

## KARAKTERISTIK CURAH HUJAN DI WILAYAH PENGALIRAN SUNGAI (WPS) CILIWUNG CISADANE

Ida Narulita, Rizka Maria dan M. Rahman Djuwansah

**ABSTRACT** *Rainfall characteristic study have been carried out in Ciliwung - Cisadane Watershed Management Area in order to provide basic information for water related hazard mitigation. The studied rainfall characteristics were spatial and temporal distributions of monthly rainfall, duration and intensity. The basic data used were daily rainfall data obtained from 13 rain gauges located within the area for the period of 1997-2006. Global climate variability was found to influence rainfall amount and distribution in the Ciliwung-Cisadane catchment area. Interaction of strong ENSO and IOD anomalies could cause floods in Jakarta. But floods could also occur when ENSO and Dipole Mode index show a normal condition, indicating the presence of the other flood causing factors for Jakarta. Low intensity and long duration rainfall generally happens during wet months is to be noticed since it is potential to derive flood and landslide hazard. Higher intensity in shorter duration rains happens predominantly in the dry months.*

**Keywords:** *rainfall distribution, rainfall intensity, rainfall duration, Ciliwung-Cisadane Watershed Management Area*

---

Naskah masuk : 17 Juni 2010

Naskah diterima : 14 Desember 2010

---

Ida Narulita

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI  
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135  
Email : narulita\_ida@yahoo.co.id

Rizka Maria

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI  
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135  
Email : rizka@geotek.lipi.go.id

M. Rahman Djuwansah

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI  
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135  
Email : djuwansah@yahoo.co.id

**ABSTRAK** Studi karakteristik curah hujan di WPS Ciliwung-Cisadane dilakukan untuk menyediakan informasi dasar bagi mitigasi bencana yang berhubungan dengan air. Karakteristik hujan yang dipelajari meliputi distribusi spasial dan temporal curah hujan bulanan, lama dan intensitas hujan. Distribusi hujan disusun dengan menggunakan metode isohyet. Data dasar yang digunakan adalah data curah hujan harian dari 13 stasiun hujan di daerah kajian untuk periode 1997 – 2006. Variabilitas fenomena iklim global (ENSO dan Dipole Mode) ternyata mempengaruhi jumlah curah dan distribusi temporal hujan di WPS Ciliwung-Cisadane. Interaksi anomali ENSO dan IOD yang kuat dapat menjadi penyebab terjadinya banjir di Jakarta. Tetapi banjir juga terjadi ketika indeks ENSO dan Dipole Mode menunjukkan keadaan normal, yang menunjukkan adanya faktor-faktor lain yang dapat menjadi penyebab banjir di Jakarta. Hujan intensitas rendah dengan waktu panjang yang sering terjadi pada bulan basah perlu diwaspadai karena hujan dengan karakter ini berpotensi menjadi penyebab bencana banjir dan longsor. Pada bulan kering, dominan terjadi hujan dengan intensitas yang lebih tinggi dengan durasi lebih singkat.

**Kata kunci:** distribusi hujan, intensitas hujan, lama hujan, WPS Ciliwung Cisadane

### PENDAHULUAN

Karakteristik hujan suatu daerah perlu diketahui karena menentukan ketersediaan air serta kemungkinan terjadinya permasalahan dan bencana yang berkaitan dengan sumberdaya air. Terutama untuk daerah-daerah berpenduduk padat, pengetahuan tentang karakteristik hujan yang menyangkut jumlah, durasi, sebaran dan intensitas, akan sangat berguna untuk dapat

memanfaatkan hujan dengan sebaik-baiknya serta meminimalkan dampak negatifnya.

Wilayah Pengaliran Sungai (WPS) Ciliwung-Cisadane merupakan suatu daerah tangkapan air yang meliputi dari 9 Daerah Aliran Sungai (DAS) dimana di dalamnya terdapat Ibu Kota Negara RI, yaitu Jakarta beserta kota-kota penyangganya. Tidak mengherankan apabila WPS ini merupakan daerah berpenduduk terpadat di Indonesia. Dalam 2 – 3 dasawarsa terakhir, daerah ini mengalami peningkatan jumlah penduduk yang sangat pesat bersamaan dengan perluasan areal perumahan, industri, dan infrastruktur lainnya yang menggantikan areal pertanian. Perubahan tipe tutupan lahan telah mengakibatkan penurunan fungsi hidrologis di daerah ini. Di lain pihak, kebutuhan air untuk sektor industri dan domestik meningkat tajam. Ketersediaan air di WPS Ciliwung - Cisadane secara umum dalam kondisi sangat kritis (Bappeda Jawa Barat, 2004). Dengan kondisi seperti di atas, masalah sumberdaya air telah menjadi masalah rutin, menyangkut persoalan – persoalan ketersediaan air minum, air baku industri, sanitasi dan juga banjir. Disamping disebabkan oleh perkembangan wilayah yang sangat cepat, permasalahan serta kejadian bencana sumberdaya air yang parah di Ibukota dan daerah sekitarnya, berkaitan pula dengan variabilitas iklim global, terutama dengan terjadinya peristiwa iklim ekstrim seperti misalnya ENSO dan Moda Dipole (*Indian Ocean Dipole Mode = IOD*).

Pada dasawarsa terakhir ini, perkembangan cuaca di negeri kita semakin sulit diperkirakan. Batas serta jangka waktu musim hujan dan kemarau semakin tidak menentu. Pada kenyataannya, sudah diketahui bahwa variasi kondisi iklim setempat di Indonesia sangat dipengaruhi oleh dinamika iklim global, antara lain oleh perubahan-perubahan suhu muka air laut, yang dikenal dengan fenomena ENSO di Samudera Pasifik dan Moda Dipole di Samudera Hindia. Meski demikian, pengaruh kedua fenomena ini berbeda setiap tahunnya, dan dari daerah yang satu dengan daerah yang lainnya (Aldrian et al., 2003).

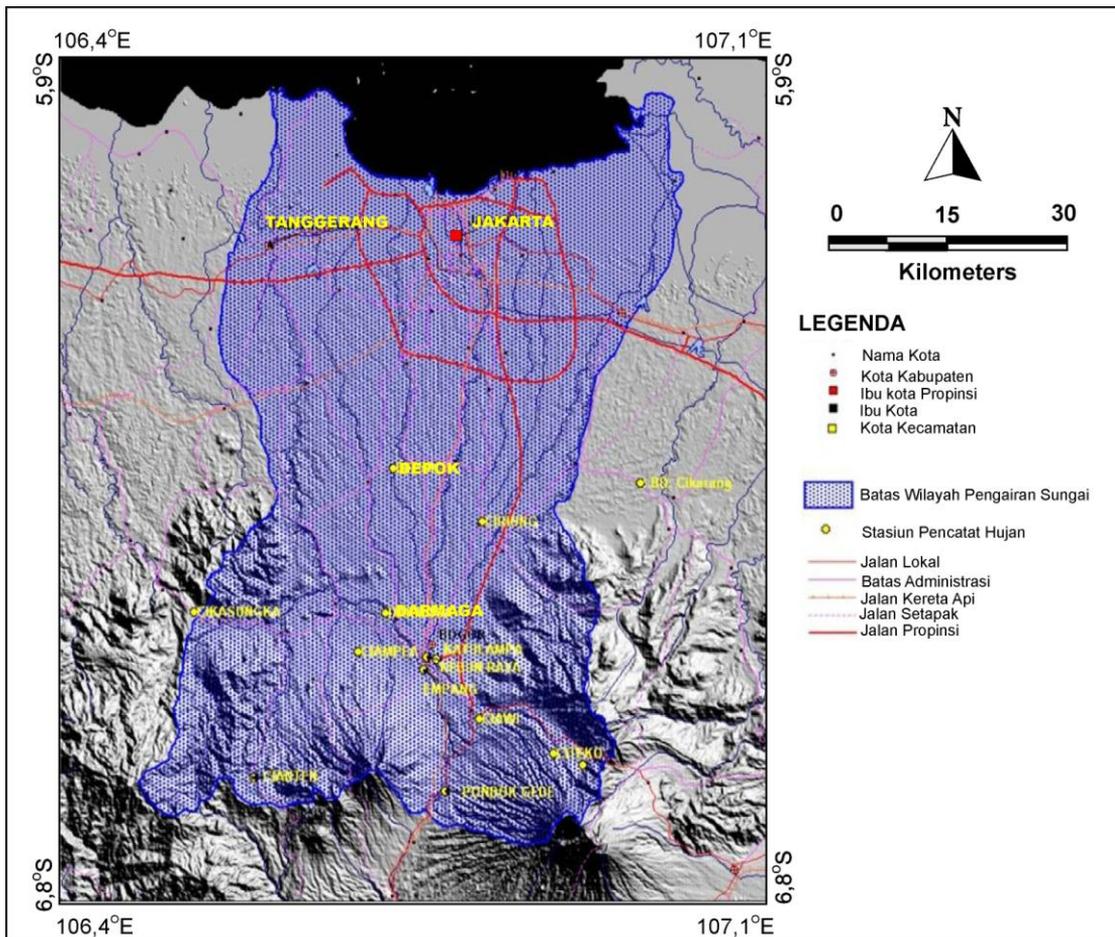
Khusus untuk WPS Ciliwung-Cisadane, karakteristik hujan dalam hal jumlah, durasi, sebaran dan intensitas, serta hubungannya dengan fluktuasi yang disebabkan oleh pengaruh iklim global, utamanya ENSO dan Moda Dipole, serta konsekuensinya terhadap kejadian kekeringan dan banjir, dibahas pada tulisan ini.

