarta: Pustaka Jaya.  
<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/watresafrika/index4.stm>, (accessed on 1st July 2013).
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2013. Pelatihan pemantauan kesehatan DAS Ciliwung dengan metode Biotilik. <http://www.menlh.go.id/pelatihan-pemantauan-kesehatan-das-ciliwung-dengan-metode-biotilik/>, (accessed on 1st July 2013).
- Komar CP. 2012. Water Balance Analysis. Persentation.
- Nasir AA., dan Effenddy S.. 1999. Analisis neraca air dan pola tanam. Pelatihan Dosen-Dosen PTN Indonesia bagian barat dalam bidang agroklimatologi, (2) Bogor.
- Suwargana, Nana. 2010. Model Kajian Sebaran *Run-Off* untuk Mendukung Pengelolaan Sistem DAS Menggunakan Data Penginderaan Jauh (Studi Kasus DAS Ciliwung). Seminar Nasional Limnologi V tahun 2010.
- Thornwaite CW. and Mather JR. 1957. Instruction and tabels for computing potential evapotranspiration and water balance. Publication in *Climatology* 10(3).
- Wang, Q.J, McConachy, F.L.N, and Chiew, F.H.S. 2001. Maps of evapotranspiration. 1–4.
- Westernbroek, S.M, V.A. Kelson, W.R Dripps, R.J Hunt, and K.R Bradbury. 2010. SWB A Modified Thornthwaite Mather Soil Water Balance Code for Estimating Groundwater Recharge. USGS Groundwater resource program Techniques and Methode 6-A31.