### Daerah Penelitian

WPS Ciliwung – Cisadane terletak di Jawa Barat dengan total luas 440 km<sup>2</sup>, WPS Ciliwung berhulu di gunung Pangrango, Kabupaten Bogor (3000 m dpl) dan bermuara di Teluk Jakarta. Sedangkan sungai Cisadane luasnya 1500 km<sup>2</sup> dan dihuni 3.2 juta jiwa. Sungai Cisadane berhulu di Gunung Salak, Kendeng dan Halimun dan bermuara di Teluknaga, Tangerang.

Morfologi WPS Ciliwung Cisadane bagian hulu merupakan daerah berbukit dengan ketinggian mencapai 3.000 m dpl (Gunung Salak), Gunung Halimun (1.665 m dpl), Gunung Kencana (1.796 m dpl), Gunung Megamendung (1.672 m dpl) dan Gunung Pangrango (3.019 m dpl), dengan kemiringan lereng 21% - > 40%. Sedangkan bagian tengah sampai bagian hilir merupakan daerah datar hingga bergelombang dengan ketinggian 0 – 100 m dpl. Jumlah penduduk WPS Ciliwung-Cisadane adalah 21.422.802 jiwa pada tahun 2005 (Sumber : BPS 2007 dalam <http://bebasbanjir2025.wordpress.com/konsep-pemerintah/bpdas-citarum-ciliwung/>). Untuk mendapat gambaran yang lebih jelas, lokasi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Hasil analisis spasial citra Aster tahun 2008 memperlihatkan jenis tutupan lahan terluas di WPS Ciliwung-Cisadane adalah pemukiman (19,3%) dan kebun campuran (19,1%). Jenis tutupan lahan lainnya dengan luasan penting adalah tegalan (14,7%), daerah industri (12%) dan perkebunan (10,41%). Hutan hanya meliputi area seluas 9,48 %, sedangkan sawah dan lahan pertanian intensif lainnya hanya 5,01%. Lahan kurang produktif (semak belukar, tanah terbuka, tubuh air, dsb.) meliputi 11 %, termasuk 5,36 % tanah terbuka, padang ilalang dan semak belukar. Rawa lahan basah dan tubuh air (situ, danau, waduk) meliputi 3,57% wilayah.



Gambar 1. Lokasi Studi dan Stasiun Pencatat Hujan di Das Ciliwung Cisadane

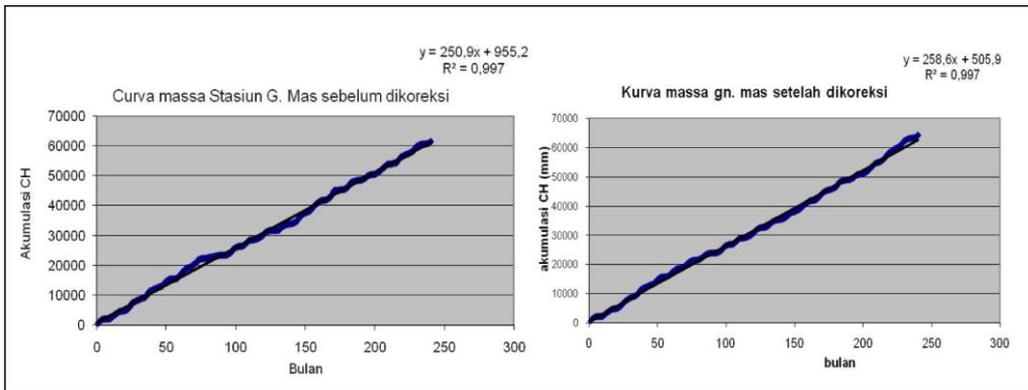
**Data dan Metode Penelitian**

Untuk mengetahui karakteristik curah hujan di WPS Ciliwung Cisadane, studi karakteristik curah hujan dapat dibagi menjadi dua tahap. Tahap pertama yaitu melihat hubungan antara jumlah dan fluktuasi hujan bulanan, intensitas hujan, dan durasi hujan secara spasial. Kedua, melihat hubungan antara variasi tahunan hujan lokal dengan variasi iklim global, terutama pengaruh ENSO dan *Moda Dipol*.

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan harian antara tahun 1997 dan tahun 2006, dikumpulkan dari 13 stasiun pencatat hujan milik BMKG dan PT. Indonesia Power yang tersebar di daerah

penelitian (Gambar 1). Disamping itu, untuk studi intensitas hujan dipergunakan pula data curah hujan menerus yang dicatat oleh alat pencatat hujan otomatis selama 3 tahun dari Stasiun Pencatat Hujan Citeko milik BMKG.

Distribusi hujan spasial disusun dengan metode isohyet karena morfologi WPS Ciliwung Cisadane pada bagian hulu yang berbukit dan bergunung (Asdak, 1995 dan Shaw, 1985). Sebelum data hujan diolah, terlebih dahulu dikoreksi dengan metode kurva massa (*“Double Mass Curve”*). Metode *“Double Mass Curve”* adalah alat untuk menganalisa kualitas data (uji keakuratan data).



Gambar 2. Data curah hujan sebelum dan setelah dikoreksi dengan metode “Kurva massa”

Koreksi ini dilakukan karena data curah hujan yang tercatat di stasiun rentan terhadap kesalahan. Sumber kesalahan mungkin berasal dari alat, kesalahan pembacaan, atau kesalahan penempatan alat. Koreksi dilakukan dengan cara menggambarkan akumulasi bulan selama 19 bulan terhadap akumulasi curah hujan bulanan. Sumbu x adalah akumulasi bulan dan sumbu y adalah akumulasi curah hujan. Pada grafik ini digambarkan garis kecenderungannya (“*trendline*”). Nilai koreksi hujan diperoleh dengan cara menambahkan atau mengurangi nilai curah hujan agar nilai curah hujan akumulasinya mendekati “*trendline*”. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.

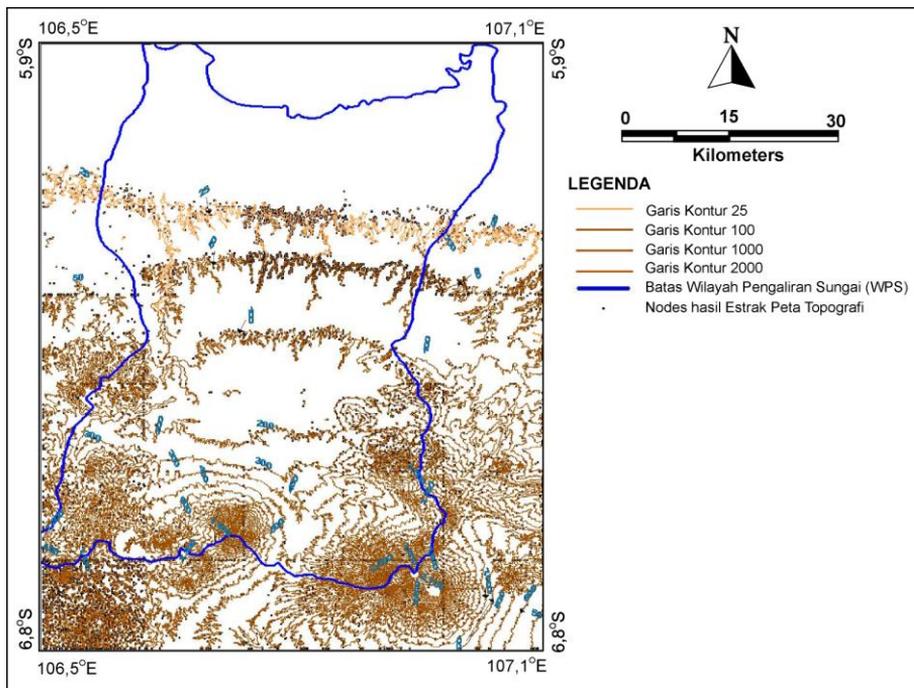
Untuk melakukan analisis data curah hujan, dilakukan pemilihan stasiun yang tersebar di WPS Ciliwung-Cisadane agar data yang dipakai sebagai model persamaan antara curah hujan dan ketinggian dapat mewakili beda ketinggian di WPS Ciliwung-Cisadane dan ketersediaan datanya cukup lengkap (Lihat Tabel 1).

Tabel 1. Stasiun Hujan terpilih (“Representatif Rainfall Station”)

Stasiun	Elevasi	Lintang	Bujur
Darmaga	190	6,55	106,93
Katulampa	361	6,60	106,81
Citeko	1016	6,69	106,93
Gn.mas	1109	6,71	106,97

Selanjutnya nilai curah hujan bulanan selama periode 1997 - 2006 di setiap stasiun dikorelasikan dengan ketinggian (elevasi) stasiun hujan. Hasil korelasi antara curah hujan dengan ketinggian dapat dilihat pada Tabel 2. Dasar yang digunakan untuk melakukan metode ini adalah bahwa besarnya curah hujan di suatu tempat dapat diperkirakan dari ketinggian tempat tersebut. Hal ini terutama lazim terjadi di daerah dengan tipe hujan orografik (Asdak, 2002). Ketinggian tempat dan curah hujan mempunyai hubungan linier (Narulita, 2007). Selanjutnya persamaan tersebut diproses menggunakan analisis spasial untuk menentukan nilai y (curah hujan). Masing-masing kelompok menggunakan peta kontur yang telah diekstrak menjadi peta *node* (peta titik ketinggian), dimana variabel bebas x diwakili oleh nilai ketinggian (z). Hasil proses ini adalah peta “*node*” curah hujan di WPS Ciliwung-Cisadane. Peta “*node*” curah hujan dapat dilihat pada Gambar 3. Peta *Node* Curah Hujan ini kemudian diinterpolasi dengan metode interpolasi *gridding* IDW (*Inverse Distance Weighting*). Hasil interpolasi ini disebut sebagai peta isohyets bulanan yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Curah hujan bulanan temporal disusun berdasarkan nilai total hujan wilayah yang didapat berdasarkan pada peta isohyet bulanan selama periode tahun penelitian (Gambar 5). Simpangan curah hujan dihitung dengan cara analisis statistik “*Standardize*” terhadap curah hujan bulanan temporal selama periode penelitian (Gambar 6).



Gambar 3. Peta Node Curah hujan hasil ekstrak peta topografi dan aplikasi persamaan hujan

Studi Intensitas hujan meliputi studi intensitas hujan setiap jam dan intensitas hujan harian untuk setiap bulan. Intensitas hujan per jam disusun berdasarkan data curah hujan kontinu yang dicatat oleh pencatat hujan otomatis dari stasiun Citeko. Intensitas hujan harian disusun berdasarkan data curah hujan harian dari 13 stasiun pencatat hujan yang tersebar di daerah kajian. Untuk menyusun intensitas hujan harian setiap bulan terlebih dahulu dicari persamaan korelasi antara curah hujan dengan hari hujan bulanan. Intensitas hujan spasial bulanan disusun dengan menerapkan persamaan korelasi antara curah hujan dengan hari hujan yang diperoleh pada peta spasial curah hujan bulanan.

### HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

#### Persamaan regresi antara curah hujan bulanan dengan ketinggian.

Jumlah curah hujan berdasarkan data yang dikumpulkan dari stasiun di daerah kajian menunjukkan korelasi yang baik dengan

ketinggian. Korelasi yang baik ditunjukkan dengan nilai  $R^2$  bervariasi antara 0,98 – 0,999. Contoh persamaan regresi yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada tabel hasil persamaan regresi di atas, pada tahun 1997 di WPS Ciliwung Cisadane menunjukkan korelasi yang paling tinggi antara curah hujan dengan ketinggian terjadi pada bulan Maret dan April dimana nilai  $R^2 = 0.999$ . Nilai  $R^2$  setiap bulan umumnya  $> 0,9$  yang artinya ada korelasi yang kuat antara curah hujan dengan ketinggian. Tabel 2 merupakan contoh persamaan regresi pada tahun 1997. Pada penelitian ini dihasilkan 120 persamaan regresi.

#### Distribusi spasial curah hujan bulanan

Distribusi curah hujan bulanan disusun berdasarkan persamaan regresi yang diperoleh seperti contoh pada Tabel 2. Persamaan regresi diaplikasikan pada titik ketinggian hasil ekstrak *node* peta topografi di daerah penelitian (Gambar 3). Distribusi curah hujan bulanan spasial dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan hasil distribusi hujan spasial, semakin biru menunjukkan curah hujan bulanan yang semakin besar. Hasil distribusi curah hujan spasial menunjukkan bahwa pada daerah dengan topografi yang lebih tinggi mempunyai nilai curah hujan yang relatif lebih tinggi sesuai dengan persamaan korelasi curah hujan yang dihasilkan (Lihat Tabel 2).

Dari gambar tersebut tampak bahwa pada tahun 1997 di WPS Ciliwung Cisadane terjadi bulan kering yang lebih kering dari rata-ratanya selama 8 bulan yaitu pada bulan Februari, April, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober dan Desember. Bulan kering yang panjang (8 bulan) diduga sebagai akibat dari fenomena El Nino

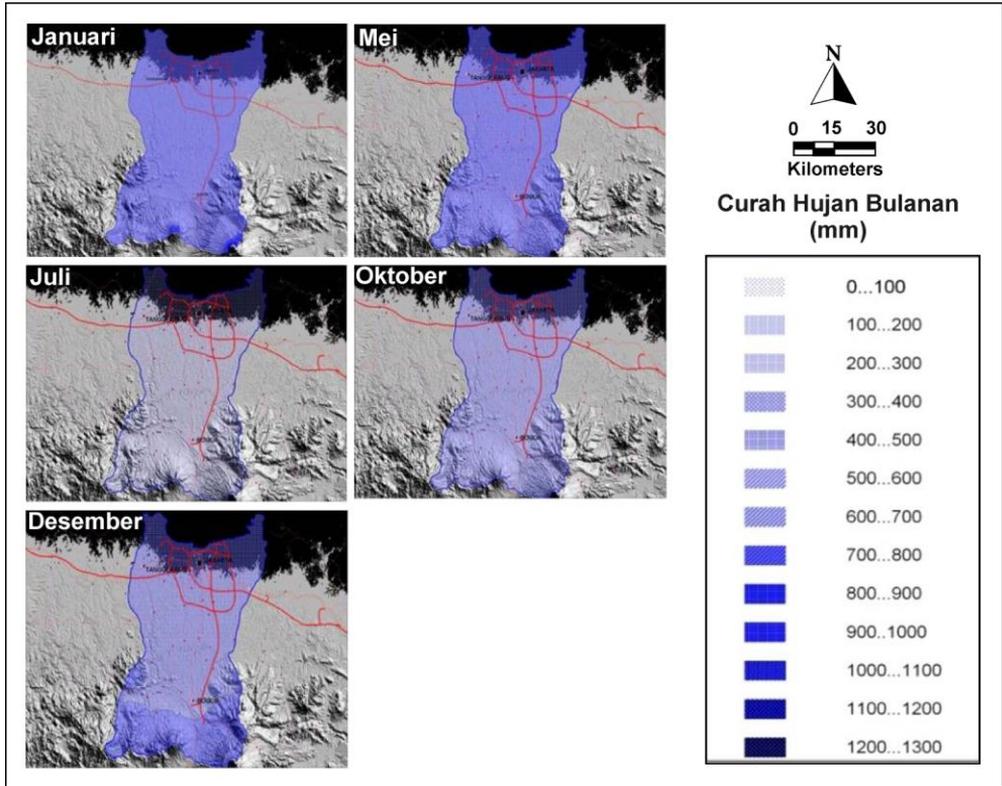
dimana dengan adanya anomali positif temperatur permukaan laut di Samudera Pasifik yang berdampak pada kekeringan di Indonesia (Ropelewski, 1999; Kishore, 2007).

**Variasi temporal curah hujan bulanan**

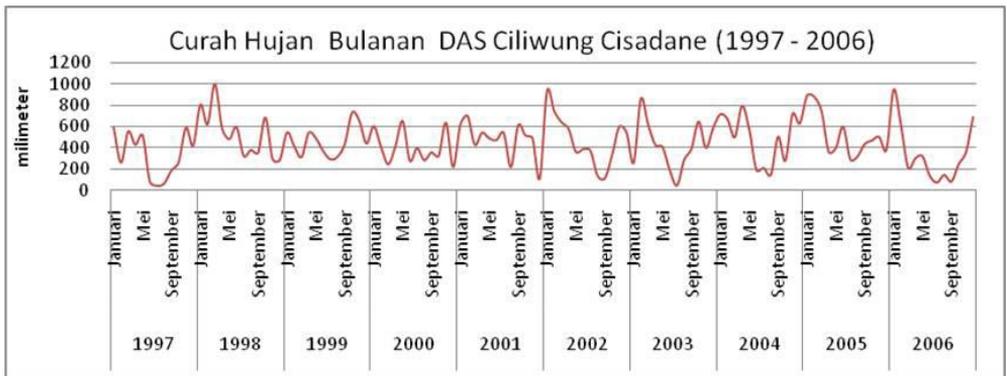
Variasi temporal curah hujan bulanan diturunkan dari distribusi curah hujan spasial bulanan (Gambar 4) selama 10 tahun penelitian (1997 – 2006). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5. Tampak bahwa nilai hujan tertinggi terjadi pada bulan Maret 1998, Januari 2002 dan Januari 2006. Sedangkan curah hujan terendah terjadi pada bulan Juli 1997, Juli 2003 dan Juli 2006.

Tabel 2. Contoh persamaan regresi antara ketinggian dan curah hujan tahun 1997 untuk stasiun terpilih (Tabel 1).

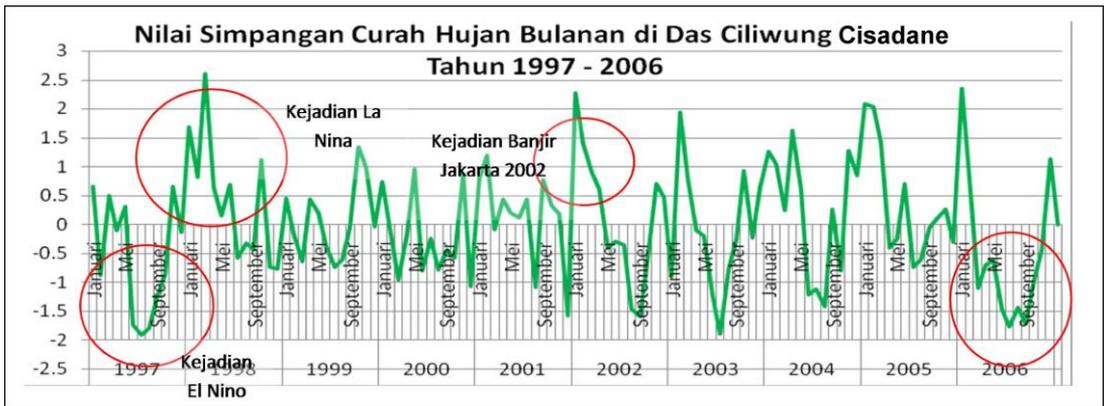
Bulan	Persamaan Regresi	R <sup>2</sup>
Januari	$y = 0.229x + 340.4$	R <sup>2</sup> = 0.990
Pebruari	$y = 0.179x + 76.08$	R <sup>2</sup> = 0.994
Maret	$y = 0.024x + 167.3$	R <sup>2</sup> = 0.999
April	$y = 0.024x + 369.6$	R <sup>2</sup> = 0.999
Mei	$y = 0.012x + 345.0$	R <sup>2</sup> = 0.991
Juni	$y = 0.024x + 43.34$	R <sup>2</sup> = 0.993
Juli	$y = 0.006x + 22.73$	R <sup>2</sup> = 0.996
Agustus	$y = 0.019x + 30.21$	R <sup>2</sup> = 0.996
September	$y = 0.007x + 122.4$	R <sup>2</sup> = 0.997
Oktober	$y = 0.016x + 171.3$	R <sup>2</sup> = 0.995
Nopember	$y = 0.012x + 396.2$	R <sup>2</sup> = 0.989
Desember	$y = 0.181x + 236.7$	R <sup>2</sup> = 0.987



Gambar 4. Distribusi spasial curah hujan tahun 1997 di WPS Ciliwung Cisadane



Gambar 5. Curah Hujan Bulanan di WPS Ciliwung Cisadane tahun 1997 – 2006



Gambar 6. Nilai Simpangan Curah Hujan Bulanan (1997 – 2006) di bagian hulu WPS Ciliwung Cisadane

Curah hujan yang rendah pada tahun 1997 berhubungan dengan El Nino, fenomena anomali positif suhu permukaan laut di Samudera Pasifik tahun 1997 yang memberikan dampak kekeringan di Indonesia (Kishore, 2007). Sedangkan curah hujan yang rendah pada tahun 2003 diduga berhubungan dengan adanya anomali positif suhu permukaan laut di sekitar katulistiwa Samudera Pasifik meskipun anomali kenaikan suhu permukaan laut tidak setinggi yang terjadi pada tahun 1997 (<http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2003/0131nao.html>). Curah hujan yang rendah di bulan September 2006 berhubungan dengan adanya kenaikan muka air laut di Samudera Pasifik Tengah dan Timur. Kenaikan muka air laut ini diakibatkan oleh adanya kenaikan suhu permukaan laut sehingga terjadi ekspansi *thermal* yang mengakibatkan naiknya volume air laut (<http://oceanografi.blogspot.com/2006/10/signal-el-nino-2006.html>).

Simpangan nilai curah hujan terhadap nilai normalnya diperoleh dengan mempertimbangkan nilai rata-ratanya dan nilai standar deviasinya. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar 6 menunjukkan bahwa di WPS Ciliwung Cisadane pada tahun 1997 terjadi simpangan curah hujan negatif yang cukup panjang, hal ini berhubungan

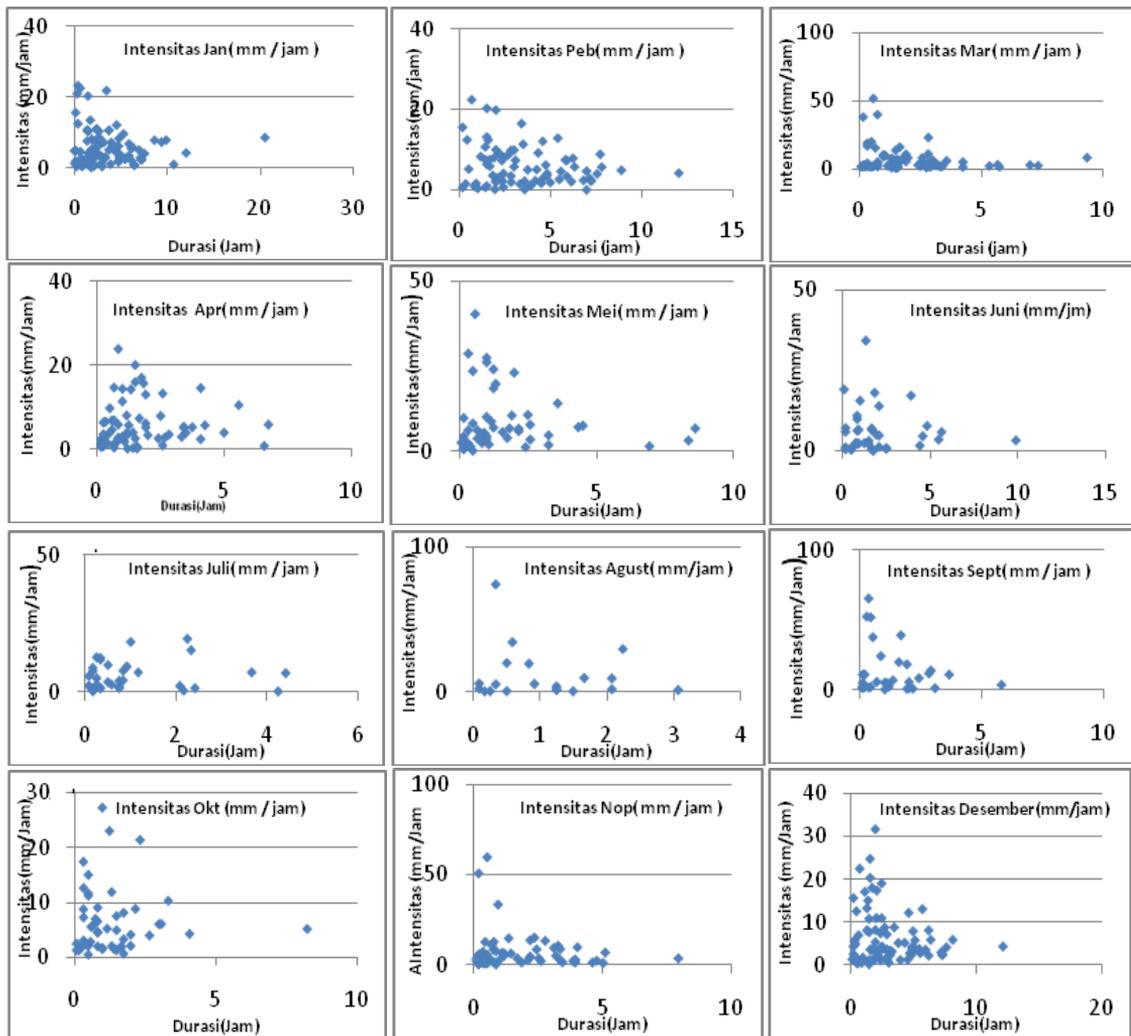
dengan adanya anomali positif pada Indeks SOI (Reynold et al., 2002) dan pada Indeks DMI (<http://www.jamstec.go.jp/frgc/research/d1/iod/>) (Gambar 8).

Gambar 8 adalah Grafik Indeks ENSO (Reynold et al., 2002) dan Moda Dipol (Yamata, 2001) tahun 1986 – 2008 yang digunakan sebagai pembandingan terhadap fluktuasi hujan lokal (hujan wilayah WPS Ciliwung Cisadane).

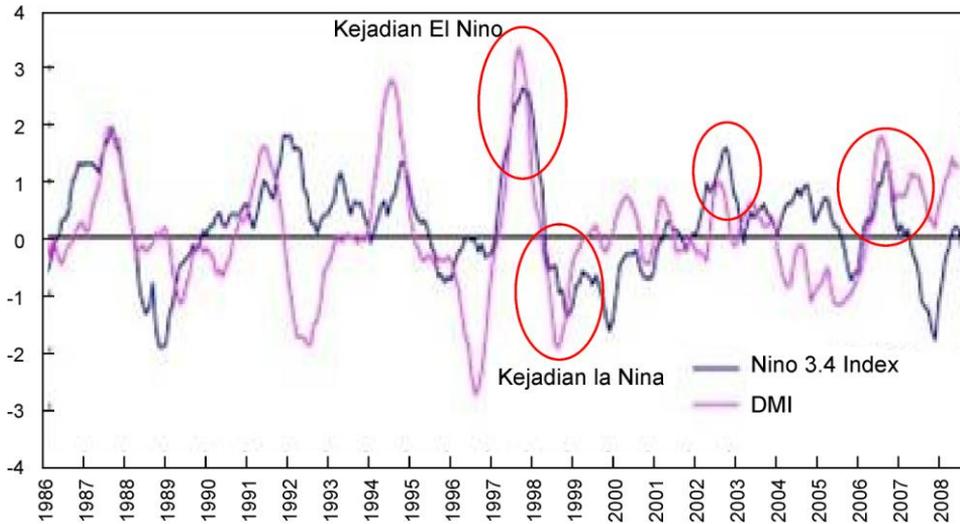
Anomali positif pada indeks SOI artinya ada peningkatan temperatur permukaan Samudera Pasifik dari nilai normalnya yang membawa dampak kekeringan di Indonesia. Simpangan negatif curah hujan tahun 1997 yang terjadi cukup panjang karena pada tahun 1997 – 1998 selain terjadi peningkatan temperatur muka laut di Samudera Pasifik (anomali positif di Samudera Pasifik) terjadi juga peningkatan temperatur muka laut di Samudera Hindia (anomali positif di Samudera Hindia) yang menyebabkan hujan lebat di Somalia dan di Kenya sementara kekeringan di Indonesia (Trenberth, 1999). Tahun 1997 menjadi tahun yang amat kering di Indonesia karena ada 2 fenomena di atas yang terjadi secara bersamaan. Hal ini tercatat pada simpangan curah hujan negatif yang panjang di WPS Ciliwung-Cisadane (Gambar 6).

Sedangkan anomali negatif terdapat pada indeks ENSO dan DMI pada tahun 1998 (Lihat Gambar 8) mengakibatkan terjadinya simpangan curah hujan positif dan panjang di tahun 1998 (tahun basah) di WPS Ciliwung-Cisadane.

Anomali negatif ENSO di tahun 1998 adalah terjadinya penurunan temperatur permukaan laut Pasifik yang kejadiannya bersamaan dengan penurunan permukaan laut di samudera Hindia (anomali negatif pada indeks DMI).



Gambar 7. Grafik Intensitas Hujan (24 Jam) terhadap durasi (lama hujan) tahun 2001 – 2003



Gambar 8. Grafik Indeks Nino 3.4 dan Indeks Dipole Mode

### Intensitas hujan

#### Intensitas hujan setiap jam

Intensitas hujan setiap jam diperoleh berdasarkan data curah hujan kontinu Stasiun pencatat hujan Citeko. Hasil pembacaan pada pias dicantumkan pada diagram (Gambar 7) yang menggambarkan hubungan antara intensitas (mm/jam) terhadap durasi (jam) pada setiap kejadian hujan.

Gambar 7 menunjukkan grafik antara intensitas hujan (24 jam) terhadap durasi. Gambar 7 menunjukkan bahwa di WPS Ciliwung-Cisadane pada bulan Januari sampai April ditandai hujan dengan intensitas kecil (< 10 mm) dengan durasi 1 – 8 jam. Pada bulan Mei – Oktober hujan ditandai dengan hujan dengan intensitas lebih tinggi (> 10 mm) dengan durasi yang lebih pendek (< 5 jam). Sedangkan pada bulan Nopember dan Desember ditandai dengan intensitas kecil (< 10 mm) dengan durasi 1 – 8 jam.

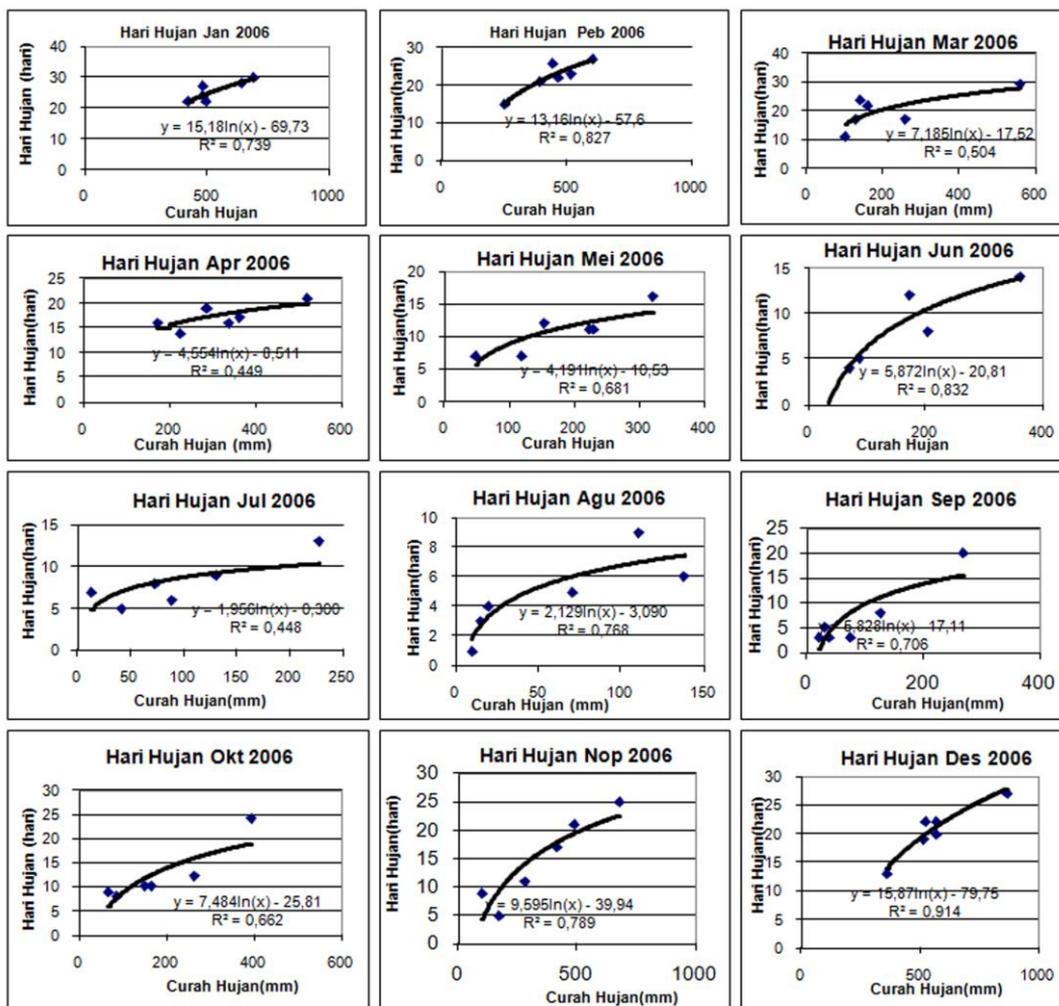
#### Intensitas Hujan Harian untuk setiap bulan.

Karena ketersediaan data untuk studi intensitas hujan setiap jam sangat terbatas (hanya satu stasiun dan hanya untuk 3 tahun), maka untuk mendapat gambaran yang lebih luas dan dalam

rentang waktu yang lebih panjang dilakukan melalui intensitas hujan harian.

Intensitas Hujan Harian spasial ditentukan untuk setiap bulan berdasarkan data 13 stasiun pencatat hujan di daerah kajian. Korelasi antara curah hujan bulanan dan hari hujan ditetapkan terlebih dahulu. Hasil persamaan korelasi antara curah hujan dengan hari hujan pada Gambar 9 diaplikasikan pada peta curah hujan pada Gambar 4. Hasil interpolasi nilai intensitas hujan di interpolasi dengan metode “gridding” IDW (*Inverse Distance Weighting*) sehingga dihasilkan peta intensitas hujan harian untuk setiap bulan secara spasial (Gambar 10.).

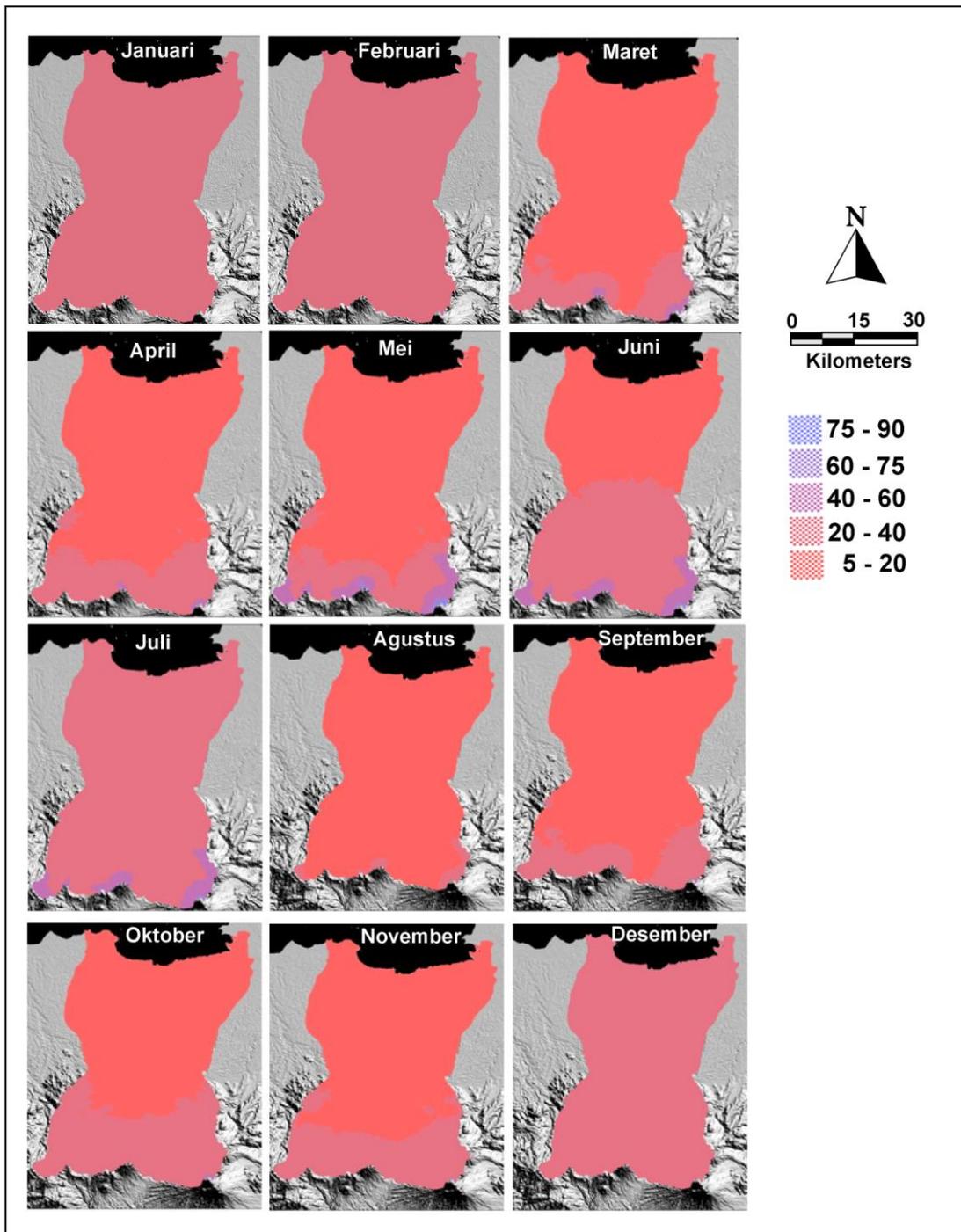
Gambar 10. Menggambarkan distribusi intensitas hujan harian setiap bulan selama tahun 2006. Warna yang semakin biru menunjukkan intensitas hujan harian yang semakin tinggi sedangkan semakin merah menunjukkan intensitas hujan harian yang semakin rendah. Dari Gambar 10. tampak bahwa semakin tinggi topografi intensitas hujan hariannya semakin tinggi. Pada bulan Mei, Juni dan Juli terjadi intensitas hujan harian rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan pada bulan bulan basah dengan frekuensi kecil (Lihat Gambar 11).



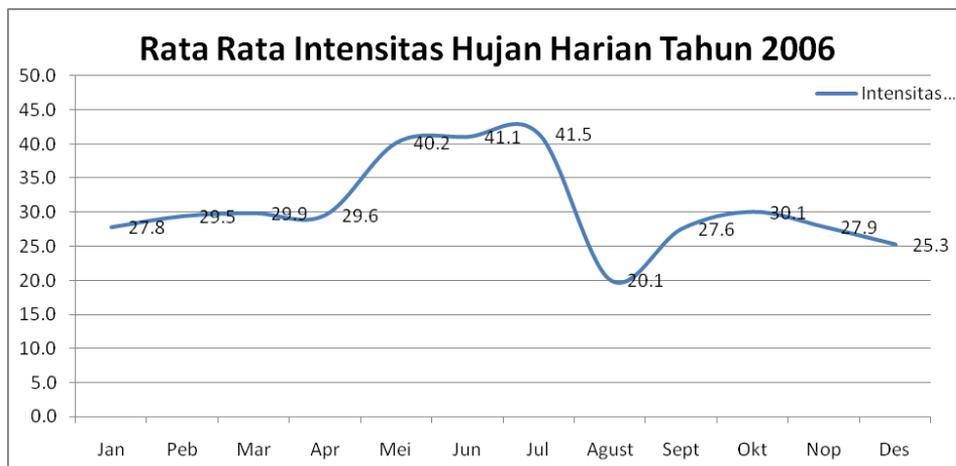
Gambar 9. Persamaan korelasi antara curah hujan dengan hari hujan

Hal ini disebabkan karena pada bulan kering terjadi curah hujan yang tinggi tetapi hari hujannya kecil (sedikit) sehingga intensitas hujan rata-ratanya relatif tinggi dibandingkan pada bulan-bulan basah (Oktober, November, Desember, Januari dan Februari). Sedangkan pada bulan-bulan basah ditandai dengan jumlah curah hujan bulannya lebih besar daripada bulan-bulan kering (Mei, Juni, dan Juli) akan tetapi jumlah hari hujan dalam sebulan lebih besar (frekuensi terjadinya hujan lebih besar) maka intensitas hujan harian rata-ratanya pada bulan Oktober, Nopember, Desember, Januari, Februari menjadi lebih kecil dibandingkan bulan

Mei, Juni dan Juli. Distribusi intensitas hujan bulanan pada Gambar 10 dapat digambarkan rata-ratanya pada Gambar 11. Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa intensitas hujan tinggi terjadi pada bulan Mei, Juni dan Juli. Pada Gambar 11 menunjukkan bahwa di WPS Ciliwung Cisadane pada bulan Mei, Juni dan Juli ditandai hujan dengan karakter intensitas tinggi (40 – 41.5 mm) sedangkan pada bulan basah (Oktober, Nopember, Desember, Januari dan Pebruari) ditandai hujan dengan intensitas rata-rata yang lebih rendah dari intensitas hujan pada bulan Mei, Juni dan Juli (20 – 30 mm).



Gambar 10. Distribusi intensitas hujan bulanan spasial tahun 2006



Gambar 11. Grafik rata rata Intensitas Hujan Harian Tahun 2006

## PEMBAHASAN

WPS Ciliwung-Cisadane merupakan daerah yang mendapatkan curah hujan relatif tinggi dibanding dengan daerah aliran sungai lainnya di Indonesia (Das Citarum, Das Brantas, dll). Meski demikian, secara spasial curah hujan yang jatuh amat bervariasi dan sangat dipengaruhi oleh ketinggian tempat dan tutupan lahan. Pada klasifikasi Schmidt dan Fergusson (1951), Jumlah curah hujan tahunan di WPS ini bervariasi dari sekitar 1622 mm dengan tipe hujan D di daerah pantai Pantai Tanjungpriuk, sampai dengan 5223 mm dengan tipe hujan A di Palasari-Pondokgedeh pada ketinggian 740 m dpl. Daerah pada ketinggian di puncak dan lereng gunung-gunung Pangrango, Salak dan Halimun tentunya akan menerima curah hujan yang lebih besar lagi. Model isohyet bulanan memberikan nilai rata-rata tahunan sebesar 5328 mm untuk seluruh WPS berdasarkan data tahun 1997 s/d 2006. Angka tersebut mencerminkan suatu jumlah sumberdaya air yang besar apabila distribusi ketersediaannya baik secara spasial maupun temporal relatif merata, dan sebaliknya merupakan ancaman bencana apabila terjadi lonjakan fluktuasi curah hujan yang tinggi.

Distribusi temporal curah hujan, atau fluktuasi jumlah curah hujan dari waktu ke waktu amat ditentukan oleh sirkulasi atmosfer pada skala

regional dan global. Pada skala regional, variasi hujan ditentukan oleh pergiliran arah angin yang dikenal dengan angin musim atau *monsoon* (Ramage, 1971 dalam Aldrian E, 2003). Pada bulan Oktober sampai April, di WPS Ciliwung Cisadane bertiup angin muson barat (*west monsoon*) secara umum dari arah barat daya ke tenggara (Lakitan, 1994). Pada bulan April sampai Oktober arah angin bertiup sebaliknya dan dikenal dengan angin muson timur (*east monsoon*). Angin muson barat umumnya membawa kelembaban yang lebih tinggi daripada angin muson timur, sehingga pergiliran angin muson ini membawa variasi hujan yang relatif tetap dalam setahun yaitu musim barat sebagai musim hujan dan musim timur sebagai musim kemarau.

Variasi curah hujan dalam setahun di WPS Ciliwung Cisadane dicirikan oleh adanya bulan-bulan dimana curah hujan umumnya tinggi pada akhir dan awal tahun serta berkurang pada pertengahan tahun. Meski demikian, apabila kita menerapkan sistem Mohr ( Mohr, et al.,1972) yang memberikan batasan bulan kering (Curah Hujan <60 mm), bulan lembab (Curah Hujan = 60 s/d 100 mm) dan bulan basah (curah hujan > 100 mm), maka di WPS Ciliwung Cisadane sangat jarang didapati bulan kering, kecuali pada daerah pesisir atau pada tahun-tahun peristiwa iklim ekstrim (El Nino) seperti akan diuraikan sebagai berikut.

Sirkulasi udara pada skala global berpengaruh pada pola hujan di Indonesia, paling tidak melalui dua fenomena yaitu *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO; Philander 1989 dalam Aldrian, 2003) yang terjadi di Samudera Pasifik dan *Indian Ocean Dipole* atau DMI (Saji et al., 1999 dalam Boer et al., 2004) yang terjadi di Samudera Hindia. Kedua fenomena ini pada dasarnya berkaitan dengan suhu muka air laut di kedua samudera tersebut di atas. Secara lokal dan regional fenomena ini menyebabkan tahun-tahun dimana uap air sangat banyak (La Nina) atau sangat sedikit (El Nino) atau bergesernya alur pergerakan uap air (IOD). Dampak fenomena ENSO sangat menyolok pada curah hujan di Sumatera Selatan, Jawa, Bali dan Nusa Tenggara (Aldrian et al., 2003). IOD (Behera and Yamagata, 2001 dalam Boer et al., 2004) mempengaruhi variabilitas hujan di Indonesia (Faqih, 2002 dalam Boer et al., 2004) dengan kemungkinan siklus 3 – 7 tahun yang akan mempengaruhi baik sirkulasi zonal (timur-barat) dan sirkulasi meridional (utara-selatan). Karena Indonesia merupakan negara kepulauan dengan bentuk topografi sangat beragam menyebabkan sistem golakan lokal juga cukup dominan dalam menentukan karakteristik curah hujan. Semua aktivitas dan sistem ini berlangsung secara bersamaan sepanjang tahun akan tetapi besar pengaruh dari masing-masing aktifitas atau sistem tersebut tidak sama dan dapat berubah dari tahun ke tahun (Boer, R., 2003).

Seperti telah diuraikan di atas bahwa terjadinya tahun peristiwa iklim di WPS Ciliwung Cisadane terjadi apabila terjadi pengaruh yang bersamaan dan saling memperkuat antara fenomena ENSO dan IOD. Pada tahun 1997, ketika anomali ENSO dan IOD sangat kuat terjadi bersamaan, curah hujan setahun hanya 3953 mm atau 74 % dari rata-rata. Tahun berikutnya dimana La Nina dan DMI berinteraksi menghasilkan curah hujan tahunan sebesar 6369 mm atau 119 % dari rata-rata. Tahun 2006 terjadi lagi interaksi La Nina dan El Nino walaupun anomalinnya tidak sekuat 1997 dan 1998. Pada tahun 2006 curah hujan tahunan hanya sebesar 4080 mm (76% dari rata-rata).

Menurut grafik simpangan curah hujan (Gambar 7), pada tahun 2002 terjadi simpangan curah hujan positif kuat dengan volume curah hujan yang besar dan berhubungan dengan bencana banjir di Jakarta. Tetapi pada kurva indeks ENSO dan DMI, tahun tersebut tidak memperlihatkan anomali. Sedangkan pada grafik simpangan curah hujan tahun 1999 – 2001 terjadi simpangan curah hujan positif yang lemah dan panjang, kondisi ini berhubungan dengan tidak terjadinya bencana banjir di Jakarta.

Pada tahun 2006 terjadi simpangan curah hujan negatif yang cukup panjang 9 bulan yang berhubungan dengan anomali lemah kenaikan muka air laut di Samudera Pasifik Tengah dan Timor (<http://oceanografi.blogspot.com/2006/10/signal-el-nino-2006.html>). Sementara indeks DMI menunjukkan anomali negatif yang lemah pula. Keadaan iklim global pada tahun 2006 tidak mengakibatkan banjir di Jakarta pada tahun itu, tetapi pada awal tahun berikutnya (Februari 2007) setelah kelembaban tanah terjenuhi, padahal Indeks ENSO menunjukkan anomali kekeringan (positif) pada tahun 2007.

Kedua kasus di atas menunjukkan bahwa meski anomali ENSO dan IOD menjadi penyebab terjadinya banjir di Jakarta, banjir bisa terjadi ketika indeks ENSO dan DMI menunjukkan keadaan normal.

Perubahan jumlah curah hujan tahunan yang disebabkan oleh adanya peristiwa iklim ekstrim ini akan disertai pula dengan perbedaan intensitas hujan. Hasil pengamatan di atas menunjukkan bahwa pada musim dimana frekuensi hujan berkurang umumnya disertai dengan meningkatnya intensitas hujan. Sedangkan pada musim dimana curah hujan meningkat, intensitas hujan lebih kecil daripada musim dimana frekuensi hujan berkurang tetapi dengan durasi yang relatif lebih lama. Fenomena ini teramati pula untuk daerah Cekungan Bandung (Narulita et al., 2004)

Hujan dengan intensitas kecil dan durasi panjang ini baik untuk imbuhan airtanah. Tetapi bila terjadinya di musim hujan, ketika kejenuhan tanah sudah tercapai maka air hujan yang berkepanjangan pada akhirnya akan menjadi

limpasan (*direct run off*) seluruhnya sehingga berpotensi menjadi penyebab bencana banjir. Selain itu hujan dengan intensitas kecil durasi panjang ini akan menjenuhkan tanah dan akan membebani tanah pada bagian permukaan. Apabila kondisi ini terjadi pada daerah berlereng akan berpotensi menjadi penyebab bencana longsor.

Hujan dengan intensitas tinggi dan berdurasi pendek apabila terjadi secara menyeluruh pada suatu area yang luas dapat pula mengakibatkan banjir. Hujan dengan intensitas tinggi tidak baik untuk imbuhan airtanah dan sangat erosif terhadap tanah, sehingga hujan karakter ini umumnya menghasilkan air larian yang pekat dengan lumpur. Sementara ini hubungan antara Intensitas hujan dan peristiwa iklim ekstrim masih memerlukan kajian yang lebih lanjut.

## KESIMPULAN

Dengan penggambaran distribusi hujan secara spasial dan temporal, variasi hujan baik secara spasial maupun temporal dapat diketahui. Disamping itu, faktor penyebab variasi hujan dapat diduga pula.

Simpangan curah hujan positif kuat di WPS Ciliwung-Cisadane berkaitan dengan terjadinya banjir di Jakarta. Sementara simpangan curah hujan positif lemah dan panjang di WPS Ciliwung Cisadane menunjukkan tidak menyebabkan terjadinya banjir.

Fenomena iklim global (El Nino, La Nina dan Moda Dipol) mempengaruhi jumlah curah dan distribusi temporal hujan di WPS Ciliwung/Cisadane. Interaksi anomali ENSO dan IOD yang kuat dapat menjadi penyebab terjadinya banjir di Jakarta. Tetapi banjir bisa juga terjadi ketika indeks ENSO dan DMI menunjukkan keadaan normal, yang menunjukkan terdapat faktor-faktor lain yang dapat menjadi penyebab banjir di Jakarta.

Pada bulan basah WPS Ciliwung Cisadane ditandai dengan hujan intensitas  $< 10$  mm dengan durasi panjang (1 – 8 mm). Meskipun intensitas kecil hujan dengan karakter ini berpotensi

menjadi penyebab bencana banjir (ketika kejenuhan tanah sudah tercapai) dan longsor (pada daerah berlereng). Sementara pada bulan kering WPS Ciliwung Cisadane didominasi oleh kejadian hujan dengan intensitas tinggi pada durasi singkat. Karena terjadinya di bulan kering, ketika kelembaban tanah pada umumnya rendah, maka potensinya sebagai penyebab banjir rendah. Masih diperlukan kajian lebih lanjut mengenai hubungan antara intensitas hujan dan peristiwa iklim ekstrim. Studi variabilitas curah hujan sebaiknya dilakukan untuk periode 50 – 100 tahun agar didapat prediksi yang lebih baik mengenai fluktuasi simpangan hujan positif dan negatif yang berhubungan dengan bencana banjir, kekeringan dan ketersediaan air (Bruce et al., 1966).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah memberikan dana pada penelitian ini melalui Program Penelitian Kompetitif LIPI. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika dan PT. Indonesia Power yang telah memberi ijin dalam penggunaan data curah hujan dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., Dumenil, G.L., Widodo H.,F., 2003, *Variability of Indonesia Rainfall and the Influence of ENSO and Resolution in ECHAM4 Simulation and in the Reanalyses*, Report No. 346, Max-Planck-Institute for Meteorology. Hamburg University. Hamburg-Germany.
- Asdak, Chay, 1995, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press.
- Boer, Rizaldi, 2003, *Penyimpangan Iklim Di Indonesia*. Makalah Seminar Nasional Ilmu Tanah. KMIT Jurusan Tanah Fakultas Pertanian UGM Yogyakarta.

- Boer, R., Wahab, I., Perdinan., Meinke , H., 2004, *The Use of Global Climate Forcing for Rainfall and Yield Prediction in Indonesia: Case Study at Bandung District*. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress Brisbane, Australia. ISBN 1 920842 20 9
- Bruce J.P. M.A., R.H. Clark , 1966, *Introduction to Hydrometeorology*, Pergamon Press Ltd. P. 293.
- Kishore K, 2007, *Indonesia Country Case Study: Impact and Responses to the 1997-98 El Nino Event*, Executive Summary.
- Lakitan, 1994, *Dasar-dasar Klimatologi*. Raja Grafindi Persada - Jakarta
- Narulita, 2004, *Some Rainfall Characteristics in Bandung Basin, Proceedings International Symposium on Geotechnical Hazards: Prevention, Mitigation and Engineering Response*. 24 – 27 April, 2006. Res centre for geotechnology – LIPI.
- Narulita, Ida, 2007, *Distribusi Spasial dan Temporal Curah Hujan Rata-rata Tahunan Tipe Orografik Untuk Menduga Angka Koefisien Aliran Di Cekungan Bandung*. Sumber daya Air dan Lingkungan: Degradasi, Potensi, dan Masa Depan. LIPI Press hal : 183-202
- Mohr, E.C.J., F.A Van Baren and J. van Schuylenborgh, 1972, *Tropical Soils*. Mouton – Ichtar baru- Van Hoeve. Paris-The Hague – Jakarta.
- Reynolds, R.W., N.A. Rayner, T.M.Smith, D. C. Stokes and Wang, 2002, *An Improved in situ and satellite SST analysis for climate*, Journal of Climate, 15, 1609 – 1625.
- Ropelewski C, 1999, *The Great El Nino of 1997 and 1998: Impact on Precipitation and Temperatur*, Consequences, Vol. 5 no. 2, pp. 17 – 25.
- Schmidt and Fergusson, 1951, *Rainfall types based on wet and dry period ratios for Indonesia with western New Guinee*. Kementerian Perhubungan jawatan Meteorolgi dan Geofisik. Djakarta. Republik Indonesia.
- Shaw,E.M., 1985, *Hydrology in Practice*. Van Nonstrand Reinhold Company, Hongkong. P. 569.
- S. K. Behera and T. Yamagata, 2001, *Subtropical SST dipole in the Southern Indian Ocean*, Geophys. Res. Lett., 28, 327-330.
- Trenberth, K. E., 1999, *The extreme weather events of 1997 and 1998.*, Consequences, Vol 5, 1, 2-15.
- <http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2003/0131nao.html>
- <http://oseanografi.blogspot.com/2006/10/signal-el-nino-2006.html>
- <http://www.jamstec.go.jp/frgc/research/d1/iod/>